

# ANAIIS DO



## II Seminário Integrador

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFPE

**TEMA:**

**“Conectando a Academia aos  
Setores Produtivos e de Serviços”**

**EDITORES:**

**Paulo Fernando Silva Sousa  
Roberta Tabaczinski de Sá  
Wilson Ramos Aragão Júnior  
Bruna Soares Fernandes  
Sávia Gavazza dos Santos Pessôa**



**ANAIS  
DO**



## **II Seminário Integrador**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFPE

**TEMA:**

**“Conectando a Academia aos  
Setores Produtivos e de Serviços”**

**16/09/2019** das 9h às 17h  
Auditório do LITPEG

**REALIZAÇÃO:**



**UFPE**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)**

**PATROCINADORES:**



**Uber**



Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Kalina Lígia França da Silva, CRB4-1408

S471a Seminário Integrador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (2. : 2019 set. 16 : Recife, PE).  
Anais do II Seminário Integrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFPE - SIPPGEC 2019 [recurso eletrônico] : conectando a academia aos setores produtivos e de serviços / editores : Paulo Fernando Silva Sousa... [et al.]. – Recife : Ed. UFPE, 2020.

Vários autores.  
Inclui referências.  
ISBN: 978-65-990126-0-0

1. Engenharia civil – Congressos. I. Sousa, Paulo Fernando Silva (Ed.). II. Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

624 CDD (23.ed.) UFPE (BC2020-011)

## **PREFÁCIO**

É com grande alegria que apresentamos os anais do nosso II Seminário Integrador. Nesta edição procuramos aproximar a academia dos setores produtivo e de serviços. Esse evento foi feito pelos alunos e alguns docentes do PPGEC sob nossa supervisão. Somos muito gratos a cada aluno/docente que acreditou nesse sonho e agregou versatilidade, praticidade, eficiência e muita integração à organização. Teremos saudades das nossas reuniões. Nosso agradecimento a todas as empresas que participaram do evento, especialmente as que o patrocinaram. Que as conexões feitas durante o evento possam trazer boas parcerias. Que a formação de alunos seja sempre a luz condutora das atividades do PPGEC. Que o trabalho pela coletividade, pautado na ética, no respeito pelo ser humano, pelas diferenças e pelo meio ambiente, faça parte do nosso dia-a-dia.

Sávia Gavazza e Leonardo Meira  
Coordenação do PPGEC

## **CARTA DO PRINCIPAL PATROCINADOR**

Graças a iniciativas como esta, liderada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, a relação universidade-empresa vem melhorando em alguns setores da UFPE. Historicamente, esta relação não é das melhores no Brasil como um todo. Se consideramos os resultados publicados nos relatórios da PINTEC – Pesquisa de Inovação realizada trienalmente pelo IBGE desde 1998 cobrindo os setores da indústria, eletricidade, gás e serviços relacionados, veremos que a importância atribuída pelas empresas às atividades de inovação é, primeiramente, para aquisição de máquinas e equipamentos, com 77% de relevância, seguida de cinco outras atividades. A contratação externa de P&D é a 7ª atividade, com relevância de 8,2%. Em 2011, estes números foram de 76% e 6,4%, respectivamente, demonstrando, inclusive, uma piora ao longo do tempo.

O Grupo Cornélio Brennand, apesar de sua inquietude histórica, tendo atuado em diversos segmentos da economia, apenas recentemente acrescentou de forma explícita a Inovação aos seus demais valores, que são Dinamismo, Excelência e Integridade. Inovação pode ser feita de forma isolada, mas é mais eficaz quando feita em parceria entre especialistas de pesquisa, que agregam seu conhecimento técnico, especialistas de negócio das empresas, que trazem o conhecimento do problema.

Nesse sentido, nada mais propício do que nos aliarmos ao PPGEC na busca de novos produtos, serviços, processos e soluções de problemas. Acreditamos que a aproximação entre empresas e universidades pode aumentar ainda mais a geração de emprego e renda, promovendo o desenvolvimento socioeconômico não só da nossa região, mas do país como um todo.

Parabéns ao PPGEC/UFPE pela iniciativa!!!

Sergio Cavalcante  
Líder de Inovação  
Grupo Cornélio Brennand

## **COMISSÃO ORGANIZADORA DO EVENTO**

### **ALUNOS DO PROGRAMA (MESTRADO E DOUTORADO)**

- Arivânia Bandeira Rodrigues
- Carine Aragão de Mello
- Hygor Vinícius Costa Silva
- Isabelle Rodrigues Mendonça Câmara
- Júlio César Azevedo Luz de Lima
- Larissa Ferreira David Romão Batista
- Nilvan Teixeira de Araújo Júnior
- Paulo Fernando Silva Sousa
- Rafaella de Moura Medeiros
- Roberta Tabaczinski de Sá
- Ronaldo Ribeiro de Melo
- Victor Marcelo Estolano de Lima
- Wilson Ramos Aragão Júnior

### **PROFESSORES**

- Anderson Luiz Ribeiro de Paiva
- Bruna Scandolara Magnus
- Bruna Soares Fernandes
- Fabrício Motteran
- Leonardo Herszon Meira
- Sávia Gavazza dos Santos Pessôa
- Wanderlí Rogério Moreira Leite

### **TÉCNICAS-ADMINISTRATIVAS**

- Andréa Negromonte Vieira Matoso
- Claudiana Araújo Pereira
- Jecicleide Luckwü Marques

## **EDITORES DOS ANAIS**

- Paulo Fernando Silva Sousa (Aluno de Doutorado)
- Roberta Tabaczinski de Sá (Aluna de Doutorado)
- Wilson Ramos Aragão Júnior (Aluno de Mestrado)
- Bruna Soares Fernandes (Professora do Programa)
- Sália Gavazza dos Santos Pessôa (Professora do Programa)

# COMISSÃO CIENTÍFICA

## COORDENAÇÃO DA COMISSÃO CIENTÍFICA

- Bruna Soares Fernandes (Professora do Programa)
- Sávia Gavazza dos Santos Pessoa (Professora do Programa)
- Paulo Fernando Silva Sousa (Aluno de Doutorado)

## EDITORES POR ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

### *CONSTRUÇÃO CIVIL*

- Priscilla Elisa de Azevedo Basto
- Victor Marcelo Estolano de Lima

### *ESTRUTURAS*

- Paulo Fernando Silva Sousa
- Roberta Tabaczinski de Sá

### *GEOTECNIA*

- Adjane Damasceno de Oliveira

### *RECURSOS HÍDRICOS*

- Ana Cláudia Villar e Luna Gusmão
- Jussara Freire de Souza

### *SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO*

- Jefferson Wellano Oliveira Pinto
- Juan Alberto Rojas Tueros

### *TECNOLOGIA AMBIENTAL*

- Fernanda Magalhães Amaral
- Shyrlane Torres Soares Veras

### *TRANSPORTES E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS*

- Carine Aragão de Mello
- Luiz Guimarães Ribeiro Neto



## REVISORES POR ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

### *CONSTRUÇÃO CIVIL*

- Priscilla Elisa de Azevedo Basto
- Victor Marcelo Estolano de Lima

### *ESTRUTURAS*

- Cícero Vitor Chaves
- Jacqueline Cristine Messias do Nascimento
- Matheus Alves Pereira
- Paulo Fernando Silva Sousa
- Roberta Tabaczinski de Sá
- Willian Menezes da Silva

### *GEOTECNIA*

- Adjane Damasceno de Oliveira
- Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida
- Antônio Italcly de Oliveira Júnior
- Camila de Melo Tavares
- Carlos Eduardo Bessa de Medeiros
- Danilo Silva dos Santos
- Fellipe José Reis Brandão
- Flávio Leôncio Guedes
- Jean Baptiste Joseph
- Magno Augusto Motta Macieira Drummond
- Nayara Torres Belfort
- Rafaella de Moura Medeiros
- Shirley Minnell Ferreira de Oliveira
- Wilson Ramos Aragão Júnior

### *RECURSOS HÍDRICOS*

- Ana Cláudia Villar e Luna Gusmão
- Camilla Pires dos Santos Câmara
- Cléber Gomes de Albuquerque
- Diego César dos Santos Araújo
- Gabriel Araujo de Oliveira
- José Diorgenes Alves Oliveira
- Jussara Freire de Souza
- Larissa Ferreira David Romão Batista
- Lucila Araújo Fernandes
- Marcos Antônio Barbosa da Silva Júnior
- Rochele Sheila Vasconcelos
- Yan Ranny Machado Gomes

## *SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO*

- Alexandre de Souza Júnior
- Aline Dantas de Oliveira
- Ana Itamara Paz de Araújo
- Andresa Dornelas de Castro
- Hygor Vinícius Costa Silva
- Ianyqui Falcão Costa
- Jean Baptiste Joseph
- Jefferson Wellano Oliveira Pinto
- Juan Alberto Rojas Tueros
- Kátia Botelho Torres Galindo
- Leidy Laura Álvarez
- Oscar Simón Melgar Cisneros
- Ricardo Pereira Guedes

## *TECNOLOGIA AMBIENTAL*

- Cândida Nathaly Cordeiro Souto
- Danúbia Maria da Silva Freitas
- Fernanda Magalhães Amaral
- Graciano Fernandes de Mendonça
- Hidaiane Fayga Matias Caldas
- José Roberto Santo de Carvalho
- Marcos Adriano Marques Pessôa Sales
- Marcos Henrique Gomes Ribeiro
- Natanna Tayná de Melo Silva
- Rhayssa de Brito e Silva
- Talita Jéssica Tavares Marinho

## *TRANSPORTES E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS*

- Carine Aragão de Mello
- Dannúbia Ribeiro Pires
- Karla Leite
- Maria Victória Leal de Almeida Nascimento
- Ronaldo Ribeiro de Melo
- Viviane Adriano Falcão

# REVISÃO POR PARES

## ROTEIRO DO PROCESSO

1. Os alunos do programa foram convidados a submeter os artigos (de revisão ou de divulgação), através de formulário eletrônico;
2. A coordenação da comissão científica, neste caso representada pela professora Bruna Fernandes e pelo aluno Paulo Sousa, organizaram grupos de trabalho e selecionaram os editores por área de concentração;
3. Os editores de cada área de concentração especificaram os revisores para cada artigo, sendo que cada artigo teve 3 (situação ideal) ou 2 revisores (no mínimo);
4. Os revisores efetuaram a revisão por pares, dando sugestões e apontando correções nos artigos e, finalizaram a revisão com o preenchimento de formulário eletrônico de acordo com procedimento pré-definido;
5. Os editores de cada área analisaram as revisões por pares e, por meio de formulário eletrônico, emitiram os pareceres finais dos artigos, com síntese dos comentários dos revisores;
6. A coordenação da comissão científica reuniu os pareceres finais e, via e-mail, os encaminhou aos respectivos autores;
7. Os autores receberam os pareceres finais com as sugestões e comentários de seus artigos, fizeram as correções que julgaram pertinentes e, reenviaram para o e-mail da comissão a versão final dos trabalhos;
8. A coordenação da comissão científica reuniu as versões finais dos artigos e estas fazem parte dos anais do evento.

## PROCEDIMENTO

- Foram realizadas 17 perguntas qualitativas (sim ou não), divididas em 4 blocos, com avaliação das referências (origem);
- A partir desta análise, cada artigo recebeu um parecer final de: Aprovado SEM correções; Aprovado COM correções; ou, Reprovado;
- Caso Aprovado COM correções, o que correspondeu a grande maioria dos trabalhos, os revisores puderam emitir sugestões de mudanças, correções e ajustes no texto, referentes à forma e ao conteúdo, bem como comentários gerais sobre a relevância do trabalho.

## **PREMIAÇÕES DO EVENTO**

### **THREE MINUTES COMPETITION**

**Vencedora:** Roberta Tabaczenski de Sá

**Trabalho:** “Mortars for protection of masonry walls in fire”

**Área de Concentração:** Estruturas

### **CONCURSO DE PÔSTERES**

**Vencedor:** Paulo Fernando Silva Sousa

**Trabalho:** “Optimal maintenance planning for corroded pipelines – brief presentation of new approach”

**Área de Concentração:** Estruturas

### **APRESENTAÇÃO ORAL EM SESSÃO TEMÁTICA**

**Vencedora:** Natanna Tayná de Melo Silva

**Trabalho:** “Biodegradação do 2,4-Diaminoanisol (DAAN), produto reduzido de composto insensível de munições, sob diferentes condições de oxirredução”

**Área de Concentração:** Tecnologia Ambiental

## FATOS E DADOS DO EVENTO

### PARTICIPANTES

- Alunos de Graduação (Engenharia Civil): 11 inscritos no evento completo + 65 que participaram apenas das sessões temáticas à tarde;
- Alunos da Pós-Graduação (PPGEC): 107 inscritos no evento completo;
- Professores da Pós-Graduação (PPGEC): 18 inscritos no evento completo;
- Externos ao Programa: 3 inscritos no evento completo;
- Palestrantes: 13 inscritos no evento completo;
- Convidados: 20 inscritos no evento completo;
- Participantes do II Seminário Integrador (2019): 237 Participantes;
- Participantes do I Seminário Integrador (2018): 85 Participantes.

### ALUNOS DO PPGEC POR ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

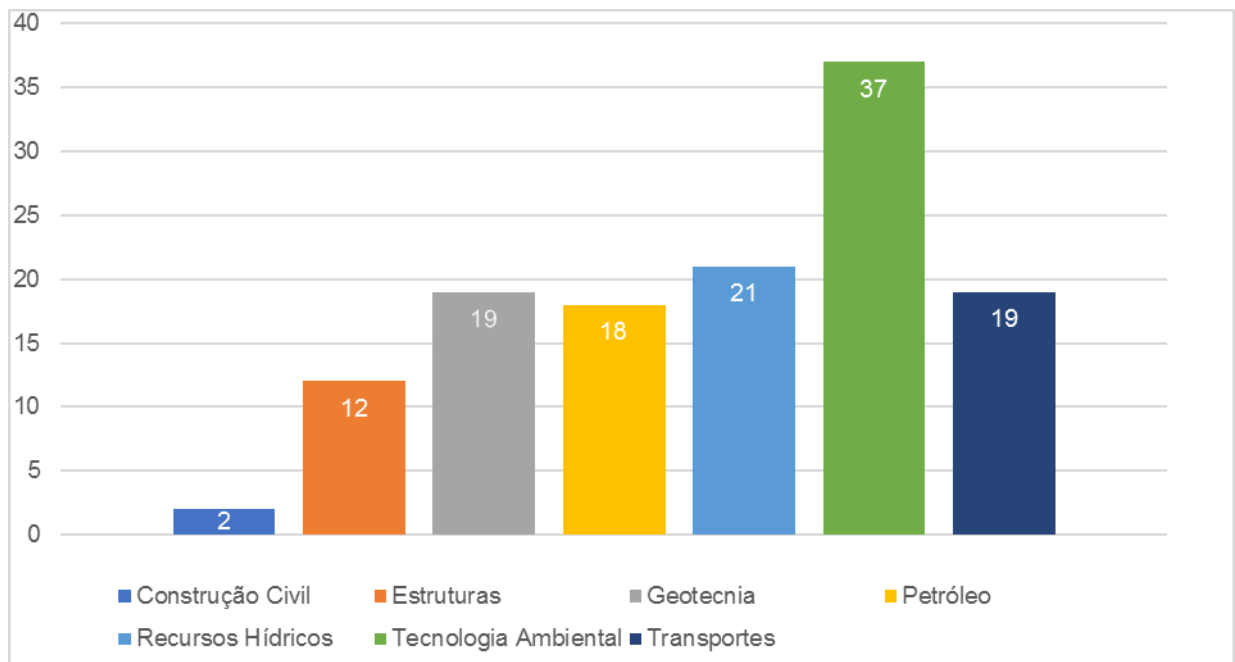


Figura 1 – Alunos participantes no evento por área de concentração do PPGEC

## PANORAMA GERAL DA PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS

- 46 artigos aceitos para publicação nos anais do evento;
- 12 pôsteres expostos e 8 apresentações orais em sessão temática;
- 12 editores (alunos de doutorado e pós-doutorado) e 54 revisores (alunos do programa em geral, todos os níveis);
- 134 revisões por pares enviadas.

## DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS POR ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

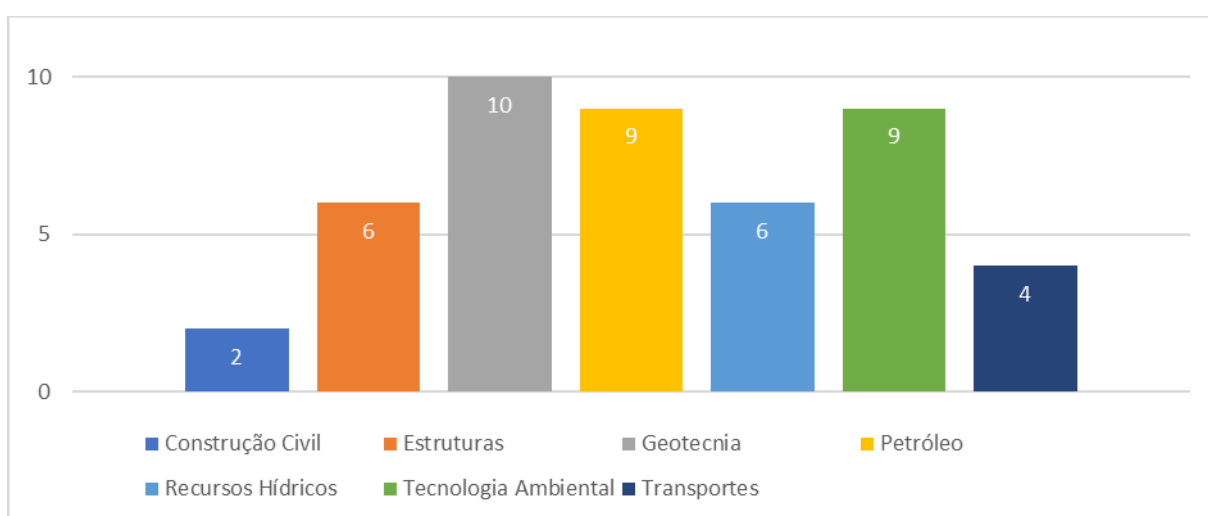


Figura 2 – Quantidade de artigos aceitos para publicação por área de concentração do PPGEC

## SUMÁRIO

<b>ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DO PPGEC – UFPE .....</b>	<b>19</b>
ESTRUTURAS .....	20
GEOTECNIA .....	25
SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO ....	30
TECNOLOGIA AMBIENTAL.....	37
TRANSPORTES E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS.....	43
<b>ARTIGOS PUBLICADOS NO II SEMINÁRIO INTEGRADOR PPGEC</b> <b>.....</b>	<b>48</b>
CONSTRUÇÃO CIVIL.....	49
<b>Influência da adição de fibras de aço, polipropileno e suas híbridizações em concreto auto-adensável no estado fresco.....</b>	<b>50</b>
<b>Utilização de resíduos como materiais cimentícios suplementares .....</b>	<b>54</b>
ESTRUTURAS .....	58
<b>Aceleração de simulações através de computação em GPU .....</b>	<b>59</b>
<b>Avaliação da resistência do concreto após incêndios através de ensaios de ultrassom .....</b>	<b>63</b>
<b>Desempenho de elementos divisórios em situação de incêndio.....</b>	<b>67</b>
<b>Optimal maintenance planning for corroded pipelines – brief presentation and discussion of new approach .....</b>	<b>71</b>
<b>Otimização multiobjetivo robusta com restrições baseadas em confiabilidade .....</b>	<b>75</b>
<b>Resistência ao fogo de paredes de gesso .....</b>	<b>79</b>
GEOTECNIA .....	83
<b>Análise da interação entre as partículas de um solo expansivo no município de Paulista-PE com a adição de cinza de casca de arroz.....</b>	<b>84</b>
<b>Aplicação de argila orgânica em camadas de cobertura do tipo oxidativas para implantação em aterros sanitários .....</b>	<b>88</b>

<b>Aproveitamento energético de resíduos sólidos: um estudo sobre o combustível derivado de resíduo .....</b>	<b>92</b>
<b>Current state evaluation of solid urban waste degradation in a landfill in Pernambuco, Brazil.....</b>	<b>96</b>
<b>Elaboração de mapas de suscetibilidade à ocorrência de solos expansivos e colapsíveis no estado de Sergipe com base na pedologia .....</b>	<b>100</b>
<b>Estudo geotécnico do solo utilizado na camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos da Muribeca em Pernambuco .....</b>	<b>104</b>
<b>Numerical approach of a geotechnical scenario composed by different materials .....</b>	<b>108</b>
<b>Panorama concernente à permeabilidade dos solos arenosos .....</b>	<b>112</b>
<b>Proposta de implantação de plano de gestão integrada de resíduos sólidos em municípios de pequeno e médio portes pernambucanos com monitoramento das universidades .....</b>	<b>116</b>
<b>Validação de um algoritmo de escavação via solução analítica de Kirsch ..</b>	<b>120</b>
<b>RECURSOS HÍDRICOS .....</b>	<b>124</b>
<b>Análise da importância do modelo hidrossedimentológico SWAT na estimativa dos processos hidrológicos de bacias hidrográficas: revisão bibliográfica</b>	<b>125</b>
<b>Análise de risco de alagamentos nas áreas baixas do município de Olinda</b>	<b>129</b>
<b>Estudo de técnicas de subsídio ao mapeamento de risco de inundação em Palmares, Pernambuco.....</b>	<b>133</b>
<b>Investigação preliminar da presença do diclofenaco nas águas do Rio Ipojuca – PE e Rio Beberibe – PE.....</b>	<b>137</b>
<b>Quantificação de consumo de água por funcionário em edifício público do Recife e as consequências para o reuso de água.....</b>	<b>141</b>
<b>Variabilidade temporal da superfície do corpo hídrico: utilização do Índice De Vegetação (NDVI) na Lagoa Olho D'Água – PE .....</b>	<b>145</b>
<b>SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO ....</b>	<b>149</b>
<b>Análise Hidro-Mecânica em meios porosos utilizando Elementos Finitos de Acoplamento de malhas não conformes.....</b>	<b>150</b>
<b>Automatic Differentiation using MRST .....</b>	<b>154</b>
<b>Comparação de técnicas de modelação de completções inteligentes .....</b>	<b>158</b>
<b>Estudo das alterações físico-químicas em rochas carbonáticas sintéticas submetidas à injeção de fluidos reativos.....</b>	<b>162</b>



<b>Estudo experimental da dissolução de rochas carbonáticas sintéticas sob condições edométricas.....</b>	<b>166</b>
<b>Heterogeneous Multiscale Method .....</b>	<b>170</b>
<b>Modelo de capacitância e resistência com fluxo fracionário para recuperação secundária em reservatórios.....</b>	<b>174</b>
<b>Particle swarm algorithm for high dimension problems.....</b>	<b>178</b>
<b>Simulação de fluxo 2D em reservatório de petróleo utilizando o Método de Redução por Condensação .....</b>	<b>182</b>
<b>TECNOLOGIA AMBIENTAL.....</b>	<b>186</b>
<b>Aproveitamento e gestão de águas pluviais para fins potáveis e não potáveis em ambiente urbano .....</b>	<b>187</b>
<b>Biodegradação de anilina em condições anaeróbia e anóxicas: ecologia microbiana e influência dos íons nitrato e sulfato .....</b>	<b>191</b>
<b>Biodegradação do 2,4-Diaminoanisol (DAAN), produto reduzido de um composto insensível de munições, sob diferentes condições de oxirredução .....</b>	<b>195</b>
<b>Desenvolvimento do consórcio granular aeróbio algal-bacteriano em fotobioreatores de bateladas sequenciais para tratamento de esgotos domésticos .....</b>	<b>199</b>
<b>Digestão anaeróbia do glicerol residual visando a produção de carboxilatos de cadeia média.....</b>	<b>203</b>
<b>Eutrofização em reservatórios do semiárido brasileiro: uma visão geral ....</b>	<b>207</b>
<b>Levantamento das emissões de metano por estação de tratamento de esgoto no estado de Pernambuco.....</b>	<b>211</b>
<b>Reúso de esgoto doméstico tratado para cultivo de mudas de Capsicum Chinense .....</b>	<b>215</b>
<b>Valorização do glicerol residual para produção de 1,3-Propanodiol usando culturas mistas .....</b>	<b>219</b>
<b>TRANSPORTE E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS .....</b>	<b>223</b>
<b>Análise de fatores influentes para implantação de políticas e modos de locomoção em regiões de morro no Recife .....</b>	<b>224</b>
<b>Avaliação da eficiência ambiental do sistema de transporte brasileiro utilizando análise envoltória de dados .....</b>	<b>228</b>
<b>Escolha aeroportuária: estudo de caso da Região do Triângulo Mineiro .....</b>	<b>232</b>

**Planos de mobilidade urbana: condicionantes para efetividade por meio da governança colaborativa ..... 236**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 240**

# **ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DO PPGEC – UFPE**

## **ESTRUTURAS**

### **COORDENADOR**

Prof(a). Dr(a). Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira  
(<http://lattes.cnpq.br/7169964295024046>)

### **DOCENTES PERMANENTES**

Prof(a). Dr(a). Arnaldo Manoel Pereira Carneiro  
(<http://lattes.cnpq.br/9191655335324358>).

Prof(a). Dr(a). Bernardo Horowitz  
(<http://lattes.cnpq.br/4821122371021903>).

Prof(a). Dr(a). Paulo Marcelo Vieira Ribeiro  
(<http://lattes.cnpq.br/0171120821110850>).

Prof(a). Dr(a). Silvana Maria Bastos Afonso da Silva  
(<http://lattes.cnpq.br/3146063061089997>).

Prof(a). Dr(a). Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira  
(<http://lattes.cnpq.br/7169964295024046>).

### **ATUAÇÃO**

A área de estruturas e materiais busca desenvolver e testar novas soluções para a indústria da construção civil, resolvendo novas demandas ou desafios tecnológicos, sejam estas através de uma análise numérica, experimental ou analítica. Destaca-se na atuação desta área também a formação e capacitação humana através de cursos de especialização, mestrado e doutorado. A difusão de conhecimento também é assegurada pelas inúmeras publicações técnico científicas nos mais diversos meios, por exemplo, congressos, revistas especializadas, e reuniões técnicas.

### **MISSÃO**

Produzir conhecimento técnico-científico através da formação de recursos humanos e da excelência em pesquisa de forma a proporcionar soluções inovadoras às demandas e desafios da sociedade moderna.

### **VISÃO**

Tornar-se um Centro de Pesquisa de Referência nas Engenharias, reconhecido pela alta qualidade, pela capacidade de inovação, pelo padrão internacional e pelo sucesso profissional de seus alunos egressos.

## **VALORES**

C - CONHECIMENTO - Desenvolver talentos e habilidades técnico-científicas;  
I - INOVAÇÃO - Incentivar novas ideias, a criatividade, e o empreendedorismo;  
V - VALORIZAÇÃO - Do ser humano, do trabalho em equipe e da multidisciplinaridade;

I - INTERNACIONALIZAÇÃO - Buscar parcerias e troca de experiências com outros centros de referência pelo mundo;

L - LEGALIDADE - Responsabilidade com o Meio ambiente, com a Segurança e com a Sociedade;

## **LINHAS DE PESQUISA**

- Análise Dinâmica Teórica: Estudar o comportamento de estruturas submetidas às solicitações dinâmicas;
- Análise Experimental: Estudar o comportamento de peças estruturais, de seus materiais componentes, assim como, a recuperação destas estruturas;
- Análise Não linear: Estudar a redistribuição de esforços em estruturas tendo em conta o comportamento não linear físico e geométrico. Estudo do efeito construtivo;
- Confiabilidade Estrutural e Propagação de Incertezas;
- Estruturas de Concreto: Problemas e comportamento de estruturas de concreto;
- Novos Materiais para Construção Civil: Estudar e desenvolver materiais visando a autossustentabilidade do ambiente construído. Estudar o material, formação de um composto e realização de ensaios;
- Otimização Estrutural: Modelagem de problemas estruturais de análise e dimensionamento de estruturas com problemas de otimização; minimização de funções sujeitas a restrições;
- Segurança contra Incêndio: Estudar o comportamento de estruturas e de seus materiais componentes em situação de incêndio. Assim como, a dinâmica do incêndio em edificações e soluções correlacionadas.

## **IMPORTÂNCIA DO GRUPO PARA A SOCIEDADE**

Verifica-se ainda hoje uma grande carência regional de Centros de ensino e pesquisa para a formação de pesquisadores e profissionais de Engenharia Civil, capazes de resolver novas demandas e desafios tecnológicos. Em particular no Norte e Nordeste do país.

Como primeiro passo para suprir esta carência o Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco implantou em 1992 o curso de mestrado em Engenharia Civil, inicialmente na área de Geotecnia e o ampliando em 1995 com a área de Estruturas. A seguir, outras áreas foram criadas como em 1998 a área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Já em 2000, foi implantado o doutorado em Engenharia Civil nas áreas de Geotecnia e Estruturas. Ainda hoje este é o único doutorado em Estruturas no Norte e Nordeste do país.

## **PRINCIPAIS PRODUÇÕES DOS ÚLTIMOS 5 ANOS**

FERREIRA, R. L. S. ; BARROS, I. M. S. ; COSTA, T. C. S. ; MEDEIROS, M. ; SA, M. V. V. A. ; CARNEIRO, ARNALDO M. P. . Efeitos do uso de areia de praia nas propriedades de argamassas mistas: análise da variação granulométrica. Materia-Rio de Janeiro **JCR**, v. 24, p. 1, 2019.

MOTA, JOÃO MANOEL FREITAS ; OLIVEIRA, Romilde Almeida de ; CARNEIRO, ARNALDO MANUEL PEREIRA . Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria. Matéria (UFRJ) **JCR**, v. 21, p. 1105-1116, 2016

Nóbrega, Aline ; CARNEIRO, A. M. P. ; A ; MAURO SARDELA . Hardened Properties of Lime Based Mortars Produced from Kaolin Wastes. Key Engineering Materials (Online) **JCR**, v. 600, p. 282-296, 2014.

DE AZEREDO, ALINE F. NÓBREGA ; STRUBLE, LESLIE J. ; CARNEIRO, ARNALDO M. P. . Microstructural characteristics of lime-pozzolan pastes made from kaolin production wastes. Materials and Structures **JCR**, v. 1, p. 1-12, 2014.

BERNARDO, L. F. A. ; LYRIO, A. R. B. ; SILVA, J. R. B. ; HOROWITZ, B. . Refined Softened Truss Model with Efficient Solution Procedure for Prestressed Concrete Membranes. JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING **JCR**, v. 144, p. 04018045-12, 2018.

TUEROS, JUAN ALBERTO ROJAS ; Horowitz, Bernardo ; WILLMERSDORF, RAMIRO BRITO ; DE OLIVEIRA, DIEGO FELIPE BARBOSA . Non-distance-based localization techniques for ensemble-based waterflooding optimization. JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING **JCR**, v. 170, p. 440-452, 2018.

BERNARDO, LUÍS FILIPE ALMEIDA ; CERQUIDO, BERNARDO MIGUEL DIAS ; DE BARROS SILVA, JORDLLY REYDSON ; Horowitz, Bernardo . Efficient refined rotating-angle softened truss model procedure to analyze reinforced concrete membrane elements. Structural Concrete **JCR**, v. 19, p. 1971-1982, 2018.

SILVA, JORDLLY R. B. ; Horowitz, Bernardo ; BERNARDO, LUÍS F. A. . Efficient Analysis of Beam Sections Using Softened Truss Model. ACI STRUCTURAL JOURNAL **JCR**, v. 114, p. 765-774, 2017.

DE OLIVEIRA, LEONARDO CORREIA ; AFONSO, SILVANA M. B. ; Horowitz, Bernardo . Global/local optimization strategies combined for waterflooding problems. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso) **JCR**, v. 38, p. 2051-2062, 2015.

PEREIRA, L. C. ; GUIMARÃES, L. J. N. ; HOROWITZ, B. ; SANCHEZ, M. . Coupled hydro-mechanical fault reactivation analysis incorporating evidence theory for uncertainty quantification. Computers and Geotechnics **JCR**, v. 56, p. 202-215, 2014.

LIRA, JOSÉ DÁSIO ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; AFONSO, SILVANA M. B. ; Horowitz, Bernardo . Automatic history matching considering surrogate-based optimization and Karhunen-Loève expansions. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering **JCR**, v. 37, p. 1, 2014.

FERREIRA, A. C. A. ; RIBEIRO, P. M. V. . Reduced-order strategy for meshless solution of plate bending problems with the generalized finite difference method. Latin American Journal of Solids and Structures **JCR**, v. 16, p. 1-21, 2019.

RIBEIRO, P. M. V.; PEDROSO, L. J. . Dynamic Response of Dam-Reservoir Systems: Review and a Semi-Analytical Proposal. Latin American Journal of Solids and Structures **JCR**, v. 14, p. 594-612, 2017.

RIBEIRO, P. M. V.; PEDROSO, L. J. . Uma abordagem com superposição modal para problemas de interação fluido-estrutura. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería **JCR**, v. 144, p. 1-12, 2015

SOARES, ELDER ; BRUÈRE, VIVIANNE MARIE ; AFONSO, SILVANA M.B. ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; LYRA, PAULO R.M. ; BOUCHONNEAU, NADÈGE . Structural integrity analysis of pipelines with interacting corrosion defects by multiphysics modeling. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS **JCR**, v. 97, p. 91-102, 2019.

BOUCHONNEAU, N. ; BRUERE, V. M. ; MOTTA, R. S. ; Afonso, S. M. B ; WILLMERSDORF, R. B. ; LYRA, Paulo R M ; TORRES, Juliana Von S ; ANDRADE, E. Q. ; CUNHA, D. J. S. . Failure pressure prediction of corroded pipes under combined internal pressure and axial compressive force. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering **JCR**, v. 41, p. 172-182, 2019.

FERREIRA, FÁBIO M. G. ; LAGES, EDUARDO N. ; Afonso, Silvana M. B. ; Lyra, Paulo R. M. . Using DOE and design optimization to determine statically equivalent mooring system on truncated water depth. JOURNAL OF OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME **JCR**, v. 1, p. 1-20, 2017.

CABRAL, HÉLDER L. D. ; MOTTA, RENATO S. ; Afonso, Silvana M. B. ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; Lyra, Paulo R. M. ; DE ANDRADE, EDMUNDO Q. . The development of a computational tool for generation of high quality FE models of pipelines with corrosion defects. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering **JCR**, v. 39, p. 3137-3150, 2017.

MOTTA, RENATO S. ; CABRAL, HÉLDER L.D. ; AFONSO, SILVANA M.B. ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; BOUCHONNEAU, NADÈGE ; LYRA, PAULO R.M. ; DE ANDRADE, EDMUNDO Q. . Comparative studies for failure pressure prediction of corroded pipelines. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS **JCR**, v. 1, p. 1-20, 2017.

FERREIRA, FÁBIO M.G. ; LAGES, EDUARDO N. ; AFONSO, SILVANA M.B. ; LYRA, PAULO R.M. . Dynamic design optimization of an equivalent truncated mooring system. *Ocean Engineering JCR*, v. 122, p. 186-201, 2016.

MOTTA, RENATO DE S. ; Afonso, Silvana M. B. . An efficient procedure for structural reliability-based robust design optimization. *STRUCTURAL AND MULTIDISCIPLINARY OPTIMIZATION JCR*, v. 54, p. 511-530, 2016.

ANTUNES, A. R. E. ; LYRA, Paulo R M ; WILLMERSDORF, R. B. ; Afonso, S. M. B. . An implicit monolithic formulation based on finite element formulation for incompressible Navier-Stokes equations. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso) JCR*, v. 37, p. 199-210, 2015.

MOTTA, R. S. ; Afonso, S. M. B ; LYRA, Paulo R M ; WILLMERSDORF, R. B. . Development of a computational efficient tool for robust structural optimization. *Engineering Computations JCR*, v. 32, p. 258-288, 2015.

Filho P.U. ; Afonso, S. M. B ; ANTUNES, A. R. E. ; LYRA, Paulo Roberto Maciel . Minimization of vortex induced vibrations using Surrogate Based Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization (Print) JCR*, p. 1-21, 2015.

INNOCENTE, M. S. ; Afonso, S. M. B ; SIENZ, J. ; DAVIES, H. M. . Particle Swarm Algorithm with Adaptive Constraint Handling and Integrated Surrogate Model for the Management of Petroleum Fields. *Applied Soft Computing (Print) JCR*, v. 34, p. 463-484, 2015.

DE OLIVEIRA, LEONARDO CORREIA ; Afonso, Silvana M. B. ; HOROWITZ, Bernardo . Global/local optimization strategies combined for waterflooding problems. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso) JCR*, v. 1, p. 1-12, 2015.

RODRIGUES, JOÃO PAULO C. ; CORREIA, ANTONIO J.M. ; PIRES, Tiago A.C. . Behaviour of composite columns made of totally encased steel sections in fire. *Journal of Constructional Steel Research JCR*, v. 105, p. 97-106, 2015.

## **PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS**

### *PARCERIAS NACIONAIS*

- Instituto Sprinkler Brasil (ISB)
- Lajeiro Gesso Ltda
- Cimento Poty Paulista – Votorantim
- Cimento Nacional – Brennand
- Supermix Concreto

### *PARCERIAS INTERNACIONAIS*

- Universidade de Coimbra – Portugal



# **GEOTECNIA**

## **COORDENADOR**

Prof. Dr. Leonardo José do Nascimento Guimarães  
(<http://lattes.cnpq.br/3821425977868488>)

## **DOCENTES PERMANENTES**

Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá  
(<http://lattes.cnpq.br/4911355639660442>)

Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes  
(<http://lattes.cnpq.br/7454305406070791>)

Prof. Dr. Leonardo José do Nascimento Guimarães  
(<http://lattes.cnpq.br/3821425977868488>)

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho  
(<http://lattes.cnpq.br/3644581240048018>)

Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira  
(<http://lattes.cnpq.br/8035357058902261>)

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho  
(<http://lattes.cnpq.br/3333925962323676>)

## **ATUAÇÃO**

### *COMPORTAMENTO DE SOLOS SATURADOS E NÃO-SATURADOS*

Estudo e desenvolvimento de modelos teóricos de comportamento e determinação de parâmetros geotécnicos dos solos. Ensaios de campo e laboratório. Aplicação dos resultados aos solos da região (argilas moles, solos colapsíveis e expansivos).

### *GEOTECNIA AMBIENTAL*

Nos últimos anos tem se verificado uma grande preocupação, a nível internacional, com os impactos ambientais. O objetivo desta linha é avaliar os problemas causados pelas modificações feitas no meio ambiente, analisar suas causas e propor soluções geotécnicas.

### *MODELAGEM E SIMULAÇÃO NUMÉRICA*

Aplicação de métodos numéricos de simulação baseados em formulações acopladas, capazes de reproduzir o comportamento complexo de geomateriais, tais

como, engenharia de petróleo, comportamento elastoplástico de solos não saturados e hidrologia subterrânea.

### *ESTUDOS GEOTÉCNICOS DE ENCOSTAS E PLANÍCIES*

Aterro sobre solos mole, aplicação a projetos de fundações, análise de estabilidade de encostas, fundações em solos não-saturados.

### **MISSÃO**

Nossa missão é a formação de recursos humanos de alto nível na Engenharia Geotécnica, dotando o estudante de ferramentas numéricas e experimentais para análise dos diversos tipos de obras de terra e dos impactos destas no meio ambiente.

### **VISÃO**

Estamos atentos ao exponencial aumento da ocupação espacial do homem em função do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico. Isso leva a obras cada vez mais ousadas em terrenos cada vez mais complexos, impondo grandes desafios aos engenheiros geotécnicos do futuro.

### **VALORES**

Formar recursos humanos dentro de valores éticos que possam contribuir com a sociedade de forma a suprir suas demandas e desafios tecnológicos em um mundo em transformação respeitando o meio ambiente, objeto de trabalho intrínseco do engenheiro geotécnico.

### **LINHAS DE PESQUISA**

- Comportamento de Solos Saturados e Não-Saturados;
- Geotecnia Ambiental;
- Modelagem e Simulação Numérica;
- Estudos Geotécnicos de Encostas e Planícies.

### **IMPORTÂNCIA DO GRUPO PARA A SOCIEDADE**

A Geotecnia é o campo da Engenharia Civil que trata do comportamento dos solos e rochas e como estes materiais reagem às ações antrópicas e da natureza. Assim, o grupo de geotecnia é importante para sociedade à medida que especializa alunos nessa área para que possam atuar nas diversas atividades relacionadas a obras de terra e impacto da atividade humana no meio ambiente principalmente relacionadas ao subsolo. Neste sentido, grupo realiza pesquisas voltadas aos desenvolvimentos de técnicas numéricas e experimentais que promovam avanços nas seguintes áreas de atuação: análise de estabilidade de encostas, problemas de solos

colapsíveis e expansivos, disposição de resíduos domésticos e industriais, análise numérica de problemas geotécnicos.

## **PRINCIPAIS PRODUÇÕES**

Silva, A. C. ; FUCALE, S. P. ; FERREIRA, S. R. M. . Efeito da adição de resíduos de construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso. *Materia-Rio de Janeiro*, v. 24, p. 1-12, 2019.

MENEZES, L. C. P. ; SOUZA, D. B. ; Fucale, S.S. ; S. R. M. Ferreira . Analysis of the physical-mechanical behavior of clayey sand soil reinforced with coir fibers.. *SOILS & ROCKS*, v. 42, p. 31-42, 2019.

BORGES, J. J. S ; FREIRAS, M. L. R. A. ; FERREIRA, S. R. M. . Variação do Módulo de Elasticidade de um solo colapsível de Petrolina-PE com e sem inundação. *Materia-Rio de Janeiro*, v. 22, p. 1-10, 2018.

KELM, M. A. P. ; SILVA JUNIOR, M. J. ; HOLANDA, S. H. B. ; ARAUJO, C.M.B. ; ASSIS FILHO, R. B. ; JAGUARIBE, E. F. ; SANTOS, D. R. ; DA MOTTA, M. A. . Removal of azo dye from water via adsorption on biochar produced by the gasification of wood wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 1, 2019.

ASSIS FILHO, R. B. ; ARAUJO, C.M.B. ; BAPTISTTELLA, A. M. S. ; BATISTA, E. B. ; BARATA, R. A. ; GHISLANDI, M. G. ; da Motta, Mauricio . Environmentally friendly route for graphene oxide production via electrochemical synthesis focused on the adsorptive removal of dyes from water. *ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, v. 40, p. 1-43, 2019.

Oliveira, E.H.C ; FRAGA, D. M. S. M. ; SILVA, M. P. ; FRAGA, Tiago José Marques ; GHISLANDI, M. G. ; CARVALHO, Marilda Nascimento ; FREIRE, ELEONORA MARIA PEREIRA DE LUNA ; da Motta, Mauricio . Removal of toxic dyes from aqueous solution by adsorption onto highly recyclable xGnP® graphite nanoplatelets. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING*, v. 7, p. 103001, 2019.

A.I. Oliveira Jr ; JUCÁ, José Fernando Thomé ; J.A. Ferreira ; L.C. Guilherme . Geotechnical behavior and soil-fiber interaction of a clayey soil mixed with randomly dispersed coconut fibers. *SOILS & ROCKS*, v. 42, p. 031-041, 2019.

LINS, Eduardo Antônio Maia ; JUCÁ, José Fernando Thomé ; LINS, Cecília Maria Mota ; FIRMO, Alessandra Lee Barbosa . Proposition and evaluation of an experimental system of physical and chemical processes for treatment of leachate. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, v. 58, p. 39-45, 2019.

COSTA, M. D. ; MARIANO, M. O. H. ; ARAUJO, L. B. ; JUCA, JOSE FERNANDO THOME . Estudos laboratoriais para avaliação de desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação a redução de emissões de gases e infiltrações. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 23, p. 75-88, 2018.

MANZOLI, OSVALDO L. ; CLETO, PEDRO R. ; SÁNCHEZ, MARCELO ; GUIMARÃES, LEONARDO J.N. ; MAEDO, MICHAEL A. . On the use of high aspect ratio finite elements to model hydraulic fracturing in deformable porous media. COMPUTER METHODS IN APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING, v. 350, p. 57-80, 2019.

MANZOLI, OSVALDO ; SÁNCHEZ, MARCELO ; MAEDO, MICHAEL ; HAJJAT, JUMANAH ; Guimarães, Leonardo J. N. . An orthotropic interface damage model for simulating drying processes in soils. Acta Geotechnica, v. 1, p. 1-16, 2017.

LINS, C. M. M. S. ; SILVA, N. V. S. ; GUIMARÃES, L. do N. ; AMORIM, A. F. L. ; GOMES, I. F. . Numerical and Experimental Analysis of Horizontal Stress Changes and Soil Collapse During Chemical Dissolution in a Modified Oedometer Cell. Soils & Rocks, v. 39, p. 19-27, 2016.

FABIN, C. E. ; CORREIA FILHO, O. J. ; ALENCAR, M. L. ; Barbosa, J. A. ; MIRANDA, T. S ; NEUMANN, V. H. ; GOMES, I. F. ; SANTANA, F. R. . Stratigraphic Relations of the Ipubi Formation: Siliciclastic-Evaporitic Succession of the Araripe Basin. ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS (ONLINE), v. 90, p. 2049-2071, 2018.

SILVA, R. P. ; ROLIM, M. M. ; GOMES, I. F. ; PEDROSA, E. M. ; TAVARES, U. E. ; SANTOS, A. N. . Numerical modeling of soil compaction in a sugarcane crop using the finite element method. SOIL & TILLAGE RESEARCH, v. 181, p. 1-10, 2018.

MIRANDA, T. S ; SANTOS, R. F. V. C. ; Barbosa, J. A. ; GOMES, I. F. ; ALENCAR, M. L. ; CORREIA FILHO, O. J. ; FALCAO, T. ; GALE, J. ; NEUMANN, V. H. . Quantifying aperture, spacing and fracture intensity in a carbonate reservoir analogue: Crato Formation, NE Brazil. MARINE AND PETROLEUM GEOLOGY, v. 97, p. 556-567, 2018.

COUTINHO, ROBERTO QUENTAL; SILVA, MARILIA MARY ; SANTOS, AMABELLI NUNES DOS ; LACERDA, Willy Alvarenga . Geotechnical Characterization and Failure Mechanism of Landslide in Granite Residual Soil. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, v. 145, p. 05019004, 2019.

Ribeiro, N.A. ; COUTINHO, Roberto Quental ; BATISTA, L. F. D. R. . Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE.. REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 21, p. 377-390, 2016.

GUEDES, S. B. ; COUTINHO, Roberto Quental ; FONSECA, A. J. P. V. . Detalhes Sobre os Ensaios de Compressão Não Confinada e Tração por Compressão Diametral. Geotecnia (Lisboa), v. 136, p. 127-142, 2016.

## **PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS**

### *PARCERIAS NACIONAIS*

- COPPE/UFRJ
- Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC
- Universidade de Brasília
- Universidade de São Paulo
- PUC-RJ
- UFRN
- UFPB
- UFCG
- UFAL
- Petrobras

### *PARCERIAS INTERNACIONAIS*

- Texas A&M University – EUA
- Universidad Politécnica da Catalunya – Espanha
- Heriot-Watt University – Escócia
- University of Glasgow – Escócia
- École des Ponts ParisTech · Navier, CERMES - França
- Energi Simulation – Canadá

# **SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO**

## **COORDENADOR**

Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes  
(<http://lattes.cnpq.br/7454305406070791>).

## **DOCENTES PERMANENTES**

Prof. Dr. Bernardo Horowitz  
(<http://lattes.cnpq.br/4821122371021903>)

Prof. Dr. Darlan Karlo Elisário de Carvalho  
(<http://lattes.cnpq.br/9033828541812842>)

Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes  
(<http://lattes.cnpq.br/7454305406070791>)

Prof. Dr. Leonardo José do Nascimento Guimarães  
(<http://lattes.cnpq.br/3821425977868488>)

Prof. Dr. Paulo Roberto Maciel Lyra  
(<http://lattes.cnpq.br/6568615406054840>)

Prof. Dr. Ramiro Brito Willmersdorf  
(<http://lattes.cnpq.br/8965627710203749>)

Profa. Dra. Silvana Maria Bastos Afonso da Silva  
(<http://lattes.cnpq.br/3146063061089997>)

## **ATUAÇÃO**

O objetivo da Área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo é de atuar no fomento à pesquisa voltada à indústria petrolífera com expertise na área de produção, atuando no estudo dos meios de melhoria da produção que envolvem simulação numérica, geomecânica e de gerenciamento de reservatórios. Com um caráter multidisciplinar, as ações de pesquisa integram-se à área de exploração, considerando a integração geologia-engenharia com abrangência em métodos geológicos, geofísicos e geoquímicos. De uma forma geral busca-se a simulação computacional de reservatórios com ênfase em formulações numéricas, controle, otimização e gerenciamento da produção sob condições de incerteza, baseada em dados geológicos, contemplando estudos multifísicos (termo-hidro-mecânico e químico), e experimentais da interação rocha-fluido.

## **MISSÃO**

A missão da área é a formação de recursos humanos e desenvolvimento de pesquisas de alto nível voltadas aos desafios da engenharia de reservatórios de petróleo envolvendo uma abordagem multifísica e multidisciplinar com ênfase em áreas como Revitalização de Campos Maduros, Gerenciamento, Simulação e Geomecânica de Reservatórios, Computação Científica e Visualização.

## **VISÃO**

Desenvolvimento de profissionais e de produtos de reconhecida excelência acadêmica, técnica e ética, preparando pesquisadores capacitados e produtivos para atuação no mercado de trabalho e na sociedade.

## **VALORES**

A área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios acredita que a integridade, o respeito e a responsabilidade são essenciais para a realização de sua missão e para a sustentação de sua visão, considerando a ação coordenada e sinérgica fundamentais no desenvolvimento das atividades de pesquisa, inovação, ensino e extensão, em diversas áreas da cadeia produtiva da indústria do petróleo e gás.

## **LINHAS DE PESQUISA**

- Formulações Numéricas e Ferramentas Computacionais na Simulação de Reservatórios: ênfase no desenvolvimento e implementação, em programas computacionais, de novas formulações numéricas eficientes aplicadas à simulação de escoamento em reservatórios de petróleo muito heterogêneos e anisotrópicos, geradores de malhas estruturadas e não estruturadas, análise de erros e adaptação de malhas, além da implementação de pré condicionadores, técnicas de aceleração e convergência;
- Gerenciamento Ótimo de Reservatórios: desenvolvimento de modelos, metodologias e algoritmos para problemas de otimização baseados em simulação numérica de escoamento em reservatórios de petróleo aplicados a problemas de gerenciamento de reservatórios no período de concessão;
- Modelagem Geomecânica de Reservatórios: aplicação e desenvolvimento de ferramentas numéricas para simulação de reservatórios de petróleo sensíveis ao estado de tensões incluindo mudanças nas propriedades da rocha reservatório e capeadora decorrentes de alterações no campo de pressão, temperatura e concentrações no meio poroso (acoplamento termo-hidro-mecânico e químico);
- Propagação de Incertezas na Simulação de Reservatórios: desenvolvimento de algoritmos, técnicas e ferramentas computacionais para propagação de incertezas em reservatórios de petróleo considerando o uso de uma descrição probabilística das propriedades do reservatório para representar de maneira quantitativa a incerteza associada a elas.

## IMPORTÂNCIA DO GRUPO PARA A SOCIEDADE

Dada a crescente demanda e importância da indústria do Petróleo, nos cenários internacional e nacional, como indutor do desenvolvimento científico e tecnológico das nações, no Brasil, e mais especificamente na região Nordeste com a implantação e consolidação das Unidades de Negócio da PETROBRAS (Bahia, Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará), aliada à implantação de novas unidades industriais – a exemplo das Refinarias Abreu e Lima – RNEST (Suape - PE), Premium-I (Bacabeira-MA) e Premium-II (Caucaia-CE), evidencia-se a Área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo como um núcleo de atuação em pesquisas e formação de recursos humanos qualificados. Diante disto, a integração do PPGEC/CTG/UFPE com a indústria, governo e sociedade, permite uma adequada execução das diferentes atividades da pesquisa científica direcionadas para o desenvolvimento de processos/tecnologias na produção em reservatórios de petróleo, bem como aplicações e impactos sociais, econômicos e ambientais na cadeia produtiva de petróleo e gás.

## PRINCIPAIS PRODUÇÕES

SOARES, ELDER ; BRUÈRE, VIVIANNE MARIE ; AFONSO, SILVANA M.B. ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; LYRA, PAULO R.M. ; BOUCHONNEAU, NADÈGE . Structural integrity analysis of pipelines with interacting corrosion defects by multiphysics modeling. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS **JCR**, v. 97, p. 91-102, 2019.

BOUCHONNEAU, N. ; BRUERE, V. M. ; MOTTA, R. S. ; Afonso, S. M. B ; WILLMERSDORF, R. B. ; LYRA, Paulo R M ; TORRES, Juliana Von S ; ANDRADE, E. Q. ; CUNHA, D. J. S. . Failure pressure prediction of corroded pipes under combined internal pressure and axial compressive force. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering **JCR**, v. 41, p. 172-182, 2019.

SOUZA, M. R. A.; CONTRERAS F. R. L.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. A Higher Resolution Flow Oriented Scheme with an Adaptive Correction Strategy for Distorted Meshes Coupled with a Robust MPFA-D Method for the Numerical Simulation of Two-Phase Flows in Heterogeneous and Anisotropic Petroleum Reservoirs (SPE-182677-PA). Spe Journal, v. Prepri, p. 1, 2018.

TUEROS, JUAN ALBERTO ROJAS ; Horowitz, Bernardo ; WILLMERSDORF, RAMIRO BRITO ; DE OLIVEIRA, DIEGO FELIPE BARBOSA . Non-distance-based localization techniques for ensemble-based waterflooding optimization. JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING **JCR**, v. 170, p. 440-452, 2018.

BARBOSA, L. M. C.; ANTUNES, A. R. E.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. An Iterative Modified Multiscale Control Volume Method For The Simulation Of Highly Heterogeneous Porous Media Flow. JOURNAL OF THE BRAZILIAN SOCIETY OF MECHANICAL SCIENCES AND ENGINEERING (ONLINE), v. 40, p. 40-71, 2018.



SILVA, R. P. ; ROLIM, M. M. ; GOMES, I. F. ; PEDROSA, E. M. ; TAVARES, U. E. ; SANTOS, A. N. . Numerical modeling of soil compaction in a sugarcane crop using the finite element method. SOIL & TILLAGE RESEARCH, v. 181, p. 1-10, 2018.

MANZOLI, O.; SÁNCHEZ, M.; MAEDO, M.; HAJJAT, J.; GUIMARÃES, L. J. N. An orthotropic interface damage model for simulating drying processes in soils. Acta Geotechnica, v. 1, p. 1-16, 2017.

FERREIRA, F. M. G.; LAGES, E. N.; AFONSO, S. M.; LYRA, P. R. M. Using DOE and design optimization to determine statically equivalent mooring system on truncated water depth. Journal Of Offshore Mechanics And Arctic Engineering-Transactions Of The Asme, v. 139, p. 1-16, 2017.

MOTTA, R. S.; CABRAL, H. L. D.; AFONSO, S. M. B.; WILLMERSDORF, R. B.; BOUCHONNEAU, N.; LYRA, P. R. M.; DE ANDRADE, EDMUNDO Q. Comparative studies for failure pressure prediction of corroded pipelines. Engineering Failure Analysis, v. 81, p. 178-192, 2017.

CABRAL, H. L. D.; MOTTA, R. S.; AFONSO, S. M. B.; WILLMERSDORF, RAMIRO B.; LYRA, P. R. M.; DE ANDRADE, E. Q. The development of a computational tool for generation of high quality FE models of pipelines with corrosion defects. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 39, p. 3137-3150, 2017.

RAMIREZ, G. G.; SOUZA, M. R. A.; CARVALHO, D. K. E.; LYRA, P. R. M. Numerical simulation of 1-D oil and water displacements in petroleum reservoirs using the spectral finite volume method. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 1, p. 1-14, 2017.

LINS, C.; A., LIMA; GUIMARÃES, L. N.; LINS, E. M.; GALINDO, K. B. T.; AMORIM, Samuel França. Analysis of Time Evolution of Horizontal Stress and Soil Collapse During Chemical Dissolution. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 21, p. 655-666, 2016.

SILVA, R. S.; LYRA, P. R. M.; WILLMERSDORF, R. B.; Carvalho, D. K. E. A Higher Resolution Edge-Based Finite Volume Method For The Simulation Of The Oil-Water Displacements In Heterogeneous And Anisotropic Porous Media Using A Modified Impes Method. International Journal For Numerical Methods In Fluids (Print), v. 1, p. 1-65, 2016.

FERREIRA, FÁBIO M.G. ; LAGES, EDUARDO N. ; AFONSO, SILVANA M.B. ; LYRA, PAULO R.M. . Dynamic design optimization of an equivalent truncated mooring system. Ocean Engineering **JCR**, v. 122, p. 186-201, 2016.

SOUZA, M.R.A.; CONTRERAS, F.R.L.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. A Modified Flow Orientation Scheme Coupled With A Robust Mpfa-Diamond For The Solution Of Two-Phase Flow In Highly Anisotropic Petroleum Reservoirs. Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia, v. 2, p. 177-193, 2016.

CONTRERAS, F.R.L.; SOUZA, M.R.A.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. A MPFA Method Using Harmonic Points Coupled To A High Order Modified Optimal

Order Detection Method (MOOD) For The Simulation Of Oil-Water Displacements In Petroleum Reservoirs. REVISTA INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM ENGENHARIA, v. 2, p. 76-95, 2016.

BARBOSA, L. M. C.; CARVALHO, D. K. E.; LYRA, P. R. M.; Antunes, A. R. E. Método De Volumes Finitos Multiescala Parareservatórios Heterogêneos E Anisotrópicos. Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia, v. 2, p. 127-144, 2016.

BRUM, B. S.; PERESTRELO, C. S. F.; SOUZA, M.R.A.; CONTRERAS, F.R.L.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. Um esquema de volumes finitos MPFA-O para a simulação de escoamentos em reservatórios naturalmente fraturados em 2-D utilizando um modelo de fraturas com dimensão reduzida. Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia, V.2, p. 157-176, 2016.

CINTRA, D. T.; WILLMERSDORF, R. B.; LYRA, P. R. M.; LIRA, W. W. M. A parallel DEM approach with memory access optimization using HSFC. Engineering Computations, v. 33, p. 2463-2488, 2016.

CINTRA, D. T.; WILLMERSDORF, R B; LYRA, P. R. M.; LIRA, W. W. M. A hybrid parallel DEM approach with workload balancing based on HSFC. Engineering Computations, v. 33, p. 2264-2287, 2016.

PEREIRA, L. C.; SÁNCHEZ, M. ; GUIMARÃES, L. J. N. Uncertainty quantification for reservoir geomechanics. Geomechanics for Energy and the Environment, v. 8, p. 76-84, 2016.

SÁNCHEZ, M.; FALCÃO, F.; MACK, M.; PEREIRA, J. M.; NARSILIO, G. A.; GUIMARÃES, L. Salient comments from an expert panel on energy geotechnics. Environmental Geotechnics, v. 3, p. 1-8, 2016.

LINS, C. M. M. S. ; SILVA, N. V. S. ; GUIMARÃES, L. do N. ; AMORIM, A. F. L. ; GOMES, I. F. . Numerical and Experimental Analysis of Horizontal Stress Changes and Soil Collapse During Chemical Dissolution in a Modified Oedometer Cell. SOILS & ROCKS, v. 39, p. 19-27, 2016.

JIN, M.; RIBEIRO, A.; MACKAY, E.; GUIMARÃES, L.; BAGUDU, U. Geochemical modelling of formation damage risk during CO<sub>2</sub> injection in saline aquifers. Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 35, p. 703-719, 2016.

SANTOS, R. F. V. C. ; MIRANDA, T. S. ; BARBOSA, J.A. ; GOMES, I. F. ; MATOS, G ; GALE, J ; NEUMANN, V. H. M. L. ; GUIMARÃES, L. N. . Characterization Of Natural Fractures Systems: Analysis Of Uncertainty Effects In Linear Scanline Results. AAPG Bulletin (Print), v. 99, p. 2203-2219, 2015.

DE OLIVEIRA, LEONARDO CORREIA ; AFONSO, SILVANA M. B. ; Horowitz, Bernardo . Global/local optimization strategies combined for waterflooding problems. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso) JCR, v. 38, p. 2051-2062, 2015.

CONTRERAS F. R. L.; ARAUJO, M. S.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. A Cell-Centered Multipoint Flux Approximation Method With A Diamond Stencil Coupled With A Higher Order Finite Volume Method For The Simulation Of Oilwater Displacements In Heterogeneous And Anisotropic Petroleum Reservoirs. *Computers & Fluids*, v. 127, p. 1-16, 2015.

PORTO FILHO, U.; ANTUNES, A. R. E.; BASTOS, S. M. A.; LYRA, P. R. M. Minimization of vortex induced vibrations using Surrogate Based Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization (Internet)*, v. 1, p.1, 2015.

ANTUNES, A. R. E.; LYRA, P. R. M.; WILLMERSDORF, R. B.; BASTOS, S. M. A. An implicit monolithic formulation based on finite element formulation for incompressible Navier-Stokes equations. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso)*, p. 199-210, 2014.

PEREIRA, L. C. ; GUIMARÃES, L. J. N. ; HOROWITZ, B. ; SANCHEZ, M. . Coupled hydro-mechanical fault reactivation analysis incorporating evidence theory for uncertainty quantification. *Computers and Geotechnics JCR*, v. 56, p. 202-215, 2014.

LIRA, JOSÉ DÁSIO ; WILLMERSDORF, RAMIRO B. ; AFONSO, SILVANA M. B. ; Horowitz, Bernardo . Automatic history matching considering surrogate-based optimization and Karhunen-Loève expansions. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering JCR*, v. 37, p. 1, 2014.

QUEIROZ, L. E. S.; ARAUJO, M. S.; CONTRERAS F. R. L.; LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. On The Accuracy Of A Non-Linear Finite Volume Method For The Solution Of Diffusion Problems Using Different Interpolations Strategies. *International Journal For Numerical Methods In Fluids (Print)*, v. 74, p. 270-294, 2014.

## **PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS**

### *PARCERIAS NACIONAIS*

- Petrobras
- Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
- Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC
- Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE
- Universidade de Brasília - UnB
- Universidade Federal de Alagoas - UFAL
- Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
- Universidade Estadual Paulista - Unesp Baurú
- Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
- Universidade Federal da Paraíba - UFPB

### *PARCERIAS INTERNACIONAIS*

- Energi Simulation
- EquionEnergia Limited
- Heriot-Watt University (Edinburgh Campus);

- Texas A & M University (College Station, TX).
- University of Swansea
- University of Texas at Austin

# TECNOLOGIA AMBIENTAL

## COORDENADOR

Profa. Dra. Sávia Gavazza  
(<http://lattes.cnpq.br/3117559199438663>)

## DOCENTES PERMANENTES

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato  
(<http://lattes.cnpq.br/3087677954298076>)

Profa. Dra. Lourdinha Florencio  
(<http://lattes.cnpq.br/9481193101590250>)

Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral  
(<http://lattes.cnpq.br/4167833928991356>)

Prof. Dr. Wanderli Moreira Leite  
(<http://lattes.cnpq.br/9563775970871734>)

## DOCENTES COLABORADORES

Profa. Dra. Bruna Soares Fernandes  
(<http://lattes.cnpq.br/5781583265737346>)

## DOCENTES VISITANTES INTERNACIONAIS

Profa. Dra. Marianna Siegmund-Schultze - Technische Universitat Berlin  
(Alemanha)

Prof. Dr. Jose Luis Sanz – Universidade Autonoma de Madri (Espanha)

Prof. Dr. Jim Spain - University of West Florida (USA)

Prof. Dr. Yanling He – Xian Jiaotong University (China)

## ATUAAO

A área de Tecnologia ambiental atua na formaao de recursos humanos por meio da conduao de pesquisas com foco no desenvolvimento de processos, produtos e serviços para atendimento das demandas atuais nas áreas de gestão ambiental, tratamento e reuso de efluentes domésticos e industriais, produao de compostos de valor agregado associado a partir de resíduos, remoao e recuperaao de nutrientes de águas residuárias, biorremediaao de áreas degradadas, além de isolamento e aplicaao de microrganismos.

## **MISSÃO**

A missão da área de Tecnologia Ambiental é formar recursos humanos nos níveis de mestrado e doutorado, que contribuam para o enfrentamento dos desafios ambientais do mundo globalizado, especialmente no aprimoramento tecnológico, por meio da realização de pesquisas, parcerias e eventos de capacitação.

## **VISÃO**

A área de Tecnologia Ambiental visa ser referência nacional e internacional no desenvolvimento de pesquisas, processos, produtos e instrumentos de gestão ambiental, focados na capacitação e formação, liderando avanços de excelência acadêmica, expandindo conhecimento e preparando líderes empreendedores, éticos e resilientes.

## **VALORES**

A área de Tecnologia Ambiental tem a firme convicção de que o desenvolvimento da pesquisa colaborativa com respeito, responsabilidade, inovação e integridade, são essenciais para a realização da sua missão e sustentação de sua visão, sempre voltados para as demandas locais, nacionais e internacionais.

## **LINHAS DE PESQUISA**

- Gestão Ambiental: Planejamento e gerenciamento ambiental de bacia hidrográfica; gerenciamento integrado de aquíferos; modelagem de fluxo e poluição de aquíferos; qualidade do ar, das águas e do solo;
- Tecnologia Ambiental: Tratamento e pós-tratamento de águas residuárias (aeróbio e anaeróbio); reuso de águas e lodo de efluentes domésticos e industriais tratados; remoção de nutrientes; produção de compostos de valor agregado associado a partir de resíduos; bioenergia e bioprodutos; microbiologia; biorremediação.

## **IMPORTÂNCIA DO GRUPO PARA A SOCIEDADE**

A área de Tecnologia Ambiental atua no desenvolvimento de estudos para apoiar a sociedade na obtenção de soluções em produtos e processos, para atendimento de problemas locais, nacionais e internacionais. Esses problemas e soluções estão associados a tratamento, biorremediação, reuso, reaproveitamento e valoração de produtos a partir de resíduos. Os resíduos são os de origem urbana, industriais e agroindustriais. O grupo oferece produtos e serviços de consultoria para uso por órgãos e empresas da gestão pública e da iniciativa privada.

## PRINCIPAIS PRODUÇÕES

Gavazza, S. (coord). Prêmio ANA 2014. Vencedor na categoria: Pesquisa e Inovação Tecnológica. Projeto: Desenvolvimento de dispositivo de proteção da qualidade da água armazenada em cisternas. Agência Nacional de Águas.

Veras, S.T.S.; Rojas, P.; Florencio, L.; Kato, M.T.; Sanz, J.L. Production of 1,3-propanediol from pure and crude glycerol using a UASB reactor with attached biomass in silicone support. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, v. 279, p. 140-148, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.125>

Menezes, O.; Brito, R.; Hallwass, F.; Florencio, L.; Kato, M. T.; Gavazza, S. Coupling intermittent micro-aeration to anaerobic digestion improves tetra-azo dye Direct Black 22 treatment in sequencing batch reactors. *CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH & DESIGN*, v. 146, p. 369-378, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.04.020>

Silva, G. M. N.; Carvalho, R. M. C. M. O; El-Deir, A. C. A.; Sobral, M. C.; Siegmund-Schultze, M. Artisanal fisheries of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Brazil: socioeconomic profile, environmental dynamics, and management recommendations. *REGIONAL ENVIRONMENTAL CHANGE*, v. 18, p. 1889–1899, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1293-y>

Carvalho, J. R. S.; Luz, J.; Santos, S. M.; Gavazza, S. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. *JOURNAL OF WATER AND HEALTH*, v. 16, p. 391-402, 2018. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.208>

Gunkel, G.; Selge, F.; Keitel, J.; Lima, D.; Calado, S.; Sobral, M. C.; Rodriguez, M.; Matta, E.; Hinkelmann, R.; Casper, P.; Hupfer, M. Water management and aquatic ecosystem services of a tropical reservoir (Itaparica, São Francisco, Brazil). *REGIONAL ENVIRONMENTAL CHANGE*, v. 18, p. 1913–1925, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1324-8>.

Marques, E. A. T.; Silva, G. M. N.; Case, M.; Sobral, M. C. Assessing the negative impact of an aquaculture farm on effluent water quality in Itacuruba, Pernambuco, Brazilian Semiarid Region. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v. 78, p. 1438-1447, 2018. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.417>

Salgado, V.C.; Souza Filho, E.J.; Gavazza, S.; Florêncio, L.; Kato, M.T. Cultivo de melancia no semiárido irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado. *ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, v. 23, p. 727-738, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018161706>

Da Paz, D.H.F.; Lafayette, K.P.V.; Holanda, M.J.O.; Sobral, M.C.; Costa, L.A.R.C. Assessment of environmental impact risks arising from the illegal dumping of construction waste in Brazil. *ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY*, v. 21, p. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0289-6>

Nakazawa, M.M.; Gavazza, S.; Kato, M.T.; Florencio, L.; Sanz-Martin, J.L. Effects of operational conditions on the production of 1,3-propanediol from glycerol in

anaerobic granular sludge reactors. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v. 75.4, p. 963-970, 2017. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.577>

Sobral, M.C.; Lopes, H.L.; Candeias, A.L.B.; Melo, G.L.; Gunkel, G. Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, p. 841-852, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017111054>

Souza Filho, E.J.; Gavazza, S.; Florêncio, L.; Kato, M.T. Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. *REVISTA DAE*, v. 65, p. 94-106, 2017. DOI: 10.4322/dae.2016.037

Santos, S.M.; Silva, M.M.; Melo, R.M.; Gavazza, S.; Florencio, L.; Kato, M.T. Multi-criteria analysis for municipal solid waste management in a Brazilian metropolitan area. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, v. 189, p. 561, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6283-x>

Köchling T. ; Silva, L.G ; Florencio, L. ; Kato, M. T. ; Sanz, J. L. . Impact of pollution on the microbial diversity of a tropical river in an urbanized region of northeastern Brazil. *INTERNATIONAL MICROBIOLOGY*, v. 20, p. 11-24, 2017. DOI:10.2436/20.1501.01.281.

Köchling, T.; Ferraz Jr, A.D.N.; Florencio, L.; Kato, M. T.; Gavazza, S. 454-Pyrosequencing analysis of highly adapted azo dye-degrading microbial communities in a two-stage anaerobic-aerobic bioreactor treating textile effluent. *ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, v. 38, p. 687-693, 2017. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1208681>

Nakazawa, M.M.; Gavazza, S.; Kato, M.T.; Florencio, L. Evaluation of rhamnolipid addition on the natural attenuation of estuarine sediments contaminated with diesel oil. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, v. 23, p. 1-12, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7152-9>

Amaral, F.M.; Kato, M.T.; Florencio, L.; Gavazza, S. Color, organic matter and sulfate removal from textile effluents by anaerobic and aerobic processes. *BIORESOURTECHNOLOGY*, v. 163, p. 364-369, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.04.026.

## **PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS**

### *PARCERIAS NACIONAIS*

- Universidade Federal da Bahia. Prof. Antonio Fernando Queiróz. Projeto: Recuperação de áreas contaminadas pelas indústrias da cadeia produtiva do petróleo. CT-PETRO. FINEP e PETROBRAS. Rede de Pesquisa RECUPETRO/RELINTE.
- Universidade Federal de Minas Gerais. Prof. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. Projeto: INCT ETEs Sustentáveis.
- Universidade de São Paulo. Professores: Eugenio Foresti e Marcia Damianovic. Projeto: Descoloração de efluentes da indústria têxtil.



- Parceria nacional com empresa: Fibra Revestimentos Ltda (Jaboatão dos Guararapes PE). Projeto: Aperfeiçoamento e desenvolvimento de reatores biológicos e acessórios de fibra de vidro para tratamento de esgotos domésticos e equipamentos para saneamento básico.

#### *PARCERIAS INTERNACIONAIS*

- Autonomous University of Madrid (UAM - Spain). Prof. Jose Luis Sanz. Start: 2014 – current. Project: Production of valuable compounds from wastes. Indicators: co-tutela agreement with UFPE. PhD double title from both institutions (UFPE and UAM) for UFPE graduated students. Two PhD formed (Mitsue Nakazawa and Shyrlane Veras) and a third starting January 2020 (Candida Nathaly Souto). Three papers were already published in collaboration and two are submitted.
- University of Toronto (UofT - Canada). Prof. Elizabeth Edwards. Project: Biorremediation of Chlorinated Compounds. Start: 2016 – current. Indicators: Prof. Savia Gavazza from UFPE is associate professor at UofT (status only). The PhD candidate Sofia Pimentel from UFPE is starting a sandwich 1-year period at UofT in October/2019.
- University of Arizona (UofA - USA). Prof. Jim Field and Reyes Sierra. Project: Understanding the biodegradation of intensive munition compounds. Start: 2018 – current. Indicators: collaboration agreement signed by both institutions. The PhD candidate from UFPE Osmar Menezes is currently at UofA in a sandwich 1-year period.
- Ruhr-University Bochum (RUB - Germany). Prof. Marc Wichern. Project: Modeling sewage treatment systems for carbon and nutrients removal. Start: August 2019. Indicators: The PhD candidate Juliana Melo from UFPE is starting a sandwich 1-year period at RUB in August/2019.
- Technical University of Berlin (TU Berlin - Germany). Prof. Johann Köppel. Project: Innovate – Interplay among multiple uses of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystems. Start: 2012 – current. Indicators: collaboration agreement signed by both institutions. 3 PhD candidates has made sandwich at TUB (Gersica Morais Nogueira da Silva -1 year; Janaina Maria Oliveira de Assis and Ana Lígia Chaves – 6 months). 6 professors from UFPE (Maria do Carmo Sobral – PPG Eng. Civil; Ana Lucia Candeias – PPG Prodema; Edvânia Torres de Aguiar-PPG Geography; Marcia Alcoforado – PPG Eng. Civil/ Economy; Jarcilene Cortez PPG Biology; Weronica Meira de Souza – PPG Prodema) have 1 month work missions at TUB.
- Xian Jiaotong University (XJTU - China). Prof. Yanling He. Cooperation with the Federal University of Pernambuco involving the Department of Civil Engineering and Human Settlement (XJTU) and the Department of Civil and Environmental Engineering (Laboratory of Environmental Sanitation - LSA) (UFPE), concerning (i) exchange of faculty and research staff members, technicians and students; (ii) implementation of joint education, research and extension projects; (iii) organization of lectures/courses and symposia; (iv) joint academic publications. Start: 2013 – current. Indicators: cooperation agreement signed by both rectors. Ten missions of UFPE were already done to XJTU, including those of the rector Prof. Anisio Brasileiro, the director of the Center of Technology and Geoscience prof. Antonio Antonino and the researchers of LSA, Prof. Mario T.

Kato, Prof. Lourdinha Florencio and Prof. Savia Gavazza. Five missions were done by the side of XJTU to UFPE, Prof. Yanling He and Prof. Jidong Liang.

- International partnership for research with industries:
  - Deten – Identification and biodegradation of Linear Alquilbenzene Sulfonated (LAS). Start: 2003 - current;
  - Corteva DowDupont – Biorremediation of chlorinated compounds from soil and groundwater. Start: 2017 – current.

# **TRANSPORTES E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS**

## **COORDENADOR**

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade

## **DOCENTES PERMANENTES**

Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado  
(<http://lattes.cnpq.br/6594943575825417>)

Prof. Dr. Enilson Medeiros dos Santos  
(<http://lattes.cnpq.br/3433847962770085>)

Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira  
(<http://lattes.cnpq.br/9191737269930161>)

Profa. Dra. Maria Leonor Alves Maia  
(<http://lattes.cnpq.br/5541333217408107>)

Prof. Dr. Mauricio Oliveira de Andrade  
(<http://lattes.cnpq.br/0093267389008960>)

## **ATUAÇÃO**

A área de transportes da Pós-graduação tem atuado nos últimos 15 anos no esforço de formar mestres e doutores com foco básico em três linhas de pesquisa, a saber: i) mobilidade urbana sustentável; ii) Economia dos Transportes; e iii) Planejamento dos Transportes e Engenharia de Tráfego. Nossa pós tem alcançado alunos tanto de Pernambuco, quanto de vários estados nordestinos, com mais frequência de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, muitos deles oriundos do corpo docente de instituições de ensino superior públicas e privadas. Temos atualmente 39 alunos vinculados. Como a área atua em uma perspectiva multidisciplinar, recebemos alunos de várias formações além de engenheiros civis, como arquitetos/urbanistas, engenheiros cartógrafos e de produção, estatísticos, geógrafos e até bacharéis em Administração e Direito.

Durante o nosso período de atuação já formamos 65 mestres e 8 doutores em Engenharia Civil com ênfase em Transportes e Gestão das infraestruturas e produzimos cerca de 50 artigos para periódicos e mais de 100 artigos para congressos científicos nacionais e internacionais, sempre em produção conjunta discente/docente.

## **MISSÃO**

A missão da Área de Transportes do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil é promover a pesquisa e formar pesquisadores de transportes

considerando sua natureza interdisciplinar, tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável nos aspectos físicos, sociais e econômicos do Brasil, com foco especial na região nordeste.

## **VISÃO**

O grupo de transportes busca em médio prazo se consolidar como o principal grupo de pesquisadores brasileiros nas áreas de questões políticas, sociais, econômicas e regulatórias dos transportes. Além da relevância nacional, buscamos construir relações de parcerias internacionais com grupos de pesquisas que abordem problemas de transportes sob essas perspectivas.

## **VALORES**

Em suas ações, o grupo de pesquisadores se guia pelos valores da sustentabilidade, da confiança entre parceiros internos externos, da responsabilidade social e do reconhecimento da diversidade nas interpretações das realidades humanas, políticas, sociais e econômicas nas quais se inserem as problemáticas dos transportes.

## **LINHAS DE PESQUISA**

### *MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL:*

Essa temática incorpora temas como mobilidade ativa, gestão de demanda, desenvolvimento orientado pelo transporte público, transporte inclusivo, eficiência de políticas de transportes, transporte e uso do solo.

### *ECONOMIA DOS TRANSPORTES:*

Inclui questões relacionadas ao papel do estado na gestão/financiamento das infraestruturas nos aspectos econômicos e regulatórios e as relações entre infraestruturas e desenvolvimento urbano e regional.

### *PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES E ENGENHARIA DE TRÁFEGO:*

Abrange pesquisas em planejamento de sistemas de transportes em seus vários modos, assim como, modelagens em apoio ao desenvolvimento de planos de mobilidade e de circulação de tráfego urbano e regional.

## **IMPORTÂNCIA DO GRUPO PARA A SOCIEDADE**

O grupo apresenta experiências práticas e conhecimentos científicos que abrangem a problemática dos transportes nos aspectos políticos, sociais e econômicos.

Os pesquisadores Prof. Anísio Brasileiro e Enilson Santos são fundadores da Rede de Estudos de Engenharia e Socio-econômicos de Transporte (RESET). Essa rede formada por pesquisadores brasileiros e latino-americanos trouxe para o setor de transportes no Brasil, a discussão do papel do setor público, das formas de financiamento, e da regulação econômica dos serviços de transportes. Produziram vasta literatura e vêm influenciando uma geração de novos pesquisadores. A Profa. Maria Leonor Maia, arquiteta/urbanista, pesquisa sobre os aspectos urbanísticos dos transportes. Com experiência anterior em planejamento urbano no setor público, agrega ao restante do grupo, um olhar sobre os aspectos espaciais, sociais e ambientais das cidades, bem como sua experiência internacional na cooperação entre universidades.

O Prof. Maurício Andrade, apesar de menos tempo na academia, traz a experiência do setor de consultoria privada em infraestrutura de transportes, ajudando a dar aos temas de pesquisa uma visão mais pragmática. O Prof. Leonardo Meira, traz ao grupo além de sua juventude, uma nova preocupação de pesquisa, ou seja, a avaliação das políticas de transportes. Apresenta também, uma efetiva participação na gestão do Programa de Pós-graduação como vice-coordenador.

## **PRINCIPAIS PRODUÇÕES**

ARAÚJO, K. W. G. ; ANDRADE, M. O. ; LIMA, R. M. F. ; OLIVEIRA, C. A. L. . Performance analysis of a metropolitan BRT line via generalized stochastic Petri Nets. *Journal of Urban Planning and Development* , 2019.

SILVA, L. A. S.; ANDRADE, M. O. ; MAIA, MARIA LEONOR . FATORES INFLUENTES PARA A ADESÃO DE ALUNOS A SISTEMA DE CARONA DINÂMICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO. *TRANSPORTES (RIO DE JANEIRO)*, 2019.

OLIVEIRA, L. K. ; Barraza, B.; Bertoncini, B. V.; Isler, C. A. ; Pires, D.R. ; Madalon, E. C. N. ; LIMA, J. H. ; VIEIRA, J.G.V. ; MEIRA, Leonardo H. ; BRACARENSE, L. S. P. ; BANDEIRA, R. A. M. ; OLIVEIRA, R.L.M. ; FERREIRA, S. . An overview of problems and solutions for urban freight transport in Brazilian cities. *Sustainability* , v. 10, p. 1-14, 2018

SILVA, L. A. S.; ANDRADE, M. O.; MAIA, M. L. A. . How does the ride-hailing systems demand affect individual transport regulation? *Research in Transportation Economics* , v. 69, p. 600-606, 2018.

KAPLAN, SIGAL; MORAES MONTEIRO, MAYARA; ANDERSON, MARIE KAREN; NIELSEN, OTTO ANKER ; MEDEIROS DOS SANTOS, ENILSON . The role of information systems in non-routine transit use of university students: Evidence from Brazil and Denmark. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice* , v. 95, p. 34-48, 2017

MEIRA, L. H.; ANDRADE, MAURÍCIO; LIMA, J. H.. Conceito de velocidade efetiva social como argumento de reforço à implantação de políticas de mobilidade urbana sustentável no Brasil. *TRANSPORTES (RIO DE JANEIRO)*, v. 25, p. 64-77, 2017.

CADENA, R. P.; ANDRADE, MAURÍCIO OLIVEIRA DE; BRASILEIRO, ANÍSIO . Analysis of mobility on universities campuses in metropolises of emerging countries

through the combination of inductive reasoning and monographic procedure methods. *Transportation Research Procedia*, v. 25, p. 5007-5026, 2017.

MORAIS, A. C.; BRASILEIRO, A.; ARAGÃO, J. J. G.; YAMASHITA, Y. . Elements Of Advocacy In Transport Policy Formulation. *Archives of Business Research*, v. 5, p. 72-88, 2017.

MORAIS, A. C.; ARAGAO, J. J. G.; Yamashita, Y; BRASILEIRO, A.. Interest Groups and Agent Network Analysis: Tools for Political Viabilization of Infrastructure Investment Projects. *INTERNATIONAL JOURNAL OF NEW TECHNOLOGY AND RESEARCH*, v. 4, p. 60-66, 2017.

MAIA, MARIA LEONOR ; LUCAS, KAREN ; MARINHO, GERALDO ;SANTOS, ENILSON ; DE LIMA, JESSICA HELENA . Access to the Brazilian City-From the perspectives of low-income residents in Recife. *Journal of Transport Geography* , v. 55, p. 132-141, 2016.

SILVEIRA, M. O. ; ALVES MAIA, MARIA LEONOR . O Potencial de Uso Frequente da Bicicleta na Cidade do Recife. In: ANDRADE, V.; RODRIGUES, J., MARINO, F.; LOBO, Z... (Org.). *Mobilidade por Bicicleta no Brasil.* 1aed. Rio de Janeiro: 2016, v. 1, p. 145-167.

LIMA, J. H.; ANDRADE, MAURÍCIO OLIVEIRA DE ; MAIA, M. L. A. . Measuring accessibility: effects of implementing multiple trip generating developments. *Journal of Transport Literature*, v. 10, p. 25-29, 2016.

Lima, J.H.; ANDRADE, M. O. ; MAIA, M. L. A. . Como medir a variação de acessibilidade causada pela implantação de um território gerador de viagens. *Transportes (Rio de Janeiro)*, v. 24, p. 68, 2016.

MEIRA, LEONARDO HERSZON; ANDRADE, MAURÍCIO OLIVEIRA DE; MAIA, MARIA LEONOR ALVES ; BRASILEIRO, ANÍSIO . O transporte e a consolidação de um campus regional no interior do nordeste. *Transportes (Rio de Janeiro)*, v. 23, p. 5-13, 2015.

ANDRADE, M. O.; MAIA, M. L. A. ; LIMA NETO, O. . IMPACTOS DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO REGIONAL - POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES. *TRANSPORTES (RIO DE JANEIRO)*, v. v.3, p. 90-99, 2015.

DA SILVEIRA, MARIANA OLIVEIRA ; MAIA, MARIA LEONOR ALVES . Variáveis que influenciam no uso da bicicleta e as crenças da teoria do comportamento planejado. *Transportes (Rio de Janeiro)*, v. 23, p. 24-36, 2015.

MORAIS, A. C. ; BRASILEIRO, A. ; ARAGÃO, J. J. G. ; YAMASHITA, Y. ; DINIZ, C. E. M. . Stakeholder analysis applied to public transport projects: the recognition of relevant stakeholders and respective coalitions. *Business Management Review (BMR)*, v. 5, p. 59-67, 2015.

ANDRADE, M. O.; MAIA, M. L. A. ; LIMA NETO, O. ; MEIRA, L. H. . Mobilidade Urbana no Contexto da Organização Social do Território da Região Metropolitana do

Recife. In: Maria Angela de Almeida Souza; Jean Biton. (Org.). METRÓPOLES: Território, Coesão Social e Governança Democrática. Recife: Transformações na Ordem Urbana. 1a.ed.Rio de Janeiro: LETRA CAPITAL EDITORA, 2015, v. , p. 390-4165.

ROLIM, F. A. O. ; MEIRA, Leonardo H. ; SANTOS, E. M. . Competitive Aspects in the Metropolitan Region of Recife Bidding Terms for the Delegation of Its Urban Bus System. Journal of Traffic and Transportation Engineering, v. 2, p. 72-84, 2014.

FERNANDES, DIOGO R.M. ; ROCHA, CAROLINE ; ALOISE, DANIEL ; RIBEIRO, GLAYDSTON M.; SANTOS, ENILSON M. ; SILVA, ALLYSON . A simple and effective genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem. Computers & Industrial Engineering , v. 75, p. 200-208, 2014

ROLIM; SANTOS, E. M.; MEIRA, L.. Competitive Aspects in The Metropolitan Region of Recife Bidding Terms for the Delegation of its Urban Bus System. Journal of Traffic and Transportation Engineering, v. 2, p. 72-84, 2014.

MORAIS, A. C. ; ARAGÃO, J. J. G. ; YAMASHITA, Y. ; ORRICO FILHO, R. D. ; BRASILEIRO, A. . Analysing the fiscal sustainability of transit investment projects: The case of the metropolitan railway of Brasília. Research in Transportation Economics , v. 48, p. 422-428, 2014.

## **PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS**

### *PARCERIAS NACIONAIS*

- Rede PGV – Rede Ibero-americana de Polos Geradores de Viagens
- Rede RESET – Rede de Estudos de Engenharia e Socioeconômicos de Transportes

### *PARCERIAS INTERNACIONAIS*

- Instituto Superior Técnico de Lisboa – Projeto Cobra - Brasil – União Europeia.

**ARTIGOS PUBLICADOS NO II  
SEMINÁRIO INTEGRADOR PPGEC**





## **Influência da adição de fibras de aço, polipropileno e suas híbridizações em concreto auto-adensável no estado fresco**

**Larissa Marques Cunha Cabral<sup>1\*</sup>, Rodrigo Costa Portela de Lima<sup>1\*</sup>, Paulo Regis<sup>1\*</sup>,  
Arnaldo Carneiro<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

\* larissa.marques.cabral@gmail.com, rodrigo.cpl@hotmail.com, paregis2063@gmail.com,  
arnaldo2164@hotmail.com

### **RESUMO**

O concreto auto-adensável é um compósito cimentício que tem como característica no seu estado fresco se espalhar e preencher o máximo de espaços vazios sem nenhuma necessidade de energia de compactação. Assim, as misturas auto-adensáveis fibrosas tem sido amplamente utilizada em diversas obras nos últimos tempos. Entretanto, o uso de fibras é conhecido por alterar a reologia do concreto fresco, basicamente as propriedades do espalhamento (flow). Este estudo busca avaliar o comportamento do concreto com a adição de fibras de aço e de polipropileno, assim como suas híbridizações. Para a produção dos concretos, as fibras foram adicionadas em 0,5% em volume. As híbridizações das fibras de aço e polipropileno foram: 75%/25% (polipropileno/ aço). Os ensaios realizados no estado fresco foram: espalhamento (slump flow), habilidade passante (anel J), viscosidade (T50) e segregação (GTM). Com isso, esse estudo analisa a influência das fibras e a intervenção da sinergia das fibras/híbridas no concreto auto-adensável no estado fresco. Por fim, dentre as fibras estudadas, a utilização de fibras híbridas se mostrou vantajosa para o aumento do slump flow do concreto, porém no quesito do anel J, a híbridização não mostrou melhoras significantes para os parâmetros do concreto fresco.

**Palavras chaves:** concreto auto-adensável fibroso, fibras, reologia.

### **ABSTRACT**

Self-compacting concrete is a cementitious composite that is characterized by its fresh spreading and filling as much void space as possible without any compaction energy. Thus, self-compacting fibers blends has been widely used in various works in recent times. However, the use of fibers is known to alter the rheology of fresh concrete, basically the flow properties. This study goals to evaluate the behavior of concrete with the addition of steel and polypropylene fibers, as well as their hybridization. For the production of concretes, the fibers were added in 0,5% by volume. The hybridizations of the steel and polypropylene fibers were: 75% / 25% (polypropylene / steel). The tests performed in the fresh state were: slump flow, throughput (ring J), viscosity (T50) and segregation (GTM). Thus, this study goals to analyze the influence of fibers and the intervention of fiber / hybrid synergy in self-compacting concrete in the fresh state. Finally, among the studied fibers, the use of hybrid fibers was advantageous to increase the concrete slump flow, but in the J ring, the hybridization did not show significant improvements for the fresh concrete parameters.

**Keywords:** Fibers self-compacting concrete, fibers, rheology.

## **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com Neville (2013), as características do concreto auto-adensável promovem uma microestrutura mais uniforme e uma zona de transição menos porosa. A utilização de fibras no concreto é um grande agente redutor da trabalhabilidade, devido a isso é comum a busca de concretos com grandes espalhamentos para a utilização com fibras.

Para isso, os concretos possuem teores de argamassa elevados, geralmente superior a 60 por cento, possuindo assim uma quantidade reduzida de agregado graúdo e uma quantidade maior de agregado miúdo.

Para caracterizar um concreto como auto-adensável, ele deve ser capaz de suprir três características básicas: fluidez, capacidade passante e resistência a segregação. A fluidez está relacionada ao espalhamento (slump flow) do concreto, por cone invertido (ASTM C1611) ou através do cone normal (NBR 15823-2:2017); capacidade passante do concreto, que pode ser avaliada através de ensaios como o anel J (ASTM C1621/ NBR 15823-3:2017), e segregação, avaliado através do ensaio da peneira ou GTM (NBR 15823-6:2017).

A influência das fibras no estado fresco do concreto depende de diversos fatores inerentes às mesmas. Segundo NEVILLE (2003), a trabalhabilidade das misturas reforçadas com fibra diminui com o aumento do teor de fibra e do fator de forma. Conseguir um concreto reforçado com fibras que atenda aos requisitos de um concreto auto-adensável é uma tarefa desafiadora e é necessário um estudo prévio da fibra e das características do concreto em que a mesma será inserida.

Nesse estudo serão analisados a influência de duas fibras - polipropileno e aço, dispostas de macro fibras, com comprimento aproximado de 6 cm, característica de fibras longas com elevado fator de forma. As fibras serão hibridizadas e seus efeitos no estado fresco averiguados. O traço utilizado possui um teor de argamassa bastante alto, para atender as características requeridas de um concreto auto-adensável fibroso. Por fim, o estudo busca definir uma relação sinérgica entre as fibras e aprimorar o entendimento e efeitos da utilização de fibras em concreto auto-adensáveis fibrosos no estado fresco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo, foi escolhido um traço base de concreto auto-adensável e, a partir dele, foram feitas as adições das fibras, totalizando 6 misturas diferentes. Os três primeiros traços foram o traço do concreto de referência, o traço do concreto referência com fibra de aço e o traço do concreto referência com a fibra de polipropileno. Os três outros traços foram hibridizações das fibras de aço com a de polipropileno. Todos os traços possuem 0.5% de volume de fibras em relação ao volume de concreto. Os traços híbridos foram em proporções de: 75% de fibras de aço e 25% de fibras de polipropileno, 50% fibras de aço e 50% fibras de polipropileno, 25% fibras de aço e 75% fibras de polipropileno. As fibras utilizadas no estudo foram a fibra de aço Dramix 65/60 e de polipropileno SikaFiber Force PP 55, cujas características estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Características das fibras utilizadas. Fonte: Fichas técnicas da Dramix/ Sika

Fibra	Comprimento (mm)	Fator de Forma	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência (MPa)
Aço – Dramix 65/60	60	67	-	1000
Polipropileno – Sika Fiber Force PP 55	55	162	0,92	550

O concreto de referência dosado possui os seguintes materiais: areia natural, pó de pedra, brita 0, cimento Portland CPII-F40, água fornecida pela rede pública, e aditivo superplastificante de terceira geração à base de policarboxilato. Foram realizados inúmeros testes variando o teor de argamassa a fim de se alcançar um concreto base que pudesse ser utilizado com todas as fibras e pudesse satisfazer todos os quesitos levantados e exigidos para se caracterizar um concreto auto-adensável. Com isso, o teor de argamassa utilizado no estudo que satisfaz, junto com as fibras, todos os quesitos de um concreto auto-adensável foi de 80 por cento de argamassa. Dessa forma, o traço utilizado como referência e em todos os concretos do estudo, teve a seguinte proporção de materiais (tabela 2).

Tabela 2 – Traço Unitário em Massa (TUP)

Cimento	Areia	Pó de Pedra	Brita 0	Aditivo	Relação a/c
1	1,98	0,88	0,49	0,8% a 2%	0,45

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos parâmetros adquiridos dos traços no estado fresco estão na tabela 3.

Todos os traços passaram no quesito auto-adensável, pela questão da fluidez e da capacidade de atravessar obstáculos. Os traços com fibras apresentaram menor capacidade tanto de fluidez quanto capacidade passante em relação ao traço sem fibras. Em relação ao traço de fibras híbridas, houve uma melhora na fluidez e na capacidade passante dos traços em relação aos traços somente de fibra de aço ou polipropileno, como pode ser comparado na tabela 4, utilizando-se critérios da norma ASTM C1621.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros do concreto no estado fresco

Tipo de traço	NBR 15823-2				ASTM C1621			
	Flow (mm)	T50 (s) - Flow	Anel J (mm)	T50 (s) - anel J	Flow (mm)	T50 (s) - Flow	Anel J (mm)	T50 (s) - anel J
Concreto Referência	775,0	2,0	782,5	2,0	735,0	2,0	725	2,5
100% Aço	732,5	2,21	700,0	3,2	727,5	3,1	685	4,1
75% Aço/ 25% PP	660,0	4,0	590,0	6,0	620,0	5,0	602,5	5,0
50% Aço/ 50% PP	832,5	2,0	792,5	2,5	742,5	3,0	697,5	3,5
25% Aço/ 75% PP	757,5	3,0	697,5	5,0	747,5	3,5	697,5	5,2
100% PP	745,0	3,0	697,5	4,0	705,0	3,0	702,5	3,5

Tabela 4 – Critério de capacidade passante da norma ASTM C1621

Tipo de traço	Sem bloqueio (0 a 20 mm)	Bloqueio mínimo a notável (20 a 50 mm)	Bloqueio notável a extremo (> 50 mm)
Concreto Referência	10	-	-
100% Aço	-	42,5	-
75% Aço/ 25% PP	-	17,5	-
50% Aço/ 50% PP	-	45	-
25% Aço/ 75% PP	-	50	-
100% PP	2,5	-	-

Em relação a segregação através do teste da peneira os concretos apresentaram o seguinte comportamento (Tabela 5):

Tabela 5 – Resultado do ensaio de segregação GTM (NBR 15823-6:2017)

Tipo de traço	GTM (%)
Concreto Referência	1,05
100% Aço	9
75% Aço/ 25% PP	6
50% Aço/ 50% PP	2
25% Aço/ 75% PP	0,04
100% PP	0,2

#### 4. CONCLUSÕES

É certo e claro que a adição de fibras no concreto diminui a sua trabalhabilidade significativamente. A utilização desse tipo de material em concreto auto-adensáveis é um desafio, pois além da necessidade de se ter um espalhamento desejável é necessário ainda cumprir com outros quesitos para assim poder elaborar um concreto adensável com suas devidas características.

A utilização de fibras no concreto auto-adensável só foi possível devido ao elevado teor de argamassa utilizado e quantidade de fibras utilizadas. Se uma maior quantidade de fibra fosse utilizada, seria necessário aumentar ainda mais esse teor de argamassa, e possivelmente a retirada completa da brita 0 seria necessário para empregar a fluidez e capacidade passante do material.

A utilização de fibras híbridas se mostrou vantajoso para o aumento do espalhamento do concreto, porém no quesito de passar por obstáculos, a hibridização não mostrou melhoras significantes, mas também não apresentou desvantagens claras. Apesar de não melhorar significativamente a capacidade passante do concreto a hibridização continua uma boa opção para se utilizar em estruturas de concreto, uma vez que essa técnica permite usufruir das fibras de uma forma mais eficiente, uma vez que uma fibra pode adicionar características que adicionam ou melhora o comportamento de outra.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 15823-2: Concreto Auto-adensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15823-3: – Concreto Auto-adensável - Parte 3: Determinação da habilidade passante- Método do anel J**. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15823-6: – Concreto Auto-adensável - Parte 6: Determinação da resistência à segregação - Métodos da coluna de segregação e da peneira**. Rio de Janeiro, 2017.

American Society for Testing Materials - **ASTM C1611/1611M- 14 – Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2014

American Society for Testing Materials - **ASTM C1621/1621M- 14 – Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2017.

EL-DIEB, A.S. REDA TAHA, M.M. REDA. **Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)**. USA, 10 Aug., 2011.

NEHDI, M.; LADANCHUK, J. D. **Fiber Synergy in Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete**. *ACI Materials Journal*, V. 101, No. 6, November-December 2004.

NEVILLE, A.M. **Tecnologia do Concreto**. 2a ed. Bookman, 2013. 448p.

## **Utilização de resíduos como materiais cimentícios suplementares**

**Victor Estolano <sup>1\*</sup>, Nilvan Teixeira <sup>1</sup>, Priscilla Basto <sup>1</sup>, Larissa Barbosa <sup>1</sup>, Tacila Bertulino <sup>1</sup>, Antônio de Melo Neto <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes (LabTag), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* victorestolanolima@gmail.com

### **RESUMO**

O cimento Portland é um dos materiais que mais polui o meio ambiente, devido à liberação de CO<sub>2</sub> durante a calcinação do calcário no clínquer. Uma das alternativas ao cimento Portland é o uso de materiais cimentícios suplementares (MCS), que podem substituir parcialmente o clínquer do cimento. Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca do potencial de dois resíduos para serem utilizados como MCS, especificamente dentro do grupo das pozolanas: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar e a cinza do lodo de esgoto. Foram utilizadas dissertações produzidas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes (LabTag/UFPE) e artigos científicos extraídos de revistas de alto fator de impacto. Os resultados de ensaios de compressão mostram que ambas as cinzas atendem a requisitos estabelecidos na NBR 12653 e possuem um alto potencial para serem utilizadas no mercado como substituto ao cimento Portland. Além disso, nos ensaios de microestrutura, observou-se o consumo do hidróxido de cálcio devido à reação pozolânica.

**Palavras chaves:** Materiais cimentícios suplementares; Cinza do bagaço de cana; Cinza do lodo de esgoto; Reação pozolânica.

### **ABSTRACT**

Portland cement is one of the most environmentally polluting materials due to the release of CO<sub>2</sub> during calcination of the limestone in the clinker. One of the alternatives to Portland cement is the use of supplementary cementitious materials (SCM), which may partially replace cement clinker. This work aims to perform a literature review about the potential of two wastes to be used as SCM, specifically within the pozzolan group: sugarcane bagasse ash and sewage sludge ash. We used thesis produced by the LabTag/UFPE research group and scientific articles extracted from high impact factor journals. The results of compression tests show that both ashes meet the requirements established in NBR 12653 and have a high potential to be used in the market as a substitute for Portland cement. In addition, microstructure tests showed that the consumption of calcium hydroxide is observed due to the pozzolanic reaction.

**Keywords:** Supplementary cementitious materials; Sugarcane bagasse ash; Sewage sludge ash; Pozzolanic reaction.

### **1. INTRODUÇÃO**

Devido ao agravamento dos problemas ambientais em todo o mundo, medidas vêm sendo adotadas com o intuito de diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>. No âmbito da construção civil, o material mais poluente é o cimento, cuja produção de clínquer, que pode compor até 95 % do cimento, emitiu, em 2017, 1,46 Gton de CO<sub>2</sub>, o que corresponde a 7 % da geração deste gás no mundo (ANDREW, 2018). Neste cenário, os materiais cimentícios suplementares (MCS) se apresentam como uma alternativa

ao cimento Portland. O uso deste tipo de material tem um forte impacto positivo no meio ambiente, uma vez que ao invés de serem depositadas em aterros sanitários, são utilizadas como substituto parcial ou adição em materiais cimentícios, diminuindo a porcentagem de clínquer no cimento.

Os MCS são conhecidos como adições, que podem ser pozolânicas, como a sílica ativa, o metacaulim e as cinzas volantes, ou podem ser inertes, como o fíler calcário. As pozolanas precisam seguir uma série de requisitos previstos na ABNT NBR 12653 (2015). A característica mais importante da pozolana é a presença de sílica amorfa, a qual reagirá com o hidróxido de cálcio gerado nas reações de hidratação do cimento, formando C-S-H adicional.

Dentro deste contexto, o grupo de pesquisa do Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes (LabTag – UFPE) vem estudando resíduos com o intuito de avaliar o potencial destes materiais como MCS, como a Cinza do Lodo de Esgoto (CLE) e a Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBC). Neste cenário, este artigo tem como objetivo trazer uma breve revisão sobre resultados de ensaios de pozolanicidade com estes materiais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos utilizados para esta revisão foram artigos científicos extraídos de revistas de alto fator de impacto e dissertações produzidas pelo grupo de pesquisa do LabTag, nos quais foram avaliadas a pozolanicidade da CBC e da CLE. A descrição das pesquisas coletadas está exposta na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das pesquisas coletadas

Material	Referência	Variações nas condições de finura	Variações nas condições de calcinação
CBC	Cordeiro & Kurtis (2017)	2.970 m <sup>2</sup> /kg e 11.350 m <sup>2</sup> /kg*	600°C por 3 horas, para todas as amostras
	Soares et al. (2016)	D <sub>m</sub> = 4,3 µm	N.I.
	Torres (2019)	1.000 e 1.600 m <sup>2</sup> /kg**	Sem calcinação e 600 °C por 4 horas
CLE	Basto (2018)	644 m <sup>2</sup> /kg**	600 °C por 3 horas
		562 m <sup>2</sup> /kg**	700 °C por 3 horas
		407 m <sup>2</sup> /kg**	800 °C por 3 horas
341 m <sup>2</sup> /kg**		900 °C por 3 horas	
Donatello et al. (2010)	6.400 m <sup>2</sup> /kg* e 19.900 m <sup>2</sup> /kg*	N.I.	

Legenda: N.I. = não informado; D<sub>m</sub> = diâmetro médio.

\* Ensaio de finura realizado pelo método BET.

\*\* Ensaio de finura realizado pelo permeabilímetro de Blaine.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização química

A composição química e mineralógica das cinzas depende da temperatura de calcinação. O principal ponto positivo de realizar uma calcinação com temperatura controlada é a eliminação da matéria orgânica, a qual leva a propriedades indesejadas na viabilização da cinza como MCS.

Dentro da análise química, o componente de maior teor nas cinzas é a sílica. Os ensaios de caracterização química, entretanto, não detectam se a sílica está na forma cristalina ou amorfa, sendo possível esta avaliação apenas com o ensaio de caracterização mineralógica, que pode ser realizado por meio da técnica de Difração de Raios-X (DRX). Além

da sílica, outros compostos que contribuem na formação de compostos resistentes são o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . A NBR 12653 (ABNT, 2014) estabelece que a soma do teor dos compostos  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  deva ser maior que 75% em relação à composição química total da pozolana.

De maneira geral, a CBC calcinada atende a este requisito, entretanto a maior parte de  $\text{SiO}_2$  é formada por quartzo, oriunda da contaminação da cinza no solo da lavoura. Entretanto, a CBC não calcinada, conforme observado no trabalho de Torres (2019), apresenta um alto teor de matéria orgânica, resultando numa redução da soma do teor dos óxidos. A CLE apresentou valores desta soma entre 70 e 75% nas amostras de Basto (2018), entretanto a autora afirma que na literatura a média dos valores desta soma é de aproximadamente 55%.

### 3.2 Ensaios de atividade pozolânica

A avaliação do potencial pozolânico dos MCS pode ser realizada por meio de ensaios de compressão, como a ABNT NBR 5751 (2015) e ABNT NBR 5752 (2014), e também por meio de ensaios de microestrutura, como Difração de Raios-X (DRX) e Termogravimetria (TG). Os ensaios considerados como métodos “diretos” para a avaliação pozolânica são os de Chapelle e de Fratini, nos quais é realizada a medição do hidróxido de cálcio consumido na reação pozolânica por titulação. Outro método que vem sendo estudado como avaliador da atividade pozolânica é o ensaio por condutividade elétrica. Neste método, é realizada a medição da condutividade elétrica em uma solução de hidróxido de cálcio e pozolana, que tende a decrescer conforme o hidróxido de cálcio reage com a pozolana.

Os ensaios de compressão são realizados em corpos de prova de argamassa, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Na NBR 5751 (ABNT, 2015), são moldadas argamassas com cal e pozolana, a qual deve atingir uma resistência à compressão média de no mínimo 6 MPa aos 7 dias, segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014). Na NBR 5752 (ABNT, 2014), as argamassas são moldadas com cimento e pozolana, onde é calculado o Índice de Atividade Pozolânica (IAP). Este índice é definido como o valor percentual da razão entre a resistência média da argamassa com pozolana e a argamassa de referência e deve ser maior que 90%, após 28 dias de cura, de acordo com a NBR 12653.

Basto (2018) avaliou a influência da temperatura de calcinação na pozolanidade da CLE. Encontrou que as cinzas calcinadas à temperatura de 600°C e 700°C apresentaram maior resistência à compressão na NBR 5751 (ABNT, 2015) e superaram os 6 MPa requeridos pela NBR 12653. No ensaio de condutividade elétrica, Basto (2018) encontrou uma ótima correlação ( $R^2 = 0,97$ ) entre a perda de condutividade e a resistência à compressão das argamassas moldadas. Donatello et al. (2010) avaliou duas condições de finura da CLE: não moída e não moída. Os autores observaram um aumento no IAP após a moagem, que cresceu de 78% para 93%.

Cordeiro & Kurtis (2017) avaliaram o IAP de argamassas com CBC e concluíram que a finura influenciou diretamente nos resultados, uma vez que a CBC com maior finura apresentou maior pozolanidade. A cinza com maior finura apresentou uma resistência à compressão média superior à mistura de referência, resultando num IAP de 106%. Torres (2019) variou as condições de finura e calcinação das cinzas. A autora concluiu que a calcinação contribui significativamente num aumento do IAP, devido à eliminação de matéria orgânica. Em relação à finura, foi encontrado um aumento do IAP com o aumento da finura, assim como o trabalho de Cordeiro & Kurtis (2018).

Os ensaios de DRX e TG, por sua vez, são realizados em pastas que podem ser com cimento ou cal. Neste caso, a avaliação da pozolanidade é realizada por meio da quantificação do hidróxido de cálcio, cujo decréscimo de teor na pasta com a pozolana indica seu consumo devido à reação pozolânica. Torres (2019) encontrou uma correlação com altos coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,90$ ) entre o decréscimo da intensidade dos picos de hidróxido de cálcio no ensaio de difração de raios-X e a resistência à compressão na NBR 5751.



Soares et al. (2016) observou a formação de compostos resistentes como o C-S-H na pasta de hidróxido de cálcio e CBC. O C-S-H também pôde ser identificado no ensaio de TG, onde também foi verificada a diminuição da variação de massa em 500°C, correspondente à desidroxilação do Ca(OH)<sub>2</sub>.

#### 4. CONCLUSÕES

Em resumo, pode-se concluir que as cinzas analisadas possuem um alto potencial para serem utilizadas como MCS, especialmente como pozolanas. Entretanto, para isso, pode ser necessária a realização de algum processamento no material, como moagem ou calcinação em condições controladas, com o intuito de aumentar a reatividade do material e eliminar a matéria orgânica. Além disso, foi verificada uma grande variedade de ensaios para avaliação da atividade pozolânica, que podem ser adaptados de acordo com a realidade de cada caso. Neste cenário, verifica-se a importância da intensificação de pesquisas locais com estes materiais, com o intuito de trazer benefícios ambientais e econômicos para a sociedade.

#### REFERÊNCIAS

ANDREW, Robbie M. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. **Earth System and Science Data** p. 195–217 , 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752 - Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12653 - Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5751 - Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos 7 dias**. Rio de Janeiro, 2015.

BASTO, P.E.A. **Determinação da pozolanicidade por condutividade elétrica do lodo de ETE para adição ao cimento Portland**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 100 p., 2018.

CORDEIRO, Guilherme C.; KURTIS, Kimberly E. Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. **Cement and Concrete Research** v. 97, p. 41–49 , 2017.

DONATELLO, S.; FREEMAN-PASK, A.; TYRER, M.; CHEESEMAN, C.R.. Effect of milling and acid washing on the pozzolanic activity of incinerator sewage sludge ash. **Cement and Concrete Composites** v. 32, n. 1, p. 54–61 , 2010.

SOARES, M.M.N.S.; GARCIA, D.C.S.; FIGUEIREDO, R.B.; AGUILAR, M.T.P.; CETLIN, P.R.. Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO<sub>2</sub>. **Cement and Concrete Composites** v. 71, p. 20–25 , 2016.

TORRES, S.M. **Avaliação da difração de raios-X no potencial pozolânico da cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 102 p., 2019.



## Aceleração de simulações através de computação em GPU

Cicero Vitor Chaves Junior<sup>1\*</sup>, Paulo Marcelo Vieira Ribeiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* cicerovtjr@gmail.com, paulo.vribeiro@ufpe.br

### RESUMO

Modelos de grande escala são utilizados frequentemente em simulações numéricas. Diversas estratégias vêm sendo utilizadas para a redução do tempo de simulação. Uma destas é a utilização de unidades de processamento gráfico para aplicações multipropósito (GPGPU), devido sua arquitetura que permite uma paralelização extrema dos cálculos. Com tal propósito, este trabalho apresenta algumas opções para a aceleração de simulações mecânicas utilizando a linguagem de programação C++ acoplada ao compilador NVCC da NVIDIA para a plataforma CUDA. A resolução pelo método dos gradientes conjugados é apresentada e pode ser acoplada a códigos desenvolvidos em outras linguagens de programação para solução dedicada na GPU. Alguns resultados são apresentados demonstrando as acelerações obtidas.

**Palavras chaves:** GPGPU, Redução do tempo de simulação, Método dos gradientes conjugados.

### ABSTRACT

Large-scale models are often used in numerical simulations. Several strategies have been used to reduce simulation time. One of these is the use of graphic processing units for multipurpose applications (GPGPU), due to its architecture that allows an extreme parallelization of the calculations. With this purpose, this work demonstrates some options for the acceleration of mechanical simulations using the C ++ programming language coupled to the NVIDIA NVCC compiler for the CUDA platform. A resolution by the conjugate gradient method is presented and can be coupled to codes developed in other programming languages for dedicated GPU solution. CPU solutions using the. Some results are presented demonstrating the obtained accelerations.

**Keywords:** GPGPU, Simulation time reduction, Conjugate gradient method.

### 1. INTRODUÇÃO

Diversas áreas da engenharia têm um elevado interesse em simulações em MEF (Método dos Elementos Finitos) transientes, não lineares e de grande escala. Onde técnicas iterativas são usadas de forma que são realizadas análises lineares a cada iteração de forma incremental (Zienkiewicz e Taylor, 2000). Nas simulações transientes são realizadas análises estáticas consecutivas a cada avanço temporal. Efetuar estas análises leva um longo tempo a depender do problema. Devido a isto, em muitos casos é feito a simplificação do problema levando a resultados menos precisos.

As unidades de processamento gráfico (GPUs) começaram a ser projetadas voltadas para a computação de propósito geral e, além disso, surgiram linguagens de programação que permitiram seu uso pra tal (Bartezzaghi *et al.*, 2015). Viabilizando assim a obtenção de resultados de melhor qualidade para simulações de larga escala. A linguagem CUDA e o compilador NVCC (Nvidia CUDA *Compiler*), ambos desenvolvidos pela NVIDIA, são usados neste trabalho.

GPUs vêm sendo utilizadas para diversos propósitos além das simulações em MEF. Cheng e Gen em 2019 deram uma visão geral de vários tipos de algoritmos genéticos implementados em GPU selecionados desde 2010. Com a utilização em MEF também vêm sendo amplamente utilizada. Yang *et al.* (2014) utilizaram um programa de análise estrutural já conhecido e acoplaram um módulo que calcula as matrizes de rigidez e vetores de forças dos elementos em GPU. As montagens da matriz e do vetor globais foram feitas sequencialmente na unidade central de processamento (CPU), obtiveram acelerações de 7,6 vezes em uma simulação com 15048 graus de liberdade e de 8,3 vezes em uma simulação com 23088 graus de liberdade.

O maior custo computacional envolvido está na resolução do sistema linear. Este trabalho tem como foco demonstrar a superioridade da GPU sobre a CPU em relação a cálculos de ponto flutuante. Também foi apresentado o que foi desenvolvido na CPU.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Logan (2012) definiu o método dos elementos finitos como um método numérico para a resolução de problemas da engenharia e da física matemática. O método é usado em problemas típicos como os de análise estrutural, de transferência de calor, de escoamento de um fluido, de transporte de massa e de potencial eletromagnético. A formulação apresentada adiante é a do elemento finito de Galerkin.

O problema mecânico a ser resolvido já foi descrito por diversos autores, e assim como descrito por Kwon e Bang (1996) o problema, para cada elemento  $e$ , pode ser visto na equação 1:

$$-\int_e \mathbf{BDB} dV \mathbf{d} + \int_e \mathbf{H}^T \mathbf{f} dV + \int_e \mathbf{H}^T \mathbf{q} dA = \mathbf{0} \quad (1)$$

A primeira integral consiste na matriz de rigidez de um elemento, onde  $\mathbf{B}$  é uma matriz composta pelos termos das derivadas das funções de forma,  $\mathbf{D}$  é a matriz de elasticidade do material,  $\mathbf{d}$  é o vetor de deslocamentos dos nós do elemento e  $V$  é o domínio do problema. A segunda integral forma o vetor de forças de corpo, onde  $\mathbf{H}$  é uma matriz com os termos das funções de forma e  $\mathbf{f}$  um vetor com as forças de corpo em cada grau de liberdade. Por fim, a terceira integral forma o vetor de forças externas aplicadas, onde  $\mathbf{q}$  é um vetor de carga distribuídas pelos graus de liberdade e  $A$  o contorno do domínio.

Logo, a implementação computacional consiste dos cálculos das matrizes e dos vetores dos elementos, da montagem da matriz e do vetor global e da resolução do sistema global resultante. A resolução do sistema pelo método dos gradientes conjugados foi implementada em GPU enquanto as outras partes envolvidas foram implementadas em CPU.

Podem ser usadas bibliotecas externas ou apenas padrões da linguagem C++. As externas, como a Eigen ou a Armadillo, trazem uma maior facilidade na programação de cálculos de álgebra linear, porém utilizam classes próprias que devem ser estudadas para a melhor utilização e usadas em todo o código. Com a utilização apenas das padrões, utiliza-se os tipos e classes aceitos em qualquer compilador, com a desvantagem de que cálculos de álgebra linear não são tão triviais como com a utilização das bibliotecas externas.

O armazenamento da matriz global é realizado no formato CRS (*Compressed Row Storage*), onde armazena em três vetores os valores não nulos da matriz, as posições das colunas desses valores e o início e fim de cada linha nos vetores anteriores. A Figura 1 mostra um exemplo.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 2 & * & 4 & * \\ & 7 & 9 & * \\ 3 & 18 & * & 5 \\ & 20 & * & * \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} \mathbf{m}^1 = [ 2 & 4 & 7 & 9 & 3 & 18 & 5 & 20 ] \\ \mathbf{m}^2 = [ 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 1 & 3 & 1 ] \\ \mathbf{m}^3 = [ 0 & 2 & 4 & 7 & 8 & & & ] \end{matrix}$$

Figura 1: Exemplo de armazenamento CRS. Fonte: Os autores.

O algoritmo dos gradientes conjugados consiste em algumas operações algébricas. A implementação em GPU foi realizada de maneira que cada uma dessas operações fosse feita em GPU com chamadas da CPU. Para cada uma destas operações foi feita uma função chamada *kernel*, que é chamada pela CPU com as especificações da quantidade de vezes será realizada em paralelo. Estas realizações são chamadas de *threads* que podem ser organizadas em blocos para uma melhor organização. *Kernels* para multiplicação de matriz esparsa com vetor, soma e multiplicação de vetores foram desenvolvidos. Além disso, foi programado um esquema para o cálculo do somatório dos elementos de um vetor através de chamadas sucessivas de uma *kernel*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a verificação dos avanços, foi realizada uma aplicação simples para o problema, onde a resolução foi realizada tanto em GPU quanto em CPU para a comparação do ganho de velocidade. Como dito anteriormente foi utilizado a linguagem C++ em toda programação.

O problema em que as implementações foram aplicadas consiste em uma viga de 10 m de comprimento e uma seção transversal de 1 m x 1 m. A viga é engastada no bordo esquerdo e possui uma carga de 10000 kN aplicada no bordo direito, que é livre. A viga possui módulo de elasticidade de 30 GPa e coeficiente de Poisson igual a 0,3.

A viga foi discretizada em diversas malhas de elementos triangulares de tensão constante. Os ganhos de velocidade na resolução do sistema foram calculados pela divisão do tempo de solução em CPU pelo tempo de solução em GPU. Os ganhos obtidos para cada uma destas malhas podem ser vistos na Figura 2, demonstrando um maior ganho de velocidade com malhas com uma grande quantidade de graus de liberdade.

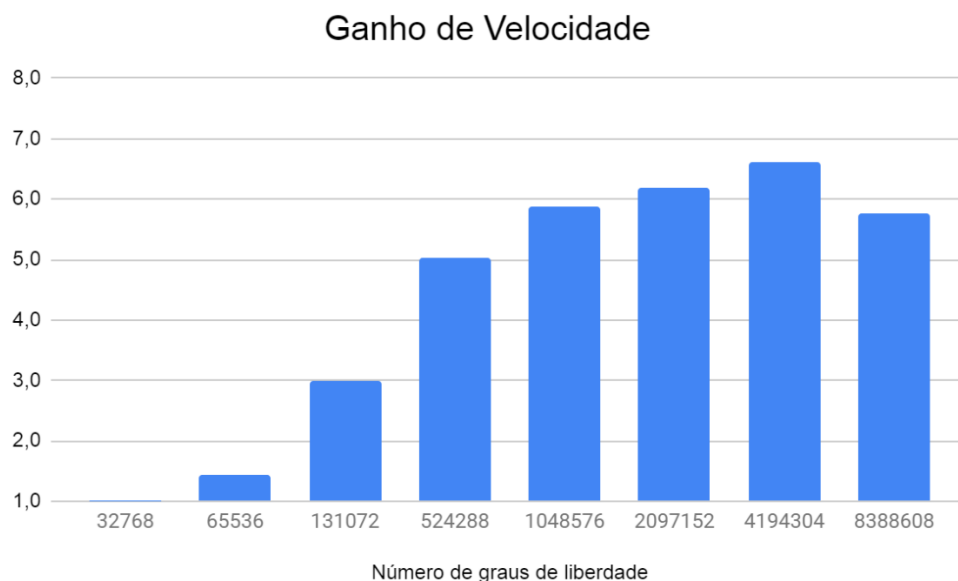


Figura 2: Ganhos de velocidade obtidos com a utilização da GPU. Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Apesar da simplicidade do código, foi possível obter aumentos de até 6 vezes na velocidade, mostrando assim a superioridade da GPU em problemas deste tipo. Otimizações nos códigos, tanto da CPU quanto da GPU, podem ser feitas e acelerações maiores podem ser alcançadas. Estas otimizações já estão sendo feitas e algumas já foram implementadas.

Para trabalhos futuros, aconselha-se continuar com as otimizações do código explorando completamente a capacidade de paralelização da GPU, utilizar elementos mais complexos na análise em elementos finitos, realizar simulações em 3D e realizar análises transientes ou não lineares.

#### REFERÊNCIAS

- BARTEZZAGHI, A., CREMONESI, M., PAROLINI, N., PEREGO, U. An explicit dynamics GPU structural solver for thin shell finite elements. **Computers & Structures**, v.154, p. 29-40, 2015.
- CHENG, J. R., GEN, M. Accelerating genetic algorithms with GPU computing: A selective overview. **Computers & Industrial Engineering**, v.128, p. 514-525, 2019.
- KWON, Y. W.; BANG, H. **The Finite Element Method using MATLAB**. Nova Iorque (Estados Unidos): CRC Press, 519 p., 1996.
- LOGAN, D. L. **A First Course in The Finite Element Method**. Stamford (Estados Unidos): Cengage Learning, 954 p., 2012.
- YANG, Y.-S., YANG, C.-M., HSIEH, T.-J. GPU parallelization of an object-oriented nonlinear dynamic structural analysis platform. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.40, p. 112-121, 2014.
- ZIENKIEWICZ, O. C., TAYLOR, R. L. **The Finite Element Method**. Oxford (Inglaterra): Butterworth-Heinemann, 689 p., 2000.

## Avaliação da resistência do concreto após incêndios através de ensaios de ultrassom

Willian Menezes da Silva <sup>1</sup>, Tiago Ancelmo de Carvalho Pires <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), willmenezes@outlook.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), tacpires@yahoo.com.br

### RESUMO

O conhecimento da resistência residual de elementos de concreto dentro de um edifício, após um incêndio, é importante para decidir se ele deve ser demolido ou apenas feito alguns reparos e assim reintegrado. Com isso, uma avaliação deve ser conduzida em tais elementos. Assim, o presente trabalho, que está em estágio inicial, procurará fazer uma avaliação experimental da resistência do concreto após incêndios através de ensaios de ultrassom em pilares e testemunhos, usando diferentes tempos de exposição à curva padrão. Esses resultados da velocidade do pulso no ultrassom serão comparados com ensaios convencionais destrutivos, verificando a fidelidade dos resultados. Além da análise experimental, também é feita a numérica com o uso do *software* Abaqus, a fim de observar a distribuição da temperatura no interior dos pilares de concreto. Espera-se que as velocidades dos pulsos ultrassônico pós-incêndio indiquem valores aproximados nos pilares e nos seus respectivos testemunhos e os valores de resistência sejam aproximados nos ensaios destrutivos e não-destrutivos.

**Palavras chaves:** Segurança contra incêndio; Ensaio de ultrassom; Concreto; Simulação computacional.

### ABSTRACT

The knowledge on residual resistance of concrete parts, after a fire, is important to decide if it must be demolished or just repaired and therefore reintegrated. Thus, an evaluation must be lead in such matters. This way, the current work, which is in the early stages, will try to do an experimental evaluation on the resistance of the concrete after fires through ultrasound trials in pillars and witnesses, using different times of exposure to the standard curve. The results of the speed of the pulse in ultrasound will be compared with conventional destructive trials, verifying the accuracy of the results. Besides the experimental analysis, the numeric one is also done with use of the Abaqus software, in means to observe the distribuiton of temperature inside the pillars of concrete. Post-fire ultrasonic pulse velocities are expected to indicate approximate values in the abutments and their respective cores, and strength values are approximate in both destructive and non-destructive testing.

**Keywords:** Safety against fire; Ultrasound trial; Concrete; Computer simulation.

### 1. INTRODUÇÃO

A NBR 15200 (ABNT, 2012) afirma que as propriedades mecânicas do concreto degradam quando ele é exposto a altas temperaturas devido às mudanças químicas e físicas dos materiais que compõem o mesmo.

Segundo Hwang et al. (2018), o método da velocidade do pulso ultrassônico, um ensaio não destrutivo, pode ser empregado para avaliar a integridade do concreto submetido a altas temperaturas (correlacionando com características residuais, como a resistência e o módulo de elasticidade), já que tem a vantagem de ser um procedimento simples, barato e com capacidade de avaliar as mudanças na estrutura interna, podendo assim ser utilizado *in situ*, em estruturas logo após um incêndio. A Figura 1 traz uma representação do aparelho de ultrassom, usado no ensaio não destrutivo.

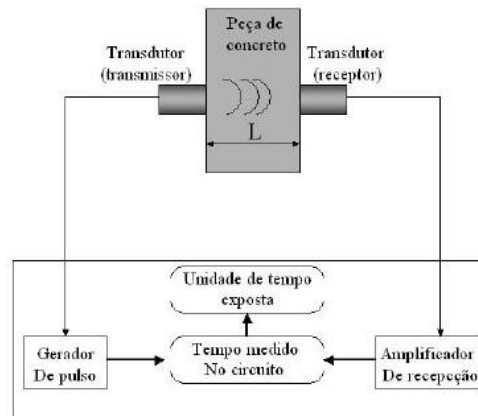


Figura 1 - Representação do funcionamento do ultrassom.

Fonte: (SILVA, 2009)

Yang et al. (2009), por exemplo, propôs uma equação geral relacionando a Velocidade de Pulso Ultrassônico (VPU) a resistência à compressão residual do concreto submetido a temperaturas elevadas.

Todos os resultados experimentais propostos anteriormente, a exemplo Yang et al. (2009), mostraram que a VPU e a resistência à compressão diminuem aumentando a temperatura de exposição para todas as amostras de concreto com diferentes proporções de mistura.

Pesquisas anteriores, como a de Hwang et al. (2018), focaram apenas no desempenho de colunas de concreto durante o fogo, mas é muito importante também entender o desempenho dessas colunas após a fase de resfriamento, porque a maioria das estruturas de concreto expostas às condições de incêndio não entram em colapso e podem ser reutilizadas por métodos de reparo adequados.

No entanto, de acordo com Mustafa & Kadhum (2018), a decisão sobre se é mais econômico reformar as estruturas expostas ao fogo ou se deve ser demolida e reconstruída é uma tarefa desafiadora. Essa decisão requer um entendimento completo do comportamento dessas estruturas após serem expostas ao fogo, a fim de decidir se a capacidade de carga residual ainda é adequada.

Diante dessas premissas, é importante avaliar experimentalmente a resistência do concreto após incêndios através de ensaios de ultrassom em pilares e testemunhos, usando diferentes tempos de exposição à curva padrão (já que os incêndios podem ter durações variadas), pois fornecem resultados imediatos, podendo assim compará-los com ensaios destrutivos em corpos de prova. Espera-se, com isso, obter valores aproximados em ambos os métodos, com base em valores empíricos indicados na bibliografia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta do trabalho é avaliar a resistência residual do concreto pós-incêndio, adotando tempos distintos de exposição e, em cada um desses tempos, segue-se o esquema da Figura 2. Vale salientar que, antes da concretagem dos pilares, são



realizados ensaios de granulometria e de caracterização dos materiais usados na pesquisa, ou seja: a brita 1 e a areia média.

Após a exposição de um pilar de concreto (1 m x 0,3 m x 0,3 m) a elevadas temperaturas, durante determinado tempo, seguindo a curva de incêndio padrão ISO 834 (podendo atingir temperaturas próximas à 1200 °C), é feito o ensaio de ultrassom no mesmo a fim de avaliar a velocidade do pulso ultrassônico. Posteriormente, são extraídos testemunhos destes pilares, seguindo os procedimentos da NBR 7680 (ABNT, 2015) e realizado o ensaio de ultrassom nestes testemunhos.

À medida que são concretados os pilares, também são produzidos corpos de prova, a fim de realizar os ensaios destrutivos que possam ser comparados com os não destrutivos, após a exposição a altas temperaturas. A Figura 2 apresenta um esquema do procedimento experimental deste trabalho.

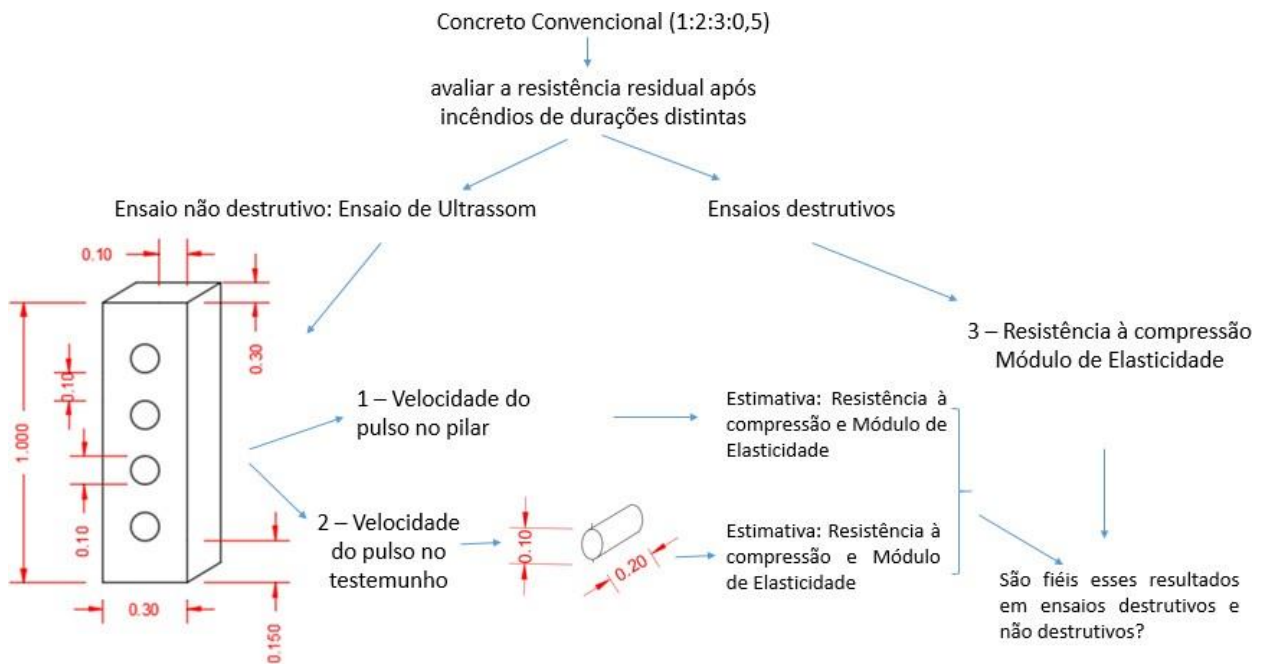


Figura 2 - Esquema do procedimento experimental deste trabalho.

Fonte: O Autor.

Depois de definido o procedimento experimental, foi produzida a forma para os pilares, que será reutilizada através do processo de forma e desforma. A Figura 3 traz a forma para a concretagem dos pilares da pesquisa.



Figura 3 - forma para a concretagem dos pilares da pesquisa.

Fonte: O Autor.

A concretagem dos pilares e dos corpos de prova está prevista para o mês de julho de 2019

e, após um período de cura de 45 dias, serão realizados os ensaios destrutivos e não destrutivos (de ultrassom).

Paralelamente aos ensaios experimentais, serão feitas simulações numéricas no software de elementos finitos Abaqus/CAE, definindo distribuições de temperatura no interior do pilar.

Segundo o EN1992-1-2 (2010), os métodos avançados de cálculo são consolidados pelos modelos numéricos e devem envolver o cálculo da evolução de temperatura nos elementos estruturais e o cálculo do comportamento mecânico (deslocamentos e tensões) dos elementos ou da estrutura expostos ao fogo.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES ESPERADAS

Espera-se que os resultados da velocidade do pulso ultrassônico pós-incêndio indiquem valores aproximados nos dois objetos de avaliação: nos pilares e nos seus respectivos testemunhos.

Os valores da velocidade de pulso ultrassônico (tanto de pilares quanto de testemunhos) serão associados a valores de resistências à compressão e módulo de elasticidade do concreto, de acordo com equações desenvolvidas por diversos autores. Deseja-se, assim, comparar esses resultados com os dos ensaios destrutivos de resistência à compressão e módulo de elasticidade, afim de avaliar a fidelidade dos métodos.

Como cada um dos pilares será exposto a tempos distintos de fogo (60, 120 e 180 min), é previsto que para tempos menores as resistências residuais ainda sejam suficientes para que a estrutura possa ser recuperada sem ser necessária a sua demolição.

A partir da simulação numérica no Abaqus, espera-se obter a resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto após a exposição a altas temperaturas nos tempos predeterminados e compara-los com os ensaios experimentais, obtendo valores com certa aproximação. Além disso, analisar as distribuições de temperatura no interior do material.

### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.2: **General Rules – Structural Fire Design**. EN 1992-1-2.

HWANG, E.; GYUYONG, K.; GYEONGCHEOL, C.; MINHO, Y.; GUCUNSKI, N.; NAMA, J. Evaluation of concrete degradation depending on heating conditions by ultrasonic pulse velocity. **Construction and Building Materials** 171, 511–520, 2018.

MUSTAFA, S. A. & MOHAMMED, M. K.; Experimental and numerical study on post-fire behaviour of concentrically loaded reinforced reactive powder concrete columns. **Construction and Building Materials** 168, 877–892, 2018.

SILVA, D. dos S. **Propriedades mecânicas residuais após incêndio de concretos usados na construção civil na grande Florianópolis**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – SC (Brasil), 102 p., 2009.

YANG, H.; YICHING, L.; CHIAMEN, H.; JIAN-YOU, L. Evaluating residual compressive strength of concrete at elevated temperatures using ultrasonic pulse velocity. **Fire Safety Journal** 44, 121–130, 2009.

## **Desempenho de elementos divisórios em situação de incêndio**

**Matheus Alves Pereira <sup>1\*</sup>, Tiago Ancelmo de Carvalho Pires <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPE

\*mat.alv.pereira@gmail.com

### **RESUMO**

Em face dos últimos acontecimentos relativos a incêndios, tem vindo à tona a importância de pesquisas referentes à segurança contra incêndios. Cite-se, como exemplo, o centro de treinamento do Flamengo, em fevereiro de 2019, no Rio de Janeiro - RJ e, no mundo, a famosa catedral de Notre Dame (2019); dentre inúmeros outros. Especificamente em Pernambuco, aconteceram vários casos de incêndios nos últimos anos. Neste sentido, a indústria da Construção Civil e seus setores relacionados têm concentrado esforços para o desempenho de suas edificações e de sua cadeia produtiva como um todo. Particularmente, elementos divisórios como as paredes tem papel fundamental na segurança contra incêndio das edificações. Pesquisas recentes, mostram que o comportamento de paredes em situação de incêndio ainda precisa de uma pesquisa mais ampla mesmo em países de referência em segurança contra incêndio. Portanto, este trabalho visa a apresentar brevemente os aspectos precípuos da pesquisa cujo objetivo é avaliar o comportamento de um tipo de elemento divisório em situação de incêndio, com restrição a dilatação térmica, mediante uma abordagem experimental e numérica; contribuindo, assim, para a melhoria de segurança contra incêndios em edificações.

**Palavras chaves:** Incêndio. Segurança. Elemento Divisório.

### **ABSTRACT**

In the face of recent events regarding fire, the importance of research on fire safety has come to the fore. As an example, in Brazil, the training center of Flamengo, in February 2019, in Rio de Janeiro - RJ and, in the world, the famous cathedral of Notre Dame (2019); among many others. Specifically, in Pernambuco several cases of fires have occurred in recent years. In the context, the construction industry and its related sectors have concentrated efforts on the performance of their buildings and their production chain as a whole. Particularly, partition walls such as walls have a fundamental role in fire safety. Recent searches, published in international journals of high impact factor, shows that the behavior of walls in a fire situation still needs a broader survey even in reference countries in fire safety. Therefore, this paper aims to present briefly the main aspects of the research which objective is to evaluate the behavior of a type of partition element in a fire situation, with restriction of thermal expansion, through of an experimental and numerical approach; thus, contributing to the improvement of Fire Safety in Buildings.

**Keywords:** Fire; Safety; Partition Element.

## 1. INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro atingiu a marca de 7,7 milhões de moradias em 2017 (SINDUSCON, 2018). Este índice é o terceiro pior da história do Brasil fruto da forte retração da economia do país nos últimos anos. As regiões Nordeste e Sudeste, mais atingidas pela crise, lideram este ranking. Ressalta-se que em sua definição mais ampla, déficit habitacional não caracteriza apenas a ausência de moradia, mas também a necessidade de moradia adequada, ou melhor, que atinja níveis mínimos de qualidade. Neste sentido, medidas estão sendo tomadas. Cite-se a NBR 15575 (2013), recentemente revisada, que versa sobre diversas diretrizes para a melhoria da habitação brasileira, dentre as quais o desempenho das edificações em situações de incêndio.

Incêndios são um problema frequente nas sociedades modernas. No triênio 2011-2013, o Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco atendeu 15 mil ocorrências de incêndios no estado. Destes, 32% ocorreram em edificações o que resulta em uma frequência média de 1600 incêndios/ano em edificações no Estado. Apenas na cidade do Recife, em 2011, foram registrados 946 incêndios, sendo 313 em edificações (CORRÊA et al., 2015).

Este risco é agravado sobremaneira pela ineficiência das regulamentações que tratam do tema, as quais são muitas vezes essencialmente prescritivas. No Brasil, isto tem sido sobrelevado por diversos casos de prejuízos financeiros e perdas humanas: o incêndio do edifício Wilton Paes de Almeida (2018), em São Paulo - SP, que culminou no seu desabamento; o da boate Kiss (2013), em Passo Fundo - RS (2013), que causou 242 mortes e feriu outros 680; e os frequentes incêndios na zona comercial do bairro do Recife - PE. Saliencia-se que em outros países, a despeito da elevada cultura em segurança contra incêndio, sobreveio grandes prejuízos em virtude de incêndios, como o tão recente caso da Catedral de Notre Dame na França. Tais fatos destacam a necessidade e melhoria no tema em questão.

Em 2015, foi criada a Frente Parlamentar Mista em Segurança Contra Incêndio no Congresso Nacional, avultando-se a preocupação da União em elaborar políticas públicas para ampliar a prevenção e o combate a incêndios nas edificações brasileiras. Tal iniciativa versa sobre várias determinações; aponte-se, como exemplo, a Lei nº 13.425 que estabelece a obrigatoriedade de todos os cursos de graduação em Engenharia e Arquitetura, bem como os cursos de tecnologia, de incluir em suas disciplinas conteúdos relativos à segurança contra incêndio.

Neste contexto, elementos divisórios como as paredes tem papel fundamental na segurança contra incêndio das edificações, sejam para garantir a compartimentação horizontal da edificação, sejam garantindo o isolamento térmico e estanqueidade destes elementos para evitar a propagação do incêndio para ambientes adjacentes; ou, ainda, para garantir a resistência ao fogo da edificação, no caso destas serem em alvenaria estrutural, solução comumente adotada para habitações populares na Região Metropolitana do Recife.

Em sendo assim, este trabalho apresenta resumidamente as diretrizes da pesquisa cujo principal objetivo é avaliar o comportamento de um tipo de elemento divisório em situação de incêndio, com restrição à dilatação térmica, através de uma abordagem experimental e numérica contribuindo para melhoria da Segurança contra Incêndio nas Edificações. Ratifica-se que os efeitos das restrições impostas pela estrutura circundante às paredes durante o incêndio ainda não foram estudados, caracterizando um dos principais aspectos inovadores desta pesquisa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Monteiro (2017) analisou a ocorrência do *spalling* (lascamento de camadas ou pedaços de concreto da superfície de um elemento estrutural) em três diferentes traços de concreto de alta resistência. Como os ensaios em concreto utilizando corpos de prova com dimensão padronizada não são normatizados para ensaios em alta temperatura, diferentes

geometrias foram adotadas para analisar essa influência, bem como verificar a distribuição de temperatura no interior do concreto. A influência do tipo de resfriamento (ruptura dos corpos de prova com resfriamento lento e brusco, além do ensaio com o corpo de prova ainda quente) nas propriedades mecânicas residuais foram também estudadas. Para isso, foram feitos testes no forno às temperaturas de 400, 600 e 800°C com diferentes taxas de aquecimento e posteriormente ensaios de resistência à compressão residual. Os resultados mostraram que o cenário mais propício ao lascamento envolve uma relação água/cimento reduzida e uma elevada umidade ambiente, assim como a presença de adições minerais. Constatou-se também que o resfriamento brusco é o que gera mais danos a capacidade de suporte da estrutura. Assim como a influência da geometria e dimensão do corpo-de-prova no valor da resistência à compressão residual, quanto maior a peça, menor a perda de resistência.

Coelho (2017) avaliou a resistência mecânica residual de blocos cerâmicos e argamassas, após serem submetidos a altas temperaturas e resfriados, e avaliou o comportamento das paredes rebocadas e não rebocadas quando submetidas a altas temperaturas. Para o desenvolvimento da pesquisa foram realizadas séries de ensaios de resistência à compressão de corpos de prova. Apresentou-se resultados da resistência à compressão residual dos blocos e argamassa, com dois diferentes tipos de resfriamento (lento e brusco) e ainda aquecidos, tipos de ruptura e módulos de elasticidade. Concluiu-se que a espessura de 1 cm de reboco nas paredes, permite aproximadamente mais 10 minutos de resistência ao fogo e que em caso de incêndio, o resfriamento mais adequado para esse tipo de parede, é o lento, pois apresenta um menor decaimento de resistência.

Observou-se que a análise de elementos divisórios com restrições à dilatação térmica ainda não foi bem estudada e, portanto, constitui um campo desta pesquisa.

### **3. METODOLOGIA PROPOSTA**

Pesquisas recentes mostram que o comportamento de paredes em situação de incêndio ainda necessita de uma pesquisa mais ampla mesmo em países de referência na área de segurança contra incêndio. Isto pode ser observado no estado da arte feito por RUSSO et al. (2013). Os próprios métodos de ensaio ainda possuem questionamentos, podendo induzir a soluções extremamente conservadoras e antieconômicas como levantado por BABRAUSKAS (2009). No âmbito experimental e numérico destacam-se as diversas pesquisas, como as realizadas por NAHHAS et al. (2007) ou NGUYEN et al. (2009). No entanto, a quantidade de resultados ainda é pequena para conclusões definitivas e não abordam pontos importantes como a influência da restrição à dilatação térmica imposta pela estrutura circundante às paredes durante o incêndio.



Figura 1: Forno. Fonte: Borges (2018).

Deve-se utilizar, na análise experimental da pesquisa, o laboratório de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Pernambuco que é munido de um forno (Figura 1) e de todas as ferramentas necessárias à pesquisa. Para a análise numérica, pretende-se

utilizar o ABAQUS – programa baseado em elementos finitos –, mediante o qual serão obtidos resultados para o modelo estudado e comparados com os resultados experimentais. Frise-se que outros trabalhos foram e vem sendo desenvolvidos na universidade com a utilização do supracitado *software* (ABAQUS).

Salienta-se que demais detalhes não foram pormenorizadamente descritos pois a pesquisa se encontra em sua fase primordial, de modo que ainda não se tem um plano de experimentação, tampouco idiosincrasias fora do que foi citado.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou de forma sumária o teor da pesquisa que se destina a estudar um tipo de elemento divisório em situação de incêndio, em virtude da carência de pesquisa na área e por apresentar um ponto ainda não analisado, qual seja, a influência da restrição à dilatação térmica imposta pela estrutura circundante às paredes durante o incêndio. Outrossim, é inequívoca a importância do tema em tela tanto pelos fatos supracitados que causaram inúmeras perdas quanto pelo fato de o Brasil apresentar uma quantidade de resultados na área aquém do que seria necessário para um nível de segurança de qualidade.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013.

BORGES, I. A. **Alvenarias de vedação em concreto simples submetidas a elevadas temperaturas características de processos de incêndio**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife -PE (Brasil), 159 p., 2018.

COELHO, A. A. C. M. **Estudos de comportamento das alvenarias de vedação em blocos cerâmicos submetidos a elevadas temperaturas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife -PE (Brasil), 149 p., 2017.

MONTEIRO, H. B. S. **Estudo das propriedades mecânicas residuais do concreto de alta resistência submetido a altas temperaturas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife -PE (Brasil), 145 p., 2017.

RUSSO, S.; SCIARRETTA, F. **Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behavior and properties — An overview**. *Fire Safety Journal*, 55, p. 69–86, 2013.

BABRAUSKAS, V. **Unexposed-face temperature criteria in fire resistance tests: A reappraisal**. *Fire Safety Journal*, 44, p. 813–818, 2009.

NAHHAS, F. A.; SAADA, R. A.; BONNET, G.; DELMOTTE, P. **Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modeling**. *Applied Thermal Engineering*, 27, p.258–267, 2007.

NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F.; CHAMMAS, R.; MEBARKI, A. **The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks**. *Fire Safety Journal*, 44, p. 629–641, 2009.

## **Optimal maintenance planning for corroded pipelines – brief presentation and discussion of new approach**

**Paulo Fernando Silva Sousa <sup>1\*</sup>, Silvana Maria Bastos Afonso <sup>2</sup>, Ramiro Brito Willmersdorf <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPE

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, UFPE

\*paulofss92@gmail.com

### **RESUMO**

Dutos correspondem a uma das formas mais seguras de transporte no mundo. Grande parte da estrutura dutoviária está enterrada, e pode ser operada remotamente. Essa infraestrutura, contudo, vem envelhecendo, e sofrendo com os efeitos da corrosão, que origina defeitos (perdas de espessura) ao longo da tubulação. Esses defeitos diminuem a resistência do duto, o que tem causado vários acidentes. Os acidentes envolvendo dutos costumam ser bastante graves, por causa dos impactos econômicos, ambientais e sociais. Nesse contexto, ao longo da vida útil, os dutos devem sofrer inspeções e reparos; em princípio, quanto mais inspeções forem feitas, tem-se uma maior segurança. Contudo, as inspeções são eventos de grande custo financeiro, pois requerem a escavação do duto e a interrupção ou redução do que está sendo transportado. Por outro lado, inspeções muito demoradas podem fazer com o que o duto atinja níveis muito baixos de segurança, com elevadas probabilidades de falha. Sendo assim, esse problema de gestão de manutenções se apresenta como um típico problema de otimização: obtenção do planejamento ótimo, ou seja, aquele que leva aos menores valores de custo total. Este trabalho visa, então, apresentar brevemente a formulação e solução desse problema.

**Palavras chaves:** Otimização; Manutenção; Dutos.

### **ABSTRACT**

Pipelines are one the safest ways of transportation of the world. Most part of the pipeline structure is buried, and can be operated remotely. This infrastructure is aging, and facing the effects of corrosion, which causes defects (thickness losses) along the pipe. These defects reduce resistance of the pipe, what has been causing many accidents. The accidents involving pipelines tend to be very serious, because of its economical, environmental and social effects. In this context, during its lifecycle, pipelines should be inspected and repaired; by increasing the number of inspections, the security levels also increase. However, inspections are great cost events, because the pipe needs to be excavated, inspected and possibly repaired, and the transport in the pipeline must be stopped or reduced in these events. On the other hand, a low number of inspections can lead the pipe to very low security levels, with high failure probabilities. This way, the maintenance planning is a typical optimization problem: the goal is to achieve the optimum planning, which leads to the lower cost values. This paper intends, then, to introduce briefly the formulation and solution of this problem.

**Keywords:** Optimization; Maintenance; Pipelines.

## 1. INTRODUCTION

According to Liu et al. (2018a) and Liu et al (2018b), pipelines are an essential way for transporting oil, natural gas and other petroleum products. In addition, Tee & Pesinis (2017) show that pipeline infrastructure grows almost 4% every year around the world. Gomes, Beck & Haukaas (2013), on the other hand, indicate that corrosion, during its lifecycle, reduces the resistance of the pipe; Liu et al. (2018b) show that corrosion is responsible for 36% of pipeline failures. Therefore, it is important to study and comprehend how the integrity of the pipe changes during its lifecycle.

In order to better understand that, maintenance plans can be developed: it means that inspections (and possibly repairs) can be planned for a pipe. Although extremely important, maintenances in pipelines are also expensive (LIU et al., 2018b), because the flow in the pipe must be interrupted, the segment must be excavated and possibly repaired. Besides inspections and repairs, maintenance costs also involve failure costs, which are the eventual costs in a scenario of failure. With less inspections, the cost of inspections and repairs reduce, but the failure costs increase, because the security level decreases. On the other hand, by increasing the number of inspections, the security levels grow, and the failure costs, then, reduces, while inspections and repairs get more expensive.

This way, Gomes, Beck & Haukaas (2013) explain the importance of the optimal allocation of resources: a number of inspections enough to control risks (low costs of failure) and at the same time generate a minimum total cost, which considers the relative costs of inspections, repairs and failures. Mishra, Keshavarzzadeh & Noshadravan (2019) show the importance of a complete analysis of this optimization problem, to avoid either overestimating remaining life of corroded pipelines or overestimate the probability of failure, increasing the lifecycle cost.

## 2. LITERATURE REVIEW

Gomes, Beck & Haukaas (2013) developed an optimal inspection planning for corroded pipelines subjected to external corrosion defects. Their study considered a single pipeline segment and no interaction between defects; corrosion growth was defined as a random empirical model, and the failure pressure was calculated using PCORRC model; in addition, there were considered three different and competing failure modes: small leak, large leak and rupture. As discussed before, this is an optimization problem, described by equation 1. The number of inspections, defined by the time between inspections (in years, predefined) is the only design variable.

$$C_{ET} = C_{REF} + N_{INSP} \cdot C_{INSP} + EnR \cdot C_{REP} + EnF_1 \cdot C_{SMALL} + (EnF_2 + EnF_3) \cdot C_{BURST} \quad (1)$$

This way, equation 1 describes the the optimization problem: by choosing a time between inspections (considering fixed time inspections), with the lifecycle known, the number of inspections can be easily found, with a single division. With the random models for defect growth and burst pressure calculation (PCORRC), discrete time points analysis are performed; considering a whole lifecycle, repeated N different times (to represent randomness and calculate by Monte Carlo sampling), all the values in equation 1 can be determined. All the costs are predefined:  $C_{REF}$  is a reference cost, that considers the installation of the pipe;  $C_{REP}$  is the cost of each necessary repair (for failure or specific criteria), and  $C_{SMALL}$  and  $C_{BURST}$  are the costs associated to the different modes of failure.

As main conclusions, Gomes, Beck & Haukaas (2013) have determined the optimal time between inspection (around 10 years, for a lifecycle of 50 years), which was the one that led to the minimal cost, using equation 1. Besides that, they performed a sensitivity



study, showing that the total expected costs (objective function) is not highly sensitive to the assumed costs of inspection and failure.

Liu et al. (2018b) studied a very similar optimization problem (as described in equation 1), with the same simplifications that Gomes, Beck & Haukaas (2013); the main difference was the applied methodology: a combination of Bayesian Network (for evaluating defect growth) with Genetic Algorithm (GA), to solve optimization. With their developed method, Liu et al. (2018a) brought advances, because the time between inspections and the number of inspections were not fixed, but design variables. As main conclusions, these authors have determined that their strategy of not fixing maintenance time lead the cost to much lower values.

Liu et al. (2018a) have conducted a very similar study, with the main difference in the way of evaluating defect growth: Markov process was adopted, to describe corrosion growth in time. Their conclusions also showed that not fixing the time between inspections lead to much lower costs; by increasing the number of maintenances, the difference between total costs in the traditional way (with fixed maintenance times) and this new approach (called “multi-level optimization”) becomes higher.

### 3. PROPOSED METHODOLOGY

By analyzing the different papers, there is a common point in the conclusions: more studies on interaction between defects are necessary. Gomes, Beck & Haukaas (2013) and Liu et al. (2018a) studied single defects; Tee & Pesinis (2017) and Liu et al. (2018b), on the other hand, considered multiple defects, but sparse, which means one independent from the other (no interaction).

In addition, Motta et al (2017) have conducted studies with finite element analysis, considering multiple interactive defects; their analysis were very reliable and fast because it was made using a computational tool called pipeflaw. By using that same tool, combining with the strategy of surrogate model, described by Mishra, Keshavarzzadeh & Noshadravan (2019), it is possible to develop a new method of analysis: using pipeflaw results to create surrogate models for the burst pressure of pipelines.

Therefore, instead of evaluating the failure pressure by empirical equations, such as PCORRC or RPA, this pressure can be evaluated by the new developed surrogate model. As shown in Motta et al. (2017), the results obtained with finite element analysis are much more reliable (closer to experimental ones); figure 1 shows a really good agreement in failure between the finite element model and the experimental test; the authors showed that the burst pressures considering interaction using empirical equations is extremely conservative, which can lead to loss of money results (by taking a pipe out of operation before time or invest in an not necessary maintenance).

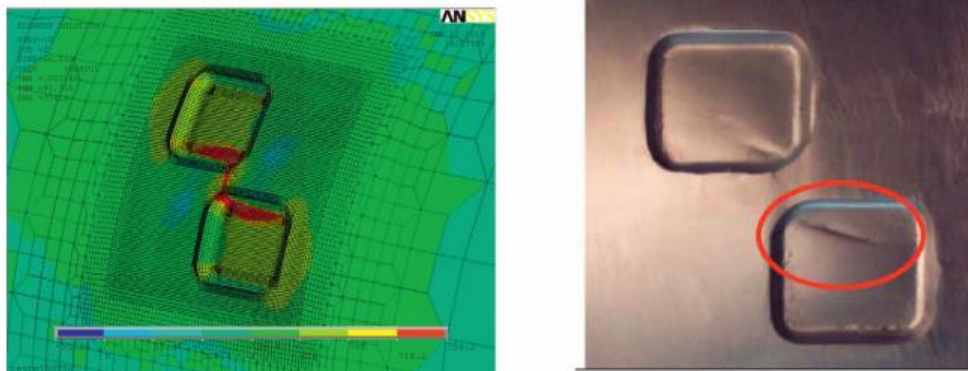


Figure 1: Good agreement between numerical and experimental results. From: Motta et al (2017).

#### **4. PRELIMINARY CONCLUSIONS**

The papers presented in the previous sections show that the optimal maintenance planning is being studied worldwide, in different perspectives. After analyzing this recent published work, it is possible to observe some problem limitations, such as the consideration of interactive defects. As long as the calculation of failure pressure in all previous work is based on empirical equations, proposing a different way of calculating this pressure is a innovative approach. As shown, it is possible to combine different methodologies from the previous papers to develop a new one, based on calculating the failure pressure through finite element analysis. Although this kind of analysis is very expensive in a computational way (it requires a lot of time to process), alternative approaches can be used, in order to reduce the processing time, such as the creation of a surrogate model, with the tool pipeflaw. This tool allows the creation and calculation of many different finite elements model in a short time. Therefore, the optimization problem can be applied just as described in literature review, with the main difference that failure pressure can be easily calculated through a surrogate model instead of an empirical (traditional) one.

#### **REFERENCES**

- GOMES, W.J.S; BECK, A.T.; HAUKAAS, T. Optimal inspection planning for onshore pipelines subject to external corrosion. **Reliability Engineering and System Safety**, v.118, p. 18-27, 2013.
- LIU, X.; ZHENG, J.; FU, J.; JI, J.; CHEN, G. Multi-level optimization of maintenance plan for natural gas pipeline systems subject to external corrosion. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v.50, p. 64-73, 2018a.
- LIU, X.; ZHENG, J.; FU, J.; NIE, Z.; CHEN, G. Optimal inspection planning of corroded pipelines using BN and GA. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v.163, p. 546-555, 2018b.
- MISHRA, M.; KESHAVARZZADEH, V.; NOSHADRAVAN, A. Reliability-based lifecycle management for corroding pipelines. **Structural Safety**, v.76, p. 1-14, 2019.
- MOTTA, R.S.; CABRAL, H.L.D; AFONSO, S.M.B; WILLMERSDORF, R.B.; BOUCHONNEAU, N.; LYRA, P.R.M; ANDRADE, E.Q. Comparative studies for failure pressure prediction of corroded pipelines. **Engineering Failure Analysis**, v.81, p. 178-192, 2017.
- TEE, K.F.; PESINIS, K. Reliability prediction for corroding natural gas pipelines. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v.65, p. 91-105, 2017.

## **Otimização multiobjetivo robusta com restrições baseadas em confiabilidade**

**Jacqueline Cristine Messias do Nascimento<sup>1,\*</sup>, Renato de Siqueira Motta<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* jacqueline-cristine1@hotmail.com, renatodesiqueira@hotmail.com

### **RESUMO**

Atualmente, nos projetos da engenharia estrutural são utilizados modelos determinísticos com fatores de segurança definidos por normas, no caso brasileiro a NBR 6118 (ABNT, 2014), que não permite mensurar o nível de confiabilidade estrutural. Por isso, foi escolhido a Otimização Robusta Baseada em Confiabilidade (RBRDO), que se caracteriza por um problema onde as incertezas de projeto são tratadas estatisticamente, permitindo mensurar tal nível de confiabilidade, e apresenta, além de um bom desempenho, uma baixa sensibilidade às incertezas do problema. Além disso, muitos problemas de engenharia possuem mais de uma meta a ser otimizada e para resolução desses problemas é empregada a Otimização Multiobjetivo (MO), onde é necessário encontrar pontos ótimos chamados pontos de Pareto que, nesse trabalho, serão encontrados pelos métodos da Soma Ponderada, Min-Max e da Interseção Contorno-Normal (NBI). Como exemplo, foi utilizado um pórtico plano com três pavimentos, onde os métodos da MO foram implementados na linguagem Python, a qual possui licença gratuita como um dos pontos positivos, e o restante das ferramentas computacionais foi desenvolvido com o uso de bibliotecas pré-existentes, também gratuitas e na mesma linguagem.

**Palavras chaves:** Otimização robusta; Otimização Multiobjetivo; Confiabilidade.

### **ABSTRACT**

Currently, structural engineering projects use deterministic models with safety factors defined by standards, in the Brazilian case NBR 6118 (ABNT, 2014), which does not allow measuring the level of structural reliability. For this reason, Reliability Based Robust Design Optimization (RBRDO) was chosen, which is characterized by a problem where design uncertainties are statistically treated, allowing to measure such level of reliability, and presents, besides a good performance, a low sensitivity to uncertainties of the problem. In addition, many engineering problems have more than one goal to be optimized and to solve these problems Multiobjective Optimization (MO) is employed, where it is necessary to find optimal points called Pareto points that, in this work, will be found by the methods Weighted Soma (WS), Min-Max and the Normal Boundary Intersection (NBI). As an example, a three-floor plan frame was used, where the MO methods were implemented in the Python language, which is free license as one of the strengths, and the rest of the computational tools were developed using pre-existing libraries, also free and in the same language.

**Keywords:** Robust optimization; Multiobjective optimization; Reliability.

### **1. INTRODUÇÃO**

As prescrições normativas utilizadas atualmente para projetos de estruturas de concreto armado, baseiam-se na análise semi-probabilística. Esta abordagem, no entanto, passa a ser questionável quando esta trata de projetos otimizados, pois tendem a se localizar no contorno das restrições onde pequenas perturbações podem levar a violação das restrições do projeto. Algum grau de incerteza ou variação nas características das estruturas é inevitável, por isso, a análise de confiabilidade, que permite mensurar a probabilidade de falha estrutural associada aos critérios de projeto, vem ganhando espaço.

Neste trabalho também será estudada a Otimização Multiobjetivo (MO), tornando-o mais realista, pois muitos problemas de engenharia possuem mais de um objetivo, no geral conflitantes, a serem otimizados, onde a abordagem adequada para resolução desses problemas é constituída por uma classe de estratégias baseadas no denominado conceito de Pareto. Será utilizado o método da intercessão contorno-normal (NBI, do inglês Normal Boundary Intersection), um algoritmo eficiente desenvolvido nas últimas décadas por Das & Dennis (1996) e que obtém distribuições eficientes de pontos de Pareto para problemas bi-objetivos. Os resultados também são comparados com as abordagens clássicas: Método da Soma Ponderada e Método Min-Max.

Nas restrições de confiabilidade utilizou-se o método de confiabilidade de primeira ordem (FORM, do inglês First Order Reliability Method) para encontrar o índice de confiabilidade. Para análise estrutural utilizou-se o Método de Elementos Finitos (MEF), com um código implementado por Alves (2017) na linguagem Python. Acrescido de bibliotecas pré-existentes para análise de confiabilidade (PyRe) e otimização (SciPy.optimize), na mesma linguagem, o que diferencia da maior parte das demais literaturas existentes, além de código próprio para os métodos da MO.

## 2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA E MÉTODOS

A formulação matemática do problema de otimização multiobjetivo consiste em encontrar um conjunto de  $n$  variáveis de projeto contido num vetor  $\mathbf{x}$ , tal que minimize o vetor de funções objetivo  $\mathbf{F}(\mathbf{x}) = [f_1(\mathbf{x}), \dots, f_{nobj}(\mathbf{x})]$ , sujeito a restrições de igualdade ou desigualdade e aos limites das variáveis de projeto. Nesse trabalho, as restrições são baseadas em confiabilidade.

A análise de confiabilidade baseia-se na ideia de que sempre há uma probabilidade de que a estrutura venha a falhar, essa probabilidade é quantificada pelo índice de confiabilidade ( $\beta$ ). Para encontrar tal índice, utilizou-se o FORM, que faz uma aproximação linear da função de falha no ponto de maior probabilidade de falha. Por se tratar de uma otimização robusta, são geradas amostras randômicas baseadas nas distribuições de cada variável aleatória para cálculo das medidas de robustez que são as médias e os desvios padrões das funções de interesse.

Usualmente, não é possível encontrar um projeto que seja ideal para todos os objetivos, em vez disso, existe um conjunto de soluções para o problema, cada ponto deste conjunto representa uma relação entre os objetivos. Para encontrar essas soluções pode ser empregado o conceito de Pareto. Os pontos de Pareto apresentam a propriedade de que ao se mover na direção decrescente de uma função, pelo menos uma outra função tem seu valor aumentado. Foram utilizados três métodos para encontrar tais pontos.

- O Método da Soma Ponderada é o mais empregado devido ao seu simples uso e fundamenta-se em minimizar a soma das funções objetivo, normalizadas e ponderadas por um vetor de coeficiente de ponderação  $\beta_j$ , e repetir para várias ponderações diferentes;

- O Método Min-Max foi criado, baseado no método da soma ponderada, para se minimizar o problema na obtenção de pontos uniformemente distribuídos, diferenciando-se na normalização das funções objetivos;

- O NBI foi introduzido com o objetivo de encontrar pontos eficientes do contorno no espaço das funções objetivos, que possibilitem a construção de uma curva suave.

Detalhes dessas metodologias podem ser encontrados em Motta (2015).

## 3. ESTUDO DE CASO

O exemplo utilizado foi retirado da referência Coêlho (2017) e trata-se de um pórtico plano com três pavimentos com carregamento uniformemente distribuído aplicado ao longo de suas vigas, como mostra a Figura 1.

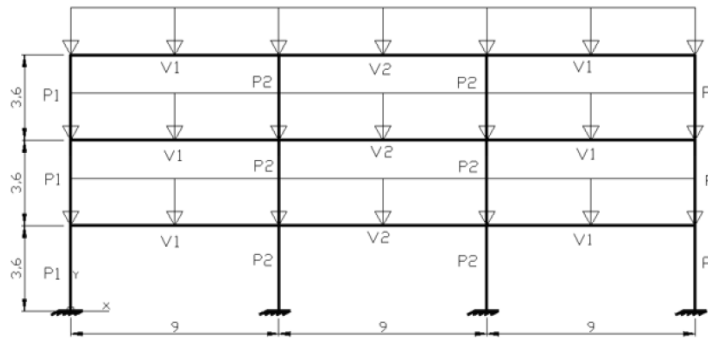


Figura 1: Pórtico plano. Fonte: Alves (2018).

Foram adotados dois grupos de vigas e pilares: os pilares do tipo 01 são os do canto e os do tipo 02 são os do centro; as vigas dos vãos extremos são as do tipo 01 e as do vão central do tipo 02. Para obter os esforços nas vigas foram discretizados em dois elementos de mesmo tamanho em cada vão, portanto a estrutura possui um total de 30 elementos de barras (12 pilares + 18 vigas).

Admitiu-se o valor recomendado para o nível de confiabilidade, para a verificação de estado limite último,  $\beta = 4.2$ . As variáveis adotadas como de projeto para o problema foram as dimensões das vigas e pilares de cada grupo e as áreas de aço dos elementos. As variáveis aleatórias, assim como as suas respectivas distribuições e parâmetros relacionados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Definição das variáveis aleatórias

Variáveis	Unidade	PDF	Média	V
Base das vigas	cm	Normal	Variável	0.025
Altura das vigas	cm	Normal	Variável	0.025
Base dos pilares	cm	Normal	Variável	0.025
Altura dos pilares	cm	Normal	Variável	0.025
As positivo	cm <sup>2</sup>	Determinístico	Variável	-
As negativo	cm <sup>2</sup>	Determinístico	Variável	-
As pilares	cm <sup>2</sup>	Determinístico	Variável	-
Resistência do concreto	MPa	Lognormal	39.38	0.10
Resistência do aço	MPa	Lognormal	491.2	0.05
Módulo de elasticidade do aço	GPa	Normal	210	0.05
Carga permanente	kN/m	Normal	16.5	0.04
Sobrecarga	kN/m	Normal	-6.84	0.10

Fonte: Adaptado de Alves (2008).

O problema possui dois objetivos, o primeiro é minimizar a média do custo total da estrutura, o segundo é minimizar o desvio padrão do deslocamento máxima. As restrições possuem o formato da equação 1, sendo associadas às funções estado limite que se referem aos momentos (positivos e negativos) e esforços cortante resistentes nas vigas e aos momentos fletores resistentes nos pilares.

$$g_i^T(\mathbf{x}) = \beta_i - \beta_{alvo}(\mathbf{x}) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (1)$$

Esse problema foi resolvido pelos três métodos de otimização multiobjetivo apresentados, encontrando-se 11 pontos de Pareto para cada método e os resultados estão ilustrados no gráfico da Figura 2, onde o custo está em dólares americanos (USD). O método da soma ponderada obteve pontos mais concentrados na região inferior, enquanto que o método min-max conseguiu minimizar esse efeito e como esperado, os pontos do método NBI possuem uma distribuição mais uniforme.

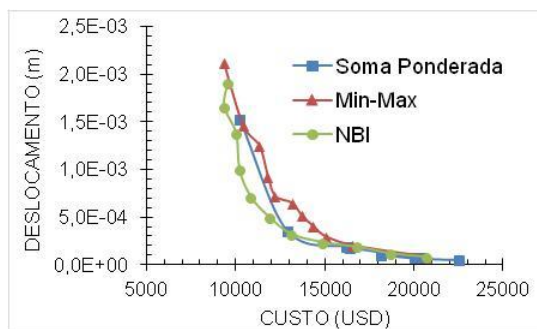


Figura 2: Curvas de Pareto para cada método. Fonte: Os autores.

O NBI foi o método que obteve melhores resultados, porém mais custoso, com maior número de iterações e de avaliações de funções, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Comparação entre os métodos

Método	Iterações	Avaliações de funções
Soma Ponderada	335	5736
Min-Max	502	8440
NBI	882	15860

Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Para o exemplo escolhido, foram encontradas as curvas de Pareto de cada método aplicado, dentro do nível de confiabilidade aceitável, sendo possível a escolha do projeto ótimo global, de acordo com a necessidade do projetista. O método NBI mostrou ser o método com melhores resultados, obtendo a melhor curva por ser a mais suave e com pontos uniformemente distribuídos. O código adaptado é de fácil utilização e obteve resultados bons e coerentes, além de ser composto por bibliotecas gratuitas e de licenças públicas, portanto, não será difícil a implementação para outros métodos de otimização multiobjetivo ou para diferentes objetivos dos escolhidos.

#### REFERÊNCIAS

- ALVES, B. S. **Otimização baseada em confiabilidade de pórticos de concreto armado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- COÊLHO, G. A. G. **Otimização de pórticos planos de concreto armado utilizando ajuste de parâmetros e operadores do algoritmo genético**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2017.
- DAS, I.; & DENNIS, J. E. Normal-Boundary Intersection: A new method for generating the Pareto surface in nonlinear multicriteria optimization problems. **SIAM J. Optimization**. v.8, n. 3, p. 631-657,1996.
- MOTTA, R. S. **Otimização sob incertezas de estruturas com comportamento não linear utilizando modelos de ordem reduzida**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2015.

## **Resistência ao fogo de paredes de gesso**

**Roberta Tabaczenski de Sá <sup>1,\*</sup>, Cristovão J. D. Feitosa <sup>2</sup>, José J. Bezerra <sup>2</sup>,  
Tiago Ancelmo de Carvalho Pires <sup>1,\*</sup>, José J. R. Silva <sup>2</sup>, Cleandro O. S. Alencar <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil (DEC)

<sup>3</sup> Lajeiro Gesso Ltda

\* robertatdesa@gmail.com, tacpires@yahoo.com.br

### **RESUMO**

O artigo aborda a resistência ao fogo de paredes de vedação constituídas de blocos maciços de gesso. Ensaio experimentais foram realizados de acordo com as indicações da ABNT NBR 10636 (1989), com um tempo de exposição ao fogo de 120 min, em 3 (três) paredes constituídas de blocos maciços de gesso com 5 cm, 7 cm e 10 cm de espessura. Os resultados indicam que: a parede de 5 cm de espessura não atendeu a todos os critérios exigidos pela norma durante o tempo de exposição e, portanto, é enquadrada em uma classificação menor ou igual à PC 90 / CF 90; as paredes de 7 cm e 10 cm de espessura atenderam a todos os critérios exigidos pela norma durante o tempo de exposição e, portanto, são enquadradas em uma classificação maior ou igual à CF 120.

**Palavras chaves:** Segurança contra incêndio; Resistência ao fogo; Paredes de vedação; Paredes de gesso.

### **ABSTRACT**

The article deals with the fire resistance of sealing walls made of solid plaster blocks. Experimental tests were performed according to ABNT NBR 10636 (1989) indications, with a fire exposure time of 120 min, in 3 (three) walls consisting of solid blocks of plaster with thickness of 5, 7 and 10 cm. The results indicate that: a 5 cm thick wall is not in all the elements required by the standard during exposure time and is therefore rated as less than or equal to PC 90 / CF 90; as 7 and 10 cm thick walls for all drawings required by the standard during exposure time and thus fall within a rating greater than or equal to CF 120.

**Keywords:** Fire safety; Fire resistance; Fencing walls; Plaster walls.

### **1. INTRODUÇÃO**

Incêndios são eventos trágicos que ocorrem com frequência no Brasil e no mundo, possuindo um grande potencial destrutivo de patrimônio e de vidas. A Segurança Contra Incêndio (SCI) dedica-se a estudar os mais variados temas relacionados à esta problemática. Dentre estes estudos, a resistência ao fogo de paredes vem ganhando destaque, visto que estes elementos, sejam construtivos ou estruturais, são responsáveis pela compartimentação de ambientes e/ou proteção de elementos estruturais, sendo grandes responsáveis pela redução dos danos causados pelos sinistros.

Devido ao baixo custo, facilidade e agilidade de instalação, as paredes de gesso são largamente utilizadas como sistemas de compartimentação de ambientes em escritórios, prédios comerciais, residências, dentre outros, estando presente em boa parte de edificações atuais.

Dado a sua importância, este trabalho tem por objetivo analisar experimentalmente o desempenho quanto ao isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade de paredes

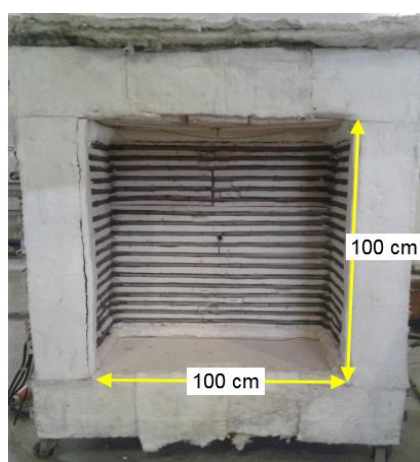
constituídas de blocos maciços de gesso com 5 cm, 7 cm e 10 cm de espessura, conforme as indicações da ABNT NBR 10636 (1989).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

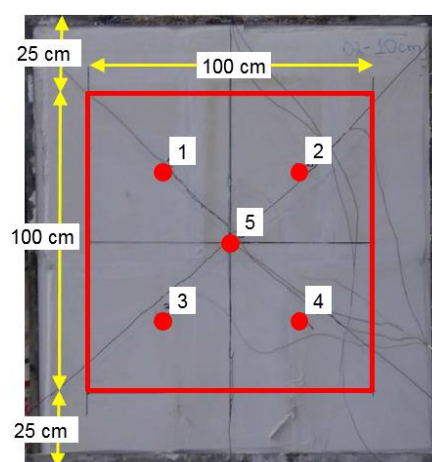
Foram analisadas experimentalmente 3 (três) paredes, com dimensões de 150 cm de altura por 150 cm de largura, com espessuras de 5 cm, 7 cm e 10 cm, sendo 1 (uma) amostra de cada espessura. Estas amostras foram confeccionadas com blocos maciços de gesso com dimensões de 70 cm de altura por 50 cm de largura, com encaixe do tipo macho-fêmea, ligados entre si por argamassa de gesso industrializada.

Para realização dos experimentos foi utilizado um forno de resistência elétrica com abertura da face em contato com a parede com dimensões de 100 cm x 100 cm (como apresentado na Figura 1.a), programado para reproduzir a curva de incêndio-padrão ISO 834-1 (1999), com uma temperatura ambiente inicial de 30°C e tempo de ensaio limitado a 120 min.

Para medição das temperaturas, foram utilizados 10 termopares do tipo K, dispostos uniformemente dentro do forno e na face da parede que não era exposta à curva de incêndio-padrão. Os termopares no interior do forno permaneceram a uma distância de 10 cm da face exposta das paredes, enquanto que os termopares exteriores ao forno (face não exposta ao fogo) permaneceram em contato direto com os blocos de gesso, cujo posicionamento não coincidiu com a argamassa de assentamento. O esquema da disposição dos termopares dentro e fora do forno é apresentado na Figura 1.b.



(a) forno de resistência elétrica



(b) disposição dos termopares dentro do forno e na face não exposta ao fogo

Figura 1: Detalhes da instrumentação. Fonte: Os autores.

A temperatura do forno em cada ensaio foi definida pela média aritmética das temperaturas medidas pelos termopares dispostos à 10 cm da face exposta ao fogo. Por sua vez, os termopares dispostos na face não exposta possibilitam a medida da temperatura média e temperatura máxima nas faces das paredes.

Em todas as amostras foram realizados testes de isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade conforme indicações da ABNT NBR 10636 (1989). Todos os ensaios foram realizados no interior do laboratório de materiais de construção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em local de pressão, umidade ou velocidade do ar em situação ambiente.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Isolamento térmico

Segundo a ABNT NBR 10636 (1989), o isolamento térmico é a capacidade da parede resistir à transmissão do calor da face exposta para a face não exposta ao fogo, impedindo que as temperaturas na face não exposta superem os seguintes limites: (i) temperatura média máxima à 140°C; (ii) acréscimo de 180°C em qualquer termopar com relação a temperatura ambiente, ou seja, 30°C + 180°C = 210°C. O descumprimento de qualquer um desses critérios indica que a parede deixou de satisfazer o critério de isolamento térmico.

Durante os 120 min de ensaios realizados, todas as amostras cumpriram com esses critérios.

A Figura 2 apresenta as curvas de temperaturas médias nas faces não expostas ao fogo nos ensaios das 3 (três) amostras. Como esperado, a amostra de 5 cm de espessura foi a que apresentou as maiores temperaturas médias, tendo uma diferença de 26 °C com relação a parede de 10 cm aos 25 min de ensaio. Já as paredes de 7 cm e 10 cm apresentaram uma diferença de temperatura média máxima de 7 °C aos 30 min de ensaio. A máxima temperatura medida em cada amostra foi: (i) 5 cm: 75 °C; (ii) 7 cm: 63 °C; (iii) 10 cm: 55 °C.

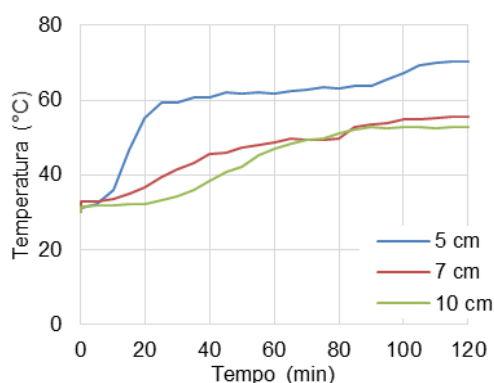


Figura 2: Temperaturas médias nas faces não expostas ao fogo. Fonte: Os autores.

#### 3.2 Estanqueidade

Segundo a ABNT NBR 10636 (1989), a estanqueidade é a capacidade da parede não apresentar trincas ou aberturas suficientes para permitir a passagem de gases quentes ou chamas da face exposta para a face não exposta ao fogo. Sendo esta aferida por meio do teste de inflamação de chumaço de algodão.

No transcorrer dos ensaios não foi observada a emissão de fumaça ou gases tóxicos. Observou-se apenas a emissão de um volume considerável vapores de água decorrente da desidratação do gesso.

Além disso, foi observado que o surgimento de fissuras na face não exposta das paredes se deu principalmente nas juntas (união dos blocos maciços de gesso), sendo justamente estes locais os mais suscetíveis à perda de estanqueidade das amostras.

Após o término dos ensaios observou-se que, além das fissuras nas juntas, a face exposta ao fogo apresentou fissuras mapeadas, decorrentes da desidratação e retração do gesso.

Durante os ensaios das 3 (três) amostras, as fissuras e trincas foram monitoradas, sendo periodicamente realizado o teste de chumaço de algodão. Destas, apenas a amostra de 5 cm de espessura teve sua resistência ao fogo limitada pela estanqueidade aos 115 min de ensaio. As demais amostras não apresentaram inflamação do chumaço de algodão, mantendo-se estanques durante dos 120 min de ensaio.

### 3.3 Estabilidade

Segundo ABNT NBR 10636 (1989), a estabilidade é a característica da parede manter-se íntegra, sem apresentar colapso, durante todo o período de ensaio e quando submetido ao teste de choque mecânico, na face não exposta ao fogo, de uma esfera de aço em movimento pendular.

O teste de choque mecânico foi aplicado somente no final dos ensaios, ou seja, aos 120 min. Estes testes foram realizados aplicando o impacto normativo em três pontos distintos alinhados horizontalmente a 75 cm de altura dos corpos de prova.

No decorrer de todos os ensaios, nenhuma amostra apresentou quaisquer indícios de risco de colapso. Entretanto, durante a execução do teste mecânico, a amostra de 5 cm colapsou no segundo impacto. As demais amostras, não tiveram o mesmo comportamento, mantendo-se estáveis mesmo após a execução do teste de choque mecânico.

## 4. CONCLUSÕES

Este trabalho abordou a análise experimental da resistência ao fogo de 3 (três) paredes de vedação constituídas de blocos maciços de gesso segundo as indicações da ABNT NBR 10636 (1989). Assim, as seguintes conclusões foram obtidas:

- As paredes foram capazes de manter o critério de isolamento térmico durante os 120 min de ensaio, sendo 75 °C a temperatura máxima na face não exposta ao aquecimento que ocorreu na amostra com 5 cm de espessura;
- O surgimento de fissuras na face não exposta das paredes se deu principalmente nas juntas (união dos blocos maciços de gesso), sendo justamente um destes locais que, aos 115 min, foi o responsável pela perda de estanqueidade da amostra de 5 cm. As paredes com 7 cm e 10 cm de espessura não apresentaram perda de estanqueidade durante os 120 min de ensaio;
- Apenas a parede de 5 cm de espessura apresentou colapso devido ao teste de choque mecânico;
- As paredes podem enquadradas nas seguintes classificações segundo a ABNT NBR 10636 (1989): (i) 5 cm: menor ou igual à PC 90 / CF 90; (ii) 7 cm: maior ou igual à CF 120; (iii) 10 cm: maior ou igual à CF 120.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, 1989.

INTERNATIONAL STANDARD – **ISO 834-1: Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements**. Switzerland, 1999.



## **Análise da interação entre as partículas de um solo expansivo no município de Paulista-PE com a adição de cinza de casca de arroz**

**Izabela Medeiros de Lima Bezerra <sup>1\*</sup>, Silvio Romero de Melo Ferreira <sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* izabelamedeiros92@gmail.com, sr.mf@hotmail.com

### **RESUMO**

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento reológico de um solo de alta expansividade localizado no município de Paulista no estado de Pernambuco, por meio da adição de 10% de cinza de casca de arroz (CCA) ao solo. O estudo do comportamento reológico está associado com a interação entre as partículas do solo com o fluido. As amostras foram moldadas nas umidades correspondentes ao limite de liquidez e limite de plasticidade e comprimidas com medidas de deslocamento e carga. O resultado obtido com o ensaio squeeze-flow consiste numa curva carga *versus* deslocamento que apresenta comportamento elástico, plástico e plástico com endurecimento dependendo da quantidade de água, de finos e da consistência do material. Com os resultados obtidos foi possível avaliar a mudança de comportamento do solo e do solo com adição de CCA com a alteração da umidade.

**Palavras chaves:** Solos não saturados; Solos expansivos; Cinza de casca de arroz; Squeeze-flow.

### **ABSTRACT**

The objective of this paper was to analyze the rheological behavior of a soil with high expansivity located in the municipality of Paulista in the state of Pernambuco, by adding 10% of rice husk ash to the soil. The study of rheological behavior is associated with the interaction between soil particles and fluid. The samples were molded in the humidity corresponding to the limit of liquidity and plasticity limit and then compressed with displacement and load measurements. The result obtained with the squeeze-flow test consists of a load versus displacement curve that exhibits elastic behavior, plastic and plastic with hardening depending on the amount of water, fines and material consistency. With the results obtained, it was possible to evaluate the soil and soil behavior change with the addition of rice husk ash with the humidity change.

**Keywords:** Unsaturated soils; Expansive soils; Rice husk ash; Squeeze-flow.

### **1. INTRODUÇÃO**

Segundo Morais (2017), solos expansivos são provenientes de regiões áridas e semiáridas, onde a evapotranspiração excede a precipitação e ocorrem em todo o mundo. São solos argilosos não saturados que contraem quando perdem umidade e aumentam de volume quando a umidade eleva. A presença de argilominerais expansivos, em especial a montmorilonita, é a principal causa da mudança significativa de volume dos solos quando em processos de variação de umidade com consequentes danos às edificações assentes sobre eles.

A reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitado por forças externas. O estudo do comportamento reológico está associado com a interação entre as partículas do solo com o

fluido, ou seja, é de grande importância para aplicação em obras de engenharia (NOTARO, 2012).

A execução de obras de engenharia assente sobre solos desse tipo sem a adoção de técnicas adequadas de melhoramento pode causar diversos problemas às construções. Segundo Paiva (2016), a tomada de medidas com finalidade de diminuir ou, até mesmo, anular os efeitos da expansividade de um solo, é de grande importância na execução de um projeto, evitando, assim, ações indesejadas emergenciais, devido às tensões de expansão, durante o umedecimento do solo, deslocando ou levantando estruturas, ou contraindo quando for desidratado, causando grandes transtornos.

A presente pesquisa trata de um tema relevante na área geotécnica ao estudar o comportamento de solos expansivos e do solo misturado com cinza de casca de arroz com a variação da umidade. Como também, de forma indireta, busca uma solução alternativa para destinação de resíduos. O Brasil é responsável por produzir 10,6 milhões de toneladas de arroz, segundo FAO (2016), a produção desse resíduo torna-se significativamente um problema ambiental a ser resolvido (CONSTANTINO, 2018).

O trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento reológico do solo de Paulista-PE e de sua mistura com 10% cinza de casca de arroz - CCA por meio do ensaio squeeze-flow.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de squeeze-flow consiste em medir o esforço necessário para comprimir uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas. O ensaio foi realizado com controle por deslocamento em que o material foi submetido a um deslocamento efetuado com velocidade constante enquanto a força era medida.

Os resultados são mostrados em uma curva de carga (N) *versus* deslocamento (mm), os resultados seguem um perfil reológico de três estágios, conforme a Figura 1. O estágio I equivale a um pequeno deslocamento, apresentando deformação elástica linear e está relacionado provavelmente à tensão de escoamento do material. O estágio II trata-se de um deslocamento intermediário, mostrando uma deformação plástica e/ou viscosa dependendo de suas características. Já no estágio III, ocorre um aumento expressivo da carga necessária para dar continuidade à deformação do material, influenciado pela aproximação dos agregados e o atrito entre eles (CARDOSO et al, 2010).

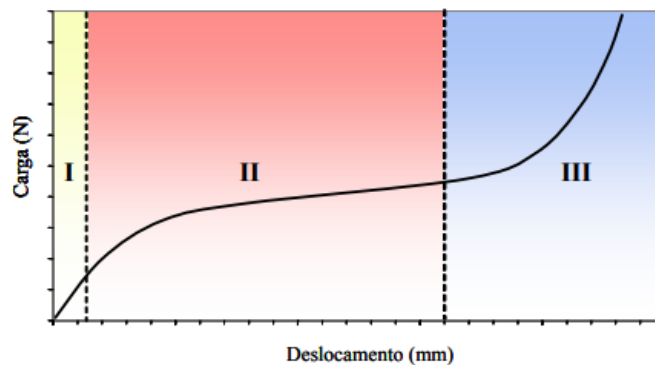


Figura 1: Perfil típico de uma curva carga *versus* deslocamento de um ensaio squeeze-flow. Fonte: Cardoso et al, 2010.

O equipamento utilizado no ensaio foi uma prensa universal com controle de deslocamento e com anel dinamométrico de 1000 N e 5000 N. A velocidade adotada foi de 0,04 mm/s e deslocamento máximo de 8 mm. A Figura 2 mostra as peças utilizadas no ensaio. A moldagem é realizada com auxílio da espátula que serve também para nivelar a superfície da amostra.

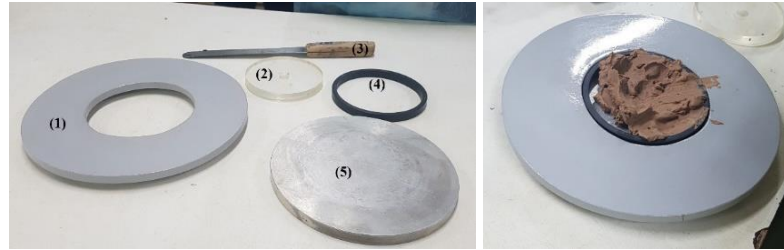


Figura 2: Ferramentas utilizadas para moldagem das amostras: (1) gabarito; (2) placa superior; (3) espátula; (4) anel para moldagem; (5) placa inferior. Fonte: Os autores.

Para a realização do ensaio foi feito o peneiramento do solo coletado da profundidade de 0,10 m a 2,00 m sem secagem prévia, e foi passado na peneira de abertura igual a 4,76 mm para uniformização da dimensão dos grumos. Após isso foi calculada a massa de solo necessária para preencher o anel de moldagem, mantendo o índice de vazios constante igual a 1,72 para todas as umidades ensaiadas próximas aquelas utilizadas na determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade. Foi utilizado solo natural e misturado com 10% de CCA (teor de CCA que estabiliza o solo quanto a expansão segundo Constantino, 2018).

Coloca-se a amostra de solo sobre a placa inferior utilizando o anel de moldagem e o gabarito. Com o auxílio da espátula, coloca uma quantidade do material dentro do molde e faz o preenchimento uniforme. Retira-se o gabarito e em seguida o anel de moldagem. Faz o transporte da placa inferior com a amostra centralizada para a máquina de ensaio e acopla a placa sobre a base. Após regularizar o anel de carga e o deslocamento, o ensaio está pronto para ser realizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta as curvas carga *versus* deslocamento obtidas do ensaio squeeze-flow correspondentes as umidades do ensaio do limite de liquidez e a Figura 4 apresenta as curvas carga *versus* deslocamento correspondentes as umidades do ensaio do limite de plasticidade.

Quando comparadas com a curva teórica, Figura 1, as curvas correspondentes ao limite de liquidez do solo natural assim como do solo misturado com 10% de CCA apresentaram resultados semelhantes aos trechos I e II. O primeiro estágio está relacionado a pequenas deformações e no segundo estágio o material é capaz de sofrer elevadas deformações, sem aumento significativo da força necessária para o deslocamento. Já a curva correspondente ao limite de plasticidade apresenta apenas o trecho I com deformação elástica linear, o material comporta-se como um semissólido.

Nota-se que quanto maior o percentual de umidade, menor é a carga suportada pela amostra, ou seja, a umidade é importante na influência da carga *versus* deslocamento. A plasticidade também é importante, pois um limite de liquidez maior promove uma menor carga para um mesmo deslocamento em milímetros, fato ocorrido com solo-CCA.

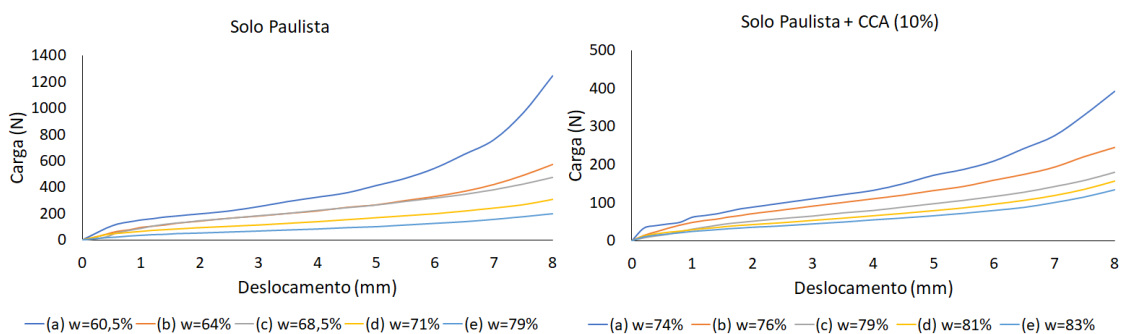


Figura 3: Curva carga *versus* deslocamento nas umidades próximas ao limite de liquidez. Fonte: Os autores.

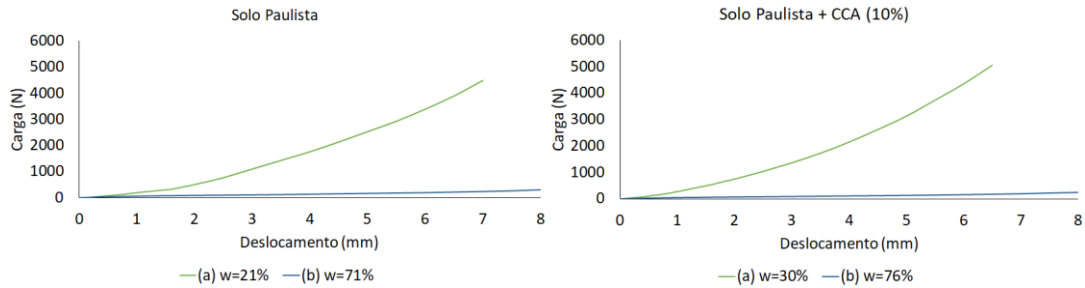


Figura 4: Curva carga *versus* deslocamento nas umidades próximas ao limite de plasticidade e ao limite de liquidez. Fonte: Os autores.

O solo natural apresenta os seguintes valores para limite de liquidez e limite de plasticidade, LL= 73% e LP = 26% e solo mais 10% CCA, LL = 77% e LP = 29,5%. Como forma de simular as condições do solo encontradas em campo, os ensaios dos limites de liquidez e plasticidade foram realizados sem a secagem prévia do solo.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise da curva carga *versus* deslocamento possibilita a compreensão do comportamento reológico do solo em diferentes situações, partindo do repouso, até um elevado nível de deformação.

O ensaio de squeeze-flow é capaz de aferir a variação e a forma da curva carga *versus* deslocamento do solo em umidades relacionadas às obtidas através dos limites de consistência. Para umidades inferiores ao limite de liquidez, as curvas encontram-se localizadas a esquerda, quando comparadas às curvas das umidades do limite de liquidez, resultado semelhante ao encontrado por Notaro (2012). Assim como a umidade, a plasticidade também é um fator importante na influência carga *versus* deslocamento.

#### REFERÊNCIAS

CARDOSO, F. A., PILEGGI, R. G., JOHN, V. M. **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: manual de utilização**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP, 2010.

CONSTANTINO, C. S. **Estabilização de um solo expansivo do município de Paulista com uso de cinza de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2018.

MORAIS, J. J. O. **Caracterização geotécnica da expansividade de um solo argiloso do município de Paulista-PE**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2017.

NOTARO, C. C. **Comportamento reológico dos solos em umidades próximas aos limites de Atterberg, utilizando o Squeeze-flow**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE (Brasil), 2012.

PAIVA, S. C. **Estudo do comportamento geomecânico dos solos expansivos dos municípios de Cabrobó, Paulista e Ipojuca – PE e de suas misturas com cal**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2016.

## **Aplicação de argila orgânica em camadas de cobertura do tipo oxidativas para implantação em aterros sanitários**

**Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida<sup>1\*</sup>, Camila de Melo Tavares<sup>1\*</sup>,  
José Fernando Thomé Jucá<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* aliceguilherme@hotmail.com , camila.cmt04@gmail.com, jftjucah@icloud.com

### **RESUMO**

No âmbito mundial, o lançamento de biogás na atmosfera é uma das formas de maior causa e contribuição para o aquecimento global. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário que aterros disponham de uma camada de cobertura eficiente, pois além da mesma impossibilitar que gases produzidos no local escapem para a atmosfera, também irá garantir que líquidos provenientes das precipitações não percolem no aterro e, por conseguinte, gerem mais lixiviados para serem tratados. Atualmente o uso de camadas de cobertura alternativas em aterros sanitários vem se intensificando. Entre as camadas utilizadas existem as camadas oxidativas, que utilizam uma mistura de solo com composto orgânico para melhorar a oxidação dos gases gerados, bem como auxiliar na retenção dos líquidos provenientes das chuvas. Este trabalho tem como proposta a utilização de argila orgânica para confecção de camadas de cobertura de aterros sanitários com o intuito da redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

**Palavras chaves:** Aterros Sanitários; Camada de Cobertura; Camadas oxidativas.

### **ABSTRACT**

worldwide, the release of biogas into the atmosphere is one of the major causes and contribution to global warming. In order to minimize such impacts, it is necessary that solid waste landfills have an efficient cover layer, that will preclude gases produced in these landfills to escape into the atmosphere, and will also ensure that liquid precipitation do not fall through the landfill, and as a consequence will lead to more waste to be treated. Currently the use of alternative cover layers in sanitary landfills is intensifying. Among the layers used there are oxidative layers, which use a mixture of soil with organic compound to improve the oxidation of the generated gases, as well as help in the retention of liquids from the rains. This work proposes the use of organic clay to make layers of landfill cover in order to reduce emissions of greenhouse gases to the atmosphere.

**Keywords:** Landfills; cover layers; oxidation layers

### **1. INTRODUÇÃO**

A principal função de uma camada de cobertura é atuar como uma barreira impermeável entre o aterro e o ambiente externo. Esta barreira tem como finalidade garantir que a água proveniente das chuvas não penetre no interior do aterro e, conseqüentemente, produza ainda mais lixiviado. Nesse tipo de camada são utilizados solos com diferentes graduações e aplicação de material geossintético, que servirá para



garantir ainda mais que a água da chuva não percole na massa do aterro (TEIXEIRA, 2008).

Como forma de tentar amenizar a emissão de metano em aterros sanitários que não possuem um eficiente sistema de captação de gases, uma alternativa seria a implantação de camadas oxidativas. Para a formação de destes tipos de camadas de cobertura em aterros sanitários, são utilizados compostos orgânicos, pois assim há a criação de um ambiente propício para os microrganismos responsáveis pelo consumo de metano gerado durante a biodegradação dos resíduos sólidos. O processo de oxidação do metano ocorre através de bactérias metanotróficas na presença de oxigênio, gerando no final deste processo dióxido de carbono e água. A aplicação de camadas oxidativas não garante a minimização da quantidade de biogás que irá para a atmosfera, porém auxilia na diminuição dos impactos ambientais que o mesmo pode ocasionar (HUMER et al., 2009; MARIANO, 2008).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo e implantação do estudo da viabilidade de aplicação de misturas de argilas orgânicas com solo para implantação de camadas de cobertura, serão necessários alguns ensaios, são estes:

Os ensaios realizados nas misturas e no solo puro serão:

- Preparação de amostras (NBR-6457/86);
- Análise granulométrica (NBR-7181/88);
- Limite de liquidez (NBR-6459/84);
- Limite de Plasticidade (NBR-7180/84);
- Peso específico dos grãos ( $\gamma_s$ ) - método do picnômetro (NBR-6508/84);
- Ensaio Proctor Normal (NBR-7182-88);
- Ensaio de Compressão Triaxial - ASTM D4767;
- Ensaio de Adensamento Unidimensional (NBR 12007/90);
- Ensaio de Sucção do solo compactado – ASTM D5298-03;
- Permeabilidade a água – ASTM D 5084;
- Permeabilidade ao ar e com adaptações ao sistema do permeâmetro de parede flexível, Tri-flex 2 - Soil Test – ELE realizadas por Maciel (2003).

A caracterização química do solo e da argila orgânica serão realizados segundo os métodos da EMBRAPA (1997) e a caracterização mineralógica destes materiais será realizada através de difração de raio X, fluorescência de raio X e microscopia eletrônica de varredura.

## 3. DESENVOLVIMENTO

Segundo Rose (2009), dentre os fatores que podem comprometer o desempenho de camadas de cobertura do tipo oxidativas podemos citar: teor de umidade, quantidade de oxigênio disponível, concentração de metano, pressão atmosférica, temperatura e grau de compactação da camada de cobertura. Dentre as diversas propriedades físicas, a porosidade da camada ganha destaque devido a sua capacidade de afetar o coeficiente de difusão do gás. Para garantir a funcionalidade deste tipo de camada e que ocorra a oxidação do metano gerado é necessário que o biogás atravesse essa camada (COSTA, 2018; KETTUNEN *et al.*, 2006).

De acordo com Gebert et al. (2011), as propriedades químicas do material de cobertura bem como variáveis ambientais podem alterar significativamente a eficiência da oxidação do metano nestas camadas. A compactação e a textura do solo determinam tanto a eficácia da retenção de água na camada como a taxa de metano e oxigênio disponível para os microrganismos que oxidam o metano. Gebert et al. (2011) realizou estudos de colunas e testes de difusão afim de verificar o efeito da porosidade e do grau de compactação na eficiência de oxidação do metano em camadas de cobertura. Neste estudo foi verificado que colunas de solo com grau de compactação na ordem de 75%,

apontaram melhores resultados quando submetidos a um fluxo baixo de 3,5 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h, apresentando eficiência de 100% na oxidação do metano pelas camadas de cobertura.

Como proposta de estudo tem-se a utilização de argila orgânica que é um solo que pode apresentar altos valores de matéria orgânica (acima de 75% do seu peso) na sua composição como material de cobertura de aterros sanitários. De acordo com Khoshand et al. (2016) a utilização de argila orgânica tem apresentado bom desempenho na oxidação de metano e sua aplicação em aterros sanitários. Na Tabela 1 é possível verificar que a argila orgânica, também conhecida como turfa apresenta oxidação de 85 a 90% o que é bastante satisfatório e desta forma a sua aplicação em aterros sanitários tende a apresentar bons resultados.

Tabela 1: Taxas de oxidação de diferentes solos orgânicos

Material	Taxa de oxidação de CH <sub>4</sub> (%)	Referência
Turfa	85	Stein and Hettiaratchi (2001)
	90	Einola et al. (2009)
Composto orgânico	53	Humer and Lechner (2001)
	96	Haubrichs and Widmann (2006)

Fonte: Adaptado de Khoshand 2016)

De acordo com Khoshand et al. (2016) a aplicação de argila orgânica em camadas de cobertura apresentou resultados significativos quando avaliadas geoteticamente, foram avaliados através de ensaios de compactação, adensamento, permeabilidade hidráulica e análise química. Como proposta, este trabalho pretende verificar diferentes proporções de solos e também argilas com diferentes teores de matéria orgânica (MO) e avaliação deste tipo de solo com misturas para a implantação de camadas de cobertura de aterros sanitários. Para melhor conhecimento dos solos em questão, principalmente da argila orgânica, é necessário um estudo microbiológico para verificação do comportamento das bactérias presentes neste material quanto a oxidação do metano quanto a diferentes taxas de MO.

#### 4. CONCLUSÕES

Com este trabalho será possível estudar a viabilidade de aproveitamento de argilas orgânicas, tornando-os insumos para a aplicação em camadas de cobertura, contribuindo assim com a avaliação quanto a questões geotécnicas, ambientais e econômicas.

O conhecimento profundo do material utilizado na camada de cobertura oxidativas em aterros sanitários é de extrema importância para que haja uma adequada adoção de parâmetros e escolha correta de um modelo mais representativo de seu comportamento. Dessa forma, as chances de realização de uma modelagem numérica bem-sucedida do sistema são muito maiores. Os resultados esperados a partir desse estudo terão valorosa importância para a ciência e para a melhor atribuição na aplicação de camadas de cobertura oxidativas em aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1984)

ASTM, D5084-10. Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. American Society for Testing and Materials. Volume 04.08. **Soil and Rock** (I): D420 - D5876. 2010.

COSTA, Magdalena Duarte et al., Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 77-90, Feb. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2da.ed Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

GEBERT, J. GROENGROEFT, A. PFEIFFER, E. M. Relevance of soil physical properties for the microbial oxidation of methane in landfill covers. **Soil Biology & Biochemistry** 43. 2011. 1759-1767.

HUMER, M. RÖDER, S. LECHNER, S. Approaches to assess biocover performance on landfills. **Waste Management**, v. 29, 2009. p. 2092–2104.

KETTUNEN, R.; EINOLA, J. K. M.; RINTALA, J. Landfill Methane Oxidation in Engineered Soil Columns at Low Temperature. **Water Air Soil Pollution**, v. 117, n. 1-4, p. 313-334, 2006

KHOSHAND, Afshin, and Mamadou Fall. "**Geotechnical characterization of peat-based landfill cover materials**." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 8.5 (2016): 596-604

MARIANO, M. O. H. **Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterro de resíduos sólido**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife. 2008. 243p.

ROSE, J. L. **Análise comparativa entre as reduções da emissão de metano em camada oxidativas experimentais**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009. 166p.

TEIXEIRA, P. F. **Oxidação Biológica do Metano em Coberturas de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Dinâmica do Processo e Aspectos Geotécnicos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. 168p.

## **Aproveitamento energético de resíduos sólidos: um estudo sobre o combustível derivado de resíduo**

**Flávio Leôncio Guedes<sup>1</sup>, Adjane Damasceno de Oliveira<sup>1</sup>, Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida<sup>1</sup>, José Fernando Thomé Juca<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

f\_l\_guedes@hotmail.com, adjanedeoliveira@gmail.com, aliceguilherme@hotmail.com, jucah@ufpe.br

### **RESUMO**

A busca por novas matrizes energéticas alia-se a necessidade dos demais setores que buscam alternativas para destinação final ambientalmente adequada dos resíduos. Atualmente, os aterros sanitários são incapazes de solucionar os problemas decorrentes do não reaproveitamento desses resíduos sólidos, ocasionando o acúmulo desses materiais. No Brasil, o uso do Combustível Derivado de Resíduos (CRD) ainda dá seus primeiros passos em busca de abertura de mercado e consolidação como fonte alternativa de energia para os processos industriais, em especial, a indústria cimenteira. O grande desafio é a produção de CDR com viabilidade técnica e econômica, como alternativa tecnológica para tratamento de resíduos, como substituto de combustíveis convencionais de forma a colaborar com o atingimento das metas estabelecidas pela legislação brasileira e pelos acordos internacionais referentes à redução dos gases do efeito estufa. Este estudo se propôs a avaliar e discutir o aproveitamento energético dos resíduos sólidos, considerando as características de geração do Brasil no contexto do combustível derivado de resíduo. As informações avaliadas sugerem que o aproveitamento energético da energia do RSU através de CDR é uma tecnologia sustentável, sendo um combustível em potencial para fins de substituição às fontes comerciais atualmente utilizadas.

**Palavras chaves:** Energia; Resíduos Sólidos Urbanos; Tecnologia.

### **ABSTRACT**

The search for new energetic matrices is allied to the need of the other sectors that look for alternatives for environmentally adequate final destination of the residues. Currently, landfills are incapable of solving the problems arising from the non-reuse of these solid residues, causing the accumulation of these materials. In Brazil, the use of the Fuel Derivatized Fuel (CDR) still takes its first steps in search of market opening and consolidation as an alternative energy source for industrial processes, especially the cement industry. The major challenge is the production of CDRs with technical and economic feasibility, as a technological alternative for waste treatment, as a substitute for conventional fuels in order to collaborate with the achievement of the targets established by Brazilian legislation and international agreements on the reduction of greenhouse gases. greenhouse effect. This study aimed to evaluate and discuss the energy use of solid waste, considering the generation characteristics of Brazil in the context of fuel derived from waste. The information evaluated suggests that the energy utilization of the MSW energy through CDR is a sustainable technology, being a potential fuel for substitution to the commercial sources currently used.

**Keywords:** Energy; Urban solid waste; Technology.

## 1. INTRODUÇÃO

Todos os dias milhões de pessoas produzem toneladas de resíduos sólidos. A análise do manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU) atingida através do sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS) mostrou que em 2014, a coleta de resíduos domiciliares e públicos em municípios brasileiros chegou aproximadamente 176,4 mil toneladas ao dia (BRASIL, 2016).

A separação dos resíduos na origem e a coleta seletiva são considerados mecanismos fundamentais para a implementação dos processos tecnológicos de tratamento e de reciclagem, resultando em menos impactos ambientais em todo seu ciclo de vida, inclusive na economia de energia (MERSONI; REICHERT, 2017).

Após passar por triagem e homogeneização mecânica para uma melhor proporção entre materiais secos e úmidos, podem se tornar combustível. Na prática é possível reaproveitar o que não é orgânico e nem reciclável, dando início a uma nova cadeia de valor. Este composto é denominado combustível derivado de resíduos (CDR) e pode ser utilizado para alimentar fornos industriais (ESTRE, 2019).

O CDR pode ser empregado em fornos das usinas de biomassa, indústria cimenteira e caldeiras (VALENTE JUNIOR, 2015). É produzido a partir de uma série de etapas de classificação e remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos dos RS, resultando em uma fração combustível de maior força calorífica (FEAM, 2015).

Este combustível se aplica a materiais com um valor calorífico elevado, recuperados da coleta de resíduos. Quanto a sua composição, deve conter material orgânico com umidade baixa, e não devem possuir frações de contaminação, nem substâncias orgânicas críticas, pois essas frações críticas geram um CDR de baixa qualidade (JUCÁ *et al.*, 2014).

Os resíduos passíveis de recuperação energética classificam-se como fonte alternativa de energia para todos os efeitos previstos na legislação (BRASIL, 2019). Nas últimas décadas foram desenvolvidas diversas tecnologias que permitem que os RS possam ser transformados em algo bem útil à sociedade, passando a ter um valor econômico, acarretando diminuição do material destinado ao aterro e mitigando impactos ambientais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em dois momentos que se complementam e foram efetivos para a elaboração do trabalho (TAVARES, 2018). O primeiro é um estudo bibliográfico em que se buscou colher dados e informações sobre a PNRS, com ênfase no aproveitamento energético dos RS. Durante essa reflexão inicial, foram realizadas leituras exploratórias em artigos das áreas sobre CDR.

O segundo momento da pesquisa foi constituído de uma análise crítica concomitantemente à leitura de conteúdo analítico, possibilitando a análise do aproveitamento energético do RSU através do CDR, de acordo com as demais técnicas de aproveitamentos de RS através dos seguintes dados: i) síntese dos dados para consumo de combustível, 100% bagaço e 100% CDR; ii) vantagens e desvantagens; iii); e energias contidas nas frações de CDR.

## 3. DESENVOLVIMENTO

O CDR é um termo aplicado a materiais que possuem valor calorífico elevado normalmente, por volta de 18 MJ/Kg, recuperados da coleta de resíduos. Quanto a sua composição, o CDR deve ser composto de material orgânico com baixa umidade, e não deve possuir frações de contaminação crítica, como metais pesados, como Cr, Cd, Pb, Hg, nem possuir substâncias orgânicas críticas, tal como, substâncias halogenadas, medicamentos ou resíduos infectados, pois essas frações podem gerar um CDR de má qualidade (JUCÁ *et al.*, 2014).

Há dois processos básicos, no qual cada um produz um produto distinto, conhecido como CDR densificado e CDR grosseiro. O densificado é produzido como péletes. Antes de ser peletizado é seco, de modo a ficar relativamente estável podendo ser transportado,

manuseado e armazenado como combustível sólido qualquer. Já o grosseiro requer menos processamento, mas como não é mais úmido, não pode ser armazenado por um longo período. Ele é apropriado para ser utilizados local na geração de eletricidade ou calor (MCDOUGALL *et al.*, 2001).

Segundo Jucá (2014), a produção de CDR necessita quantidades de energia significativas, em especial a energia elétrica, pois corresponde ao tratamento mecânico, devido o desgaste de materiais na trituração e também o gasto de energia. Do ponto de vista da energia, essa operação é sustentável desde que o saldo total de energia desde a coleta até o destino final após a combustão seja positivo, e também, que não venha a produzir resíduos combustíveis contaminados.

O CDR pode ser viável na substituição da biomassa (Tabela 1) convencional (bagaço), pois possui um poder calorífico mais baixo (PCI) bom, baixo teor de metais, teor de cloro moderado e propriedades apropriadas para o manuseio, entre outras, que o habilitam para ser utilizado na produção de vapor e energia, dependendo da tecnologia de combustão aplicada. Assim, a transformação em CDR homogeneiza a umidade, reduz o cloro, melhora a distribuição de tamanhos, o que o torna menos agressivo ao equipamento (SAMPAIO, 2014).

Tabela 1. Síntese dos dados para consumo de combustível, 100% bagaço e 100% CDR.

	<b>Combustível</b>	
	<b>100% Bagaço</b>	<b>100% CDR</b>
Calor transferido para a caldeira (Mj/h)	892.672,4	892.672,4
PCI (Kj/Kg)	6.962,0	11,792,0
Eficiência ao PCI (%)	90,0	90,0
Calor transferido pelo combustível (Mj/h)	991,858,2	991.858,2
Consumo de combustível	142.467	84.113

Fonte: Sampaio (2014)

No processo de produção do CDR, ocorre a separação dos materiais de maior poder calorífico, por meio de procedimentos mecânicos de segregação. O valor energético e a quantidade, em peso, do material gerado está relacionado com os materiais remanescentes do processo (MAMEDE, 2013).

#### 4. CONCLUSÕES

O combustível derivado de resíduo (CDR), devido todas suas características e o crescimento na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, conduz ao cenário de combustível mais promissor, devido benefícios econômicos e ambientais. Porém, a viabilidade econômica e escolha de tecnologia dependem da quantidade de resíduos, condições locais, arranjos institucionais e do valor da energia a ser substituída ou produzida.

Para tanto, o CDR, mesmo permitindo a oferta regular com característica homogênea e passando por etapas que permita o seu aproveitamento, aumentando assim seu valor econômico, não deixa de ser resíduo e, dessa forma, um passivo ambiental, no qual a recuperação energética possui uma prioridade baixa pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nesse contexto, é um insumo considerado de pouca atratividade para o mercado devido à baixa segurança regulatória que defina os razoáveis incentivos, a qualidade e as normas de seu uso e comércio.

Portanto, o aproveitamento energético da energia que vem do RSU através de CDR é uma tecnologia com grandes potenciais de sustentabilidade ao estabelecer uma nova forma de mercado de trabalho, um combustível com potencialidade para fins de substituição às fontes comerciais atualmente utilizadas, como o bagaço, o que reduz também, os rejeitos dispostos em aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria interministerial nº 274. (2019). **Recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos**. Meio Ambiente. Gabinete do Ministro. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília, 2016.

ESTRE. **Combustível Derivado de Resíduo (CDR)**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.estre.com.br/solucoes-para-empresas/combustivel-derivado-de-residuos/>>. Acesso em: Maio 2019.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais**. Disponível em: <[http://www.resol.com.br/cartilhas/aproveitamento\\_energetico\\_de\\_rsu\\_guia\\_feam\\_\(2\).pdf](http://www.resol.com.br/cartilhas/aproveitamento_energetico_de_rsu_guia_feam_(2).pdf)> . Acesso em: Maio 2019. Belo Horizonte, 2015.

JUCÁ, J. F. T.; LIMA, J. D.; MARIANO, M. O. H.; FIRMO, A. L. B.; LIMA, D. G. A.; LUCENA, L. F. L.; FARIAS, P. R. R.; JUNIOR, F. H. C.; CARVALHO, E. H.; FERREIRA, J. A.; REICHERT, G. A. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

MAMEDE, M. C. S. **Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265334/1/Mamede\\_MauricioCubadosSantos\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265334/1/Mamede_MauricioCubadosSantos_M.pdf)> Acesso em: Abril 2019.

MCDUGALL, F. R.; WHITE, P. R.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory**. 2ª ed.: Blackwell Science Ltd, 2001.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. **Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS**. Comparison of municipal solid waste treatment scenarios through the technique of Life Cycle Assessment: the case of the city of Garibaldi, RS, Brazil. Eng Sanit Ambient , v.22 n.5 . set/out 2017.

SAMPAIO, R. P. **Estudo de caso dos possíveis efeitos deletérios causados pelo combustível derivado de resíduo (CDR) em caldeiras voltadas a produção de energia elétrica queimando principalmente o bagaço de cana**. Universidade de São Paulo. USP. 2014. Disponível em: <[file:///C:/Users/f\\_l\\_g/Downloads/DISSERTACAO\\_REVISADA\\_RAQUEL\\_SAMPAIO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/f_l_g/Downloads/DISSERTACAO_REVISADA_RAQUEL_SAMPAIO%20(1).pdf)>. Acesso em: maio 2019.

TAVARES, K. **Projetos de lei temáticos em discussão: análise da tramitação da política nacional de resíduos sólidos morais**. Resíduos Sólidos: gestão pública e privada. – 1. ed. - Recife: EDUFRPE, EPERSOL. [e-book]. cap. 1, p. 03-14. 2018.

VALENTE JUNIOR, P. A. F. **O combustível derivado de resíduos no contexto das políticas nacionais de energia e resíduos sólidos**. Escola Superior Dom Helder Câmara. Belo Horizonte. 2015.

Disponível em: <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=70e5f57f75c29b08>>. Acesso em: maio 2019.

## **Current state evaluation of solid urban waste degradation in a landfill in Pernambuco, Brazil**

**Sávio Henrique de Barros Holanda<sup>1\*</sup>, Fellipe José Reis Brandão<sup>1</sup>, Rafaella de Moura Medeiros<sup>1</sup>, Leonor Alves de Oliveira da Silva<sup>2</sup>, José Fernando Thomé Jucá<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Federal University of Pernambuco (UFPE), Graduate Program in Civil Engineering (PPGEC/UFPE)

\* savioholanda@hotmail.com

<sup>2</sup> Federal University of Paraíba (UFPB)

### **ABSTRACT**

Municipal solid waste (MSW) is a product of human activities. MSW and its degradation products negatively contaminate and impact soil, water, and air when they are disposed on the ground. MSW degradation in landfills is influenced by several environmental agents, which are internal and external to the landfill, physical, chemical, and biological. These agents act simultaneously causing continuous geomechanical, biochemical, and morphological changes in the garbage mass, so it generates continuous byproducts such as leachate and biogas. This work aims to evaluate the degradation's current state of existing solid waste in an experimental sanitary landfill in Jaboatão dos Guararapes-PE. In addition to in situ activities, such as collecting, quartering, and gravimetric composition, laboratory tests such as pH and volatile solids content were carried out. The results of gravimetric composition, pH, and volatile solids content point to an advanced stage of landfill maturity; results values are: 1% of easily degradable materials, 10% of medium degradable materials, and 89% of materials hardly or not degradable. These results are confirmed with data from several researches developed in the area of Environmental Geotechnics.

**Keywords:** Environmental Geotechnics; Waste Management; Landfill Mining; Aging of Waste.

### **1. INTRODUCTION**

The generation of MSW is inherent to the development of urban centers, and it is intrinsically related to human activities. MSW final disposition has been a public health issue in several regions of the world; when MSW is disposed in the environment, it has a high polluting potential generating environmental impacts of varying magnitudes (ALVES, 2008).

Consisting the only environmentally suitable way to solid waste disposal, landfills have some disadvantages. Landfill requires large areas for its installation and causes huge and long-lasting environmental liability once it degrades ecosystems in different proportions both in physical and biological media. Landfills consist of large proportions bioreactors, in which numerous physical, chemical, and biological processes occur synergistically, generating by-products such as liquids (leachates) and gases (biogas) (ALVES, 2008).

Once landfills stores the most varied MSW typologies, they have in their thick garbage mass components of different degradation degrees under the perspective of biogas generation models such as: rapidly degradable waste (putrescible organic matter and paper) and hardly or non-degradable residues (plastic, styrofoam, metal, glass, and others) (MACIEL, 2009). In addition to these categories, there are wastes of intermediate degradability degree such as wood, coconut, and disposable diaper.

MSW degradation in landfills is governed by a series of intervening factors that directly influence the decomposition kinetics of each component. They are: moisture, pH, chemical composition, temperature, carbon/ nitrogen ratio, cellulose contents, hemicellulose, and lignin, among others (FIRMO, 2013). According to Maciel (2009), municipal solid waste biodegradation in landfills has five distinct phases.



Initially, Phase I (aerobic) occurs in the presence of atmospheric air, which is predominantly composed by nitrogen (78%) and oxygen (21%). Therefore, there is oxygen consumption by aerobic bacteria that produces carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). In the Phases II (acidogenic) and III (acetogenic), which are called fermentative phases, CO<sub>2</sub> represents the majority of the gases generated in the landfill followed by hydrogen. Phase IV (methanogenic) presents two ways of methane production: in the first one, it is observed the action of acetoclastic methanogens which metabolize acetate (main methane production way with 75% conversion into methane), and in the second one, it is noticed the action of hydrogenotrophic methanogens that consume hydrogen (25% of methane generation). Finally, in Phase V (maturation) occurs stabilization of degradation; consequently, there is a drastic reduction of biogas production. Due to the low landfill internal gas pressure, there is the inversion of gas flow resulting in the migration of atmospheric air into the landfill interior (ALVES, 2008; SANPHOTI et al., 2006).

During the acid phase, a large production of organic acids occurs, which are the result of high molecular weight polymers degradation. It directly influences indicators of biodegradation such as pH and organic load (COD). Upon reaching methanogenesis phase, it is observed strong reduction of organic load (reduction of more than 50% in initial value) and pH neutralization. The stabilization phase presents characteristics of biochemically stable residues such as alkaline pH and stabilized COD (indicative of mass mineralization).

This study aims to perform the gravimetric composition of municipal solid waste from an experimental cell located in the Muribeca Controlled Landfill – PE in order to analyze the current state of MSW degradation.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Collection and gravimetric composition of MSW

Using a hydraulic excavator (Figure 1a), 150 kg of MSW aging 11 years old was removed from the landfill. Then, the amount collected was separated into four parts, from which the two most representative parts were selected, according to Mariano et al. (2007). Gravimetric composition step (Figure 1b) was executed as performed by Firmo (2013) and Kaartinen et al. (2013).



Figure 1. Collection steps (a) and gravimetric composition (b) of MSW aged at the Muribeca landfill. Note: Authors.

At the end of this stage, MSW samples were packed in zipper bags and transported to Environmental Geotechnics Laboratory of the Solid Waste Research Group at Federal University of Pernambuco in order to proceed physical and chemical analyzes to determine MSW pH and volatile solids content.

## 2.2 Physico-chemical analysis (pH and volatile solids)

The determination of waste sample's pH was performed according to the methodology described by Lange et al. (2002); it was carried out by solubilizing 5 g of MSW in a volume of 100 ml of distilled water under constant and moderate stirring.

The determination of sample's volatile solids content was performed according to WHO (1978) in order to indirectly identify the percentage of organic matter present in the residues which could be converted into gas.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

### 3.1 Gravimetric composition

Figure 2 shows a very thin slice of easily degradable materials accounting for only 1% of the amount analyzed. The largest slices correspond to materials classified as "moderately degradable" constituting 10% of the amount and to materials classified as "hardly degradable" or "non-degradable" comprising 89% in total.

In Figure 2, it can be observed the advanced state of residues degradation since almost all easily degradable materials were consumed; substances more resistant are then degraded in biochemical process.

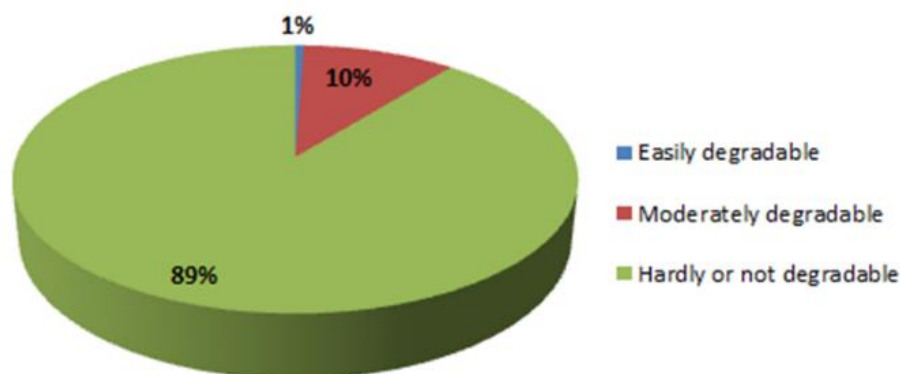


Figure 2. Gravimetric composition of aged MSW analyzed (11 years landfilled). Note: Authors.

### 3.2 Physico-chemical analyzes (pH and volatile solids content)

In the determination of residual material's pH the value of 10.8 was obtained; it indicates the stabilization phase since there is a large amount of dissolved salts present in the residue. These data are consistent with the values obtained by Sanphoti et al. (2006); these authors also observed short amounts of organic acids and fats which contribute considerably to the elevation of pH.

In the determination of the volatile solids content, the percentage of 5% of material convertible or not in biogas was obtained. According to Alcântara (2007) and Maciel (2009), this fact may be explained by the remnant fragments from volatilization of organic and inorganic materials present in the waste mass.

#### 4. CONCLUSION

The results of gravimetric composition, pH and volatile solids content point to an advanced stage of landfill maturity; results values are: 1% of easily degradable materials, 10% of medium degradation's materials, and 89% of materials hardly or not degradable. These results are confirmed with data from several researches developed in the area of Environmental Geotechnics.

It is important to highlight that the results presented in this paper indicate the high degree of degradation in MSW present in the Muribeca experimental landfill. Information such as gravimetric composition, pH, and volatile solids contents were fundamental to diagnose the degree of this landfill's maturity.

#### REFERENCES

- ALCANTARA, P. B., Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. Thesis, Federal University of Pernambuco (2007). (In Portuguese).
- ALVES, I. R. F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertation, Federal University of Pernambuco (2008). (In Portuguese).
- MACIEL, F. J. Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos. Thesis, Federal University of Pernambuco (2009). (In Portuguese).
- FIRMO, A. L. B. Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos. Thesis, Federal University of Pernambuco (2013). (In Portuguese).
- KAARTINEN, T.; SORMUNEN, K.; RINTALA, J. 2013. Case study on sampling, processing and characterization of landfilled municipal solid waste in the view of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, Special Volume: Urban and Landfill Mining 55, 56–66.
- LANGE, L. C.; SIMÕES, G. F.; FERREIRA, C. F. A.; SANTANA, D. W. E. A.; GARCIA, L. N. Estudo comparativo de metodologias empregadas para a análise de resíduos sólidos urbanos. XXVIII Inter-American Congress of Sanitary and Environmental Engineering. Cancun, Mexico, Oct. 27th-31th, 2002. (In Portuguese).
- MARIANO, M.O.H.; MACIEL, F.J.M.; FUCALÉ, S.P.; JUCÁ, J.F.T.; BRITO, A.R. (2007). Estudo da composição dos RSU do projeto piloto para recuperação do biogás no Aterro da Muribeca/PE. VI Brazilian Congress of Environmental Geotechnics – REGEO'2007. Recife, PE. (In Portuguese).
- SANPHOTI, N.; TOWPRAYOON, S.; CHAIPRASERT, P.; NOPHARATANA, A. The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill, In: *Journal of Environmental Management*, nº 81, pp. 27-35, Março 2006.
- WHO – International Reference Center for Waste Disposal (1978). *Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost*. Switzerland.

## **Elaboração de mapas de suscetibilidade à ocorrência de solos expansivos e colapsíveis no estado de Sergipe com base na pedologia**

**Danilo Silva dos Santos <sup>1,\*</sup>, Carlos Eduardo Bessa de Medeiros <sup>1</sup>, Magno Augusto Motta Macieira Drumond <sup>1</sup>, Silvio Romero de Melo Ferreira <sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* danilosilva.ssd@gmail.com, sr.mf@hotmail.com.

### **RESUMO**

A utilização da Pedologia na Engenharia Civil pode trazer grandes vantagens, sobretudo no campo da Engenharia Geotécnica. O objetivo desse artigo é apresentar mapas derivados da Pedologia para aproveitamento geotécnico no estado de Sergipe. As classes pedológicas juntamente com suas associações foram classificadas em alta, média ou baixa suscetibilidade quanto à ocorrência de solos expansivos e colapsíveis. Com auxílio de software em plataforma GIS, os mapas foram elaborados. Observa-se que 11,83% do território sergipano possui alta suscetibilidade à expansão, e 6,80% do território possui alta suscetibilidade ao colapso. Os mapas elaborados ainda foram comparados com ocorrências desses solos em Sergipe.

**Palavras chaves:** Mapeamento Geotécnico; Pedologia; Solos Expansivos; Solos Colapsíveis; Solos Não Saturados.

### **ABSTRACT**

The use of Pedology in Civil Engineering may bring great advantages, especially in the Geotechnical Engineering field. The aim of this article is to present maps derived from pedology map for geotechnical use in the state of Sergipe. The pedological classes and their associations were classified as high, medium, or low susceptibility to the occurrence of expansive and collapsible soils. The maps were elaborated with the assistance of a GIS platform software. It is observed that 11.83% of the Sergipe's territory is highly susceptible to expansion, and 6.80% of the territory is highly susceptible to collapse. The maps were also compared with registered occurrences of these soils in Sergipe.

**Keywords:** Geotechnical Mapping; Pedology; Expansive Soils; Collapsible Soils; Unsaturated Soils.

### **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de ferramentas digitais associadas à cartografia geotécnica tem se apresentando como interessante instrumento avaliativo no que tange as competências e restrições do meio físico. Na Geotecnia pode ser usada como apoio fundamental às análises de suscetibilidade e risco de solos com determinadas características indesejadas (FRANCO et al., 2010). De acordo com Gusmão Filho (2002), o mapa pedológico é de muita valia para o engenheiro, pois as informações nele contidas nele podem ser inter-relacionadas com problemas de Engenharia Geotécnica.

Alguns solos não saturados, isto é, solos que os vazios não estão completamente preenchidos por algum líquido, normalmente água, podem apresentar instabilidade volumétrica quando sua sucção é alterada, este é o caso dos chamados solos expansivos e solos colapsíveis. No estado de Sergipe já ocorreram registros de solos expansivos nos municípios de Poço Verde, Santo Amaro das Brotas, Malhada dos Bois, N. Sr.<sup>a</sup> da Glória, Laranjeiras, Rosário do Catete, São Cristóvão, N. Sr.<sup>a</sup> do Socorro, além da zona leste de

Aracaju (CAVALCANTE et al., 2006; ALVES, 2013; LEITE et al., 2016; CAVALCANTI JÚNIOR, 2017).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar e classificar os diferentes tipos de solos dada a classificação pedológica, e desenvolver mapas para avaliação quanto à suscetibilidade de ocorrência de solos expansivos e colapsíveis no estado de Sergipe. Além disso, busca-se identificar, também nos mapas, os locais de ocorrência desses solos em obras de engenharia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 1973 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) publicou o “Mapa Exploratório - Reconhecimento dos Solos do Estado de Sergipe, 1973” elaborado na escala de 1:400.000. De acordo com este levantamento, o estado de Sergipe possui 97 diferentes regiões de classificação pedológica divididos em 18 classes pedológicas anteriores ao Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. (JACOMINE et al., 1975).

Na elaboração dos mapas de suscetibilidade de solos expansivos e colapsíveis, utilizou-se um programa de geoprocessamento *Geographic Information System* (GIS) no qual foram estabelecidas regiões homogêneas quanto às características de suscetibilidade. Considerou-se as características dos solos com base nas classes pedológicas descritas no Mapa Exploratório, e comparou-se com as características de solos expansivos e colapsíveis. Este procedimento é similar ao apresentado por Amorim (2004). A Tabela 1 apresenta a consideração adotada para as classes pedológicas e associações encontradas no estado de Sergipe. Como referência para o grau de suscetibilidade foram aplicados os seguintes valores: alta suscetibilidade = 3; média suscetibilidade = 2; baixa suscetibilidade = 1.

Tabela 1: Classificação dos tipos de solo quanto sua suscetibilidade a expansão e colapso.

<b>Classe Pedológica</b>	<b>Expansivo</b>	<b>Colapsível</b>
LV - Latosol Vermelho Amarelo	Baixa	Média
PV - Podzólico Vermelho Amarelo Tb	Baixa	Média
PE - Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico Tb	Baixa	Média
BV - Brunizem Avermelhado	Alta	Baixa
NC - Brunizem Não Cálcico	Alta	Baixa
PL - Planossolo	Baixa/Alta	Baixa
P - Podzol	Baixa	Alta
CE – Cambisol	Baixa/Alta	Baixa
SS - Solonetz Solodizado	Alta	Baixa
SM - Solos Indiscriminados De Mangues	Baixa	Baixa
GH - Glei Húmico	Baixa	Baixa
HGP - Glei Pouco húmico	Baixa	Baixa
V - Vertisol	Alta	Baixa
A - Solos Aluviais	Baixa/Alta	Média
RE - Solos Litólicos Eutróficos	Baixa	Baixa
RD - Solos Litólicos Distróficos	Baixa	Baixa
RE - Regosolos	Baixa	Média
AQ - Solos Arenoquartzosos Profundos (Não Hidromórficos)	Baixa	Alta
AM - Assoc. De Areias Quartzosas Marinhas Distróficas (Dunas Fixas)	Baixa	Alta
HO – Solos Orgânicos	Baixa	Baixa

Fonte: Os autores.

O Boletim técnico, publicado por Jacomine et al. (1975), ainda informa as porcentagens de associações com solos de outras classes pedológicas. Dessa forma, foi realizada uma média ponderada entre a área de cada tipo de solo e o seu grau de suscetibilidade. Como referência para a consideração da suscetibilidade foram adotados os seguintes valores: menores que 1,67 = baixa suscetibilidade; valores entre 1,67 e 2,34 = média suscetibilidade; e valores maiores que 2,34 = alta suscetibilidade. Cada uma das 97 diferentes regiões pôde ser classificada de acordo com a classe principal e suas associações.

Com os mapas elaborados, foram alocados pontos de ocorrência desses solos no estado. As localizações de ocorrência de solos expansivos foram registradas por Alves (2013) e Cavalcanti Júnior (2017), enquanto as de solos colapsíveis foram casos de obras disponibilizados pela GEOTEC Consultoria e Serviços Ltda.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas de suscetibilidade quanto a expansão e colapso desenvolvidos são apresentados na Figura 1.

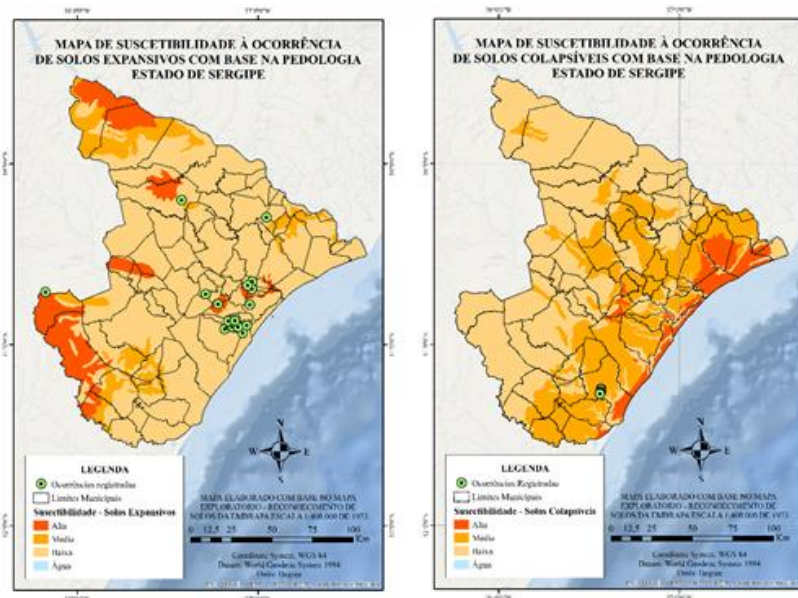


Figura 1: Mapas de suscetibilidade à ocorrência de solos expansivos e colapsíveis. Fonte: Os autores.

Quando aos solos expansivos, nota-se que as ocorrências registradas nos municípios de Poço Verde, Laranjeiras e Rosário do Catete encontram-se exatamente na área classificada como de alta suscetibilidade à ocorrência de solos expansivos.

As ocorrências de solos expansivos no município de N. Sr.<sup>a</sup> da Glória, Santo Amaro das Brotas e Malhada dos Bois encontram-se muito próximas das áreas de alta ou média suscetibilidade. Isso pode ser explicado devido a imprecisões trazidas pela escala em que o mapa de reconhecimento dos solos foi elaborada. Já as ocorrências em N. Sr.<sup>a</sup> do Socorro, São Cristóvão e na Zona Leste de Aracaju, estão associadas a afloramentos da formação Calumbi e não puderam ser previstas por este mapa.

Com o mapa de suscetibilidade à ocorrência de solos colapsíveis, nota-se que todas as ocorrências deste tipo de solo no estado de Sergipe, as quais foram verificadas neste trabalho, encontram-se no município de Estância, e estão localizadas em área de média suscetibilidade. Tal ocorrência está, provavelmente, ligada à Formação Lagarto.

A Tabela 2 apresenta as áreas de suscetibilidade alta, média e baixa à ocorrência de solos expansivos e colapsíveis no estado de Sergipe.

Tabela 2. Área de suscetibilidade à ocorrência de expansão e colapso.

Suscetibilidade	Expansivo (Km <sup>2</sup> )	Colapsível (Km <sup>2</sup> )
Alta	2.602,60	1.496,30
Média	2.279,80	7.212,60
Baixa	17.111,60	13.285,10

Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da metodologia apresentada neste trabalho foi possível elaborar mapas de suscetibilidade à expansão e ao colapso com base em mapas pedológicos para o estado de Sergipe, bem como, compará-los com registros de ocorrências desses solos no estado.

Em relação à possibilidade de ocorrência de solos expansivos, o mapa indica que a maior parte do estado, 77,80% da área total, encontra-se em zona de baixa suscetibilidade à ocorrência desse tipo de solo. No entanto, ainda que apenas 22,20% da área do estado corresponda zonas de média ou alta suscetibilidade à expansão, este número se torna relevante frente às ocorrências já registradas no estado.

Quanto à suscetibilidade de ocorrência de solos colapsíveis tem-se apenas 1.496,30 Km<sup>2</sup>, 6,80% da área total do estado, em zona alta. No entanto, 30,79% corresponde a uma suscetibilidade média, valor este que não pode ser desprezado.

Os mapas de suscetibilidade indicam uma possibilidade de ocorrência de determinado tipo de solo. Eles não são mapas de ocorrência e nem expressam certeza sobre a ocorrência. Ainda assim, constituem-se como uma referência preliminar de identificação e orientação.

#### REFERÊNCIAS

ALVES, A. W. B. C. **Análise de Resultados de Ensaios com Solos Expansivos de Sergipe**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão/SE (Brasil), 84 p., 2013.

AMORIM, S. A. **Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográfica dos solos colapsíveis e expansivos do estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 204 p., 2004.

CAVALCANTI JÚNIOR, D. A. (2017). **Ocorrências de Solos Expansivos no Estado de Sergipe**. In: 1º Seminário Geotécnico Bahia/Sergipe.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E.A.G.; CALIJURI, M. L.; GOMES, R. L. Cartografia Geotécnica: Estágio Atual Do Conhecimento. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v.1, n. 35, p.158 – 172, 2010.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Solos da formação geológica ao uso na engenharia**. 2 ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2002.

JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe - Boletim Técnico 36/75**. EMPRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, Divisão de recursos renováveis, 1975.

LEITE, R. P.; CARDOSO, R.; CARDOSO JÚNIOR, C. R.; CAVALCANTE, E. H.; FREITAS NETO, O. **Lime stabilization of expansive soil from Sergipe - Brazil**. In: 3<sup>rd</sup> European Conference on Unsaturated Soils - E-UNSTAT 2016, Paris, v. 9, p. 1-5, 2016.

## **Estudo geotécnico do solo utilizado na camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos da Muribeca em Pernambuco**

**Antônio Italcyr de Oliveira Júnior<sup>1\*</sup>, José Fernando Thomé Jucá<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* antonioitalcyr@hotmail.com, jucah@ufpe.br

### **RESUMO**

O confinamento dos resíduos sólidos em aterros sanitários pode ser realizado utilizando solos finos que apresentem características impermeabilizantes após compactação. Este trabalho tem por objetivo estudar as características geotécnicas do solo utilizado na camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos da Muribeca. Foram coletadas amostras deformadas na jazida pertencente ao aterro e levadas para laboratório onde foram realizados ensaios de granulometria, densidade real dos grãos, limites de consistência, compactação e condutividade hidráulica. Os resultados indicam que o solo se trata de um solo argiloso arenoso, de plasticidade elevada e coeficiente de condutividade hidráulica da ordem de  $10^{-9}$  m/s. Pode-se concluir que as características geotécnicas do solo atendem os padrões exigidos nas normas vigentes e indicados nas literaturas consultadas para utilização em aterros sanitários.

**Palavras chaves:** Caracterização Geotécnica; Camada de Coberturas; Aterros Sanitários.

### **ABSTRACT**

The confinement of the solid residues in sanitary landfills can be carried out using fine soils that have waterproofing properties after compaction. This work aims to study the geotechnical characteristics of the soil used in the cover layer of the solid waste landfill of Muribeca. Deformed samples were collected in the landfill site and taken to the laboratory where grain size, grain density, consistency, compaction and hydraulic conductivity tests were performed. The results indicate that the soil is sandy loam soil with a high plasticity and a hydraulic conductivity coefficient of  $10^{-9}$  m / s. It can be concluded that the geotechnical characteristics of the soil meet the standards required by current norms and indicated in the literature consulted for use in landfills.

**Keywords:** Geotechnical Characterization; Cover Layers; Sanitary Landfills.

### **1. INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional, o avanço industrial e o aumento do consumo de bens e serviços geram aumento da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Estes por sua vez, tem se tornado um sério problema para cidades no que diz respeito ao tratamento e destinação final do volume de RSU gerados. Dentre as técnicas disponíveis para o tratamento e destinação final de RSU, os aterros sanitários se configuram como a técnica mais utilizada por se tratar de um sistema de fácil operação e custos relativamente baixos, em comparação as demais formas de tratamento e disposição.

Os aterros sanitários visam atenuar os efeitos dos contaminantes advindos dos RSU a partir do confinamento dos resíduos em camadas compactadas, mitigando as poluições das águas superficiais e subterrâneas, bem como as emissões de gases para atmosfera (BOSCOV, 2008). Este confinamento dos RSU pode ser realizado a partir de contenções construídas com solos compactados ou mantas geotêxteis. Heineck (2002) recomenda utilizar solos argilosos compactados por apresentarem capacidade de servir como material



impermeabilizante, fundamental para que as camadas de base e cobertura de aterros de resíduos sólidos possam ter desempenho adequado.

O aterro de resíduos sólidos urbanos da Muribeca foi considerado um dos maiores em operação no estado de Pernambuco. A camada de cobertura final do aterro da Muribeca foi construída a partir da compactação de um solo disponível em uma jazida situada nas proximidades do aterro. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar as características geotécnicas do solo compactado utilizado na construção da camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos da Muribeca e verificar se o mesmo atende as principais diretrizes técnicas para aplicação em tal finalidade.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

As amostras de solo foram coletadas na mesma jazida de onde foi removido o material para construção da camada de cobertura. A mesma está situada na formação Barreiras da RMR, mais precisamente no município de Jaboatão dos Guararapes, dentro da área do aterro da Muribeca. Foram coletadas amostras deformadas de solo no horizonte B da jazida e em seguida foram acondicionadas em recipientes de plástico e conduzidas para o laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) onde foram realizados os procedimentos experimentais para caracterização geotécnica do material. Foram realizados ensaios de granulometria com e sem defloculante (NBR 7181/84), limites de plasticidade (NBR 7180/16) e liquidez (NBR 6459/2016), compactação para determinação do teor de umidade ótima e densidade seca máxima (NBR 7182/86) e a determinação do coeficiente de condutividade hidráulica utilizando permeâmetro de parede flexível modelo triflex ELE (NBR 14545/00).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados obtidos da caracterização geotécnica foram resumidos na Tabela 1. É possível verificar que aproximadamente 62% dos grãos são considerados como partículas finas (silte+argila) e o percentual de partículas consideradas como areia e pedregulho foi de aproximadamente 37% e 1%, respectivamente, para o ensaio realizado com e sem defloculante. De acordo com Maciel e Jucá (2011) solos de textura fina (teor de silte+argila superior a 50%) e com pouca presença de pedregulhos são possivelmente materiais com potencial para aplicação em camadas de coberturas.

Além do teor de partículas finas é importante que o solo apresente características de não uniformidade na distribuição granulométrica dos grãos e uma graduação adequada, conforme observado no solo utilizado na camada de cobertura da Muribeca. De acordo com Heineck (2002), um solo com textura fina que apresenta não uniformidade das partículas e boa graduação com presença de partículas de vários tamanhos influencia diretamente a permeabilidade do solo. Isso devido as partículas menores preenchem os vazios existentes entre as partículas maiores diminuindo o coeficiente de condutividade hidráulica o que do ponto de vista de camadas de base e cobertura de aterros sanitários é uma vantagem.

Quanto aos limites de consistência foram encontrados valores da ordem de 49,34% para limite de liquidez (LL), 31,42% para o limite de plasticidade (LP) e 17,92% para o índice de plasticidade (IP). Este índice permite classificar o solo o como altamente plástico de acordo com a classificação de Jenkins (PINTO, 2006). Os limites de consistência (LL e LP) apresentam relação diretamente proporcional com a compressibilidade do solo e o IP apresenta relação direta com a coesão do solo influenciando na resistência ao cisalhamento (PINTO, 2006). Ambas essas características devem ser levadas em consideração na escolha de um material para base e cobertura de aterros sanitários, pois um material de compressibilidade elevada pode ocasionar trincas e criar caminhos preferências para infiltração de águas pluviais e deve apresentar resistência ao cisalhamento adequada aos

níveis de tensões que são desenvolvidas em aterros de resíduos sólidos urbanos. A composição mineralógica dos solos influencia diretamente a plasticidade do material que por sua vez influencia na sua condutividade hidráulica. De acordo com Heineck (2002), existe uma tendência de redução do coeficiente de condutividade hidráulica com o aumento do IP. Nesse sentido, os valores dos limites de consistência e do IP apresentado pelo solo sugerem que o mesmo pode apresentar comportamento geotécnico adequado para aplicação em camadas de base e cobertura de aterros sanitários.

Tabela 1 - Resumo das características geotécnicas do solo utilizado na camada de cobertura do aterro da Muribeca

		Com Defloculante	Sem Defloculante
Granulometria	Pedregulho (%)	0,9	0,9
	Areia Grossa (%)	1,3	1,3
	Areia Média (%)	18,5	19
	Areia Fina (%)	17,5	16,3
	Silte (%)	22	62,4
	Argila (%)	39,7	0
Índices de consistência	LL (%)		49,34
	LP (%)		31,42
	IP (%)		17,92
Classificação	SUCS		CL
Compactação	Teor de umidade ótima (%)		19,2
	Densidade seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1,68
Condutividade Hidráulica	k (m/s)		1,01 x 10 <sup>-9</sup>

Fonte: Os autores

Além disto, o solo coletado na jazida da Muribeca apresentou classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SCUS) como pertencente ao grupo CL (argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas) e os parâmetros de compactação de compactação obtidos foram de 19,2 % para umidade ótima e 1,68 g/cm<sup>3</sup> para densidade seca máxima, indicando ser um solo silte arenoso ou argilo arenoso de acordo com Pinto (2006).

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo -CETESB (ROCCA *et al.*, 1993) para que um solo argiloso seja considerado adequado para aplicação em aterros sanitários, ele deve atender aos seguintes requisitos: ser classificado como CL, CH, SC OU OH segundo o SUCS, apresentar porcentagem de partículas maior do que 30% passando na peneira de 0,075 mm, apresentar limite de liquidez maior ou igual a 30% e apresentar índice de plasticidade maior ou igual a 15%. Portanto, nota-se que o solo utilizado na cobertura do aterro da Muribeca atende todos os critérios sugeridos pela CETESB.

No que se refere ao coeficiente de condutividade hidráulica, o solo coletado na jazida da Muribeca compactado no teor de umidade ótima e densidade seca máxima apresentou valor médio de 1,01 x 10<sup>-9</sup> m/s, valor típico de solos argilosos. A U.S. Environmental Protection Agency (USEPA, 2004) estabelece que para um solo ser considerado adequado para uso em aterros sanitários o coeficiente de condutividade hidráulica não deve ser superior a 1 x 10<sup>-7</sup> m/s e ser executado com uma espessura maior que 15 cm. Já a NBR 13896 (ABNT, 1997), estabelece que o coeficiente de condutividade hidráulica de solos para fins de cobertura e

base de aterros sanitários deve ser inferior a  $1 \times 10^{-8}$  m/s. Portanto, é possível verificar que o coeficiente apresentado de condutividade hidráulica apresentado pelo solo da jazida da Muribeca atende tanto os critérios nacionais estabelecidos pelas normas brasileiras, quanto os critérios internacionais estabelecidos pela USEPA.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o uso do solo da jazida encontrada no aterro da Muribeca em Jaboatão dos Guararapes - PE é considerado adequado para compor as camadas de base e cobertura de aterros sanitários, tendo em vista que as características geotécnicas apresentadas pelo mesmo se encontram dentro dos padrões exigidos pelas normas vigentes e propostos pela literatura consultada. Recomenda-se ainda analisar o solo misturado com materiais alternativos como, por exemplo, resíduos da construção e demolição, composto orgânico estabilizado, areia de fundição, dentro outros materiais para que possa ser verificado como as características geotécnicas podem ser afetadas e obter materiais com características mais vantajosas para tais aplicações.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7181:Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7182:Compactação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6459:Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7180:Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14545:Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável**. Rio de Janeiro, 2000.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo (Brasil): Oficina de Textos, 248p., 2008.

HEINECK, K. S. **Estudo do comportamento hidráulico e mecânico de materiais geotécnicos para barreiras horizontais impermeáveis**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS (Brasil), 275 p., 2002.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J.F.T. Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. **Waste Management**, v.31, n.5, p. 966-977, 2011.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo (Brasil): Oficina de textos, 367p., 2006.

ROCCA, A. A. C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTTI, A. J.; CASARINI, D. C.; GLOEDEN, E.; STRAUSS, E. L.; ROMANO, J. A.; RUIZ, L. R.; SILVA, L. M.; SAITO, L. M.; PIRES, M. C.; LEÃO, M. L. G.; NETO, P. P. C.; COLLUCI, R.; CUNHA, R. C. A. **Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo (Brasil): CETESB, 234 p., 1993.

United States Environmental Protection Agency - USEPA. **Technical guidance for RCRA/CERCLA final covers**. Washington DC., 26p., 2011.

## **Numerical approach of a geotechnical scenario composed by different materials**

**Nayara Torres Belfort <sup>1\*</sup>, Fellipe José Reis Brandão <sup>1\*\*</sup>, Ana Karine Santos Dantas<sup>1\*\*\*</sup>,  
Ana Itamara Paz de Araújo <sup>1</sup>, Leonardo José do Nascimento Guimarães <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Federal University of Pernambuco (UFPE), Graduate Program in Civil Engineering (PPGEC)  
<sup>\*</sup>ntbelfort@gmail.com, <sup>\*\*</sup> fellipejosereisbrandao@gmail.com, <sup>\*\*\*</sup> a.karine\_s.dantas@hotmail.com

### **ABSTRACT**

In the study of soil geomechanical behavior, geotechnical profile is usually simplified in regions composed by groups of similar materials and strength parameters on average. This simplification is intentionally done to make feasible analytical and numerical calculations which will describe a representative behavior of the material. In this sense, this article presents a numerical analysis of vertical slope stability which is composed by different materials. Analyses were performed using a finite element program with application of Drucker-Prager elastoplastic constitutive model to describe the material behavior. In one hand, it was observed that there was higher tensions concentration with a well-defined rupture in the stronger material; in the other hand, in the clayey material tensions were more disperse as well as displacements. Therefore, this article highlights that it is strongly relevant to consider different materials edge in geotechnical profiles since it has influenced the soil mechanical behavior.

**Keywords:** Numerical Modeling, Elastoplasticity, Geomechanics.

### **1. INTRODUCTION**

Numerical modeling aims to represent physical soil phenomena on Geotechnical Engineering through computational process (Belfort et al., 2018; Magalhães et al., 2018, Mattos et al., 2018), and it enables to predict the behavior of foundations (Behmer & Barros, 2018), embankments (Chan, Poon & Perera, 2018), dams (Abreu Júnior, 2015), and slopes (Sharafi & Maleki, 2019) which are recurrent scenarios for cities' economic development.

Geotechnical scenarios present the internal stress state, when the solicitant stresses overcome the resistant ones, failure may occur (Dantas, de Aquino & Barros, 2018). In this sense, self-weight and water presence have an influence on the instability evolution; the water table, for instance, is often elevated by rainfall, which may cause landslides (Bandeira and Coutinho, 2014).

Thereby, this paper aims to demonstrate the mechanical behavior of a geotechnical scenario influenced by different materials' layers ordering. Thus, it was considered Terzaghi critical criterion which states that vertical slopes become unstable when the critical height condition is no longer met. In addition, the methodology was based on Belfort et al. (2018) whose study was also performed using CODE-BRIGHT tool and Drucker-Prager elastoplastic constitutive model.

### **2. NUMERICAL MODEL**

Drucker-Prager elastoplastic constitutive model used in this paper enables to study soils geomechanical behavior by the material rupture criterion. In agreement with this model, plastification starts when the invariant of the deviatoric stress and the mean stress reach a combination of critical values reaching the fluence surface. (Magalhães et al., 2018).

Besides this constitutive model, it was added the strong discontinuity technique which is based on the Strong Discontinuity Approximation Theory (ACDF). This technique allows to represent discontinuities in the displacement's field inside the finite element, it exempts the operation of extremely refined meshes or consecutive meshes refinements. It is worth

highlighting that this technique enables to represent a discontinuity inside the element with about 10% of its thickness (Beserra, 2015).

### 3. NUMERICAL MODELING

In this study, a slope stability scenario was designed with two distinct materials to analyze their influence under shear stresses occasioned by the structure self-weight.

The scenario was idealized as illustrated in Figure 1, which presents the slope geometry, of with 10 m high and 20 m, long length and boundary conditions.

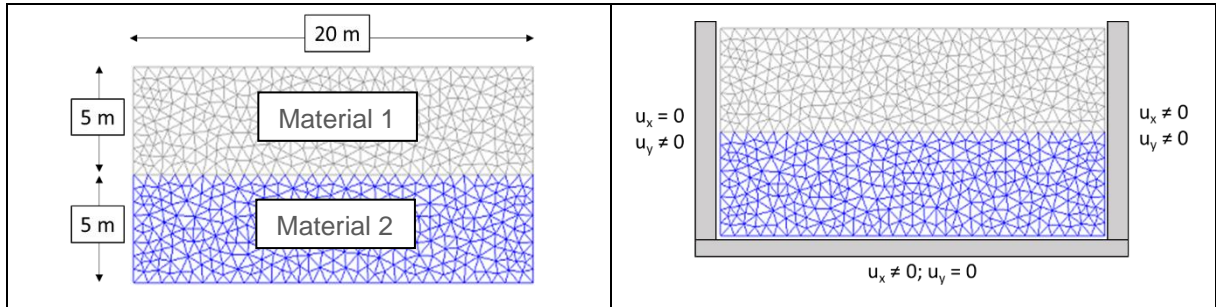


Figure 1: (a) Geometry and (b) boundary conditions. Note: Authors.

This analysis was performed based on Belfort et al. (2018) methodology, whose study analyzed a slope stability scenarousing the finite element tool CODE-BRIGHT with Drucker-Prager elastoplastic constitutive model. Differently from this work, Belfort et al. (2018) analyzed a homogeneous scenario, which means only one material.

Thus, two hypothetical arrangements were performed to analyze the influence of material's strength in the set behavior. In the first scenario, Material 2 has higher strength than Material 1 (Soil profile B-A); in the second one, the inverse configuration was admitted (Soil profile A-B).

Table 1: Material properties used in the hypothetical arrangements 1 and 2. Note: Authors.

Parameters	Material A	Material B
<b>E (MPa)</b>	100	50
<b>v</b>	0.3	0.3
<b>ϕ (°)</b>	23	13
<b>c (MPa)</b>	0.1	0.25

Figure 2 presents horizontal and vertical stresses field for the hypothetical arrangement 1, in which it is possible to notice the stress concentration.

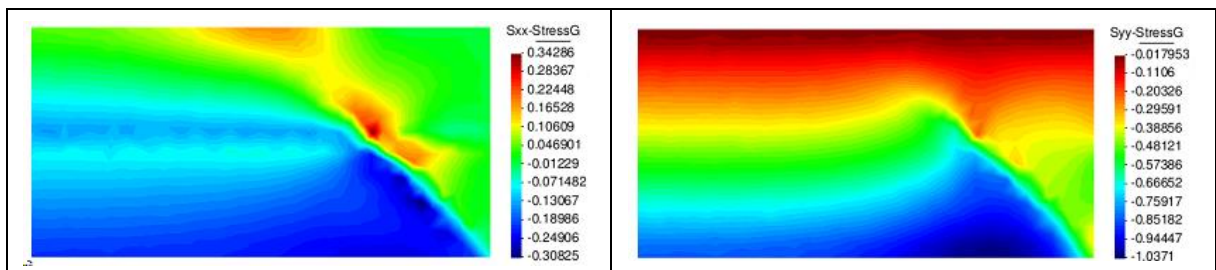


Figure 2: (a) Horizontal and (b) vertical stress field for hypothetical arrangement 1. Note: Authors.

Similarly, the displacement field is presented in Figure 3, which presents a more evident relative movement in material 2, indicating the material rupture.

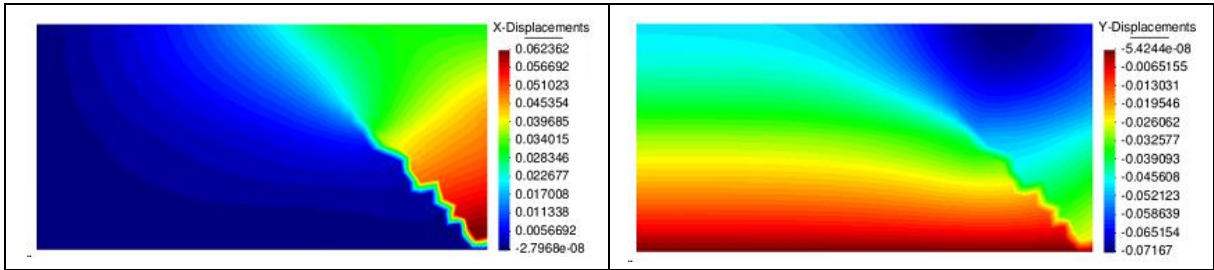


Figure 3: (a) Horizontal and (b) vertical displacement field for hypothetical arrangement 1. Note: Authors.

By analyzing the hypothetical arrangement 2, in which Material 1 has higher strength than the Material 2, it is clearly observed in Figure 4 a smoothing stress concentration in Material 1 as well as a stress increase in Material 2.

Figure 5 illustrates the horizontal and vertical displacements field, in which it can be noticed that they are more concentrated in Material 1, as presented in Figure 5; while in Material 2 occurs a smoothing that is more evident in Figure 5b.

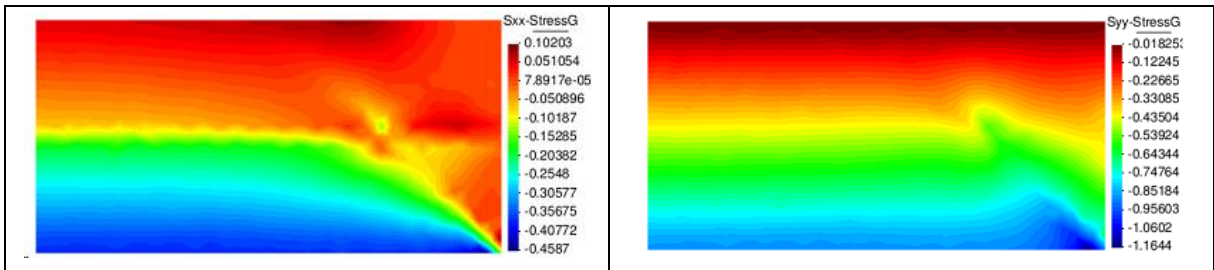


Figure 4: (a) Horizontal and (b) vertical stress field for hypothetical arrangement 2. Note: Authors.

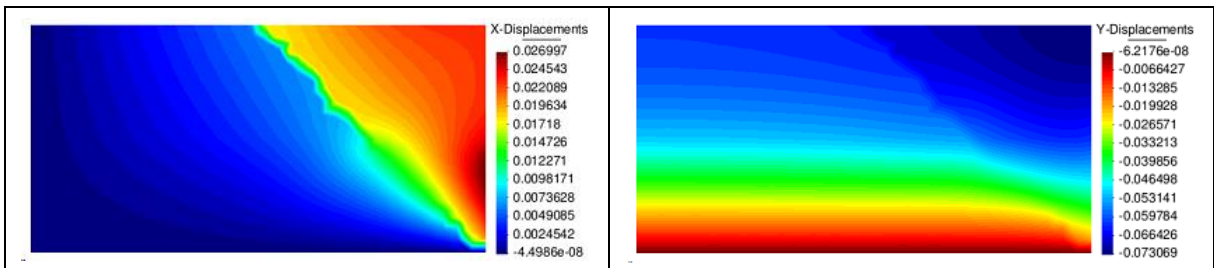


Figure 5: (a) Horizontal and (b) vertical displacement field for hypothetical arrangement 2. Note: Authors.

Finally, by analyzing Figure 6, it can be seen plastic deformations for both hypothetical arrangements. It can be noticed a concentration of plastic deformations in Material 2 for the hypothetical arrangement 1, while the greatest plastic deformations in the hypothetical arrangement 2 occurs in Material 1.

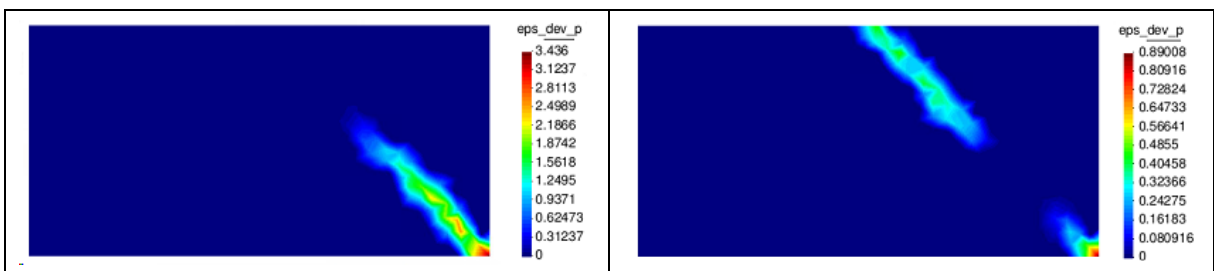


Figure 6: Plastic deformations for (a) hypothetical arrangement 1 and for (b) hypothetical arrangement 2. Note: Authors.

#### 4. CONCLUSIONS

This paper presented stresses and displacements fields of a slope stability geotechnical scenario that was evaluated performing two hypothetical arrangements. In the first scenario was assumed a more resistant material above a more fragile one, and in the second one, the same materials switched positions.

This study aims to verify the influence of materials arrangement on the slope behavior. Hence, through the performed analysis it was possible to notice that the position of the materials influences the stresses and displacements field; also, the most resistant material tends to concentrate greater plastic deformation, which shows the tendency to brittle deformation.

In conclusion, this paper emphasizes the necessity to carefully evaluate and investigate geotechnical profiles, since geotechnical solutions will be distinct in the presence of brittle or ductile deformations of on the ground.

#### REFERENCES

- Abreu Júnior, V. (2015). **Simulação Numérica da Ruptura de Barragens**. 122 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Beserra, L. de S. (2015). **Análise Hidromecânica do Fraturamento Hidráulico via Elementos Finitos com Descontinuidades Fortes Incorporadas**. Tese de Doutorado, UFPE, Recife.
- Behmer, R. D. N.; Barros, P. L. A. (2018). **Simulação Numérica de Fundação Apoiada sobre Solo não Coesivo Reforçado com Geotêxtil Usando o Método dos Elementos Discretos**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Cobramseg, Brasil.
- Belfort, N. T.; de Araújo, A. I. P.; Galindo, K. T. B.; Gomes, I. F.; Guimarães, L. J. do N. (2018). **Numerical Analysis of IMPLEX Algorithm sensibility Applied in a Hypothetical Slope Stability Scenario via Strong Discontinuities Technique**. XIII Simpósio de Mecânica Computacional - Simmec, Vitória, Brasil.
- Chan, K. F.; Poon, B. M.; Perera, D. (2018). Prediction of Embankment Performance Using Numerical Analyses – Practitioner’s Approach. **Computers And Geotechnics**, [s.l.], v. 93, p.163-177.
- Dantas, A. K. S.; de Aquino, A. E. B.; Barros, J. S. (2018). **Movimentos de Massas: Tipologias e Fatores Atuantes na Deflagração**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Cobramseg, Salvador, Bahia, Brasil.
- Magalhães, N. T. B. A.; Guimarães, L. J. do N.; Gomes, I. F.; Beserra, L.; Teixeira, J. C. (2018). **Validação e Análise de Sensibilidade de Algoritmo De Integração IMPLEX via Técnica de Elementos Finitos com o Modelo Elastoplástico de Drucker-Prager**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Cobramseg, Brasil.
- Mattos, R. C. R. S.; Melo, D. A. F.; Lima, M. P.; Viana, T. F.; Gomes, I. F.; Guimarães, L. J. do N. (2018). **Simulação Numérica de Modelo Elastoplástico em Rocha Carbonática Carstificada**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Cobramseg, Brasil.
- Sharafi, H.; Maleki, Y. S. (2019) Evaluation of the Lateral Displacements of a Sandy Slope Reinforced by a Row of Floating Piles: A Numerical-Experimental Approach. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, [s.l.], v. 122, p.148-170.

## Panorama concernente à permeabilidade dos solos arenosos

Lucas Eduardo dos Santos Lima<sup>1\*</sup>, Nayara Torres Belfort<sup>2\*\*</sup>, Fellipe José Reis Brandão<sup>2</sup>, Nicelle Ayanne da Silva Lima<sup>1</sup>, José Fernando Thomé Jucá<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Graduando em Engenharia Civil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\*lulimaed@gmail.com, \*\*ntbelfort@gmail.com

### RESUMO

Este trabalho propõe estabelecer um panorama a respeito do que vem sendo desenvolvido, atualmente, em estudos referentes aos solos arenosos e aos respectivos fatores que podem influenciar as características desses solos, sobretudo no contexto das propriedades de permeabilidade. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura na base eletrônica *Web of Science* – Coleção Principal – Thomson Reuters *Scientific*. De maneira geral, o desenvolvimento apresenta aplicações de estudos relacionados a esse tema, e diante do presente estudo, observou-se que alternativas vem sendo avaliadas para alterar o comportamento dos solos arenosos no que diz respeito ao fluxo. Ainda foi verificado que alguns solos podem apresentar comportamentos anômalos, nesse sentido esse trabalho apresenta importância para alertar Engenheiros Geotécnicos da possível presença de anomalias em solos teoricamente previsíveis como os arenosos.

**Palavras chaves:** Investigação Geotécnica, Permeabilidade, Alteração de Propriedades.

### ABSTRACT

This work proposes to establish an overview of what is currently developed in studies concerning sandy soils and the respective factors that may influence the characteristics of these soils, especially in the context of permeability properties. Therefore, a literature review was made using the electronic database *Web of Science - Main Collection - Thomson Reuters Scientific*. In general, the development presents applications of studies related to this theme, and it was observed that alternatives have been evaluated to alter the behavior of sandy soils concerning the flow. It was also verified that some soils may present anomalous behavior; in this sense this work presents importance to alert Geotechnical Engineers of the presence of anomalies in theoretically predictable soils such as sandy ones.

**Keywords:** Geotechnical Investigation, Permeability, Properties Changing.

### 1. INTRODUÇÃO

Os solos podem ser classificados basicamente em quatro tipos: solos arenosos, solos siltosos, solos argilosos e rochas. As partículas que constituem os solos apresentam comportamentos e propriedades distintas, logo os solos arenosos são assim classificados por terem maior percentual de grãos em sua formação do que outros compostos. Diante disso, algumas características importantes para a Engenharia Geotécnica pertinentes aos solos arenosos típicos são a alta porosidade e a alta permeabilidade. Nesse tipo de solo a fração de areia promove maior permeabilidade à água e ao ar no solo, porém, também imprime ao solo baixa capacidade de retenção de água e são consideradas não-coesivos (MARCOLIN & KLEIN, 2011).

Além disso, a presença de argila em solos arenosos pode reduzir a permeabilidade do solo, a depender da sua composição. Não só a argila, mas outros materiais, como por exemplo a própria matéria orgânica, vêm sendo investigados para melhorar a capacidade de retenção de água dos solos arenosos (BELFORT et al., 2018). Porém, mesmo com baixas



permeabilidades, os solos estão sujeitos ao aumento no seu fluxo quando da ocorrência de lixiviação dos finos (BELFORT et al., 2018), além de alterações na curva de retenção (BICALHO et al., 2017).

Seguindo esse motivador, esta pesquisa apresenta um estudo da arte concernente à permeabilidade dos solos arenosos com o intuito de identificar aspectos relevantes que estão sendo investigados por autores internacionais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho é de revisão de literatura, com a finalidade de estabelecer um panorama de publicações e estudos voltados ao comportamento dos solos arenosos. Na investigação desses trabalhos foi enfatizado fatores que influenciam nas características de fluxo destes solos.

Os artigos apresentados nessa pesquisa foram publicados em periódicos e congressos internacionais. A principal base de dados utilizada foi a *Web of Science* – Coleção Principal – Thomson Reuters *Scientific*, que é uma ferramenta que fornece acesso a um conjunto específico de banco de dados de citações.

De acordo com a formulação das palavras-chave, obteve-se documentos que atendiam às necessidades deste artigo. No entanto, alguns trabalhos foram descartados após se observar que os mesmos não se enquadravam nos objetivos deste trabalho. Após a seleção dos artigos que contemplavam a abrangência desta pesquisa, um total de oito foram selecionados para a elaboração do estudo. No entanto trabalhos complementares foram utilizados para embasamento conceitual.

## 3. DESENVOLVIMENTO

Ao realizar a busca na base *Web of Science*, foi possível levantar um total de oito artigos voltados à permeabilidade em solos arenosos. Os artigos trouxeram distintas propostas acerca das características da permeabilidade dos solos arenosos, além dos potenciais fatores que influenciam a diminuição das características de permeabilidade destes solos. Ao longo desta seção serão apresentadas as principais vertentes dos trabalhos levantados para o desenvolvimento desta pesquisa.

De acordo com Wang et al. (2017), ao adicionar uma quantidade de resíduos de vidro reciclado em uma amostra de solo arenoso, a permeabilidade deste solo pode ser aumentada, assim como a drenagem do mesmo pode ser consolidada mais rapidamente do que quando são utilizados drenos de areia. Logo, tal pesquisa aponta, de acordo com os experimentos, que os solos formados pela mistura de areia e de vidro, que apresentam 80% de areia e 20% de mistura de resíduos de vidro reciclado possuem a permeabilidade em seu nível de desempenho ideal.

Nazari et al. (2018) apresentam uma proposta referente à um método apropriado para avaliar a permeabilidade do solo silte-arenoso. Neste método, a permeabilidade foi medida em função da sucção matricial e total, para posterior comparação com os modelos experimentais. Em seus principais resultados, tem-se que a permeabilidade dos solos arenosos pode ser determinada em função da sucção matricial, do tamanho dos grãos do solo e da porcentagem dos agregados finos. Destaca-se ainda que o aumento da quantidade de finos no solo, reduz a permeabilidade e aumenta o valor de sucção; Desta forma, entende-se que a redução da permeabilidade do solo arenoso está relacionada com o aumento de grãos finos nele contidos.

Bicalho et al. (2017) discutem a maneira pela qual a presença de conteúdo fino, partículas de silte e/ou argila, influencia a forma da curva de retenção solo-água, que é fundamental nas análises do comportamento hidromecânico de solos não saturados. A equação de Van Genuchten (1980), VG, é usada para descrever a curva de retenção solo-água para diferentes solos sedimentares. Nessa curva, a influência da quantidade de finos é claramente mostrada na curva de retenção solo-água para os solos investigados, mas não foi

observada dependência entre os teores de finos e os coeficientes de VG para os solos avaliados com teores de finos superiores a 30%.

Barta et al. (2013) buscam realizar testes de modelo de laboratório em diferentes tipos de solo para determinar o coeficiente de permeabilidade de Darcy, avaliando seus resultados apoiados por modelagem numérica. Foram desenvolvidos métodos empíricos e determinísticos de cálculo, cuja aplicabilidade e precisão dependem dos dados disponíveis e do tipo de solo investigado. Verificou-se que os modelos numéricos são adequados para se investigar os parâmetros do solo, assim como os ensaios de laboratório; contudo, destaca-se que em algumas situações, aqueles podem apresentar vantagens em relação à esses.

Carrel et al. (2018) apresentam como as comunidades bacterianas, que crescem em vários meios porosos, incluindo solos e filtros de areia. Nesse trabalho, os autores mostraram como esses organismos alteram o comportamento do fluxo no material, bem como a estrutura dos poros do meio através do entupimento seletivo, um processo conhecido como *bioclogging*. Tal mecanismo influencia como os solutos são transportados e espalhados pela matriz porosa, contudo, as mudanças temporais no comportamento de transporte durante o *bioclogging* ainda não são bem compreendidas.

Outro fator que pode ser considerado na influência do comportamento do fluxo nos solos arenosos é o carreamento de materiais finos no solo. Belfort et al. (2018) realizaram a investigação de uma camada de cobertura do aterro sanitário da Muribeca/Recife-PE, composta por solo misturado com matéria orgânica, e verificaram a relação entre o carreamento dos finos através da camada de cobertura e o aumento da sua permeabilidade.

Na pesquisa desenvolvida por Liu et al. (2017), foi avaliado o comportamento do fluxo em solos arenosos tratados. Nesse estudo o solo foi misturado com um estabilizador de solo de poliuretano ou *polyurethane soil stabilizer* (PSS) e, dentre os resultados apresentados, os autores mostraram que quanto maior a concentração de PSS no solo, menor era a permeabilidade. Nesse caso, além de melhorar a resistência do solo, esse material utilizado como aditivo também reduziu consideravelmente a permeabilidade do solo.

Com o intuito de reduzir a permeabilidade dos solos arenosos, a presença de argila é certamente um material eficiente, porém, dependendo da exposição desse material à agentes da natureza, esse material pode ser carreado pela lixiviação. E diante de utilizações como aterro sanitário, nivelamento de taludes e até mesmo barragens, esse solo fica exposto a mudança climática, podendo assim sofrer o carreamento dos finos. Além disso, a lixiviação é um fator que varia de acordo com o tipo de composição do solo, condição do local, nível e saturação do solo (SARMA & MAHANTA, 2018).

Já que a busca por novas jazidas de solos argilosos nem sempre é factível, solos atípicos podem ser decisivos para soluções geotécnicas mais adequadas. Nesse sentido, Belfort et al. (2019) apresentou o comportamento de um solo arenoso (mais de 70% de material grosso) com permeabilidade à água de  $10^{-10}$  m<sup>3</sup>/s, inferior à de uma argila típica, que apresenta  $10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s. Nesse trabalho, os autores evidenciaram esse comportamento anômalo desse solo arenoso e destacaram que estudos químicos devem ser investigados.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto nesse trabalho, observa-se que vários autores têm investigado esse comportamento de fluxo dos solos arenosos, principalmente quando misturado com outros materiais.

Dessa maneira, esse trabalho apresentou alguns trabalhos internacionais que investigaram fatores influenciadores das características dos solos arenosos, incluindo aumento ou redução da sua permeabilidade.

Também foi visto que, esse tipo de solo é muito usado devido às características de resistência e de alta permeabilidade. Porém, existem cenários como por exemplo barragens e aterros sanitários, nos quais se necessita de solos com características de baixa permeabilidade e boa resistência.

Esse trabalho também mostrou que para obter a característica de baixa permeabilidade em solos arenosos existem autores que apresentam misturas com argila ou matéria orgânica. Além disso, destaca-se a existência de solos anômalos já identificados por alguns autores, que possuem propriedades de baixa permeabilidade, mesmo sendo arenosos.

## REFERÊNCIAS

- BARTA, E.; HAJNAL, G.; KARAY, G.; VASVÁRI, V. **Determination of the Coefficient of Permeability by Physical Model test and Numerical Modelling**. In: 35th IAHR Congress 2013, Beijing (China), p. 3236–3246, 2013.
- BELFORT, N.; SANTANA, D.; NEVES, J.; BRITO, A.; JUCÁ, J. **Suction, Water Retention Capacity and Permeability Assessment of Compacted and Unsaturated Cover Layer**, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 5, p. 200-207, 2018.
- BELFORT, N.; SANTANA, D.; SANTOS, D.; JUCÁ, J. **Permeabilidade de um Solo de Comportamento Anômalo Utilizado para Cobertura do Aterro Sanitário de Altinho/PE**. In: IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São Carlos, São Paulo (Brasil), 2019.
- BICALHO, K. V.; GONÇALVES, F. V.; FAVERO, L. S. **Evaluation of the Soil-Water Retention Curves of Different Unsaturated Silt-Sand Soil Mixtures**. In: Pan-American Conference on Unsaturated Soils, Dallas/Texas (EUA), p. 95-103, 2017.
- CARREL, M.; MORALES, V. L.; DENTZ, M.; DERLON, N.; MORGENROTH, E.; HOLZER, M. **Pore-Scale Hydrodynamics in a Progressively Bioclogged Three-Dimensional Porous Medium: 3-D Particle Tracking Experiments and Stochastic Transport Modeling**. In: Water Resour Research, AGU 100 Advancing Earth and Space Science, v.54, p. 2183-2198, 2018.
- LIU, J.; QI, X.; ZHANG, D.; FENG, Q.; WANG, Y.; KANUNGO, D. P. **Study on the Permeability Characteristics of Polyurethane Soil Stabilizer Reinforced Sand**. In: Advances in Materials Science and Engineering, Hindawi, v. 2017, 2017.
- MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. **Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima**. In: Acta Scientiarum Agronomy, abril-junho, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.
- NAZARI, S.; HASSANLOURAD, M.; CHAVOSHI, E.; MIRZAI, A. **Experimental Investigation of Unsaturated Silt-Sand Soil Permeability**. In: Advances in Civil Engineering, Hindawi, v. 2018, 2018.
- SARMA, B. & MAHANTA, C. Soil Leaching Behaviour of Different Urban Landscapes. In: SARMA A.; SINGH V.; BHATTACHARJYA R.; KARTHA S. **Urban Ecology, Water Quality and Climate Change**. Springer, Cham, p. 39–57, 2018.
- GENUCHTEN M. T. V. **A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. In: Soil Science Society of America Journal, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.
- WANG, F. C.; FENG, X. N.; GONG, H.; ZHAO, H.Y. **Study of permeability of glass-sand soil**. **Archives of Civil Engineering**. In: Archives of Civil Engineering, v. 63, p. 175-190, 2017.

## **Proposta de implantação de plano de gestão integrada de resíduos sólidos em municípios de pequeno e médio portes pernambucanos com monitoramento das universidades**

**Camila de Melo Tavares<sup>1\*</sup>, Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida<sup>1\*</sup> José Fernando Thomé Jucá<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* camila.cmt04@gmail.com; aliceguilherme@hotmail.com; jftjucah@icloud.com

### **RESUMO**

Considerando as diretrizes de gerenciamento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos e a necessidade de uma visão ampla da problemática dos resíduos sólidos urbanos, o objetivo principal deste artigo é propor uma implantação de plano de gestão integrada de resíduos sólidos em municípios de pequeno e médio portes, no estado de Pernambuco. Por meio da participação ativa da Universidade e do conhecimento acadêmico no planejamento eficiente e integrado para solucionar problemas pertinentes aos resíduos sólidos urbanos. Diante do exposto, este artigo apresenta etapas de análise que devem ser realizadas nos municípios visando a elaboração e desenvolvimento de bases técnicas para a implantação de uma gestão integrada de resíduos sólidos.

**Palavras chaves:** Resíduos Sólidos Urbanos, Gestão Integrada, Participação da Universidade.

### **ABSTRACT**

Considering the guidelines for the management of the Solid Waste National Policy and the need for a broader view of the urban solid waste problem, the main purpose of this article is to propose the implementation an integrated solid waste management plan in cities of small and medium size at Pernambuco state. Through active participation of the University and academic knowledge in an efficient and integrated implementation of urban solid waste management. Thus, this article presents steps of the analysis that must be performed in small cities in order to elaborate and develop technical bases for the implementation of an integrated solid waste management.

**Keywords:** Urban solid waste, Integrated management, University participation.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em nível nacional, a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e definiu por destinação final ambientalmente adequada: a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras admitidas pelo órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária. Segundo a PNRS, somente os rejeitos – material restante dos processos de tratamento deve ser disposto em aterros sanitário. Essa disposição precisa ser ordenada, observando-se normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar os impactos ambientais adversos (SOARES, 2011).

Um ponto relevante que ocorre é a falta de equipe técnica capacitada para elaborar e atuar na implantação de projetos de gerenciamento dos resíduos sólidos, visando reduzir, reutilizar e reciclar e não apenas solucionar o problema da destinação final dos resíduos. Chenna (2001) explica que o problema dos resíduos sólidos, muitas vezes, é analisado do ponto de vista da engenharia da limpeza, ou seja, as soluções planejadas e implementadas resumem-se a escolhas sobre o aumento da frota de caminhões, a ampliação do número dos funcionários e a melhoria dos sistemas de destinação final. Essa solução tem impacto direto no aumento de gastos do município com a limpeza urbana.

Para minimizar a redução dos resíduos que são direcionados aos aterros sanitários, os municípios precisam investir em planos de gestão compartilhada. Em primeiro lugar, a valorização do trabalho do catador, promovendo o resgate da cidadania e a inclusão social. Em muitas cidades, os programas retiraram adultos e crianças dos lixões que serviam não apenas como fonte de materiais recicláveis, mas também como fonte de alimento e mesmo de automedicação (BESEN & DEMAJOROVIC, 2007)

Convencer as pessoas sobre sua contribuição individual, visando resultados globais quanto a importância da reciclagem e seus benefícios tanto ambientais quanto econômicos para o município é uma tarefa de longo prazo que requer acompanhamentos constantes. O sucesso para a coleta seletiva está diretamente ligado aos investimentos feitos para sensibilização e conscientização da população (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A

Tabela 1 apresenta a metodologia que pretende-se desenvolver, juntamente com a participação das prefeituras e universidades, na elaboração de um documento, que atenda cada município de acordo com suas necessidades e características.

Tabela 1: Metodologia a ser implantada nos municípios Pernambucanos

Diagnóstico	Pretende-se compor o panorama dos municípios, a partir de ensaios para caracterização do resíduo de cada cidade, bem como um mapeamento, com objetivo de obter uma coleta de forma eficiente.
Publicidade	Apresentar para a população a importância da gestão integrada de Resíduos Sólidos, explicitando os benefícios que a cidade terá com esse novo sistema.
Monitoramento	Consistirá na comparação dos resultados alcançados, descritos pelos indicadores de desempenhos, de acordo com a meta pretendida, representada pelos objetivos e ações específicas.

Fonte: Os autores

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Diagnóstico dos resíduos

As autoridades locais precisam de dados atualizados e confiáveis sobre a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados em sua área, a fim de estabelecer um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos capaz de cumprir as metas regionais e nacionais de gestão de resíduos (PAPACHRISTOU et al, 2009.)

Qualquer que seja a classificação dos RSU, sua caracterização e o conhecimento de aspectos relativos à sua produção são elementos importantes para o planejamento

correto dos serviços de limpeza pública, em todas as suas etapas (GOMÉZ et al, 2008). Isso porque somente através deste estudo se pode dar respaldo técnico as soluções apresentadas e sugeridas por quem quer que seja.

A escolha das rotas dos caminhões trata de demarcar estes pontos e relacioná-los através de rotas que atendam a todo o percurso, possibilitando não somente a sua cobertura como também o trajeto mais economicamente viável, evitando áreas de pouquíssima demanda sem necessidade.

Silva et al. (2003) defende o uso do conhecimento dos motoristas, contudo lembra que a frequência e os roteiros deverão resultar de estudos técnicos de demanda do serviço e da capacidade dos veículos disponíveis ou necessários.

### 3.2 Campanhas publicitárias e participação da sociedade

Segundo Villela & Chaudhry (2001), não se pode desenvolver qualquer programa vinculado a sustentabilidade e a proteção ambiental sem o envolvimento dos cidadãos. Caso os conceitos por trás dos programas não sejam devidamente assimilados, por mais bem-intencionados e por melhor elaboração que sejam, não estarão inseridos nas atividades do dia-a-dia da população, resultando em baixa eficácia. Um programa de conscientização ambiental eficiente deve promover, simultaneamente, o desenvolvimento de conhecimento, de atividades e de habilidades necessárias à preservação e melhoria da qualidade ambiental (DIAS, 1992).

### 3.3 Monitoramento

O monitoramento consistirá na comparação dos resultados alcançados, descritos pelos indicadores de desempenhos, de acordo com a meta pretendida, representada pelos objetivos e ações específicas.

Os países devem desenvolver sistemas de monitoramento e avaliação do avanço para o desenvolvimento sustentável adotando indicadores que meçam as mudanças nas dimensões econômica, social e ambiental (CNUMAD, 1996).

## 4. CONCLUSÕES

A partir da implantação desse projeto pretende-se elaborar um estudo e um documento conciso que possam promover uma padronização de acordo com o porte do município, visando procedimentos operacionais de uma gestão integrada com consequente redução nos custos e resíduos destinados ao aterro sanitário.

Espera-se conscientizar a população da necessidade de sua participação direta, assegurando que os materiais passíveis de reciclagem serão repassados às entidades responsáveis pela reciclagem, e respondendo assim a hipótese da pesquisa, possibilitando um planejamento da gestão dos resíduos sólidos com a situação atual e futura do município.

Uma vez implantada a gestão integrada, o trabalho apenas começou. É necessário realizar fiscalizações e avaliações regulares juntamente com o auxílio técnico das Universidades para verificar se o que foi determinado está sendo colocado em prática. E mais, é importante analisar se as operações estão sendo feitas de modo eficiente, alcançando os resultados esperados.

## REFERÊNCIAS

- BESEN G.R; DEMAJOROVIC J. **Gestão compartilhada de resíduos sólidos: avanços e desafios para a sustentabilidade.** XXXI EnANPAD, 2007)
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.**2010. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636](http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636)>. Acesso em: 12 de julho de 2019.
- CHENNA, S. I. M. “**Lixo: gestão integrada e compartilhada – manejo diferenciado.**” In: Seminário Lixo e Cidadania: região do grande ABC. Santo André, Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, 2001.
- CNUMAD - **CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO.** Agenda 21. 1996. Disponível em: [www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental-agenda-21/agenda-21-global](http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental-agenda-21/agenda-21-global). Acesso em 12 julho de 2019.
- D’ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2. D. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- DIAS, G. F. **Educação Ambiental: princípios e práticas.** 1. ed. GAYA, 1992.
- GOMÉZ, G; MENESES, M; BALLINAS, L; CASTELLS, F. **Seasonal characterization of urban solid wastw in Chihuahua, Mexico.** Wastw Management & Research, London, n. 29, 2008.
- PAPACHRISTOU, E; HADJIANGHELOU, H; DARAKASK, E; ALIVANIS, K; BELOU, A; LOANNIDOUS, D; PARASKEVOPOU, E; POLIOUS, K; KOUKOURIKOU, A; KOSMIDOU, N; SORTIKOS, K. **Perspectives for integrated municipal solid waste management in Thessaloniki, Greece.** Waste Management & Research, London, n. 29, 2009.
- SILVA, E. M. T; DONEL, F; WOLLMANN, A. R; CUELLAR, J. O. **Planejamento Como Instrumento De Implementação Da Coleta Seletiva De Resíduos Sólidos Urbanos.** ENEGEP 2003 ABEPRO 1 - XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, 2003.
- SOARES, E. L. S. F. **Estudo da caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 133p., 2011.
- VILLELA S. H; CHAUDHRY, F. H. **Validação Social de Políticas de Resíduos sólidos urbanos.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – Paraíba, 2001.

## **Validação de um algoritmo de escavação via solução analítica de Kirsch**

**Rayane Conceição Ribeiro da Silveira Mattos<sup>1\*</sup>, Nayara Torres Belfort<sup>1\*\*</sup> Jean Baptiste Joseph<sup>1\*\*\*</sup> Igor Fernandes Gomes<sup>1\*\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC).

\* rayane\_crs@outlook.com, \*\*ntbelfort@gmail.com, \*\*\*jbluxe40@yahoo.fr, \*\*\*\*gomes@ufpe.br

### **RESUMO**

A modelagem numérica aplicada para análises de problemas de escavação, buscando as previsões do comportamento e dos parâmetros dos solos e rochas é imprescindível para a Engenharia Geotécnica e a Engenharia de Reservatórios. Dessa maneira, com o intuito de detalhar e prever a geomecânica dessas áreas, esse artigo apresenta uma modelagem numérica de um poço vertical, com o intuito de realizar a validação de um algoritmo que represente esse mecanismo de escavação. Para isso, foi utilizada a solução analítica de Kirsch e comparada com a solução numérica, onde se verificou uma resposta idêntica. Por fim, foi concluído que esse algoritmo é adequado para a investigação de cenários das Engenharias Geotécnica e de Reservatórios.

**Palavras chaves:** Algoritmo de escavação; Modelagem numérica; Geomecânica.

### **ABSTRACT**

The numerical modeling applied to the analysis of excavation problems, seeking the prediction of soils and rocks behavior and parameters is essential for Geotechnical and Reservoir Engineering. Therefore, in order to detail and predict a geomechanical behavior of these fields, this article presents a vertical well scenario analyzed numerically to validate an algorithm, which represents the excavation mechanism. Then, the Kirsch analytical solution was used and compared to the numerical solution, which showed an identical response. Finally, it was concluded that the algorithm fits for Engineering scenarios investigation adequately.

**Keywords:** Excavation algorithm; Numerical modeling; Geomechanics.

### **1. INTRODUÇÃO**

Historicamente, na Engenharia Geotécnica métodos de escavação são chaves para quase todas as construções. Dessa maneira, diversos autores têm desenvolvido metodologias experimentais e de campo no intuito de entender melhor o comportamento do solo (ZHANG et al., 2018).

Aliado aos estudos experimentais, técnicas numéricas também são importantes ferramentas para viabilizar a predição do comportamento geomecânico dos materiais (ACIOLI, 2017). Nesse sentido, os ensaios experimentais servem de suporte para o desenvolvimento de soluções analíticas, que permitem a validação de algoritmos implementados em softwares capazes de acelerar essas respostas.

Além desses estudos experimentais e numéricos, soluções analíticas têm um papel fundamental na validação de modelos numéricos. A solução analítica proposta por Kirsch (1898), que investiga a concentração de tensões atuante na parede de um poço devido ao seu estado de tensão, é uma solução analítica vastamente utilizada na engenharia



geotécnica e na engenharia de reservatório, como por exemplo, respectivamente, os trabalhos de Hernández (2016) e de Joseph (2018).

Diante dessa motivação, a presente pesquisa consiste na validação de um algoritmo de escavação através da solução analítica proposta por Kirsch. Para isso, foi construído um cenário de um poço vertical a partir do referido algoritmo, com o intuito de saber se esse algoritmo pode ser utilizado em modelagens para representar processos de escavação, bem como de gênese de feições cársticas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estado de tensões ao redor de um poço vertical, é um caso simples da indústria do petróleo, na forma de uma circunferência de raio  $R$  pode ser obtido matematicamente por meio da solução analítica de Kirsch. Para isso, considera-se as hipóteses simplificadoras como estado de tensões hidrostático, material com comportamento linear-elástico, meio homogêneo, isotrópico e contínuo, regido por um estado de deformações planas, desprezando o efeito térmico. Admitindo as condições simplificadoras da solução analítica de Kirsch, neste trabalho foi utilizado o modelo constitutivo elástico-linear. Assim, a relação constitutiva de tensão e deformação elástica ocorre de forma linear e reversível, com a evolução das tensões limitada pelo domínio do comportamento elástico (POTTS & ZDRAVKOVIC., 1999).

Dessa maneira, com o intuito de validar um algoritmo implementado na ferramenta em elementos finitos CODE\_BRIGHT (COupled DEformation, BRIne, Gas and Heat Transport), foi realizada a simulação numérica de um poço vertical construído através do algoritmo de escavação implementado no programa supracitado.

Inicialmente, foi gerada a solução analítica de Kirsch com os detalhes de geometria, parâmetros geomecânicos na Tabela 1 e valores de tensões horizontais máxima e mínima representados na Figura 1.

Tabela 1: Propriedades geomecânicas

$c$ (MPa)	$\varphi$ (°)	$E$ (GPa)	$\nu$	$\eta$ (%)
4	23	8	0,15	16

Fonte: Os autores.

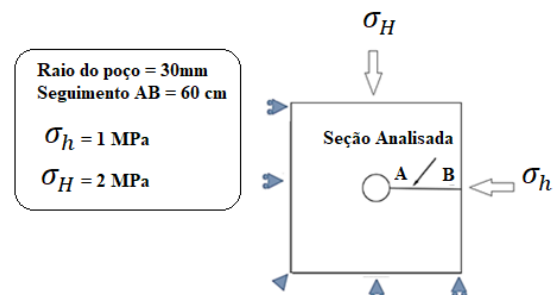


Figura 1: Condições de contorno e cenário desenvolvido. Fonte: Os autores.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos de tensões radial e tangencial da seção analisada (seguinto AB) estão ilustrados na Figura 2. É observado que tanto a tensão tangencial como a tensão radial tenderam ao valor aplicado de tensão horizontal, após 4 a 5 vezes o comprimento do raio do poço.

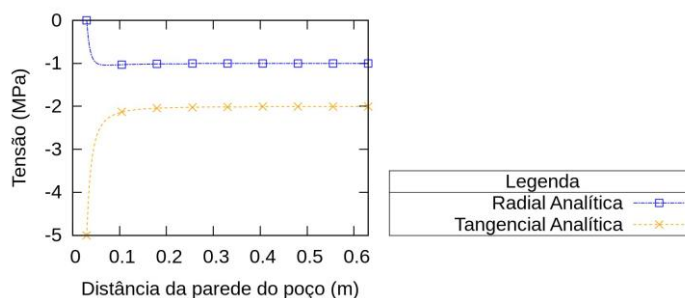


Figura 2: Variação das tensões principais ao longo da parede do poço para solução analítica de Kirsch. Fonte: Os autores.

Em seguida, foi realizada uma simulação numérica com as mesmas dimensões utilizadas para a análise da solução analítica com a malha de elementos finitos composta por 9108 elementos, Figura 3.

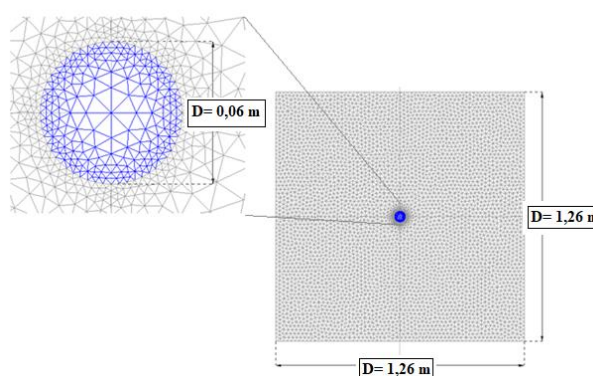


Figura 3: Geometria, malha de elementos finitos e detalhe do poço. Fonte: Os autores.

Observa-se na Figura 4 a distribuição de tensões horizontais mínima e máxima, bem como as tensões de cisalhamento. Verifica-se nestas imagens a concentração de tensões próximas à parede da escavação e sua atenuação na medida em que se afasta do poço na direção dos contornos do domínio.

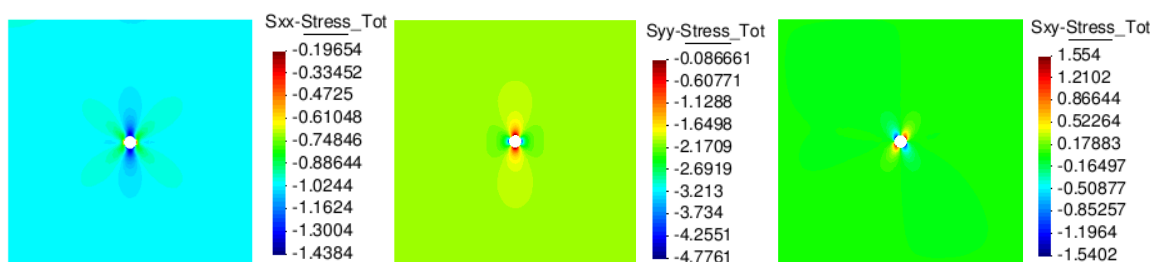


Figura 4: Distribuição de tensões (MPa): (a) Tensões na direção x; (b) Tensões na direção y; (c) Distribuições de tensões cisalhantes. Fonte: Os autores.

Com o intuito de apresentar os resultados de tensões tangencial e radial para os casos numérico e analítico, foram construídos os gráficos com os valores destas tensões ao longo do segmento AB ilustrada na Figura 1. Esse gráfico se encontra descrito na Figura 5, onde é observado uma resposta idêntica entre os valores obtidos para essas tensões.

Além disso, os valores de tensões horizontais tenderam às aplicadas no problema. Dessa forma, foi possível analisar a concentração de tensões atuante na parede do poço, após a aplicação do processo de escavação.

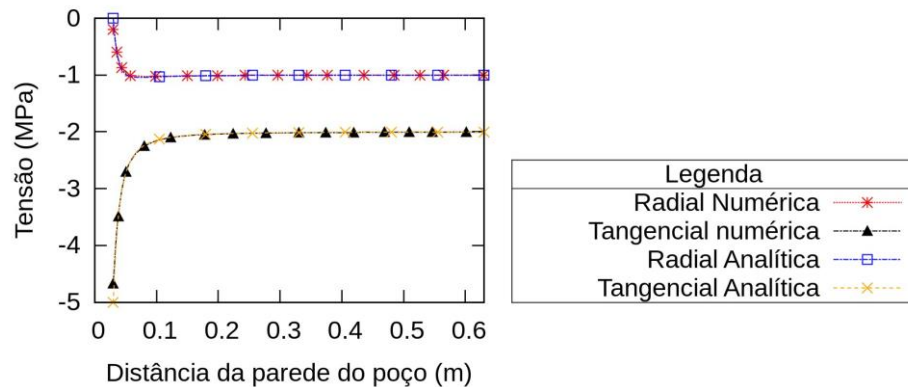


Figura 5: Solução numérica e solução analítica de Kirsch. Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados expostos verifica-se que a modelagem numérica do poço vertical desenvolvido utilizando o algoritmo de escavação, apresenta uma aproximação muito satisfatória em relação aos resultados da solução analítica proposta para a validação. Observou-se, também, que os valores de distribuição de tensões radial e tangencial tendem aos valores das tensões horizontais máxima e mínima, respectivamente, conforme os resultados se distanciam da parede do poço, igualmente como acontece na solução analítica de Kirsch.

Dessa forma, o algoritmo utilizado representa adequadamente o problema de escavação de um poço vertical, sendo assim, atesta-se que o referido algoritmo de escavação pode ser empregado em cenários de escavação, como também cenários de gênese de feições cársticas.

#### REFERÊNCIAS

- ACIOLI, N. B. **Análise numérica de escavação em rochas salinas com possibilidade de reativação de falhas via técnica de descontinuidades fortes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 146 p., 2017.
- HERNÁNDEZ, Y. Z. **Comportamento da frente de escavação de túnel raso**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília (UNB), Brasília/DF (Brasil), 79 p., 2016.
- JOSEPH, J. B. **Análise termo-hidro-mecânica em meios porosos utilizando elementos finitos de acoplamento de malhas não-conformes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 97 p., 2018.
- KIRSCH, E.G. Die theorie der elastizität und die bedürfnisse der festigkeitslehre. **Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure**, v. 42, p. 797-807, 1898.
- POTTS, D. M.; ZDRAVKOVIĆ, L. **Finite element analysis in geotechnical engineering**. Londres (Inglaterra): Thomas Telford Editora, 448 p., 1999.
- ZHANG, W. G., GOH, A. T. C., GOH, K. H., CHEW, O. Y. S., ZHOU, D. and ZHANG, R. Performance of braced excavation in residual soil with groundwater drawdown. **Underground Space**, v. 3, n. 2, p. 150–165, jun. 2018.

## *RECURSOS HÍDRICOS*

---

## Análise da importância do modelo hidrossedimentológico SWAT na estimativa dos processos hidrológicos de bacias hidrográficas: revisão bibliográfica

Raquel Ferreira do Nascimento<sup>1\*</sup>, Lysanne Souza de Moura<sup>1</sup>, Marina de Paula Moura<sup>1</sup>, Arivânia Bandeira Rodrigues<sup>1</sup>, Maiana Borba Vilarim<sup>1</sup>, Jussara Freire de Souza Viana<sup>1</sup>, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) - Tecnologia Ambiental com ênfase em Recursos Hídricos.

\*raquelferreiran@gmail.com.

### RESUMO

A modelagem hidrológica representa processos hidrológicos que ocorrem em bacias hidrográficas promovendo interpretação e representação dos fenômenos hidrológicos. Diversos modelos são utilizados para esse fim, dentre eles, o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), capaz de analisar impactos causados pelas alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, verificar a produção de sedimentos e a qualidade da água. Este estudo visa analisar a importância do SWAT na representação do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica por meio de revisão bibliográfica. Foram levantados trabalhos científicos publicados entre 2009-2018. Na maioria, o modelo apresentou resultados satisfatórios, concluindo-se que o SWAT é uma ferramenta funcional à gestão dos recursos hídricos, por representar processos de bacias hidrográficas e ser um modelo de livre acesso com código-fonte aberto e suporte eficiente aos usuários.

**Palavras chaves:** Modelo hidrológico; Balanço hídrico; Produção de sedimentos.

### ABSTRACT

The hydrologic modeling represents hydrological processes that occur in watersheds promoting interpretation and representation of hydrological phenomena. Several models are used for this purpose, among them, the *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), able to analyze impacts caused by changes in land use on the surface and underground runoff, check the production of sediments and the quality of the water. This study aims to analyze the importance of the SWAT in the representation of the water balance of a watershed by means of a bibliographic review. Scientific studies published between 2010-2018 were surveyed. In most cases, the model presented satisfactory results, concluding that SWAT is a functional tool for water resources management, as it represents watershed processes and is a free access model with open source and efficient support to users.

**Keywords:** Hydrological model; Water balance; Sediment production.

### 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é relevante para a gestão integrada dos recursos hídricos. Porém, uma elevada disponibilidade quantitativa e qualitativa das informações hidrológicas da bacia hidrográfica de interesse, para o estudo do comportamento dos fenômenos hidrológicos, é obtida por técnicas complexas e de alto custo, o que frequentemente inviabiliza a coleta *in situ* desses dados.

Os modelos hidrológicos promovem a interpretação e representação dos fenômenos hidrológicos em bacias hidrográficas, permitindo representar um sistema real por meio de equações matemáticas idealizadas com base nos dados observados. Eles podem retratar o

impacto da urbanização em uma bacia, prever enchentes em tempo real, estender séries hidrológicas, planejar e projetar sistemas hídricos, entre outros (TUCCI, 2005).

Para que um determinado modelo simule os processos naturais com confiança, as variáveis medidas devem ser consistentes e suficientes. Dessa forma, a integração de alguns modelos hidrológicos aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e ao sensoriamento remoto possibilita melhorar a análise e a representatividade espacial e temporal das estimativas obtidas em bacias hidrográficas, assim como suprir a escassez de dados em determinadas regiões, quando do uso de dados obtidos por satélite. Um dos modelos que fazem uso dessa integração é o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), um modelo matemático distribuído e contínuo, que possibilita a representação dos distintos processos físicos existentes em uma bacia hidrográfica, com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade de água (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994).

Assim sendo, o presente estudo analisa a importância do SWAT na representação dos processos hidrológicos de bacias hidrográficas por meio de uma revisão bibliográfica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho teve sua elaboração realizada por meio de uma revisão da literatura nas plataformas online Periódicos CAPES, Google Acadêmico e Scielo. Nessas plataformas, as palavras-chave utilizadas foram “SWAT”, “modelagem hidrológica”, “modelagem sedimentológica” e suas correspondentes em inglês. Buscou-se trabalhos entre 2009-2018 em que os resultados da utilização do modelo evidenciaram sua aplicabilidade.

### 2.1. Modelo Swat (*Soil and Water Assessment Tool*)

O SWAT é um modelo matemático de domínio público, desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* (ARS) e pelo *United States Department of Agriculture* (USDA), que analisa os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas rurais e urbanas (NEITSCH et al., 2011). Ele permite a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas e a análise de diversos cenários, como a predição dos impactos do manejo do solo sobre a qualidade da água, do transporte de sedimentos e do transporte de produtos químicos utilizados na agricultura.

A sua integração com os SIGs permite trabalhar com a variabilidade espacial dos dados. Nesse contexto, foi desenvolvida uma interface SIG no ArcGis e no QGis que viabiliza o trabalho com imagens georreferenciadas. Ao utilizar a interface com o ArcGis, o simulador recebe o nome de ArcSWAT e com o QGis de QSWAT, cujas versões são gratuitas e compatíveis com as versões do ArcGis e do QGis adotadas pelo usuário (VIANA et al., 2018). A integração do SWAT com os SIGs possibilita a utilização de suas ferramentas de geoprocessamento como suporte às etapas da modelagem, facilitando a integração da base de dados, sobretudo os de entrada.

A aplicação desse modelo requer a inserção de características físicas da bacia (mapas de uso e ocupação do solo, tipos de solo, modelo digital de elevação e características físicas do solo), assim como dados de variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa) e da superfície do terreno.

O modelo hidrológico é baseado na equação do balanço hídrico (Equação 1), tendo como volume de controle um perfil de solo de 2 m de profundidade (ARNOLD et al., 1998).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (Rd - Q_{sup} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Em que:  $SW_t$  é o armazenamento final da água no solo (mm);  $SW_0$  é o armazenamento inicial da água no solo no dia  $i$  (mm);  $t$  é o tempo (dias);  $Rd$  é a precipitação no dia  $i$  (mm);  $Q_{sup}$  é o

escoamento superficial no dia  $i$  (mm);  $E_a$  é a evapotranspiração no dia  $i$  (mm);  $W_{seep}$  é a percolação no dia  $i$  (mm);  $Q_{gw}$  é o fluxo de retorno no dia  $i$  (mm).

### 3. DESENVOLVIMENTO

Os modelos hidrológicos com embasamento físico têm sido desenvolvidos a partir da necessidade de entender melhor o comportamento dos fenômenos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, facilitando a análise quantitativa e qualitativa dos processos do ciclo hidrológico, sendo de grande valia para interpretação e análise de problemas localizados ou em domínios com dados topográficos (SANTOS, 2009).

Paim et al. (2009) simularam a capacidade de produção de água e geração de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas (SC). Os autores obtiveram parte dos resultados simulados com os índices estatísticos necessários para garantir a eficiência do modelo em representar o ambiente real. Mesmo assim, é possível inferir em hipóteses sobre os resultados de maneira qualitativa e não de forma quantitativa, visto que uma das limitações mais significativas encontradas foi a falta de dados observados sobre produção e concentração de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica. Embora o modelo seja sensível a mais de uma centena de variáveis, apresentou um Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe - COE de 0.6, indicando um bom ajuste do modelo, após a calibração.

Bonumá et al. (2010) avaliaram o balanço hídrico e produção de sedimentos pelo SWAT para a bacia hidrográfica do Arroio Lino (RS), obtendo um desempenho classificado como “muito bom” a nível mensal. Entretanto a confiabilidade dos resultados depende muito da qualidade dos dados de entrada.

Carvalho (2014) confirmou que o SWAT foi capaz de simular de forma satisfatória o escoamento superficial e a vazão na Bacia do Alto Rio Jardim (DF), tanto em nível mensal quanto diário. O modelo, no entanto, não simulou adequadamente a produção de sedimentos na bacia, com grande subestimativa dos resultados, indicando a importância da calibração.

Blainski et al. (2017) concluiu que o modelo SWAT se mostrou eficiente para as simulações hidrossedimentológicas na bacia hidrográfica do rio Camboriú (SC) para a escala de tempo diária, realizando sua calibração para que as simulações atendessem aos critérios de qualidade estabelecidos. Também foi possível atestar a eficiência do modelo para simulação das curvas de permanência das variáveis estudadas.

Henriques et al. (2017) aplicaram o modelo SWAT e concluíram que o uso da terra e a declividade são atores preponderantes para a ocorrência dos maiores valores de escoamento superficial e produção de sedimentos para a bacia do Rio Taperoá (PB), como esperado para regiões semiáridas do Brasil. A análise demonstra a importância e aplicabilidade dessa temática em áreas semiáridas, para melhor entendimento desses processos na região.

Viana et al. (2018) verificou que o modelo subestimou a maior parte dos dados de vazão no posto fluviométrico Destilaria Bom Jesus, localizado na Bacia do Rio Pirapama (PE), no entanto, apresentou dados simulados relativamente bem ajustados aos valores observados, levando em consideração que não foram calibrados. Entende-se que, possivelmente, após o processo de calibração, podem melhorar em relação aos observados, já que o modelo indica uma representação adequada dos processos hidrológicos na bacia.

### 4. CONCLUSÕES

O SWAT se apresentou como uma ferramenta eficiente e muito útil para simular as condições hidrológicas de uma bacia hidrográfica. Entretanto, observa-se, em muitos trabalhos, a necessidade da aplicação do processo de calibração para tentar ajustar os dados estimados aos observados, assim como a validação. Esse modelo possui grande potencial de utilização com sucesso no Brasil, entretanto a confiabilidade dos resultados do modelo depende muito da qualidade dos dados de entrada. Sendo assim, é de extrema importância

a análise de cada variável e a sua influência nos resultados finais, para garantir confiabilidade no estudo realizado. Dessa forma, pode-se perceber, por meio desse conciso estudo, que o SWAT se apresenta como uma ferramenta funcional para a gestão dos recursos hídricos, por abordar uma ampla gama de informações relacionados aos processos de bacias hidrográficas e por ser de livre acesso com código-fonte aberto e suporte eficiente aos usuários.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES e FACEPE pelas bolsas de estudo e o apoio à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. MUTTIAH, R. S. WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

BLAINSKI, E; ACOSTA, E; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 2, p. 226-237, 2017.

BONUMÁ, N. B.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P.; BARROS, C. A. P.; RODRIGUES, M. F.; BUARQUE, D. C. **Balanço hídrico e sua relação com a modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. Em: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Brasília, p. 1-17, 2010.

CARVALHO, F. H. **Uso do modelo swat na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do cerrado brasileiro**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 154 p. 2014.

HENRIQUES I. G. N., SILVA R. M., SILVA L. P. **Análise espacial dos processos hidrossedimentológicos na bacia do rio Taperoá-PB**. Em: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & I Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas, p. 5158-5169, 2017.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009**. Texas Water Resources Institute, 2011.

PAIM, J. B.; MENEZES, J. T. Estimativa do balanço sedimentar da bacia do rio Tijucas (SC-Brasil) a partir da aplicação do modelo hidrológico SWAT. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiana, v. 3, n. 2, p.5-14, 2009.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p. 1-19, 2009.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. INTEGRATION OF A BASIN-SCALE WATER QUALITY MODEL WITH GIS 1. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 30, n. 3, p. 453-462, 1994.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 678, 2005.

VIANA, J. F. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; SILVA, R. M.; SOUSA, W. S. Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama-PE utilizando o modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.3, n. 1, p.155-172, 2018.



## **Análise de risco de alagamentos nas áreas baixas do município de Olinda**

**Arivânia Bandeira Rodrigues<sup>1\*</sup>, Jaime Joaquim Pereira Cabral<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) - Tecnologia Ambiental com ênfase em Recursos Hídricos.

\* arivania\_@hotmail.com.

### **RESUMO**

Nas últimas décadas, os municípios brasileiros apresentaram uma urbanização acelerada e não planejada. O desenvolvimento deste processo produziu grandes alterações no ambiente urbano, que se projetaram em impactos significativos sobre a drenagem urbana. Essa situação se agrava principalmente nas planícies costeiras, como a cidade de Olinda, com um processo de urbanização desordenado, infraestrutura inadequada, sistema de drenagem ineficiente e fortes influências da maré, o que pode ocasionar sérios problemas de alagamento em períodos chuvosos e dificuldades para o escoamento das águas. Assim, faz-se necessário o conhecimento das características hidrológicas, hidráulicas, geomorfológicas da bacia do Rio Fragoso e realização de modelagens computacionais através de softwares como HEC-RAS e SWMM para simulação de cenários. Portanto, é importante a tomada de medidas estruturais, como por exemplos reservatórios de amortecimento e diques, assim como medidas não estruturais com zoneamento de áreas de inundações, através de regulamentação do uso do solo com risco de inundação, ocupação com áreas de lazer, seguros contra inundações e previsão em tempo atual, entre outras.

**Palavras chaves:** Drenagem Urbana; Inundações; Técnicas compensatórias.

### **ABSTRACT**

In recent decades, Brazilian municipalities have experienced an accelerated and unplanned urbanization. The development of this process has produced major changes in the urban environment, which projected significant impacts on urban drainage. This situation is especially aggravated by coastal plains, such as the city of Olinda, with a disorderly urbanization process, inadequate infrastructure, inefficient drainage system and strong tidal influences, which can cause serious flooding problems during rainy seasons and difficulties for the development of the region. water runoff. Thus, it is necessary to know the hydrological, hydraulic and geomorphological characteristics of the Fragoso River basin and to perform computational modeling using software such as HEC-RAS and SWMM for scenario simulation. Therefore, it is important to take structural measures, such as damming reservoirs and dikes, as well as non-structural measures with flood zone zoning, through regulation of flood risk land use, occupation with leisure areas, insurance. against floods and current weather forecasting, among others.

**Keywords:** Urban Drainage; Floods; Compensatory Techniques.

### **1. INTRODUÇÃO**

As cidades brasileiras tiveram um imenso crescimento populacional na segunda metade do século XX devido ao aumento da expectativa de vida das pessoas e principalmente devido à migração proveniente de áreas rurais de modo que em média cerca de 85% da população brasileira vive atualmente em cidades. Diante desse crescimento populacional, as alterações climáticas e urbanização diminuíram a área superficial permeável e tempo de concentração em áreas metropolitanas, levando à insuficiência das capacidades do sistema de drenagem, o que provoca níveis de subida extremamente rápidos durante as chuvas intensas (YAZDI,2015).

A urbanização conduz a impermeabilização das superfícies, como os telhados e estradas que alteram drasticamente o ambiente circundante. O modelo de drenagem urbana convencional que transporta o escoamento das águas pluviais rapidamente a um córrego por

sistemas canalizados resulta em uma síndrome do córrego urbano com o aumento do volume de escoamento e fluxo de pico, e mais poluentes que atingem o rio, etc. Além disso, alterações climáticas podem ter um efeito amplificador sobre tais problemas. Uma solução eficaz é o controle da fonte de escoamento de águas pluviais usando infiltração e armazenamento in situ para reduzir descarga de escoamento (WANG, 2018) .

Os problemas de inundações faz parte de políticas públicas estaduais no tocante a mudanças climáticas tanto no aspecto das precipitações pluviométricas ficarem mais intensas como também nos aspectos referentes à elevação do nível do mar. Além disso está relacionado com outros aspectos ambientais como conforto térmico e recarga de aquíferos de acordo com informações da Política Estadual de Mudança Climáticas, conforme documento "As Políticas Públicas Ambientais do Estado de Pernambuco" (SECTMA, 2010).

Dentro desta esfera, em 2010 foi sancionada a Lei Estadual Nº 14.090 que institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco. No que concerne a questão das águas urbanas, a sobredita lei define no capítulo III (estratégias de mitigação e adaptação), seção VII (recursos hídricos), art. 12º que deve-se considerar na Política Estadual de Recursos Hídricos, a questão das mudanças climáticas, definindo áreas de maior vulnerabilidade e as respectivas ações de prevenção, mitigação e adaptação. No item III do mesmo artigo 12, a lei indica que devem ser implantadas ações de desassoreamento de calhas dos rios e controle das construções em suas margens, como forma de minimizar os problemas decorrentes do aumento do nível do mar. Ainda no capítulo III da citada Lei estadual, na seção XI (Oceano e Gestão Costeira), art. 17º e item XVI, recomenda-se que sejam realizadas ações periódicas de desassoreamento e/ou alargamento das calhas dos rios costeiros, onde se fizer necessário. No item seguinte, o XVII, discute-se a necessidade de planejar ações emergenciais, como a construção de bacias de estocagem em áreas de baixa altimetria, que visem minimizar os problemas de drenagem nas regiões litorâneas.

Em 2011 foi apresentado o Plano Estadual de Mudanças Climáticas, fundamentado por ações a serem desenvolvidas em Pernambuco, com a missão de construir a Política Estadual de Mudanças Climáticas. Entre 1901-2010, o nível médio global do mar subiu 0,19 m. A taxa de aumento do nível do mar, desde meados do século XIX tem sido maior do que a taxa média durante os dois milênios anteriores. É muito provável que a taxa média global de aumento do nível do mar tenha sido de 1,7 mm/ano entre 1901 e 2010 e 3,2 mm/ano entre 1993 e 2010. Os dados de marégrafo e de altimetria por satélite são consistentes em relação à taxa mais elevada durante o último período. Desde o início da década de 1970, a perda de massa das geleiras e a expansão térmica dos oceanos, devido ao aquecimento global, em conjunto explicam cerca de 75% do aumento do nível médio do mar global observado. Segundo o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) espera-se um aumento de 0,6 - 0,7 metros no nível médio dos mares para a região do litoral do Brasil para um período entre 2081 e 2100 o que provocaria inúmeras consequências para populações litorâneas (IPCC, 2014).

Cidades densamente ocupadas como Olinda convivem com uma história que se caracteriza pela ocupação desordenada de planícies e morros. A degradação ambiental observada pode ser relacionada a um estilo de urbanização que configurou um "círculo vicioso", cujas consequências se agravaram com a explosão urbana da segunda metade do século XX.

Os estragos causados pela ocupação desordenada de áreas podem ter implicações catastróficas, tais como as enchentes e inundações que provocam danos ambientais e sociais. Os locais que deveriam ser ocupados naturalmente pelas águas são indevidamente ocupados por terrenos impermeabilizados e habitações fazendo com que a água não tenha como infiltrar, provocando o aumento dos picos de vazões.

Assim, a justificativa e motivação para a realização deste trabalho é diagnosticar os pontos críticos de alagamento e buscar soluções para minimizar os problemas causados pelas inundações, de um modo geral e tratá-los de forma integrada aos outros problemas urbanos, permitindo que o planejamento da cidade esteja ligado ao planejamento da água, tendo a

bacia hidrográfica como referência. O objetivo principal é reduzir os alagamentos na cidade de Olinda, na bacia do Rio Fragoso, em resposta a diferentes eventos de precipitação pluviométrica de intensidade média e elevada, podendo incluir soluções baseadas em técnicas compensatórias.

## 2. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia desta pesquisa inclui o aprofundamento do conhecimento das características hidrológicas, hidráulicas, geomorfológicas da bacia do Rio Fragoso e realização de modelagens computacionais para simulação de cenários, compreendendo também a realização das seguintes atividades:

- Delimitação das características geomorfológicas das principais bacias hidrográficas que contribuem para o rio Fragoso com uso de técnicas de geoprocessamento.
- Reunir informações das características geométricas e hidrológicas dos cursos d'água e da rede de drenagem existente, tanto na busca em órgãos públicos responsáveis quanto através de visitas de campo. Assim como, o cadastro atual das redes de micro e macro drenagem para analisar se a mesma é suficiente, patologias mais frequentes e como elas interferem no prejuízo do sistema de drenagem.
- Avaliar as vazões geradas e a propagação de vazões, exemplificado na Figura 1.

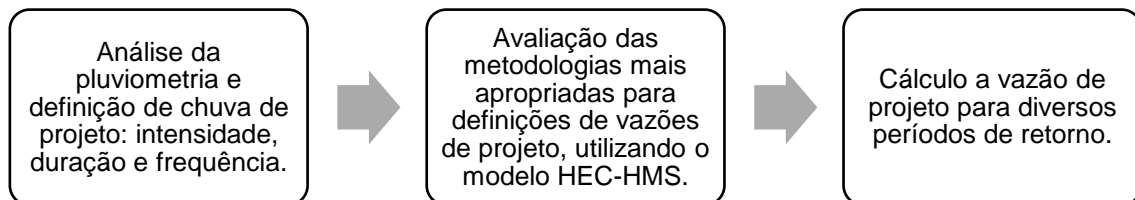


Figura 1 – Etapas de decisão para definição de chuva de projeto e vazão. Fonte: Autor.

- Avaliar as alturas de água do curso d'água para diversos tempos de retorno, apresentado na Figura 2.

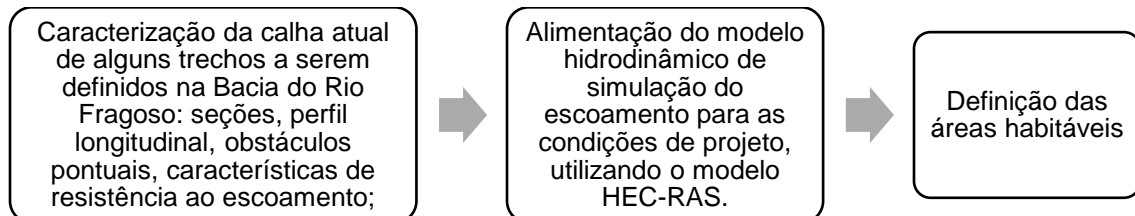


Figura 2 – Metodologia de definição de áreas habitáveis. Fonte: Autor.

- Avaliar medidas compensatórias em drenagem urbana, visando a diminuição dos problemas de alagamentos enfrentados. Será analisado a aplicabilidade das principais técnicas compensatórias em drenagem urbana comumente adotadas, identificando sua principal característica, função e efeito, como por exemplo: pavimento permeável, trincheira de infiltração, poço de infiltração, micro-reservatório, bacia de retenção, bacia de detenção, entre outros.

## 3. RESULTADOS ESPERADOS

A cidade de Olinda como também os outros municípios da Região Metropolitana podem receber chuvas de elevada intensidade quando o Atlântico está quente e os ventos sopram com velocidade grande em direção ao continente, como aconteceu no dia 30 de maio de 2016 em que ocorreu uma precipitação de 240 mm em menos de 24 horas. O município de Olinda é cortado basicamente por dois cursos d'água: o rio Beberibe e o rio Fragoso que em diversos anos tem sofrido problemas de extravasamento de suas calhas por ocasião de

chuvas intensas. Além disso, ocorrem problemas de alagamento localizado em vários trechos da parte plana da cidade por falhas de projeto ou de manutenção.

Seus corpos d'água sofrem oscilações ao longo do dia devido às marés de preamar e baixa-mar e principalmente nos bairros que margeiam o rio Fragoso, a ocorrência de precipitações pluviométricas mais elevadas produzem sérios alagamentos quando as chuvas mais intensas coincidem com as marés mais altas (marés de sizígia). A drenagem de Olinda tem tido grandes problemas que se acentuam a cada ano devido ao efeito somado da geomorfologia, da urbanização acelerada e da intensidade das chuvas torrenciais.

A presente proposta de pesquisa contribui para o maior conhecimento sobre a rede de macro e micro drenagem da planície de Olinda com avaliação das cotas a serem atingidas de acordo com o tempo de retorno de determinado evento hidrológico, levantamento dos pontos de alagamento e proposição de medidas compensatórias, como por exemplo regulamentação do uso e ocupação do solo, pelo poder público, das áreas naturalmente inundáveis; combinar essas áreas, para atuarem como bacias de retenção urbanas; regulamentar a microdrenagem para não ampliar a enchente natural; utilizar parques e outras possíveis áreas para amortecer e preservar os hidrogramas entre diferentes sub-bacias; prever subsídios de impostos para as áreas de inundações e a troca de solo criada por compra de áreas de inundações.

Desta forma, possibilitando aos gestores a tomada de decisão para um melhor manejo de águas pluviais urbanas visando selecionar os melhores diagnósticos e soluções técnicas de drenagem urbana que recuperem ou compensem as características do ciclo hidrológico e assegurando a busca por desenvolvimento em bases sustentáveis.

#### 4. CONCLUSÕES

A solução eficiente para a drenagem urbana depende de um conjunto de fatores, que incluem não só intervenções clássicas na área de contribuição ao ponto de alagamento, como também medidas que integrem a drenagem com o planejamento urbano, e medidas não estruturais, que incluem a educação ambiental da população e normas para que cada usuário não amplie a sua contribuição para a rede de drenagem.

Para uma correta distribuição das medidas estruturais e não estruturais é necessário um importante estudo da região a ser analisada, baseando-se em dados hidrológicos, topográficos, geológicos, permitindo a análise dos eventos de cheia existente, como também as causas de impermeabilizações, tentando evitar o agravamento futuro. Os planos de gestão e as legislações também são muito importantes, pois possibilitam uma gestão eficiente da drenagem urbana.

#### REFERÊNCIAS

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC – **Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/index.htm>. Acesso em: 08/dez/2016. 2014.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE – SECTMA. **As Políticas Públicas Ambientais do Estado de Pernambuco**. Marcos reguladores de Pernambuco no Contexto Ambiental. Governo do Estado de Pernambuco. Recife, 2010.

WANG, S.; WANG, H. **Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems**. Water Research 144 112-125. China, 2018.

YAZDI, J.; CHOI, H.S.; KIM, J.H. **A methodology for optimal operation of pumping stations in urban drainage systems**. Journal of Hydro-environment Research. South Korea, 2015.

## **Estudo de técnicas de subsídio ao mapeamento de risco de inundação em Palmares, Pernambuco**

**Larissa Ferreira David Romão Batista<sup>1\*</sup>, Alfredo Ribeiro Neto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Depto de Engenharia Civil, Grupo de Recursos Hídricos

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Depto de Engenharia Civil, Grupo de Recursos Hídricos

\* larissafbatista@gmail.com

### **RESUMO**

Além de ações antrópicas, as próprias condições ambientais têm sofrido transformações cada vez mais rápidas e abrangentes. Mesmo sem unanimidade acerca das causas, é evidente o aumento no número de eventos extremos registrados. A compreensão dos sistemas, principalmente os naturais, está intrinsecamente associada à qualidade de vida dos seres humanos. Esta pesquisa combina técnicas e ferramentas computacionais para composição de mapas de risco de inundação, tendo como estudo de caso o município de Palmares. A metodologia conta com modelos, imagens de satélite, Sistema de Informações Geográficas, dentre outros. A combinação das ferramentas visa proporcionar análise dos principais componentes formadores do risco (perigo, exposição e vulnerabilidade), separadamente e em conjunto. Como resultado primário tem-se um mapa da planície de inundação categorizada em quatro níveis de risco. Este estudo reafirma a relevância do planejamento urbano e de sua efetiva implementação para uma sociedade mais adaptada e sustentável.

**Palavras chaves:** Perigo. Exposição. Vulnerabilidade. Modelagem.

### **ABSTRACT**

In addition to anthropic actions, environmental conditions themselves have undergone faster and more comprehensive transformations. Even without unanimity about causes, the increase in the number of extreme events recorded is evident. The understanding of systems, especially natural ones, is intrinsically associated with quality of life. This research combines techniques and computational tools for the composition of flood risk maps, taking the city of Palmares as a case study. The methodology has models, satellite images, and Geographic Information System, among others. The combination of tools aims at providing analysis of structural risk elements (hazard, exposure, and vulnerability) separately and together. The first result is a floodplain map categorized into four risk levels. This study reaffirms the relevance of urban planning and its practical implementation for a more adapted and sustainable society.

**Keywords:** Hazard. Exposure. Vulnerability. Modeling.

### **1. INTRODUÇÃO**

Urbanização não planejada e mudanças climáticas são alguns dos fatores principais para o crescimento da tendência de inundações urbanas e seus consequentes danos. Neste contexto, a resiliência e a adaptação acabam também sendo prejudicadas uma vez que o pensamento da gestão se inclina mais a respostas que à prevenção. A mudança desse tipo de paradigma passa pelo investimento em informações e análises científicas que possam explicar o caráter multidisciplinar de tais cenários, estudar os conceitos formadores do risco e preparar ações para antes, durante e após eventos de desastre (ALLEN et al., 2018).

O Brasil, com seu território continental, já foi cenário de diversos eventos desastrosos. Destaque para a Zona da Mata pernambucana por seu longo registro de inundações e consequentemente de destruição. Assim, esta pesquisa busca combinar metodologias num mapeamento de risco mais robusto para a realidade local, visando

contribuir com a redução de custos e danos gerados aos setores público, privado e principalmente à população. Parte-se da hipótese de que é possível chegar a tal objetivo através de dados secundários e tecnologias acessíveis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Localizada entre as coordenadas 08°17'14"S, 08°55'28"S, 35°07'48"W, 36°42'10"W, a bacia do rio Una apresenta área de 6.740,31 km<sup>2</sup>. Dentro desta bacia está a cidade de Palmares que, juntamente com outros 19 municípios, faz parte da Região da Mata Sul de Pernambuco, área de interesse do presente estudo (APAC, 2018).

### 2.1 Quadro conceitual

No que concerne ao risco, os conceitos adotados no presente estudo seguem as definições estabelecidas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Assim, o risco é caracterizado como a probabilidade do desastre que, por sua vez, é definido pela interação entre três elementos principais: perigo, exposição e vulnerabilidade.

O perigo é classificado de acordo com o fenômeno natural, neste caso a inundação, sendo definido pelo potencial de perdas que pode gerar a pessoas, comunidades, infraestruturas, bens, serviços ou outros recursos (RANA & ROUTRAY, 2018). A exposição é classificada de acordo com a localização geográfica dos elementos passíveis de serem atingidos pelo fenômeno natural extremo. E a vulnerabilidade, no caso das áreas urbanas, relaciona-se com aspectos como demografia, densidade populacional, uso do solo, além de outros itens como o potencial de perdas, capacidade de lidar com as consequências pós-evento, preparo e ações de prevenção (SOLÍN et al., 2018).

Dessa forma, a compreensão dos componentes do risco é ponto de partida para entendimento e consequente desenvolvimento de uma gestão mais apta a planejar para a adaptação. As mudanças partem da educação e engajamento de todos os agentes com relação ao risco e suas dinâmicas (TORABI et al., 2018).

### 2.2 Gestão de risco

As análises de risco têm sido cada vez mais reconhecidas como etapas necessárias à gestão, podendo determinar a qualidade e quantidade das medidas de redução de riscos e adaptação a serem propostas. Abordagens que integrem aspectos econômicos, ecológicos e de engenharia são os mais indicados (WHELCHER et al., 2018). A análise de risco fornece meios para organização do conhecimento disponível acerca de um sistema, com foco na compreensão de seu comportamento e nas possibilidades de falha, para que as decisões a serem tomadas levem à melhoria de desempenho e redução de danos.

### 2.3 Ferramentas

Para o mapeamento dos componentes do risco são utilizados o software ArcGIS/ESRI, imagens de satélite de alta resolução, cedidas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, e o aplicativo Google Street View (GSV), recurso do Google Maps e Google Earth que disponibiliza vistas panorâmicas ao nível do solo. Além disso, com relação à bacia do rio Una, são adotados resultados de simulações realizadas por um modelo de previsão de enchentes desenvolvido por pesquisadores do Grupo de Recursos Hídricos da UFPE. O modelo consegue integrar previsão de chuva, modelagem hidrológica e hidrodinâmica, avaliando a distribuição da vazão simulada, testando novos coeficientes de calibração e simulando o efeito da construção de barragens nas manchas de inundação (ALVES, 2017).

As manchas de inundação simuladas caracterizam o componente perigo. A exposição é definida através do SIG, das imagens de alta resolução e do GSV. E a vulnerabilidade é qualificada pela combinação dos trabalhos de Nagem (2008) e da NBR 12721/2006, a qual estabelece padrões de custos para determinados tipos de edificações, permitindo identificação do grau de dano que se pode ter na área em questão. Já para a combinação dos componentes e mapeamento do risco destaca-se estudo desenvolvido por

Albano et al. (2017).

### 3. DESENVOLVIMENTO

Fazer com que a gestão e conseqüentemente a população priorizem medidas de redução de risco, especialmente prevenção, sem que tenham tido a experiência de um desastre é tarefa difícil. As análises de risco nesse caso podem interferir diretamente em aspectos como aceitação social, vontade política e disponibilidade de recursos financeiros, por exemplo. Destaca-se assim a responsabilidade dos cientistas em condensar informações de modo mais acessível à visualização e interpretação das partes interessadas (BARQUET & CUMISKEY, 2018).

Assim como Bathrellos et al. (2017) que produziram mapas de deslizamentos de terra, inundações e terremotos. Este estudo de caso permite desenvolvimento de ferramentas para uso na seleção de áreas adequadas ao desenvolvimento urbano. Visto que, no contexto das inundações, índices como os estabelecidos na Figura 1 contribuem para a caracterização do nível de segurança de cada zona urbana, fornecendo informações sobre a distribuição espacial dos perigos naturais.

A combinação das ferramentas citadas no item 2.3. forneceram os meios para a aplicação da metodologia de Albano et al. (2017) para classificação qualitativa do risco. Entretanto, ainda são necessárias a otimização dos parâmetros, a compatibilização de resoluções e a validação dos resultados.

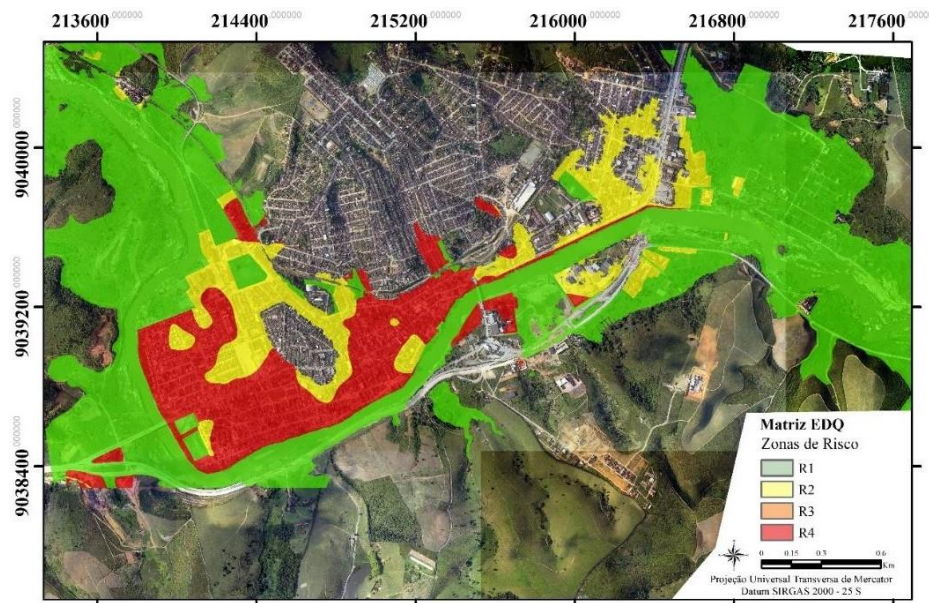


Figura 1: Mapa de Risco Qualitativo para o município de Palmares. Fonte: Os autores.

### 4. CONCLUSÕES

A pesquisa busca ainda aprimorar e estabelecer sua metodologia principal de modo que a mesma possa ser replicada para outros municípios da Zona da Mata sul do estado de Pernambuco, e oportunamente em outras bacias de médio e pequeno porte que experienciem cenários semelhantes de desastres. Este estudo de caso permite identificar deficiências e necessidades há serem supridas para um mapeamento que se aproxime mais do real conceito de risco.

## REFERÊNCIAS

- ALBANO, R.; MANCUSI, L.; ABBATE, A. Improving flood risk analysis for effectively supporting the implementation of flood risk management plans: The case study of “Serio” Valley. **Environmental Science and Policy**, v.75, p.158-172, 2017.
- ALLEN, S. K.; BALLESTEROS-CANOVAS, J.; RANDHAWA S. S.; SINGHA A. K.; HUGGEL, C.; STOFFEL, M. Translating the concept of climate risk into an assessment framework to inform adaptation planning: Insights from a pilot study of flood risk in Himachal Pradesh, Northern India. **Environmental Science and Policy**, V.87, P.1-10, 2018.
- ALVES, F. H. B. **Simulação de previsão de enchentes: integração de modelos de previsão de chuva, simulação hidrológica e hidrodinâmica**. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil) 169 p., 2017.
- APAC. **Bacias hidrográficas**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/> Acesso em: 24 de maio de 2018.
- BARQUET, K.; CUMISKEY, L. Using participatory Multi-Criteria Assessments for assessing disaster risk reduction measures. **Coastal Engineering**, v.134, p.93-102, 2018.
- BATHRELLOS, G. D.; SKILODIMOU, H. D.; CHOUSIANITIS, K.; YOUSSEF, A. M. PRADHAN, B. Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. **Science of the Total Environment**, v.575, p.119-134, 2017.
- NAGEM, F. R. M. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas**. 2008. 114 f. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ (Brasil), 2008.
- RANA, I. A.; ROUTRAY, J. K. Integrated methodology for flood risk assessment and application in urban communities of Pakistan. **Natural Hazards**, v.91, p.239-266, 2018.
- SOLÍN, L.; MADAJOVÁ, M. S.; MICHALEJE, L. Vulnerability assessment of households and its possible reflection in flood risk management: The case of the upper Myjava basin, Slovakia. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.28, p.640-652, 2018.
- TORABI, E.; DEDEKORKUT-HOWES, A.; HOWES, M. Adapting or maladapting: Building resilience to climate-related disasters in coastal cities. **Cities**, v.72, p.295-309, 2018.
- WHELCHER, A. W.; REGUERO, B. G.; WESENBEECK, B. V.; RENAUD, F.G. Advancing disaster risk reduction through the integration of science, design, and policy into eco-engineering and several global resource management processes. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.32, p.29-41, 2018.



## **Investigação preliminar da presença do diclofenaco nas águas do Rio Ipojuca – PE e Rio Beberibe – PE**

José Adson Andrade de Carvalho Filho<sup>1\*</sup>; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>1\*</sup>; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>1\*</sup>; Jonathas Barbosa de Araújo Freitas<sup>1\*</sup> & Hedmun Matias da Cruz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* Adson.carvalhojr@gmail.com; andersonlrpaiva@gmail.com; jcabral.ufpe@gmail.com; jonathasfreitas77@gmail.com; hedmun.mota@gmail.com

### **RESUMO**

A indústria farmacêutica é uma das mais crescentes, com isso a cadeia de consumo dos fármacos vem tendo uma grande ascensão, tendo como consequência uma grande geração de resíduos e descartes inadequados, comprometendo principalmente as matrizes aquáticas. O diclofenaco, anti-inflamatórios bastante utilizado para inflamação, como analgésico e combater hipertermia, além da população não precisar de receita para adquiri-lo, o mesmo está contido na lista de genéricos da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), aumentando a facilidade ao acesso. O presente estudo realizou três coletas mensais em dois pontos distintos de amostra de água superficial do rio Ipojuca e rio Beberibe, com o objetivo de verificar a ocorrência e concentração do diclofenaco nos mananciais. Para verificar e quantificar a substancia foi utilizado a cromatografia líquida de alta eficiência. As concentrações de diclofenaco registradas nos pontos estudados do rio Beberibe variaram entre 0,029 e 0,055 mg·L<sup>-1</sup> enquanto as concentrações do rio Ipojuca tiveram uma variação de 1,576 e 10,256 mg·L<sup>-1</sup>. Com o apresentado acima, é notável a necessidade de pesquisas mais aprofundadas sobre o tema abordado para entendermos melhor as consequências desses compostos nas matrizes aquática e desenvolvermos técnicas de atenuação desses poluentes.

**Palavras-chave:** Fármacos; Contaminantes emergentes; Qualidade de água.

### **ABSTRACT**

The pharmaceutical industry is one of the fastest growing, with a chain of drug consumption showing a great rise, resulting in a great generation of waste and discards inadequate, committing mainly as aquatic matrices. Diclofenac, anti-inflammatories widely used for inflammation, as analgesic and combat hyperthermia, in addition to the population does not need prescription to acquire it, the same is contained in the list of generics of ANVISA, increasing the ease of access. The present study carried out three monthly collections in two distinct points of the surface water sample of the Ipojuca and Beberibe rivers, in order to verify the occurrence and concentration of diclofenac in the water sources. To verify and quantify the substance was used the high performance liquid chromatography. The concentrations of diclofenac at the studied sites of the Beberibe River ranged from 0.029 and 0.055 mg · L<sup>-1</sup>, while concentrations of the Ipojuca river varied from 1.576 and 10.256 mg · L<sup>-1</sup>. With the above presented, it is noteworthy the need for further research on the subject approached to better understand the consequences of these compounds in aquatic matrices and to develop mitigation techniques of these pollutants.

**Keywords:** Drugs; Emerging pollutants; Water quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente umas das indústrias que mais cresce no mundo é a indústria farmacêutica e no Brasil não é diferente. A sociedade moderna vem se destacando pelo grande consumo de medicamentos, onde esse elevado consumismo tem refletido na ascensão do desperdício e com o desperdício vem o descarte inadequado que muitas vezes são realizados nas matrizes aquáticas.

Existe também um outro agravante, depois de ingerido, esses compostos não são completamente metabolizados e conseqüentemente são excretados na urina e fezes. (GEBHARDT e SCHRÖDER, 2007). Por fim, além de persistentes no meio ambiente, não são completamente removidos nas estações de tratamentos de águas residuais apresentando certa resistência a remoção através de tratamentos convencionais.

O diclofenaco é uma substância utilizada em cerca de 120 países, existindo há mais de 80 anos. Foi comercializado pela primeira vez no ano de 1974 no Japão (FOYE *et al.*, 1995 apud SOUZA e FERRÃO, 2006).

Segundo Schwaiger *et al.* (2004), o diclofenaco é um dos fármacos detectados em maior frequência no ambiente aquático. A grande preocupação em relação à sua presença na água, são os potenciais efeitos adversos para a saúde humana, animal e de organismos aquáticos. Folmar *et al.* (2000) e Castro (2002) descreve que dependendo do tempo de exposição, é possível que essas substâncias químicas estejam relacionadas com doenças como o câncer de mama, testicular e de próstata, além de ovários policísticos e redução da fertilidade masculina. Portanto a presença de produtos farmacêuticos no ambiente sugere riscos e impactos negativos na saúde e na reprodução das populações expostas (BISOGNIN *et al.*, 2018).

A presente pesquisa tem como objetivo principal verificar a ocorrência e quantificar as concentrações do composto diclofenaco em um trecho dos rios Beberibe e Ipojuca, localizados no estado de Pernambuco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas coletas mensais durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2016, em dois pontos distintos no rio Beberibe e em março, abril e maio de 2018, também em dois pontos distintos no rio Ipojuca. As amostras foram denominadas como A1, A2 e A3. Os pontos analisados foram previamente escolhidos pela equipe, onde um dos pontos estavam mais a montante da área urbana (Ponto 1), conseqüentemente sofrendo com menos despejos de efluentes domésticos, e o outros mais a jusante (Ponto 2) para ambos os mananciais. As amostras coletadas foram de água superficial, utilizando um frasco de vidro de âmbar, identificado para cada ponto e data. Após as coletas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ) no Departamento de Engenharia Química da UFPE, onde permaneceram armazenadas e refrigeradas até o momento da extração.

A extração do contaminante foi realizada por fase sólida (EFS) utilizando cartuchos poliméricos strata-X operando em fase reversa (500 mg/ 3 mL - Allcrom). No procedimento foi utilizada bomba peristáltica (Wilson) operando a uma vazão igual a 10 mL·min<sup>-1</sup>; a fase estacionária foi condicionada com duas alíquotas de 3 mL de acetonitrila (Merck), o solvente orgânico adicionado a este tipo de cartucho serve para reter compostos neutros, básicos e ácidos, sendo logo em seguida adicionadas duas alíquotas de 3 mL de água ultrapura. Uma vez condicionados os cartuchos foram filtrando os efluentes em estudo.

Para identificar e quantificar os compostos foram realizadas análises utilizando o equipamento de CLAE da Shimadzu, possuindo uma coluna ULTRA C18 de fase reversa (5µm; 4,6 x 250 mm) e detecção UV (SPD-20A) para comprimentos de onda iguais a 285 nm. A fase móvel empregada foi composta por uma solução de água acidificada com ácido acético a 10% e acetonitrila numa razão volumétrica de 65:35. A temperatura do forno do equipamento foi mantida a 40 ± 1°C com o fluxo de 0,700 mL·min<sup>-1</sup> e a uma pressão de 53 kgf·cm<sup>-2</sup>. Foram

realizadas detecções dos compostos com base nos tempos de retenção de cada um. A metodologia seguida pela pesquisa foi validada e realizada por Napoleão (2015).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta as concentrações do diclofenaco no rio Beberibe e no rio Ipojuca, nos diferentes pontos e amostras.

**Tabela 1:** Concentração do diclofenaco (mg·L<sup>-1</sup>) nos pontos analisados do rio Beberibe-PE e rio Ipojuca-PE.

Amostra	rio Beberibe		rio Ipojuca	
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2
A1	0,029	0,045	9,927	9,443
A2	0,034	0,055	1,756	10,256
A3	0,037	0,055	7,464	9,39

Fonte: Os autores

Observando a Tabela 1 é notável que as concentrações de diclofenaco registradas nos pontos estudados do rio Beberibe variaram entre 0,029 e 0,055 mg·L<sup>-1</sup>. Onde as maiores concentrações foram apresentadas no Ponto 2. Considerando uma média entre os pontos do rio Beberibe, o Ponto 1 apresentou uma média total de 0,033 mg·L<sup>-1</sup> enquanto o Ponto 2 apresentou 0,051 mg·L<sup>-1</sup>, pode ter ocorrido pelo fato do Ponto 2 está presente em uma área bem mais urbanizada que o Ponto 1, no qual sofre bastante com despejos de esgotos domésticos.

Algo semelhante ocorreu nas campanhas realizadas no rio Ipojuca, onde o Ponto 2 apresentou maiores concentrações do diclofenaco quando comparadas com as concentrações do Ponto 1, com exceção da primeira amostragem, que apresenta o Ponto 1 com uma concentração maior, porém com pouca diferença quando comparada com as diferenças das outras amostragens. Levando em conta uma média total das amostras, o Ponto 1, a montante do centro urbano, apresenta uma média de 6,382 mg·L<sup>-1</sup>, enquanto, o Ponto 2, a jusante do centro urbano, apresenta uma média total de 9,696 mg·L<sup>-1</sup>. Isso esperava-se, visando que o ponto dois, por estar a jusante do centro urbano, sofre com despejos, principalmente, de efluentes domésticos, umas das principais fontes de contaminação deste composto.

Alguns autores analisaram concentrações do diclofenaco em amostras de águas superficiais encontrando concentrações maiores e menores do que as detectadas no presente estudo.

Matamoras & Salvadó (2012) verificaram a ocorrência de 17 contaminantes emergentes em dois rios no nordeste da Dinamarca, sendo o diclofenaco um dos compostos que apresentaram maior concentração (0,044 a 0,581 mg·L<sup>-1</sup>). Já Américo *et al.* (2012) observaram as concentrações de compostos farmacológicos detectados nas etapas do tratamento de esgoto de uma ETE de Três Lagoas - MS, onde o diclofenaco apresentou 0,002 mg·L<sup>-1</sup>. Ragassi (2018) realizou o monitoramento de fármacos em águas superficial no córrego de Marrecas, localizado no município de Dracena - SP, dentre os fármacos analisados a maior concentração foi a do diclofenaco (0,458 mg·L<sup>-1</sup>).

Ao compararmos as concentrações do rio Ipojuca com o rio Beberibe expostas na Tabela 1, é notável que o grau de concentração apresentado para o no rio Ipojuca é bastante alto. Mesmo quando comparado com os outros estudos apresentados, o rio Ipojuca exhibe concentrações do composto com bastante disparidade dos demais estudos. Isto é um fator muito preocupante, visto que as águas do rio Ipojuca são destinadas ao abastecimento público, e como já é sabido, tratamentos convencionais de água não eliminam por completo este tipo de composto.

#### 4. CONCLUSÕES

Os fármacos são uma das cadeias de consumo que mais vem comprometendo os recursos hídricos. No rio Ipojuca não foi diferente, as análises realizadas no manancial apresentaram presença de diclofenaco.

Para ambos os mananciais, as concentrações mais altas foram observadas no Ponto 2, ponto a jusante dos trechos estudados, onde o processo de urbanização é mais intensificado e conseqüentemente sofre com despejo de efluentes domésticos, uma das principais fontes de contaminação deste composto. As altas concentrações desse composto no rio Ipojuca são bastante preocupantes, visando que estes compostos são persistentes no meio e não são facilmente atenuados em tratamentos convencionais. Além do mais, o rio Ipojuca é um rio destinado a abastecimento público pós tratamento. O que também não nos isenta da preocupação da presença deste composto no rio Beberibe.

Os dados obtidos no presente estudo contribuem com informações sobre os poluentes em águas urbanas, possibilitando uma linha de base importante para futuras e mais abrangentes investigações. É notória a necessidade de novas pesquisas para identificação dos riscos desse composto para o meio ambiente, para o desenvolvimento de novas técnicas que possam atenuar seus impactos, bem como na elaboração de normas e legislação.

#### REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- AMÉRIO, J.H.P.; ISIQUE, W.D.; MINILLO, A.; CARVALHO, S.L. "Fármacos em Uma Estação de Tratamento de Esgoto na Região Centro-Oeste do Brasil e os Riscos aos Recursos Hídricos". **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17 n. 3, p. 61-67. 2012.
- BISOGNIN, R. P.; WOLFF, D. B.; CARISSIMI, E. (2018). "Revisão sobre fármacos no ambiente". **Revista DAE**, n. 210, v. 67.
- CASTRO, C. M. B. de. (2002). "Perturbadores endócrinos ambientais: uma questão a ser discutida". **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, v.7, n 1/2, p. 4-5.
- FOLMAR, L. C., HEMMER, M., HEMMER, R., BOWMAN, C., KROLL, K., & DENSLow, N. D. "Comparative estrogenicity of estradiol, ethynyl estradiol and diethylstilbestrol in an in vivo, male sheep sheadmin now (Cyprinodon variegatus), vitellogeninbioassay". **Aquatic Toxicology**, v. 49, n. 1, p. 77-88. 2000.
- GEBHARDT, W.; SCHRÖDER, H.Fr.. Liquid chromatography-(tandem) mass spectrometry for the follow-up of the elimination of persistent pharmaceuticals during wastewater treatment applying biological wastewater treatment and advanced oxidation. **J. Chromatogr. A**, v.1160, p.34-43, 2007.
- MATAMOROS, V.; SALVADÓ, V. Evaluation of the seasonal performance of a water reclamation pond-constructed wetland system for removing emerging contaminants. **Chemosphere**, v. 86, p. 111, 2012.
- NAPOLEÃO, D.C. **Avaliação e tratamento de fármacos oriundos de diferentes estações de tratamento empregando processos oxidativos avançados**. Tese de Doutorado. Departamento de Eng. Química, Universidade Federal de Pernambuco. 107p. 2015.
- RAGASSI, B. **Monitoramento de fármacos em água superficial e efluente de estação de tratamento de esgoto no município de Dracena-SP**. Universidade Estadual de Paulista. Departamento de recursos hídricos e tecnologias ambientais, Dissertação de mestrado, 2018.
- SCHWAIGER, J.; FERLING, H.; MALLOW, U.; WINTERMAYR, H.; NEGELE, R. D. Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac. Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. **Aquatic Toxicology**. v. 68, p. 141-150, 2004.
- SOUZA, J. S.; FERRÃO, M. F. Aplicações da espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de medicamentos contendo diclofenaco de potássio. Parte I: Dosagem por regressão multivariada. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.42, n.3, São Paulo, 2006.

## **Quantificação de consumo de água por funcionário em edifício público do Recife e as consequências para o reuso de água**

**Maria Eduarda Ferreira de Carvalho<sup>1\*</sup>, Jaime Cabral<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil

\* mariaeduarda.fsc@hotmail.com, jcabral@ufpe.br

### **RESUMO**

Os dados de consumo diário de água no ambiente de trabalho ainda são incipientes no meio da pesquisa. Alguns dados são estimados, mas há dúvida do montante total de água usado pelo colaborador no dia-a-dia. Acredita-se que esse valor varia de acordo com a região, cultura e modo de vida de cada indivíduo. Por este motivo, o presente artigo estuda o consumo de água em um edifício público do Recife, a sede regional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Seu prédio é situado no bairro de Afogados, zona Sul da cidade e nele trabalham 167 funcionários. Um questionário de caráter quantitativo foi respondido por 64 trabalhadores da empresa. Com isso, foi possível estimar o consumo individual diário por pessoa e verificar que não era viável fazer reuso de águas cinza no prédio para fins não potáveis.

**Palavras-chave:** Consumo de água no trabalho; Consumo per capita; Consumo de água em edifícios públicos; Uso por aparelho hidrossanitário.

### **ABSTRACT**

There is a lack of data available about daily water consumption at work. Some data are estimated, but there are many doubts about the total amount of water used by the employee on a day-to-day basis. It is believed that this value varies according to the region, culture and way of life of each individual. For this reason, the present article studies water consumption in a public building in Recife, the Brazil's Geological Survey (CPRM). Its building is in the district of Afogados, South zone of the city, where 167 employees works. A quantitative questionnaire was answered by 64 employees of the company. With this, it was possible to estimate the individual daily consumption per person and verify that was not practicable to reuse gray water in the building for non-potable purposes.

**Keywords:** Water consumption at work; Per capita consumption; Water consumption in public buildings; Use by hydrosanitary apparatus.

### **1. INTRODUÇÃO**

O prédio público onde foi realizado o estudo é a sede regional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), empresa federal de pesquisa nas áreas de hidrologia e geologia. Lá trabalham 167 funcionários. Na época, existia um restaurante e refeitório dentro da empresa.

A pesquisa teve o intuito de estudar o consumo de água de um funcionário padrão. Esse consumo foi discretizado de acordo com o uso, ou seja, quanto em volume se usava por dia em descargas, lavagem de mãos, mictórios etc. Dependendo da destinação dada a água, é demandado um certo grau de qualidade. Por exemplo: para a lavagem de mãos é exigido um padrão mais elevado que o que seria o de descargas e mictórios.

Dessa forma, a relevância do estudo está relacionada com a melhoria de gestão de recursos hídricos em órgãos públicos; possibilitando assim criar opções sustentáveis de

desenvolvimento dentro das próprias instituições, como o reaproveitamento de água para fins não potáveis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Ao todo, 64 pessoas responderam a perguntas objetivas, entre elas: funcionários efetivos, estagiários e funcionários terceirizados. A pesquisa foi de caráter voluntário e sem identificação do usuário. Para garantir o anonimato, foram cadastrados somente a idade e o sexo da pessoa. Com o objetivo de facilitar o preenchimento das respostas, o questionário foi enviado para o e-mail institucional dos funcionários via *Google Forms*.

O questionário foi composto de perguntas relacionadas a frequência diária de hábitos relacionados ao uso da água tais como: lavagem de mãos, descargas em vasos sanitários, descargas em mictórios, escovação de dentes, banho e lavagem de louça. Frisou-se a importância de responder às questões levando em consideração os usos durante o expediente de trabalho.

Os dados foram agrupados por faixas de utilização, assim foi possível enquadrar um maior número de utilizadores em menos faixas. Para calcular a quantidade total de usos de um aparelho hidrossanitário na empresa diariamente, multiplicou-se a média das utilizações diárias pelo número de usuários, como mostra a equação 1:

$$\text{Média utilizações diárias} \times \text{Número de usuários} = \text{Total utilizações diárias} \quad (1)$$

Por exemplo: se 4 pessoas responderam que utilizavam a descarga no vaso sanitário de 3 a 4 vezes por dia, a quantidade de utilizações desse aparelho foi  $3,5 \times 4 = 14$ .

A frequência de uso diário dos aparelhos por funcionário foi calculada através da divisão entre o número de utilizações total pelo número de funcionários que o utilizam, como mostra a equação 2.

$$\text{Total utilizações diárias} / \text{Total de funcionários} = \text{Frequência de uso diário de aparelho por funcionário} \quad (2)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Calculou-se o volume utilizado por toda a edificação diariamente através da análise de consumo e vazões dos aparelhos existentes no prédio. Os valores foram pesquisados e são apresentados abaixo junto com seu resultado na tabela 1:

Tabela 1: Estimativa de usos finais da água por mês (todo escritório)

Uso da água	Vazão (L/s)	Tempo de Uso (s)	Frequência de uso diário	Número de usuários	Consumo total (L/dia)
Bacia Sanitária	1,24	6,15	2,35	167	2992,82
Mictório	2L/uso		2,02	111	448,44
Lavatórios	0,10	6,00	5,51	167	552,10
Pia Cozinha	0,12	300,00	0,59	167	3547,08
Chuveiros	0,16	600,00	0,70	12	806,40
Total					8346,85

Fonte: Os autores.

Empregando os percentuais de consumo de água por aparelho, provenientes da pesquisa de Kammers & Ghisi (2006) foram estimados os volumes produzidos por aparelho. Sua pesquisa foi realizada apenas em prédios públicos, como é o caso da CPRM. É importante ressaltar que o consumo de água varia de acordo com o padrão de vida, cultura, estação do ano, local e disponibilidade. Mesmo que tenha sido realizado no estado de Santa Catarina, em Florianópolis, com um clima bastante diferente da cidade do Recife, essa analogia foi válida, já que os usos são semelhantes.

Tirando uma média entre os usos totais no escritório, pode-se obter uma aproximação do consumo individual, dividido também por aparelho e percentual em volume utilizado, como é mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Percentuais de consumo por tipo de uso

Uso da água	Percentual (%)	Consumo individual (L/dia*funcionário)
Bacia Sanitária	36%	17,92
Mictório	5%	2,69
Lavatórios	7%	3,31
Pia Cozinha	42%	21,24
Chuveiros	10%	4,83
Total	100%	49,98

Fonte: Os autores.

Proença (2007) posteriormente realizou um estudo em dez edifícios de escritórios localizados na cidade de Florianópolis, e verificou que a atividade que mais consome água potável nos prédios pesquisados é a utilização da bacia sanitária, cerca de 52% a 84% do consumo total de água. Essas expectativas não foram confirmadas neste estudo por se tratar de um escritório com restaurante e refeitório interno, aumentando o consumo de água na lavagem de louça.

Segundo Leal (2000), o consumo de água pode ser classificado como nobre quando envolve o consumo humano direto, a preparação de alimentos ou higiene pessoal. E como consumo não-nobre quando envolve, por exemplo, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários. Esses tipos de uso se baseiam no grau de potabilidade da água, que deve ser mais alto em um uso nobre e mais baixo para um uso menos nobre. Uma síntese da demanda de água potável e não potável (bacias sanitárias e mictórios) é mostrada na tabela 3.

Tabela 3: Demanda diária de água potável e não potável

Demanda (L/dia)	
Potável	4905,58
Não potável	3441,26

Fonte: Os autores

Águas cinza são as águas residuárias provenientes de usos “menos poluentes”, como por exemplo: lavagem de mãos, roupa e banho. A água cinza pode chegar a 50 a 80% da composição do esgoto doméstico. As produções diárias de águas cinza e sem reuso na edificação são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Produção de águas cinza e sem reuso por dia

<b>Tipos de água (L/dia)</b>	
Cinza	1358,50
Sem reuso	6988,34

Fonte: Os autores

Ao final, verificou-se que o consumo total diário por funcionário foi de 49,98L/dia. Esse valor é próximo ao consumo per capita estimado pela SABESP (2012) para uso em escritórios (50L/dia), ou seja, para uma estimativa de abastecimento, o prédio pode ser considerado como escritório.

#### 4. CONCLUSÕES

Apesar de a demanda de água não potável ser grande, dando margem para o reuso de água; a produção de águas que poderiam ser reutilizadas é pequena. A água produzida na pia de cozinha (3547,08L), por exemplo, contém muito óleo e é difícil de ser tratada com tratamento preliminar. De posse desses dados, observou-se que não seria viável economicamente fazer um tratamento para reuso de águas cinza, tendo em vista que a produção desse tipo de água é de 1358,50L/dia, enquanto a demanda de usos não potáveis é de 3441,26L/dia. Ou seja, somente o reuso de águas cinza não supriria os usos não potáveis, necessitando de complemento.

Vendo de forma positiva, como há usos que necessitam de uma qualidade da água menor, como descargas, é possível usar a água de reuso de edificações vizinhas com um custo mais baixo que da rede pública para esses fins menos nobres, gerando um circuito sustentável de reuso.

Além disso tudo, o estudo mostrou que os valores de consumação de água para escritórios estimado pela Sabesp (2012) está bem ajustado e pode ser utilizado com certa margem de segurança.

#### REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON). **Conservação e reúso de água em edificações**. Editora Gráfica, 152 p., São Paulo (Brasil), 2005.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre (Brasil), v.6, n.1 p. 75-90, jan./mar. 2006.

LEAL, U. **Ciclo da água na edificação**. Revista Técnica, 2000. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/48/artigo285178-1.aspx#>>. Acesso em: 15 nov. 2017, 15:27:00.

PROENÇA, L. C. **Usos finais de água potável em edifícios de escritórios localizados em Florianópolis**. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis (Brasil), 62 p., 2007.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). **Norma Técnica Sabesp – NTS 181: Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – primeira ligação**. São Paulo, 2012.



## **Variabilidade temporal da superfície do corpo hídrico: utilização do Índice De Vegetação (NDVI) na Lagoa Olho D'Água – PE**

**Cleber Gomes de Albuquerque<sup>1\*</sup>, Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>2</sup>, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>1</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>1</sup>, Ana Claudia Villar e Luna Gusmão<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Bolsista PNPd CAPES/FACEPE

\* cleberg.albuquerque@gmail.com

### **RESUMO**

O aumento no consumo de água tem resultado no esgotamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Faz-se necessário a gestão adequada dos recursos hídricos para combater este déficit. A lagoa Olho d'água, na cidade de Jaboatão dos Guararapes, possui grande importância para o desenvolvimento local por estar inserida na região econômica mais importante do estado de Pernambuco. Através do Sensoriamento Remoto, foi avaliado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos anos 1997 e 2004 a fim de verificar a variabilidade temporal do espelho d'água. Foi observado que o NDVI diminuiu no intervalo de tempo analisado, além da ocorrência de uma variação negativa no espelho d'água, mesmo com aumento na precipitação, o que mostra um processo de degradação devido à ação antrópica. Este trabalho serve como base para uma melhor gestão dos recursos hídricos com apoio no monitoramento, auxiliando na tomada de decisões que beneficiem a população local.

**Palavras chaves:** Sensoriamento Remoto; Recursos Hídricos; Espelho d'água.

### **ABSTRACT**

The increase in water consumption has resulted in the depletion of surface and groundwater resources. Adequate management of water resources is necessary to combat this deficit. The Olho d'água lagoon, in the city of Jaboatão dos Guararapes, has great importance for local development because it is inserted in the most important economic region of the state of Pernambuco. Through Remote Sensing, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was evaluated in 1997 and 2004 to verify the temporal variability of the water mirror. It was observed that the NDVI decreased in the time interval analyzed, besides the occurrence of a negative variation in the water mirror, even with an increase in precipitation, which shows a degradation process due to human action. This work serves as a basis for better management of water resources with support in monitoring, assisting in decision making that benefits the local population.

**Keywords:** Remote Sensing; Water Resources; water mirror.

### **1. INTRODUÇÃO**

O rápido crescimento da população e a transformação associada a uma maior produção agrícola levou a um aumento no consumo de água. Isso acabou resultando na superexploração dos recursos hídricos (RICHEY, et al. 2015). Este esgotamento de recursos hídricos ameaça vidas humanas de muitas formas, desde a redução de disponibilidade de

água de forma crítica e irreversível como a subsidência de solo, conforme foi observado por Chaussard, et al. (2014).

Segundo Florenzano (2011), “Sensoriamento Remoto (SR) é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio de captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície”. Tecnologias como o SR têm desempenhado um papel importante no provimento de informações para gerenciamento de recursos hídricos. Dentre os parâmetros biofísicos do SR, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que trata da variabilidade da vegetação de uma paisagem terrestre.

A lagoa Olho d’água, na cidade de Jaboatão dos Guararapes, encontra-se degradada principalmente por efluentes domésticos, sendo de grande importância ações estratégicas de recuperação e preservação do local, que integra a região de desenvolvimento metropolitano.

O objetivo deste trabalho consiste na análise da variabilidade temporal da superfície do corpo hídrico da Lagoa Olho d’água – Pernambuco, utilizando Sensoriamento Remoto nos anos de 1997 e 2004.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende à lagoa Olho d’água e seu entorno (Figura 1). Localiza-se na foz do rio Jaboatão, que é um dos mais importantes da Bacia hidrográfica de pequenos rios litorâneos 2 - GL2. Este grupo possui uma área de 1.264,94 km<sup>2</sup>, totalmente inserida em Pernambuco e correspondendo a um percentual de 1,29% do estado (APAC, 2019).

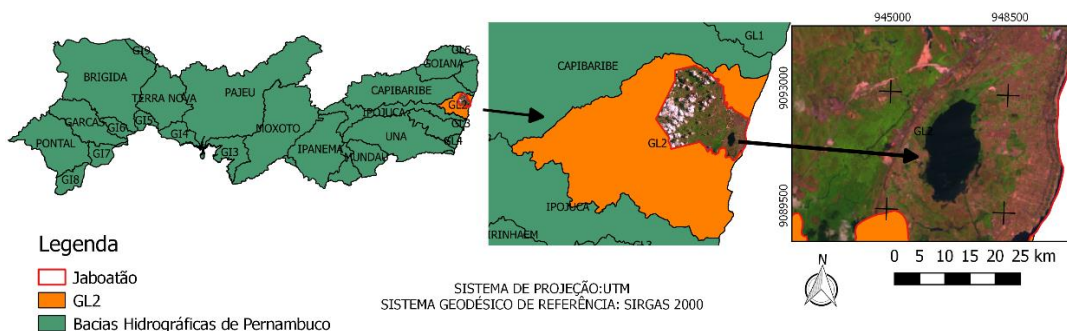


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Os autores

Para o reconhecimento dos índices pluviométricos na área de estudo, foram utilizados dados de precipitação obtidos através do site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Foram apurados dados mensais de precipitação dos anos referentes as imagens utilizadas nesta pesquisa conforme representação gráfica da figura 2.

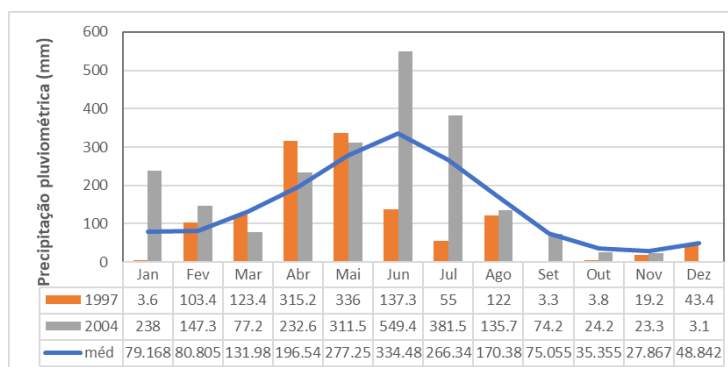


Figura 2: Precipitação mensal (mm) na cidade de Jaboatão dos Guararapes. Fonte: APAC (2019)

No pré-processamento, utilizaram-se imagens referentes aos dias 04 de outubro de 1997 e 07 de outubro de 2004, do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 5), sensor *Thematic Mapper* (TM). Estas imagens foram adquiridas gratuitamente através do site *United States Geological Survey* (USGS), especificamente na órbita 214, ponto 66. Para o processamento das imagens e determinação do NDVI foi utilizado o software de livre acesso QGIS versão 2.14.18.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta o resultado do NDVI para as épocas das imagens processadas, onde foi possível notar que a área em cor vermelha corresponde ao corpo hídrico (NDVI<0) representado pela Lagoa olho d'água.

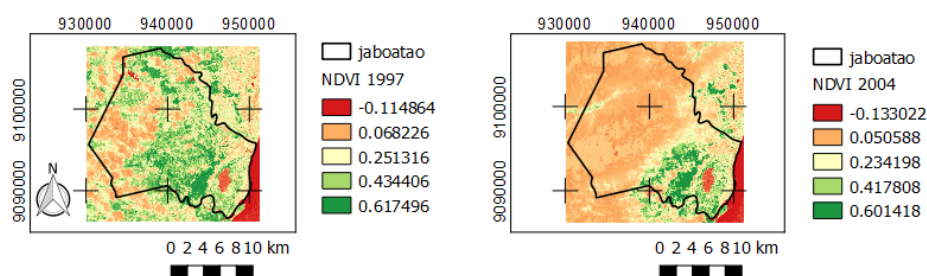


Figura 3: Resultado de NDVI para as duas épocas. Fonte: Os autores

Conforme Huete & Tucker (1991), os valores de NDVI indicativos de solos expostos são, geralmente, no intervalo de 0,005 a 0,30, apesar disso por motivos de características óticas do solo, não se pode determinar uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com baixa densidade ou nenhuma vegetação.

Regiões com NDVI entre 0,24 a 0,30 representam locais com vegetação em estresse hídrico ou áreas degradadas pela ação antrópica, enquanto as áreas com NDVI maior que 0,41, são consideradas regiões bem vegetadas. Neste caso, na lagoa Olho d'água, estes valores representam ainda vegetação de restinga.

As imagens NDVI geradas mostraram que houve uma diminuição da lâmina d'água entre as datas de 1997 e 2004, enquanto que a vegetação mais densa, que está representada pela cor verde, conforme a classificação aplicada, diminuiu em todos os intervalos. Na Tabela 01 estão descritos os valores estatísticos do NDVI, contendo os valores mínimos, máximos e médios para o período da pesquisa.

Tabela 01: Valores estatísticos de NDVI e área do espelho d'água. Fonte: Os autores

Ano	mínimo	média	máximo	desvio padrão	área do corpo hídrico (ha)
1997	-0.30	0.28	0.72	0.18	333.84
2004	-0.29	0.14	0.74	0.15	323.27

Essas análises confirmam com os estudos de Oliveira et al. (2013), ao computarem o NDVI, obtiveram classes com valores espectrais baixos entre 0,00 – 0,20, inferindo as áreas urbanas e configurando a vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a exposição do solo com o desmatamento e a degradação ambiental. Após o cálculo do NDVI, obteve-se a partir da transformação do raster em vetor, as áreas do corpo hídrico da lagoa Olho d'água para os anos estudados e a variação entre elas.

Em média, os dados pluviométricos dos meses que antecedem a tomada da imagem pelo satélite indicam que no ano de 1997 houve menor incidência de chuva em relação ao

ano de 2004. A influência na redução do volume de água se deve às ocupações indevidas no entorno, ao assoreamento e eutrofização devido ao lançamento de efluentes. Trabalhos como o de Barbosa et al. (2017) apresentaram situações onde a precipitação afeta diretamente o espelho d'água e o NDVI (algo normalmente esperado), porém suas localizações não possuem o mesmo nível de degradação ambiental, aliado ao clima e configuração das características físicas da bacia.

A Diminuição da lâmina d'água na lagoa no ano de 2004 só não foi mais expressiva (pouco mais de 3% de redução) porque a precipitação neste ano foi 42,6% superior em relação ao ano de 1997. Neste intervalo de oito anos, as precipitações anuais foram na maioria das vezes superiores (em média 1518mm), sendo um contraponto em relação à intervenção antrópica no entorno da lagoa.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise do espelho d'água entre os anos de 1997 e 2004 constatou variações negativas da área ocupada pelo corpo hídrico na lagoa Olho d'água e também uma redução na vegetação com maior vigor em algumas áreas. O método se mostrou de baixo custo e eficiente na detecção de variação de massa d'água superficiais.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que as técnicas de sensoriamento remoto, são de grande valia para o monitoramento dos recursos hídricos através da dinâmica espacial e temporal, comprovando eficiência em mapeamentos, servindo de ferramenta essencial para uma melhor gestão do meio ambiente.

#### REFERÊNCIAS

- APAC. **Características da bacia hidrográfica de pequenos rios litorâneos 2 - GL2**. Disponível em: < [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=37](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=37)>. Acesso em: 15 jul. 2019
- BARBOSA, A. H.; CARVALHO, R.; CAMACHO, R. 2017. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – estado do Rio Grande do Norte. **Revista do departamento de geografia USP (online)**, São Paulo, v. 33, p. 128-143, 2017.
- CHAUSSARD, E.; WADOWINSKI, S.; CABRAL-CANO, E.; AMELUNG, F. Land subsidence in central Mexico detected by alos insar time-series. **Remote Sens. Environ.** V. 140, p. 94–106, 2014.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 128p. São paulo: oficina de textos, 2011.
- HUETE, A.R.; TUCKER, C.J. Investigation of soil influence in avhrr red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p. 1223 – 1242, 1991.
- OLIVEIRA, T.H.; OLIVEIRA, J.S.E.S.; LUZ, E.B.; GALVINCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M.M.; SILVA, B.B. 2013. **Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal e do processo de urbanização no município do Recife PE utilizando o índice de vegetação ajustado**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, in: Foz do Iguaçu, p. 1814-1821. 2013.
- RICHEY, A. S.; THOMAS, B. F.; LO, M. H.; REAGER, J. T.; FAMIGLIETTI, J. S.; VOSS, K.; SWENSON, S.; RODELL, M. Quantifying renewable groundwater stress with grace. **Water Resour.**, v. 51, p. 5217–5238, 2015

*SIMULAÇÃO E GERENCIAMENTO DE  
RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO*

---

## Análise Hidro-Mecânica em meios porosos utilizando Elementos Finitos de Acoplamento de malhas não conformes

Jean Baptiste Joseph<sup>1\*</sup>, Leonardo José do Nascimento<sup>1\*</sup>, Igor Fernandes Gomes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco

\* jean.baptiste@ufpe.br, leonardo@ufpe.br gomes@ufpe.br

### RESUMO

Neste trabalho aplica-se uma formulação Hidro-Mecânica acoplada para meios porosos, utilizando a técnica de elementos finitos para acoplamento de malhas não conformes. Ela se baseia na utilização de um elemento finito especial se chama Elemento Finito de Acoplamento (EFA), que tem como função de acoplar os nós da malha não conforme, que são aqueles nós que se localizam fora dos vértices do elemento de base. Essa técnica, além da sua utilização nos problemas acoplados Hidro-Mecânica possui algumas vantagens importantes: (a) Não acrescenta grau de liberdade ao sistema de equação; (b) Permite sobreposição de domínio (c) Tratar a malha não conforme em qualquer direção. Essa técnica foi implementada no código computacional CODE\_BRIGTH (**CO**upled **DE**formation, **BR**ine, **G**ás and **H**eat **T**ransport). Foi Comparada esta nova abordagem com as soluções analíticas de Terzaghi para problemas de poro elasticidade. Os resultados mostraram que a técnica garante a continuidade dos campos de deslocamentos e de pressões de líquido para os problemas mecânico e hidráulico respectivamente.

**Palavras chaves:** Simulação Hidro-Mecânica, Elementos Finitos de Acoplamento, Malhas não conformes.

### ABSTRACT

In this work a Hydro-Mechanical formulation coupled to porous media is applied, using the technique of finite elements for coupling of non-conforming meshes. It is based on the use of a special finite element called the Finite Coupling Element (FCE), whose function is to couple the nonconforming mesh nodes.. This technique, besides its use in the coupled problems Hydro-Mechanics has some important advantages: (a) Do not add degree of freedom to the equation system; (b) Allow domain overlap (c) Treat non-conforming mesh in any direction. This technique was implemented in the computational code CODE\_BRIGTH (**CO**upled **DE**formation, **BR**ine, **G**as and **H**eat **T**ransport). This new approach was compared with Terzaghi's analytical solutions for pore elasticity problems. The results showed that the technique guarantees the continuity of displacement fields and of liquid pressures for the mechanical and hydraulic problems respectively.

**Keywords:** Hydromechanical Simulation, Finite Coupling Elements,

### 1. INTRODUÇÃO

As análises de simulação de reservatórios de petróleo são realizadas nas várias etapas de sua vida útil: durante o desenvolvimento e exploração até o abandono do campo. Geralmente o domínio do problema a ser resolvido é de grande escala e a precisão dos resultados das análises numéricas, utilizando o Método dos Elementos Finitos, está diretamente ligada à discretização do domínio em estudo. Quanto maior o domínio, mais elementos finitos serão empregados e, conseqüentemente, maior será o esforço computacional para montar e resolver o sistema não-linear de equações do problema. Para contornar esta limitação, geralmente opta-se por discretizar apenas a região de interesse. Entretanto, ainda haverá um número considerável de elementos finitos na região de

transição (Figura 1), ou seja, a região entre a malha fina e a grossa. Ai surgiu a ideia de criar duas malhas separadas com seus respectivos graus de refinamento e as juntam posteriormente.(Figura 2).

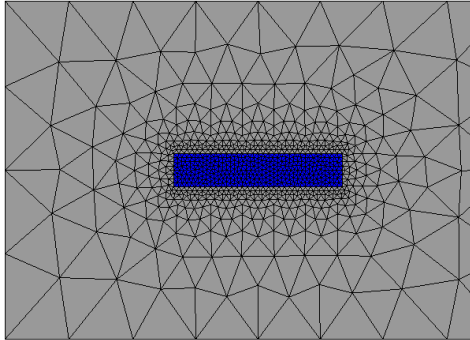


Figura 1: duas regiões com elementos finitos de transição.

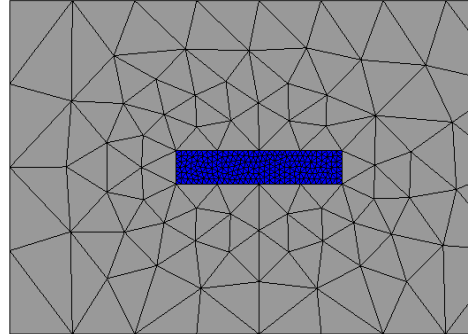


Figura 2: duas regiões sem elementos finitos de transição.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre as técnicas de acoplamento de malhas, pode-se destacar as Técnicas Dual e Primal. No Método Dual, a continuidade da solução, na interface das duas malhas, é garantida pelos multiplicadores de Lagrange que são utilizados como variáveis independentes. Entre os métodos duais que utilizam multiplicadores de Lagrange podem-se citar os métodos Mortar e de Arlequin (WOHLMUTH, 2001; DHIA e RATEAU, 2005; UNGER e ECKARDT, 2011). Ambos adicionam graus de liberdade ao sistema, essa é uma das principais desvantagens da técnica. No Método Primal, por sua vez, a continuidade da solução na interface das duas malhas não é garantida por variáveis independentes, portanto não é mais necessária a introdução dos multiplicados de Lagrange, mas necessitam de parâmetros de estabilização. Dentre estes, podemos citar o método de penalidades que trata os nós dependentes através de um constante de penalização e que resulta em uma matriz positivo definida, em banda. De ponto de vista computacional, é mais eficiente e mais fácil a ser implementado (PANTANO;AVERRIL,2002) comparativamente ao Método Dual.

Uma nova abordagem do Método Primal, proposto por Bittencourt Jr (2015) para problemas mecânicos, em que os subdomínios são tratados de uma maneira independentes, mediante a utilização de elementos especiais, chamados, Elementos Finitos de Acoplamento (EFAs). Os EFAs tem a função de garantir a continuidade da solução na interface onde ocorreu o acoplamento dos subdomínios. Neste trabalho esta nova abordagem foi proposta para problema Hidro-Mecânico, onde foram utilizaram EFAs tanto para o problema mecânica quanto para problema hidráulico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As equações que regem os fenômenos físicos envolvidos para o problema Hidro-Mecânica são as de conservação de massa e quantidade de movimento para cada fase presente no meio. As equações da simulação Hidro-Mecânica (HM) implementadas no CODE\_BRIGHT (OLIVEIRA, 1995) são as equações de equilíbrio para o problema mecânico, as equações de conservação (massa) e as equações constitutivas considerando um comportamento elástico da rochas.

$\nabla \sigma + b = 0$  (1) onde  $\sigma = \sigma' + \alpha P$  (2), na equação (1) temos  $\sigma$  e  $\sigma'$  os tensores das tensões totais e efetivas,  $b$  o vetor de força de corpo. Na equação (2) que é a relação da lei das tensões efetivas de Terzaghi, onde  $\alpha$  e  $P$  são o coeficiente de Biot e a pressão nos poros respectivamente. As duas equações apresentadas acima (1) e (2) regem o problema mecânico.

Para o problema de fluxo, temos a equação de conservação de massa

$\frac{\partial \phi p_l}{\partial t} + \nabla(p_l q_l + \phi p_l \dot{u})$  (3)  $q_l = -\frac{k}{\mu_l}(\nabla p_l - \rho_l g)$  (4) Onde  $\rho_l$  a densidade da fase líquida e  $\phi$  a porosidade do material. Note que  $\dot{u}$  é a velocidade de deslocamento na fase sólida.  $q_l$  o fluxo de Darcy que é definido na equação.  $g$  é o vetor de aceleração da gravidade e a viscosidade da fase líquida é representada por  $\mu_l$ .  $k$  é a permeabilidade intrínseca (ou absoluta) da rocha.

Para tratar os Elementos Finitos de Acoplamento citado anteriormente, adotou-se a seguinte expressão da equação (5)

$$D_r = U(X_c) - D_{nn+1} = \sum_i^{nn} N_i(X_c) D_i - D_{nn+1} = B_e D_e \quad (5)$$

Onde  $B_e$  a matriz das funções de forma que pode ser escrita da seguinte forma:

$$B_e = [N_1(X_c) N_2(X_c) \dots N_{nn}(X_c) - I] \quad (6)$$

$D_e$  contém os componentes de deslocamento,  $D_r$  o deslocamento relativo que existe entre o nó dependente e os nós independente do elemento de base destacado na figura 3 abaixo,  $I$  a matriz identidade de ordem 2 ou 3 para problemas 2D ou 3D respectivamente. O mesmo procedimento de Bitencourt et al (2015) foi entendido neste trabalho para o problema de fluxo onde a equação (5) apresentada anteriormente fica:

$$P_r = P(X_c) - P_{nn+1} = \sum_i^{nn} N_i(X_c) P_i - P_{nn+1} = B_e P_e \quad (7)$$

onde  $P_r$  a pressão relativa e  $P_e$  o vetor das pressões nodais.

#### Problema de Terzaghi

A malha, Figura 3 foi dividida em duas regiões com graus de refinamento diferentes, onde as duas malhas foram acopladas horizontalmente. As condições de contorno são ilustradas na Figura 37. A carga de compressão constante foi aplicada na direção  $x$ , por simetria o modelo é drenado apenas em  $x = 100$  e não há deformação na direção  $y$  - hipótese da formulação (Figura 35). Não há deslocamento da amostra na direção  $y$ , no eixo  $x = 0$  não existe deslocamento e a face em  $x = 100$  é permeável. O valor do carregamento é igual a  $q = 1.554 \text{ MPa}$  e os valores da constante de penalidade mecânica e hidráulica são  $\lambda = 10^8 \text{ MPa/m}$  e  $\lambda = 10^5 \text{ MPa/m}$ , respectivamente. Para o problema de fluxo, a permeabilidade intrínseca é  $k = 10^{-12} \text{ m}^2$ , a porosidade é de 30% e o coeficiente de Biot é  $\alpha = 1$  e a compressibilidade do fluido é  $c_l = 4.510^{-4} \text{ MPa}^{-1}$ . Para o problema mecânica o módulo de elasticidade é igual  $E = 2500 \text{ MPa}$  e o coeficiente de Poisson é  $\nu = 0.3$ . Pode-se



observa que a distribuição de pressão na seção apresentada demonstrou-se consistente comparando com a solução analítica do Terzaghi, utilizando os EFAS.

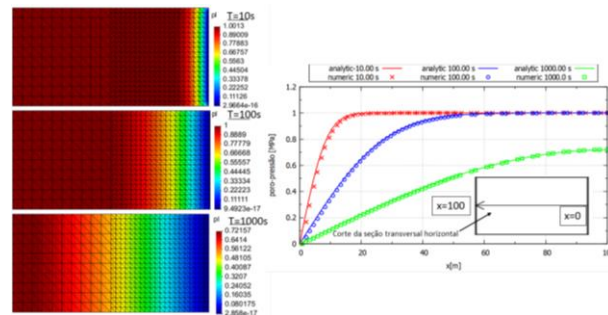


Figura 3: Campo de poro pressão e na seção central para  $t=10,100$  e  $1000$  segundos

#### 4. CONCLUSÕES

O caso de Terzaghi apresentado neste trabalho demonstrou que os resultados provenientes da malha com Elementos Finitos de Acoplamento condizem com a malha sem o uso de Elementos Finitos de Acoplamento. Além da boa qualidade dos resultados dessa técnica, a sua implementação é muito simples.

#### REFERÊNCIAS

- UNGER, J.F; ECKARDT, S. Multiscale modeling of concrete. **Archives of Computational Methods in Engineering**, p. 18, 341-393, 2011.5.
- VERRUIJT, A. **THEORY AND PROBLEMS OF POROELASTICITY**. [S.I.]: Delft University of Technology, 2013.
- WOHLMUTH, B. A mortar Finite element method using dual spaces for the Lagrange multiplier. **SIAM Journal on Numerical Analysis**, p. 38(3), 989-1012, 2001.
- JR, BITENCOURT; MONZOLI O.L; PRAZERES P.G.C; RODRIGUES, E.A; BITENCOURT, T.N. A coupling technique for non-matching finite element meshes. **Comput. Methods Appl. Mech Engrg**, p. 19-44, 2015.
- ANTANO, ANTONIO; AVERILL, RONALD C. A penalty-based finite element interface technology. **Computers & Structures**, v. 80, p. 1725-1748, 2002. ISSN 22.
- DHIA, H.; RATEAU, G. The Arlequin method as a flexible engineering design tool. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, p. 62(11), 1442-1462, 2005.

## Automatic Differentiation using MRST

Alexandre de Souza Junior <sup>1,\*</sup>, Bernardo Horowitz <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* souza.alexandrejr@gmail.com, horowitz@ufpe.br

### RESUMO

Diferentemente da derivação numérica usando aproximação por diferenças finitas (FDA), ou ainda, através de expressões literais com derivação simbólica (SD), a Derivação Automática (AD) permite obter derivadas exatas de funções. As variáveis ADI são objetos cujas propriedades consistem no par composto pelo valor da função e de sua derivada. O MATLAB *Reservoir Simulation Toolbox* (MRST), por sua vez, é um *software* gratuito e de código aberto, composto por uma estrutura de dados e rotinas para representar e manipular os principais parâmetros de entrada que compõem um modelo de simulação de um meio poroso. Nele, encontra-se presente a ferramenta AD. Como forma de avaliar sua eficiência, aplicou-se tal técnica, junto a outras três formas de obtenção da matriz Jacobiana de um sistema de equações não-lineares, utilizada iterativamente no Método de Newton, a fim de se comparar a acurácia e o tempo computacional consumido em cada método.

**Palavras chaves:** Derivação Automática; MRST; MATLAB; Programação Orientada ao Objeto.

### ABSTRACT

Unlike the numerical derivation using finite difference approximation (FDA), or through literal expressions with symbolic derivation (SD), Automatic Differentiation (AD) allows to obtain exact derivatives of functions. The ADI variables are objects whose properties are the pair composed by the value of the function and its derivative. The MATLAB Reservoir Simulation Toolbox (MRST), in turn, is free and an open source software, composed of a data structure and routines to represent and manipulate the main input parameters that make up a simulation model of a porous media. In it, the AD tool is present. As a way to evaluate its efficiency, this technique was applied along with three other ways of obtaining the Jacobian matrix of a system of nonlinear equations, iteratively used in Newton's Method, in order to compare the accuracy and computational time consumed in each method. Results show the AD class in the MRST is not optimal for scalar variables, since it is designed to work with long Jacobian (sparse) vectors and matrices.

**Keywords:** Automatic Differentiation; MRST; MATLAB; Object-Oriented Programming.

### 1. INTRODUCTION

Different from numerical derivation using finite difference approximation (FDA), or by means of literal expressions with symbolic derivation (SD), Automatic Differentiation (AD) allows the derivation of exact derivatives of functions, that is, without errors due to the approximation. This technique uses the fact that any computational code, regardless of its complexity, can be divided into a sequence of arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication, division, etc.) and elementary functions of MATLAB, which the main objective is to obtain the value of the function and its derivatives simultaneously, applying basic rules of Calculus, such as the chain rule.

The implementation of such operations could be done through structured (or traditional) programming. However, the use of Object-Oriented Programming (OOP), with the overload operator of functions, makes the process more elegant and natural, and brings greater computational efficiency in the solution of systems of equations with large sparse arrays. The ADI variables are objects whose properties are the pair composed by the value of the function and its derivative, calculated and defined by class AD, which holds methods (functions) that, among others, perform the overload of already existing functions in MATLAB, having as input

the ADI variables. In addition to these functions, there is a special type of method called "constructor", which "constructs" the ADI pair with the `val` value and jacobian arrays list `jac`.

For example, we seek to evaluate the function  $f(x,y) = 3 \cdot e^{-xy}$  at point (1,2). The variable  $x$  in this case will be stored as an object with the value of  $x$  and its derivative in relation to  $x$  and  $y$ . Similarly, we have the same for the variable  $y$ . Any function that has  $x$  and  $y$  as independent variables will also be, in turn, an ADI variable. In this case, the derivative will be the Jacobian matrix.

```
[x,y] = initVariablesADI(1,2); (1)
fx = 3*exp(-x*y); (2)
```

The line (1) initializes  $x$  and  $y$  as the independent variables with their respective initial values. The line (2) represents the function  $f(x,y)$ , which, after its execution, has three variables of type AD. The outputs of these variables are represented in Figure 1.

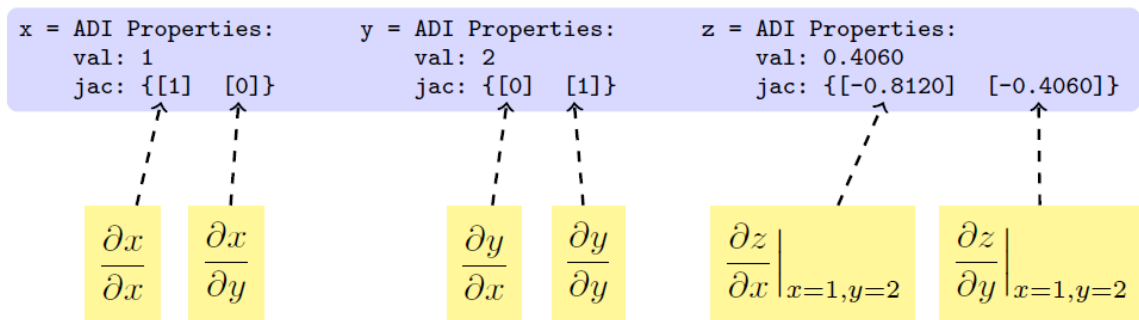


Figure 1: Outputs of ADI variables in MATLAB. Source: LIE, 2016.

The practical power of automatic derivation is clear in assessing and providing accurate numerical values of Jacobian derivatives, gradients and matrices, which can be applied in other numerical methods, such as the Newton's Method, allowing yet very compact and self-explanatory codes to be written.

## 2. MATERIAL AND METHODS

For the use of the Automatic Derivation technique, offered in MATLAB Reservoir Simulation Toolbox (MRST), at first, it is necessary to have in hand the software MATLAB, destined to the codification of the simulator. The MRST, in turn, is a free and open source software, developed by the SINTEF group, at the Department of Applied Mathematics, in Oslo, Norway. The files that compose it can be purchased at SINTEF's own website (<http://www.sintef.no/MRST/>).

In summary, the basic part of the MRST contains a comprehensive set of data structures and routines to represent and manipulate the main input parameters that make up a simulation model of a porous medium (LIE, 2016).

In order to take advantage of the Automatic Derivation tool, one must execute the command line (3) below that changes the MATLAB path in order to allow the implementation of the MRST.

```
run('C:\Program Files\MATLAB\mrst-2018b\startup.m') (3)
```

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The derivatives provided by the AD tool from MRST can be applied in solution of systems of equations of type  $Ax = b$ , which, at first, must be written in their residual form:

$$f(x) = Ax - b = 0 \tag{4}$$

Using the Newton's Method, the value of the unknown  $x$ , in turn, can be obtained numerically by the iterative process, shown at Eq. (5):

$$x_{i+1} = x_i - A^{-1} \cdot f(x_i) \quad (5)$$

Where  $\partial f(x)/\partial x = A$ , which is the Jacobian matrix of the equation. This means that if you can write a code that evaluates the residual for each equation that forms the system, you can also use Automatic Derivation to solve the system, be it linear or non-linear. Therefore, the AD technique can be used to obtain the Jacobian matrix, instead of writing the expressions of the derivatives analytically, by the finite difference approximation or by using symbolic derivation.

In order to compare the efficiency of the AD technique for accuracy and computational time in relation to the other three methods mentioned above, we will take as an example the solution of the nonlinear system of equations below:

$$\begin{cases} x^2 + xy = 10 & (6) \\ y + 3xy = 57 & (7) \end{cases}$$

Whose exact solution is the point (2,3). Writing the same system of equations in its residual form, one has equations (8) and (9):

$$\begin{cases} f_1(x, y) = x^2 + xy - 10 = 0 & (8) \\ f_2(x, y) = y + 3xy - 57 = 0 & (9) \end{cases}$$

Since  $x$  and  $y$  are the unknowns of the problem, it is necessary to adopt initial values as estimates, whose values were  $x_0 = 1$  and  $y_0 = 1$  for all four methods. The Jacobian matrix of the system, in turn, is given by:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Solving the same system by the four methods, Table 1 summarizes the number of iterations reached by each method of differentiation.

Table 1: Number of Iterations achieved by each method.

Method	Iterations Number
Analytical	6
Automatic Derivation (AD)	6
Finite Difference (FDA)	10
Symbolic Derivation (SD)	6

Source: authors.

It is worth remembering that the only method that presents an intrinsic error is the finite difference approximation, since in the others we calculate the exact derivatives by the own expression of the derivative of the evaluated function. Figure 2 illustrates the computational time consumed in each method executed on the same machine, with Intel Core i3 2.40 GHz processor, and 3GB of RAM installed.

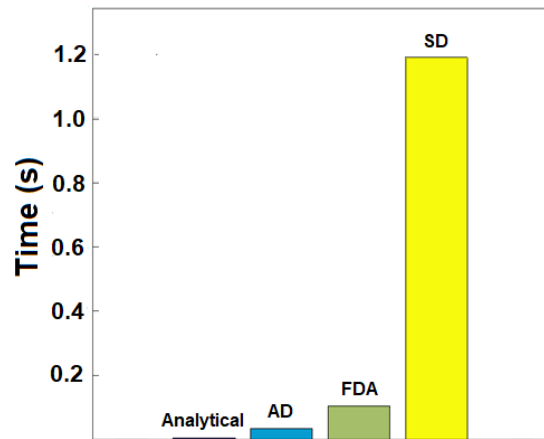


Figure 2: Comparison of computational time involved for each method. Source: authors.

Although in this example the computational cost of using AD class in MRST was not the most efficient of the methods used, the reason why the AD technique is still worth it in most examples is that the cost of generating derivatives is typically much smaller than the cost of solving the algorithms in which they will be used, particularly when working with systems of equations consisting of large sparse matrices with more than one row per cell in the computational grid (LIE, 2016), commonly applied in reservoir simulation. The AD class in MRST is therefore not optimal for scalar variables since it was designed to work with long Jacobian vectors and (sparse) matrices.

#### 4. CONCLUSIONS

Automatic Derivation is a powerful and highly practical technique used to evaluate and provide exact numerical values of functions derivatives, which, when applied in numerical methods, such as Newton's Method, allows in a compact and self-explanatory way the resolution of linear and non-linear system of equations. Although the error involved is null, the AD class in the MRST is not optimal for scalar variables, since it is designed to work with long Jacobian (sparse) vectors and matrices, particularly when working with systems of equations with more than one row per cell in the computational grid, quite common in reservoir simulation. Future works will show with greater precision and impact the efficiency of this tool in its application in other techniques, as the TPWL (Trajectory Piecewise Linearization).

#### REFERENCES

NEIDINGER, R. D. **Introduction to Automatic Differentiation and MATLAB Object-Oriented Programming**. SIAM Review, v. 52, p. 545-563.

CHAPRA, S.C. **Métodos Numéricos Aplicados com MATLAB para Engenheiros e Cientistas**. 3ª Edição, McGraw Hill, 2013.

LIE, K.-A. **An Introduction to Reservoir Simulation Using MATLAB. User Guide for the MATLAB Reservoir Simulation Toolbox (MRST)**. SINTEF ICT, Department of Applied Mathematics Oslo, Norway, 2016.

## Comparação de técnicas de modelação de completações inteligentes

Bruna Araujo de Queiroz<sup>1\*</sup>, Bernardo Horowitz<sup>1</sup>, Leonardo Correia de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* b.queirozeng@gmail.com

### RESUMO

A demanda por poços inteligentes contendo dispositivos de controle de fluxo traz a necessidade de implementações na simulação de reservatórios para ajudar a reduzir os riscos de falhas proporcionados pelas incertezas de produção. O objetivo deste trabalho é comparar técnicas de modelação destes dispositivos, avaliando assim, a eficiência do controle das aberturas das válvulas na maximização do Valor Presente Líquido (VPL) do campo. Para tanto, utilizou-se um simulador numérico comercial acoplado a um otimizador de busca local, utilizando o algoritmo de programação sequencial quadrática com auxílio da otimização sequencial por aproximação. Os resultados mostraram melhoria no VPL e sugeriram boa eficiência das técnicas aplicadas.

**Palavras chaves:** Poços Inteligente; Otimização; Válvula.

### ABSTRACT

The demand for intelligent wells containing flow control devices brings the need for implementations in reservoir simulation to help reduce the risks of failures due to production uncertainties. The objective of this work is to compare the modeling techniques of these devices, thus evaluating the efficiency of the control of valve openings in maximizing the net present value (NPV) of the field. For this, a commercial numerical simulator coupled to a local search optimizer was used, using the quadratic sequential programming algorithm with the aid of sequential approximation optimization. The results showed improvement in NPV and suggested good efficiency of the applied techniques.

**Keywords:** Intelligent Wells; Optimization; Devices.

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das tecnologias usadas no gerenciamento de um campo é a de Poços Inteligentes (PI) que possuem sensores que recebem os dados de produção em setores específicos do poço e válvulas de controle de fluxo (*Flow Control Device* – FCD), que remotamente, controlam as vazões de maneira segmentada, permitindo maior flexibilidade operacional que um Poço Comum (PC). Na simulação, esta tecnologia apresenta diferentes artifícios indiretos para ser representada, artifícios estes que devem ser investigados para validação da técnica.

Este artigo comparou técnicas de modelação da abertura de válvulas em um poço produtor, para avaliar a sua eficiência na maximização do valor presente líquido do campo, a partir de uma estratégia de otimização de busca local, contribuindo, assim para o estabelecimento de políticas de controles destes dispositivos.

## 2. METODOLOGIA

Para modelar o campo com poço produtor segmentado, utilizou-se o simulador comercial *black oil* IMEX (CMG, 2018). As três técnicas de modelagem adotadas e suas respectivas variáveis de controle, que representam o comportamento da abertura dos dispositivos de controle de fluxo, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estratégias adotadas para modelação de um poço inteligente.

Casos	Descrição	Variável de Controle
1	Múltiplos Poços representando um poço segmentado	Multiplicador do índice de produtividade
2	CLUMP	Multiplicador do índice de produtividade
3	Poços Segmentados Inteligentes ( <i>Intelligent Segmented Well -iSegWell</i> ) (CMG,2018a)	Diâmetros dos orifícios de cada válvula de controle de fluxo instalado no poço produtor

Fonte: Autor

Para os casos descritos na Tabela 1, a função objetivo que se deseja maximizar é o VPL do reservatório, que segundo Oliveira (2013), representa uma função financeira com finalidade de determinar o valor presente de pagamentos futuros, levando em consideração uma taxa de desconto e valores determinados na Tabela 2. Logo, o problema de injeção de água pode ser expresso como:

$$\text{Maximizar: } VPL(x_{z,t}) = \sum_{t=0}^T \left[ \frac{1}{(1+d)^t} \cdot F_t(q_t(x_{z,t})) \right] \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } x_{min} \leq x_{z,t} \leq x_{max}$$

onde  $d$  é a taxa de desconto aplicada ao capital,  $T$  é o tempo de concessão do projeto,  $F_t$  é o fluxo de caixa no tempo  $t$ , conforme utilizado em Horowitz et al (2013),  $x_{z,t}$  é a variável de projeto da zona  $z$  no intervalo de tempo  $t$  normalizada,  $x_{min}$  e  $x_{max}$  suas restrições de limites mínimo e máximo, respectivamente.

Tabela 2. Valores utilizados no cálculo do VPL.

Preço da unidade de óleo	\$ 25
Custo da unidade de água produzida	\$ 5
Custo da unidade de água injetada	\$ 2
Taxa de desconto	0,093

Fonte: GRANADOS (2018).

As variáveis de controle para o caso 3 foram normalizadas para operar em um intervalo entre 0,1 e 1. A normalização foi feita dividindo o diâmetro do dispositivo da zona "z" no tempo "t" pelo diâmetro máximo permitido para cada dispositivo.

O processo de otimização do problema não linear foi resolvido com a implementação do algoritmo Programação Sequencial Quadrática (*Sequential Quadratic Programming – SQP*) via função disponível no *software* utilizado, e da Otimização Sequencial por

Aproximação (*Algorithm Approximation Sequential* – SAO), para diminuir o custo computacional devido as simulações numéricas, conforme usado por Horowitz et al (2013).

### 3. EXEMPLO E APLICAÇÃO

Neste trabalho foi utilizado o modelo estudado por Granados (2018), o qual é um reservatório sintético segmentado, composto de duas camadas produtoras com diferentes permeabilidades e uma barreira de fluxo entre elas (Figura 1). O modelo conta com um poço de injeção de água e um poço produtor segmentado, ambos perfurados verticalmente ao longo das camadas do reservatório. A recuperação secundária foi aplicada durante os dez anos de concessão do campo. Para otimizar o problema, os controles foram alterados a cada 2 anos o que resultou em cinco ciclos de controle, totalizando dez variáveis.

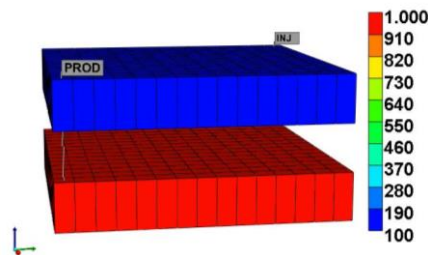


Figura 1. Permeabilidade do modelo sintético. Fonte: Autor

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, a produção acumulada do campo ao longo do tempo de concessão para PC e PI para as três técnicas descritas na Tabela 1.

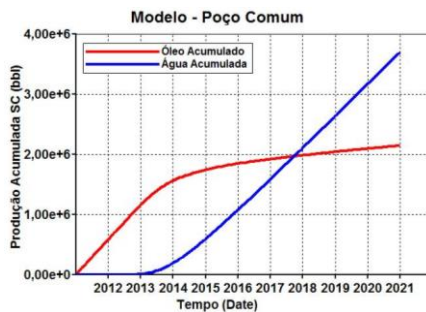


Figura 2. PC. Fonte: Autor.

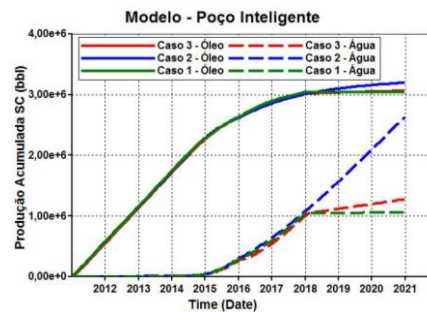


Figura 3. PI para os casos. Fonte: Autor.

A otimização do diâmetro das aberturas das válvulas reduziu o volume de água produzida, postergou a produção desse fluido indesejado e aumentou o volume de óleo recuperado, o que conduziu para o aumento do VPL do campo (Tabela 3).

Tabela 3. VPL encontrado para casa caso trabalhado.

Casos	VPL (10 <sup>6</sup> US\$ 10 <sup>6</sup> )
Caso base (Poço Comum)	28,74
Caso 1 (Múltiplos Poços)	49,02
Caso 2 (CLUMP)	46,85
Caso 3 (iSegWell)	48,42

Fonte: Autor.



As Figuras 4 e 5 mostram o comportamento das variáveis de controle ao longo da simulação na zona superior e inferior, onde a cor azul, laranja e vermelha nos gráficos representam, respectivamente, o caso 1, 2 e 3. Apesar do comportamento semelhante da curva de produção acumulada apresentada na figura 3, o comportamento da otimização das aberturas para cada técnica foi diferente, pois cada método alterou de forma distinta os controles para otimizar a produção de óleo, retardar a frente de água e seu volume produzido e manter a pressão do poço produtor.

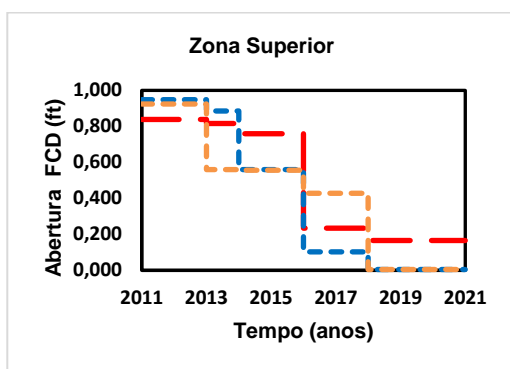


Figura 4. Abertura. Fonte: Autor

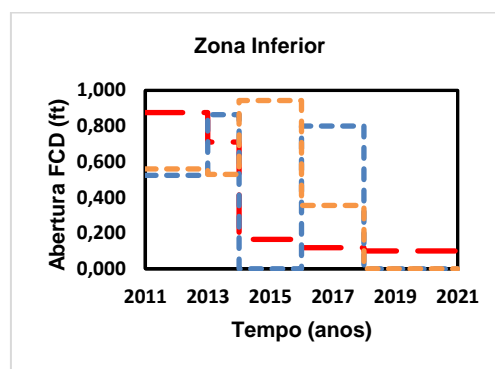


Figura 5. Abertura. Fonte: Autor.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados sugerem uma boa eficiência para as diferentes técnicas aplicadas na modelação das válvulas de controle dos poços inteligentes. Todos os métodos conseguiram otimizar o valor presente líquido do campo, obtendo valores próximos, apesar do comportamento diferente das variáveis de controle ao longo do tempo de concessão do campo, mesmo partindo de conceitos diferentes. Para o trabalho em questão, o caso 1, com múltiplos poços, obteve maior VPL. Os métodos simulados apresentaram uma maior diferença nos valores da produção de água do campo após a irrupção de água, comportamento este que deve ser estudado em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

CMG. **iSEGWELL USER GUIDE Intelligent Segmented Well**. Calgary, Alberta: Computer Modelling Group Ltd, 2018. a.

CMG. **IMEX User Guide Three-phase, Black-oil Reservoir Simulator**. Calgary, Alberta: Computer Modelling Group Ltd, 2018. b.

GRANADOS, Kewin Passos. **GERENCIAMENTO ÓTIMO DA INJEÇÃO DE ÁGUA USANDO COMPLETAÇÕES INTELIGENTES**. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Cap. 5.

HOROWITZ, Bernardo; AFONSO, Silvana Maria Bastos; MENDONÇA, Carlos Victor Paiva de. Surrogate based optimal waterflooding management. **Journal Of Petroleum Science And Engineering**, [s.l.], v. 112, p.206-219, dez. 2013.

OLIVEIRA, Leonardo Correia de. **ESTRATÉGIA HÍBRIDA APLICADA AO GERENCIAMENTO ÓTIMO DE RESERVATÓRIOS**. 2013. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife - PE, 2013.

## **Estudo das alterações físico-químicas em rochas carbonáticas sintéticas submetidas à injeção de fluidos reativos**

**Aline Dantas de Oliveira <sup>1,\*</sup>, Luciana Mendes P.de Melo <sup>1</sup>, Leonardo José do Nascimento Guimarães <sup>1</sup>, Analice França Lima Amorim <sup>1</sup>, Igor Fernandes Gomes <sup>1</sup>, Shirley Minnell Ferreira de Oliveira <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* oliveiraline.dantas@gmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho estuda o comportamento das alterações físicas e químicas causadas pela injeção de um fluido reativo (solução ácida) em amostras de rochas carbonáticas sintéticas. As amostras sintetizadas foram compostas por areia quartzosa, hidróxido de cálcio e halimeda, na proporção de 50%, 25%, 25%, respectivamente e apresentaram densidade de 1,5 g/cm<sup>3</sup>. Análises de permeabilidade e porosidade foram realizadas antes e após a injeção de fluido reativo, com pH variando de 0,6 a 4. Foi possível verificar que as amostras sintéticas apresentaram permeabilidade inicial da ordem de 10<sup>-2</sup> darcy e após a injeção de solução ácida, observou-se um aumento na permeabilidade e a formação de caminhos preferenciais dependentes do pH utilizado. O valor médio da resistência à compressão uniaxial calculado foi de aproximadamente 2 MPa, valor considerado baixo quando comparado com a força encontrada nas rochas naturais, no entanto, dentro da classificação carbonática, sendo considerada uma rocha carbonática branda.

**Palavras chaves:** Dissolução de carbonatos. Rocha carbonática sintética. Acidificação.

### **ABSTRACT**

This work studies the behavior of the physical and chemical changes caused by injecting a reactive fluid acid in samples of synthetic carbonate rocks. The samples synthesized exhibited were composed of quartzite sand, calcium hydroxide and halimeda, at a ratio of 50%, 25%, 25%, respectively and presented a density of 1,5 g / cm<sup>3</sup>. Analysis of permeability and porosity were conducted before and after the dissolution tests, with pHs ranging from 0.6 to 4. It was possible to verify that the synthetic carbonatic rocks had initial permeability of the order of 10<sup>-2</sup> darcy, and after the dissolution, were increased permeability and the formation of preferential flow channels, depending on the pH used. The average value for the Uniaxial Compressive Strength calculated was approximately 2 MPa, a value considered low when compared to the strength found in natural rocks, however, within the carbonate classification, being a soft carbonate rock.

**Keywords:** Carbonate dissolution. Synthetic carbonate rock. acidification.

### **1. INTRODUÇÃO**

A acidificação por matriz, uma tecnologia para melhorar a injetividade do poço, tem sido estudada para entender as consequências da injeção de ácido clorídrico (amplamente utilizado na indústria do petróleo) em reservatórios carbonáticos. A injeção de ácido induz alterações físico-químicas da formação, levando a complexas interações de advecção, difusão, dissolução e precipitação de minerais (OLIVEIRA, 2016). Em alguns casos, pode ter um impacto significativo na estrutura da rocha, comprometendo sua integridade

hidromecânica. Neste contexto, este trabalho analisa as alterações físicas e químicas causadas pela injeção de um fluido reativo (ácido clorídrico) em amostras de rochas carbonáticas sintéticas produzidas em laboratório. O uso de rochas artificiais tem o objetivo de minimizar o elevado custo operacional na aquisição de rochas naturais no campo e também garantir um melhor controle e reprodutibilidade dos resultados experimentais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho envolveu: (1) a síntese das rochas, (2) a caracterização do meio poroso e (3) ensaios de dissolução.

### 2.1 Síntese das rochas

Para a elaboração das rochas carbonáticas sintéticas foi utilizado uma mistura composta de 50% de areia quartzosa artificialmente cimentada com 25% de hidróxido de cálcio e 25% de halimeda, baseada na metodologia encontrada em Melo (2013). Os materiais secos foram pesados em uma balança semi-analítica, misturados e homogeneizados manualmente com a água destilada por volta de cinco minutos, até que fosse atingida uma massa homogênea, a qual foi deixada em repouso por aproximadamente 48h. Posteriormente, o material foi compactado estaticamente.

Para maximizar a cimentação da rocha sintética, a amostra foi submetida à carbonatação direta, onde aplicou-se na abertura superior da célula de compactação uma pressão de 100KPa de dióxido de carbono por 4 minutos.

Por fim, a célula foi levada à estufa, com temperatura de 100°C, por 24h e, finalmente, extraída da célula de compactação.

### 2.2 Caracterização do meio poroso

Para a caracterização mecânica foi realizado o ensaio de resistência à compressão uniaxial (do inglês, *Uniaxial Compressive Strength - UCS*), no qual a rocha sofre uma compressão axial, a fim de encontrar a resistência média à compressão da rocha sintética. Os dados para os valores de tensão foram calculados até o momento em que as rochas apresentaram ruptura.

Para o cálculo da permeabilidade, utilizou-se da equação de Darcy para fluxo uniaxial, como descrita na Eq. (1) a seguir:

$$k = - \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta p} \quad (1)$$

Onde k representa a permeabilidade do meio; Q é a vazão volumétrica de fluido injetado;  $\mu$ , a viscosidade dinâmica do fluido percolante; L, a altura da amostra; A, a área da seção transversal de fluxo; e  $\Delta p$ , gradiente de pressão exercido na amostra.

Para o cálculo da porosidade, utilizou-se da equação a seguir:

$$\emptyset = \frac{e}{1 - e} \quad (2)$$

onde,  $\emptyset$  é a porosidade e e, o índice de vazios.

### 2.3 Ensaios de dissolução

A célula de dissolução foi acoplada a um sistema de controle de medição da pressão. O fluido reativo utilizado foi uma solução de ácido clorídrico (HCl) em diferentes faixas de pH (0,6, 2, 3 e 4). A entrada desse fluido se deu pela parte superior da amostra, originando um fluxo ascendente pela rocha, e na parte inferior, a saída desse fluido (solução percolada).

Os ensaios foram finalizados baseando-se em dois critérios: pH e permeabilidade. Quando a solução efluente apresentava mesmo pH da solução injetada, o que geralmente vinha seguido de um aumento considerável da permeabilidade e um arraste de areia na solução efluente coletada, ou permeabilidade constante por um tempo consideravelmente longo quando comparado ao tempo total dos ensaios.

Ao final do ensaio, a célula de dissolução foi desmontada e retirada uma pequena amostra do corpo de prova para as análises de caracterização.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interação rocha-fluido reativo resultou em alterações significativas nas propriedades petrofísicas e mecânicas das 4 amostras sintéticas analisadas (AM1, AM2, AM3, AM4). A Tabela 1 mostra um comparativo da permeabilidade entre as amostras pré e pós dissolução.

Tabela 1: Permeabilidades obtidas antes e após dissolução

	pH	$k_i (.10^{-12} \text{ m}^2)$	$k_f (.10^{-12} \text{ m}^2)$
AM1	0,6	0,03	0,32
AM2	2	0,07	3,53
AM3	3	0,06	1,66
AM4	4	0,03	0,32

Fonte: Os autores.

De acordo com a tabela acima, é possível observar uma variação da permeabilidade chegando a ser cem vezes maior do que a permeabilidade inicial, após reação de dissolução em pH 2 e 3. Já para as amostras submetidas aos fluidos de pH 0.6 e 4, mesmo tratando-se de acidez e tempos diferentes - com aproximadamente 60 horas de disparidade -, as amostras em questão apresentaram variação de permeabilidade semelhante, diferenciando-se apenas na uniformidade da dissolução dos minerais na matriz porosa, provavelmente resultante também da diferença de dimensão entre as duas amostras, mesmo que originárias do mesmo processo produtivo.

Para analisar a porosidade das rochas carbonáticas sintéticas, utilizou-se dos cálculos para determinação da porosidade das rochas obtidos em laboratório. A análise foi realizada antes e após a passagem da solução reativa pelo meio poroso.

A Tabela 2 apresenta os valores de porosidade encontrados para as amostras analisadas e seus respectivos pH.

Tabela 2: Porosidades obtidas antes e após dissolução

	pH	$\Phi_i$ (%)	$\Phi_f$ (%)
AM1	0.6	38,1	52,6
AM2	2	42,8	53,9
AM3	3	42,1	50,0
AM4	4	41,4	51,2

Fonte: Os autores

Os valores iniciais das porosidades estão entre 38 e 43%. A porosidade encontrada em reservatórios carbonáticos, de acordo com Lucia (2007), está na faixa entre 1 e 35%, sendo menos comum, porém possível, encontrar valores de carbonatos fora dessa faixa. Após a passagem do fluido reativo, era esperado um aumento dos espaços vazios da rocha (devido à dissolução dos minerais), conforme observado na Tabela 2.

A resistência média à compressão axial antes da dissolução foi de 20.01kgf/cm<sup>2</sup>, ou aproximadamente, 2Mpa, como mostra a Figura 1.

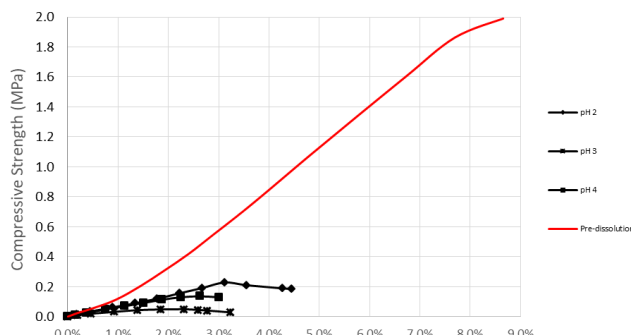


Figura 1: Gráfico da tensão versus deformação das amostras sintéticas pré e pós-dissolução. Fonte: Os autores.

Observou-se que as amostras apresentaram extrema fragilidade após os ensaios de dissolução, o que ocasionou uma diminuição nos valores da resistência à compressão simples de, em alguns casos, até 10 vezes menor do que o valor da resistência média da rocha pré-dissolução. As amostras submetidas aos fluidos de pH 2, 3 e 4 apresentaram valores de UCS de 0,23, 0,07 e 0,14 MPa, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

A injeção da solução ácida de HCl nas rochas carbonáticas sintéticas causou modificações significativas nas propriedades petrofísicas do meio. O avanço apresentado pela permeabilidade ao longo do tempo foi consistente com os resultados vistos na literatura, principalmente aqueles referentes a rochas sintéticas.

A dissolução não uniforme, observada nos ensaios, foi induzida pela heterogeneidade do meio e também por pontos de maior fragilidade das rochas devido à dificuldade em ter boa reprodutibilidade no processo de construção dos corpos de prova, contudo, a resistência da rocha encontra-se de acordo os valores de rochas carbonáticas brandas, o que foi satisfatório.

#### REFERÊNCIAS

LUCIA, F. J. **Carbonate reservoir characterization: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2007.

MELO, L. M. P. **Análise Numérico-Experimental de Rochas Carbonáticas Sintéticas Submetidas à Injeção de um Fluido Reativo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE (Brasil), 2013.

OLIVEIRA, A. D. **Análise das Alterações Físico-Químicas decorrentes de Ensaio de Dissolução em Rochas Carbonáticas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE (Brasil), 2016.

## **Estudo experimental da dissolução de rochas carbonáticas sintéticas sob condições edométricas**

**Katia Botelho Torres Galindo<sup>1\*</sup>, Leonardo José do Nascimento Guimarães<sup>1</sup>, Cecília Maria Mota Silva Lins<sup>2</sup>, Analice Lima<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil (UACSA)

\*katiabotelho4@gmail.com; leonardo@ufpe.br; cecilia.lins@ufrpe.br, analicelima@hotmail.com;

### **RESUMO**

O principal objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de estudos experimentais para avaliar o comportamento de rochas sintéticas durante a dissolução com um fluido reativo, utilizando uma célula edométrica modificada. Para isto, ensaios de caracterização física (porosidade, densidade e índice de vazios) e resistência foram realizados antes e após a dissolução com o fluido reativo. Devido as condições edométricas, quando se inicia o processo de dissolução devido a percolação do fluido ácido na amostra, os valores da tensão horizontal aumentam à medida em que as deformações plásticas ocorrem. Este comportamento reflete também nas deformações volumétricas das amostras, onde a deformação alcançada foi de 6,6% e 11,51%, nas características físicas com o aumento da porosidade em 8% e 53% e nas propriedades mecânicas com a diminuição da resistência mecânica em 9,5% e 33% para as amostras com cimento e sem cimento respectivamente. Esse comportamento é devido a degradação que ocorre pela interação com o fluido reativo que afetam suas características iniciais. Esses resultados refletem processos que acontecem quando rochas entram em contato com fluidos reativos, seja pela acidificação do reservatório por armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, recuperação avançada de petróleo ou gás, podendo causar danos irreversíveis nas rochas.

**Palavras chaves:** Rocha carbonática sintética; Célula edométrica; Fluido reativo

### **ABSTRACT**

The main objective of this research was the development of experimental studies to evaluate the behavior of synthetic rocks during the dissolution with a reactive fluid using an modified edometric cell. For this, physical characterization tests (porosity, density and void ratio), and strength were performed before and after dissolution with the reactive fluid. Due to the edometric conditions (zero lateral strain) when dissolution begins to occur with the acidic fluid in the sample, the values of the horizontal stress evolve as the dissolution of the minerals of the samples occurs. This behavior also reflects the volumetric strain of the samples, where the obtained deformation was of 6.6% and 11.51%, in the physical characteristics with the increase of the porosity in 8% and 53% and for the mechanical properties with the decrease of rock strength in 9.5% and 33% for the samples with cement and without cement respectively. This behavior is due to degradation occurring through interaction with the reactive fluid that affect its initial characteristics. These results reflect processes that occur when rocks come into contact with reactive fluids, either by acidification of the reservoir by geological storage of CO<sub>2</sub>, advanced recovery of oil or gas, and may cause irreversible damage to the rocks.

**Keywords:** Synthetic carbonatic rock; Oedometric cell; Reactive Fluid

### **1. INTRODUÇÃO**

Projetos para extração e injeção de fluidos a altas profundidades aumentam sensivelmente os riscos geomecânicos, devido à dissolução do mineral, alterações de

pressão, temperatura e a saturação que afetam o estado de tensão da rocha reservatório.

Estes processos acima citados podem gerar o efeito *water-weakening*, fenômeno que está associado ao enfraquecimento da rocha devido à interação físico-química entre a rocha e o fluido, podendo resultar em deformações, afetando o comportamento mecânico da rocha, diminuindo sua resistência quando submetidas às variadas condições de carregamento, podendo assim levar ao enfraquecimento pela perda de rigidez ou resistência mecânica, ocasionando por exemplo, a compactação e subsidência do reservatório.

Neste contexto, a principal motivação desta pesquisa será o desenvolvimento de estudos experimentais com rochas carbonáticas sintéticas atrelado a simulação numérica, com a finalidade de compreender os fenômenos hidromecânicos e químicos que podem ocorrer e alterar as características iniciais da rocha. Amostras de rochas sintéticas são utilizadas nesta pesquisa com o intuito de representar e compreender os impactos nas propriedades mecânicas, hidráulicas e químicas das rochas devido ao processo de dissolução. Além disso, atualmente, é frequente o estudo do comportamento de rochas reservatórios submetidos ao ataque químico a partir de amostras sintéticas, devido ao melhor controle de suas propriedades e características.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa são produzidas dois tipos de rochas carbonáticas cimentadas artificialmente, uma sem cimento recomendada por Melo (2012) e a outra com cimento proposta por Vieira et al., (2017), para realização das análises experimentais.

Foram realizados procedimentos para a caracterização física das amostras, como a determinação da densidade, porosidade e índice de vazios a partir do procedimento do picnômetro de acordo com a NBR 6508.

E para as análises hidrogeomecânica das amostras estudadas neste trabalho, foram realizados ensaios de dissolução da amostra utilizando uma célula edométrica modificada visando obter parâmetros de tensão horizontal e deformação volumétrica. Também foram realizados ensaios de resistência a compressão uniaxial para avaliar e comparar a resistência das amostras antes e após a dissolução com um fluido reativo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**1 é possível analisar a comparação dos parâmetros obtidos para os resultados da porosidade ( $\emptyset$ ), índice de vazios ( $e$ ) e densidade das partículas ( $\rho_g$ ) das amostras sintéticas com e sem cimento.

Tabela 1. Avaliação da porosidade das amostras

Sample	$\rho_g$	$e$	$\emptyset$ (%)
S/Cimento (antes dissolução)	1.6	0.57	35
C/Cimento (antes dissolução)	1.6	0.6	37
S/Cimento (depois dissolução)	1,5	1,2	54
S/Cimento (depois dissolução)	1,5	0,8	44

As rochas sintéticas produzidas no laboratório têm características de rochas “muito brandas” por apresentar porosidade entre 10 a 40 %. Após a dissolução nota-se um aumento na porosidade de aproximadamente 54 % na rocha sem cimento e 19 % na rocha com cimento quando comparado com os valores iniciais. Esses valores são refletidos nos valores de resistência.

Na análise dos ensaios de dissolução realizados com os dois tipos de amostras, é possível observar que durante a fase de carregamento, a tensão horizontal efetiva aumenta decorrente da carga de compressão aplicada em ambas as rochas (Fig. 2a e 3a). Já na fase de dissolução com o ácido, a tensão horizontal aumenta mais expressivamente na rocha sem cimento, ocasionando uma maior deformação plástica horizontal de compressão na rocha sem cimento.

De acordo com Lins (2014), esse aumento da tensão também está ligado diretamente com o desenvolvimento da deformação plástica horizontal de expansão quando a amostra é submetida a condições edométricas.

Este comportamento reflete também nas deformações volumétricas das amostras, onde na Figura 2 b e 3 b observa-se que a deformação alcançada na rocha com cimento é de 6,6 %, já a rocha sem cimento chegou a deformar cerca de 11,5 %. Esse comportamento é decorrente da perda de massa e dissolução das ligações entre os grãos da amostra.

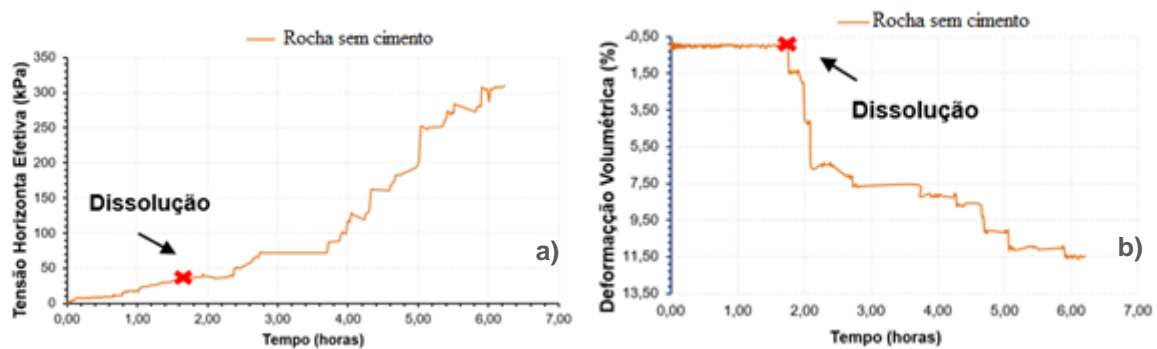


Figura 2. Dissolução com carregamento vertical de 400 kPa da Rocha sem cimento: a) tensão horizontal efetiva e 2; b) deformação volumétrica.

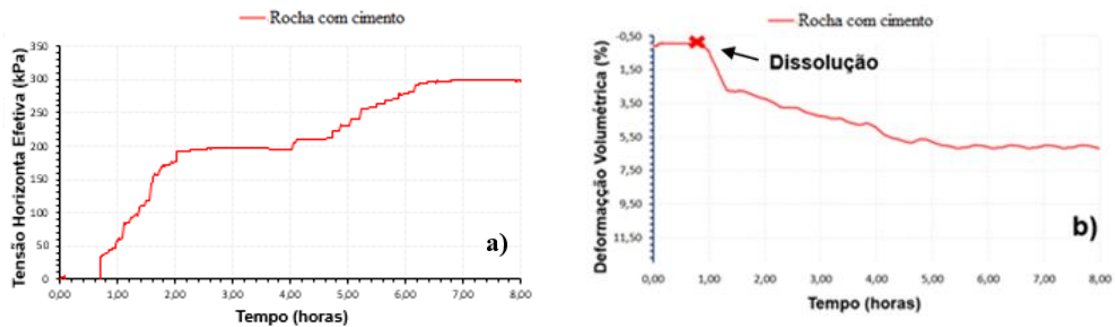


Figura 3. Dissolução com carregamento vertical de 400 kPa da Rocha com cimento: a) tensão horizontal efetiva e 2; b) deformação volumétrica

No mesmo tempo em que a deformação aumenta, a tensão horizontal efetiva também aumenta, mas em ritmos diferentes. Ao final do ensaio, as deformações volumétricas diminuem progressivamente conforme a velocidade de reação. Este comportamento representa fenômenos como o de compactação induzida pela degradação da amostra devido ao intemperismo pelo ataque químico, pela dissolução dos minerais de calcita. Esse comportamento também foi apresentado nos estudos de Castellaza e Nova (2004) e Merodo et al (2007).

No ensaio de compressão uniaxial foi obtido o gráfico da curva de tensão *versus* deformação (Figura 4) representando a comparação da resistência das duas amostras sintéticas antes e após a dissolução dos minerais, onde a amostra 1 corresponde a rocha sem cimento e a amostra 2 se refere a amostra com cimento.



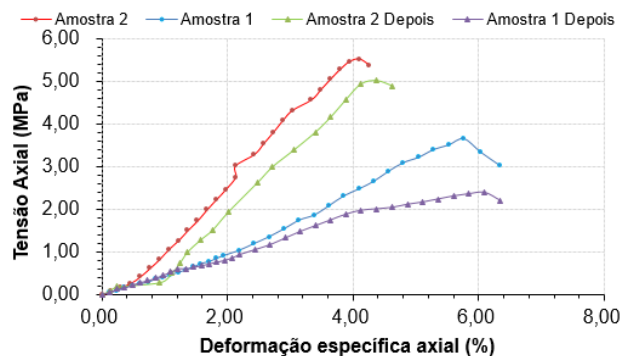


Fig. 4. Resultados do ensaio de compressão uniaxial.

A resistência máxima de compressão obtida antes da dissolução pela rocha com cimento é maior do que a obtida para a rocha sem cimento. Verifica-se que as duas amostras têm comportamento físicos e mecânicos característico de uma rocha muito branda, pois deformam bastante antes de romper, ainda que no gráfico se observa que a rocha sem cimento alcança sua resistência máxima com maiores deformações, já a rocha com cimento alcança sua resistência máxima com menores deformações.

Após a dissolução é possível observar que a rocha sem cimento (amostra 1) perde mais resistência do que a rocha com cimento (amostra 2) quando comparado a variação percentual das suas resistências antes e depois da dissolução, cerca de 51% e 10% respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios com a célula edométrica modificada foi possível concluir que quando começa a ocorrer a dissolução devido a percolação do fluido ácido na amostra, os valores da tensão horizontal aumentam à medida em que as deformações plásticas ocorrem, ou seja, é a reação da amostra que tende a se dilatar devido a tensão vertical aplicada e a degradação das ligações entre os grãos. Este comportamento reflete também nas deformações volumétricas das amostras, onde observa-se que a deformação alcançada na rocha com cimento é de 6,6%, já a rocha sem cimento chegou a deformar cerca de 11,5%. Verificou-se também alterações nas características físicas com o aumento da porosidade em 19% e 53% e nas propriedades mecânicas com a diminuição da resistência mecânica em 10% e 51% para as amostras com cimento e sem cimento respectivamente.

#### REFERÊNCIAS

- LINS, C.M.M.S, (2014) *Desenvolvimento de uma célula edométrica para estudo da evolução da tensão horizontal durante a dissolução química*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.
- MELO, L. M. P. 2012. *Análise numérico-experimental de rochas carbonáticas sintéticas submetidas à injeção de um fluido reativo*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.
- MERODO, F. J., et al., (2007). Coupling transport of chemical species and damage of bonded geomaterials. *Comp. & Geotechnics* 34(4). 200-215.
- VIEIRA, K. N. ; JESUS, L. L. ; LIMA, A. ; Guimaraes, L.J.N. (2017). Análise De Dissolução Ácida De Rocha Carbonática Artificial Cimentada Com Cp V – Ari. In: *9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás.*, 2017, Maceió, 2017.

## Heterogeneous Multiscale Method

Ianyqui Falcão Costa<sup>1\*</sup>, Ézio Araújo<sup>2\*</sup>, Liliâne Fonseca<sup>3\*</sup>, Ramiro Brito Willmersdorf<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Doutorando no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil

<sup>4</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Mecânica

\* lanyqui.costa@gmail.com, Ezio@ufpe.br, liliane.fonseca@ufpe.br, ramiro@willmersdorf.net.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar mudanças de escala com parâmetros físicos e heterogêneos. Por heterogêneo entende-se que as escalas podem ser distintas e seus parâmetros são estocásticos e heterogêneos no domínio espacial. Como forma de solução, utilizamos técnicas baseadas em Aprendizado Não Supervisionado, como o Clustering, em conjunto com o algoritmo Deterministic Annealing. Também utilizamos, os Elementos da Teoria da Informação. Por fim, para demonstrar a qualidade da metodologia proposta, um exemplo de reservatório de petróleo em 1D com formulações de Buckley-Leverett foi realizado. Uma boa aproximação foi verificada apenas em relação às medidas de Pressão devido a preferência da medição do ajuste. Nas medidas de saturações, verifica-se a necessidade de um melhor ajuste na medição de interesse.

**Palavras chaves:** Taxa de distorção; Simulação de reservatórios; Mudanças de escalas; Algoritmo de Arimoto; Recozimento Determinístico.

### ABSTRACT

The objective of this work is to perform scale changes with physical and heterogeneous parameters. By heterogeneous is meant that scales can be distinct and their parameters are stochastic and heterogeneous in the spatial domain. As a solution, we use unsupervised learning techniques such as Clustering in conjunction with the Deterministic Annealing algorithm. We also use the Elements of Information Theory. Finally, to demonstrate the quality of the proposed methodology, an example of 1D oil reservoir with Buckley-Leverett formulations was performed. A good approximation was found only with respect to Pressure measurements due to the preference of the fit measurement. In saturation measurements, there is a need for a better fit in the measurement of interest.

**Keywords:** Distortion rate; Simulation of reservoirs; Multiscales; Algorithm of Arimoto; Deterministic Annealing.

### 1. INTRODUCTION

The Computational simulations and several experiments show that the behavior of materials (synthetic or natural) used in engineering results from their interactions on different length scales.

Traditionally, numerical methods such as finite elements, finite differences, and their variants are used for computational simulations. However, in cases where the system at a microscale is largely affected by the variability of the mechanical or physical properties of the materials, it is necessary that the mesh density used is sufficient to accurately capture the heterogeneity of the microscale, in a system of very large equations to be solved in a timely manner (KOUTSOURELAKIS, 2007).

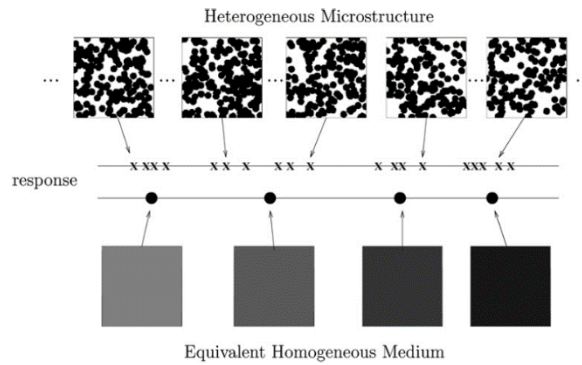


Figure 1: Reduction of the Probabilistic Dimension. There is no bijection between the realizations of  $X$  and  $Y$ . Source: Koutsourelakis, 2007.

Another aspect of great importance, which is often overlooked in traditional numerical methods, is related to uncertainties. In fact, most of the materials used in engineering demonstrate local randomness in its microstructure. In addition to the uncertainties associated with the structure of the material, those associated with the measurements are also unavoidable, even when performed in the proper environment and conditions.

## 2. METHODOLOGY

In analogy of Statistical Mechanics and Information Theory the approximations can't be realized with functional or polynomial series, but only discrete. For measure this approximations it's required the random variable  $X$  and its representations  $Y$ . Then, it's used

$$D(X, Y) = E_{p(x,y)}[d(x, y)] = E_{p(x,y)} \left\{ [(r(X) - r(y))]^2 \right\}, \quad (1)$$

where  $E_{p(x,y)}$  is the expectation and  $r(\blacksquare)$  is the answer of the problem in study.

After the quantization of the representations  $Y$ , a compression must be realized. For that, it's solved the optimization problem (variational problem) below:

$$R(D) = \min_{p(x,y): D(X,Y) < \bar{D}} I(X, Y). \quad (2)$$

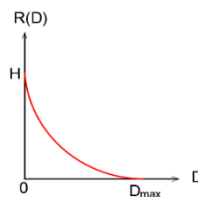


Figure 2: Rate Distortion Function. Source: the Author.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

To verify the proposed methodology, a depletion, by injection of water, of a one-dimensional reservoir with two-phase flow, of oil and water, studied by Emerick and Reynolds (2013), was performed.

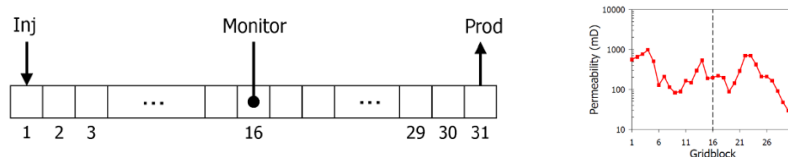


Figure 3: Reservoir's microscale and permeabilities. Source: Emerick, A, Reynolds, A, (2013).

The objective of the analysis was based on the realization of the upscaling of the absolute permeabilities of the reservoir, comparing the darcy velocities in the blocks of the *micromalha* with those obtained in the *macromalha* from the application of the Deterministic Annealing.

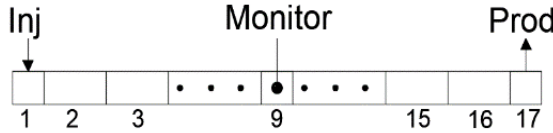


Figure 5: Reservoir's macroscale. Source: the Author.

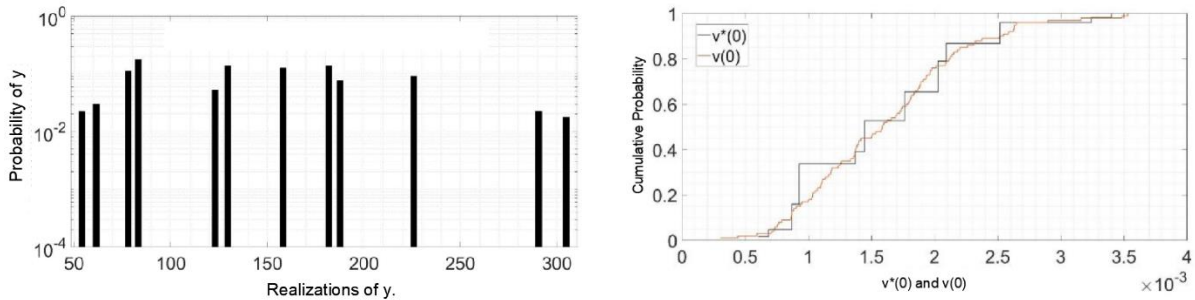


Figure 6: P.d.f.'s quantization and velocities's c.d.f. of macroelement 1. Source: the Author.

Subsequently, a comparison between the *macromalha* and *micromalha* of the pressures and saturations in the one-dimensional and two-phase flow reservoir was performed.

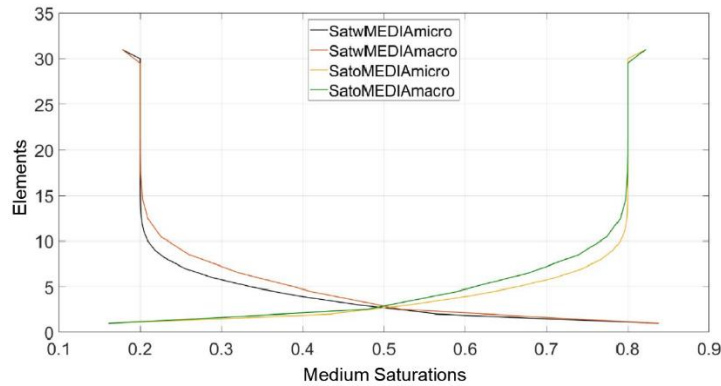


Figure 8: Average water and oil saturations in the reservoir at both scales. Source: the Author.

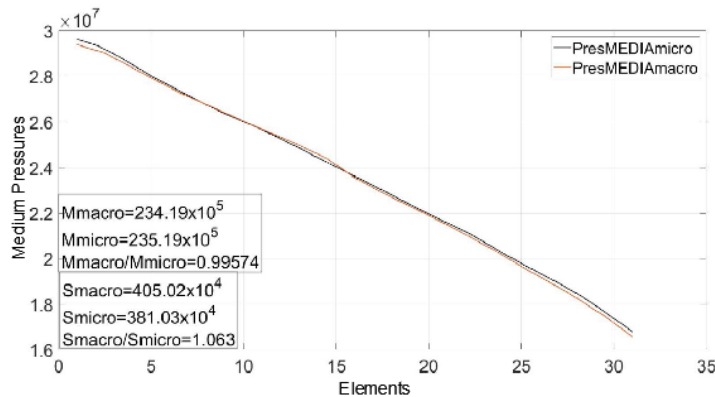


Figure 9: Average reservoir pressures at both scales. Source: the Author.

From figure 8, it is verified that the average saturations of water and oil were not as close as expected. This fact stems from the application of upscaling only in absolute permeabilities. The inverse occurs in Figure 9, in which, through the graph, it is possible to visualize a good approximation, fact that can be analyzed by the average values presented in the same one.

#### 4. CONCLUSION

The main conclusion to be drawn from this work is that it is fully justified the development of a computational program for the end user. This program would use calls to a commercial program, as it is done today, for the optimization of reservoir management, in the academy.

Considering new developments in information theory, it is recommended for future use of the bottleneck information theory, in which a new variational principle for the performance of data compression is developed. In the solution, another variable  $\tilde{X}$  is used in order to compress the maximum possible data of the variable  $X$ (input) taking into account the maximum possible information of the variable  $Y$ (relevant variable). So, the optimal solution can be found minimizing the functional:

$$\mathcal{L}[(p(\tilde{x}|x))] = I(\tilde{X}; X) - \beta I(\tilde{X}; Y), \text{ where}$$

$$I(\tilde{X}; Y) = \sum_y \sum_{\tilde{x}} p(y, \tilde{x}) \log p(y, \tilde{x})/p(y)p(\tilde{x}) \leq I(X; Y)$$

In bottleneck information theory, unlike the rate distortion theory, the mapping of the desired information is a non-linear problem, which makes the problem a much more complicated task.

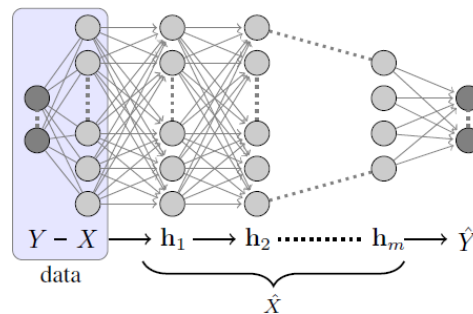


Figure 10: Neural Network Example and *Bottleneck Information Theory*. Source: Tishby, 2000.

#### REFERENCES

COVER, T. M. & THOMAS, J. A. Elements of Information Theory, a John Wiley & Sons, INC., Publication, 1a. ed. in 1991 e 2a. ed. in 2006.

KOUTSOURELAKIS, P.S., **Stochastic upscaling in solid mechanics: Na exercise in machine learning**. Journal of Computational Physics 226, 2007.

TISHBY, N., PEREIRA, F. C., BIALEK, W.; **The Information Bottleneck Method**, ArXiv, april, 2000.

## **Modelo de capacitância e resistência com fluxo fracionário para recuperação secundária em reservatórios**

**Dilayne Santos Oliveira <sup>1,\*</sup>, Bernardo Horowitz <sup>1</sup>, Alberto Juan Rojas Tueros <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* dilaynedso@gmail.com

### **RESUMO**

No presente estudo propomos determinar a produção de óleo e água de um reservatório com injeção de água utilizando um modelo de fluxo fracionário (GENTIL) com o modelo de Capacitância e Resistência baseado nos produtores (CRMP), os quais possuem como grande vantagem a utilização apenas de dados provenientes do histórico de produção do campo para representar a dinâmica existente dentro do reservatório. As variáveis de projeto são os parâmetros dos modelos CRMP e Gentil. Os resultados demonstraram que os modelos utilizados capturam bem a dinâmica de fluxo no reservatório, permitindo verificar a influência de poços injetores sobre produtores como também a indicar heterogeneidades presentes. Eles também evidenciaram sua praticidade de uso quando os dados para construção de modelos computacionais são limitados, obtendo resultados satisfatórios para previsão da produção com um baixo custo computacional.

**Palavras chaves:** CRMP; Modelos Simplificados; Gerenciamento de Reservatórios.

### **ABSTRACT**

In this study, we propose to determine the oil and water productions in a reservoir with water injection using a fractional flow model (FFGM) with the Capacitance and Resistance Producer based model (CRMP). The great advantage of these models is that they only data from the production history of the field to represent the fluid dynamics existing in the reservoir. The project variables are the CRMP and FFGM models parameters. The results showed that the models are able to capture the reservoir flow dynamics, allowing to verify the injector wells influence on producer wells as to indicate local heterogeneities. They also evidenced their practicality when the data to build computational models are limited, obtaining satisfactory results to predict the field production with a low computational cost.

**Keywords:** CRMP; Simplified Models; Reservoir Management.

## **1. INTRODUÇÃO**

Métodos de recuperação secundária são aplicados em reservatórios visando complementar a energia original, expressa na forma de pressão, através de mecanismos de deslocamento do óleo in situ e manutenção da pressão, dentre os quais pode-se destacar a injeção de água. Com o desenvolvimento do campo e a contínua injeção de água, a produção de óleo tende a decrescer em virtude do aumento do volume de água produzido.

Assim, é importante entender como cada poço injetor influencia os poços produtores presentes no campo, e assim, prever seu comportamento futuro e redimensionar o volume injetado e sua redistribuição entre os poços injetores.

Neste sentido, o presente estudo propõe prever o comportamento da produção de óleo e água quando o reservatório é submetido a injeção de água através da utilização de um modelo de Fluxo Fracionário (FFGM) proposto por Gentil (2005) juntamente com o Modelo de Capacitância e Resistência baseado no Produtor (CRMP). Os parâmetros destes modelos são determinados através de problemas de otimização, que consistem na solução de problemas de mínimos quadrados entre os dados calculados e observados.

A grande vantagem da utilização destes modelos está associada à sua praticidade de uso quando comparados aos simuladores convencionais, pois utilizam apenas dados

provenientes do histórico de produção dos poços, os quais estão disponíveis de forma abundante nos campos de petróleo (LINS, 2018).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Formulação CRMP

O modelo CRM é um modelo simplificado, para representar a dinâmica existente no reservatório, que quantifica a comunicação entre os poços injetores e produtores. O modelo foi desenvolvido inicialmente por Albertoni & Lake (2003) e trata o histórico de vazões de injeção (poços injetores) e BHP (poços produtores) como sinais de entrada, que quando emitidos perturbam o sistema (reservatório), gerando dados de saída, neste caso, as vazões líquidas dos poços produtores.

Dessa forma, é possível correlacionar estes dados e avaliar como as vazões de produção são influenciadas pela água injetada durante a exploração do campo. A derivação da equação diferencial que governa o modelo CRMP como a descrição de seus parâmetros podem ser encontradas em Cao et al. (2014) e Lins (2018).

A equação analítica do modelo CRMP para um dado passo de tempo  $\Delta t = k - (k-1)$  é apresentada a seguir:

$$q_j^k = q_j^{k-1} e^{-\Delta t/\tau_j} + \left(1 - e^{-\Delta t/\tau_j}\right) \sum_{i=1}^{N_i} \lambda_{ij} I_j^k - \left(1 - e^{-\Delta t/\tau_j}\right) \left[ \tau_j J_j \frac{dP_{wf,j}^k - dP_{wf,j}^{k-1}}{\Delta t} \right] \quad (1)$$

com  $j = 1 \dots N_p, k = 1 \dots N_t$ .

onde, para um dado tempo  $t = k$ ,  $q_j^k$  é a vazão líquida total do produtor  $j$ ,  $I_j^k$  é a vazão líquida de um poço injetor  $i$ ,  $P_{wf}^k$  é a pressão de fundo de poço do produtor  $j$ . Por sua vez,  $N_i$  é o número total de poços injetores,  $N_p$  o número total de poços produtores e  $N_t$  é o número total de passos de tempo. Com relação ao termo  $q_j^{k-1}$ , ele representa a vazão inicial para um dado tempo  $k$ .

### 2.2 Formulação FFGM

O modelo CRMP é um modelo monofásico, no qual vazão líquida dos poços produtores é tratada como uma única fase. Entretanto, na maioria das operações de campo, é necessário prever a vazão de óleo e água separadamente. Assim, para estimar a percentagem da vazão de óleo com relação a vazão líquida total, o modelo fracionário FFGM foi utilizado. A descrição do FFGM, seus parâmetros e detalhes podem ser encontrados em Gentil (2005).

### 2.3 Problema de Otimização

Para implementar e resolver os problemas de otimização foram utilizados problemas de mínimos quadrados. As variáveis de projeto são os parâmetros que compõe as equações de cada modelo estudado, os quais são calibradas para ajustar-se a vazão líquida calculada à observada para o CRMP e a razão água-óleo calculada à observada para o FFGM.

Para um problema CRMP, as variáveis de trabalho são as conectividades entre injetor  $i$  e produtor  $j$  ( $\lambda_{ij}$ ), a constante de tempo do produtor  $j$  ( $\tau_j$ ) e o índice de produtividade do produtor  $j$  ( $J_j$ ). Para cada poço produtor existem 3 variáveis de projeto associadas, além da vazão de produção primária  $q_j^{k-1}$  que pode ser um outro parâmetro a ser determinado. A descrição dos problemas de otimização resolvidos pode ser encontrada em Lins (2018).

Por sua vez, para o problema FFGM, as variáveis de projeto são os parâmetros de regressão  $a_j$  e  $b_j$ , como apresentado por Gentil (2005). É importante notar que ambos os parâmetros não apresentam significado físico bem definido associado, tornando-se apenas coeficientes relacionados ao ajuste (*curve fitting*) entre as curvas observada e calculada. A

quantidade de parâmetros para o problema de otimização será igual ao número de poços produtores multiplicados por 2.

Como não se obteve acesso a dados reais, foi utilizado o simulador comercial IMEX-CMG 2016 para sua geração. Com relação ao reservatório estudado (Figura 1), ele se trata de um modelo sintético existente na literatura cuja as características podem ser encontradas em Cao et al. (2014). Para o caso estudado foi considerado que tanto a vazão inicial como a variação de BHP eram conhecidas, havendo um total de 28 variáveis para o problema de otimização CRMP e 8 variáveis para o FFGM. A janela de tempo utilizada para realização da otimização teve início no dia 3476, devido a chegada de frente de água nos poços produtores, durando até o dia 5000, ou seja, um total de 1524 dias ( $\approx 4.5$  anos).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para ambos modelos são apresentados na Tabela 1. Observa-se que os valores obtidos para as conectividades evidenciam a existência de uma barreira isolando os poços produtores P-1 e P-3 dos demais, apresentando uma influência quase inexistente dos poços I-2, I-3, I-4 e I-5. Tal resultado demonstra que o modelo CRMP obteve êxito ao capturar a dinâmica do sistema, o que ainda pode ser validado pelo ajuste das curvas de vazão de produção líquida dos poços P-1 e P-2 apresentadas na Figura 2.

Pode-se notar que os poços P-2 e P-4 são suportados por quatro poços injetores (I-2, I-3, I-4 e I-5). Através do histórico de corte de água (WCUT), vê-se que o *waterbreakthrough* ocorre bem antes para esses poços, em comparação aos poços P-1 e P-3. Como resultado, a curva de WCUT apresentou um crescimento mais abrupto, enquanto que para os outros dois poços, seu comportamento foi mais suave ao longo do tempo (Figura 3).

A previsão do comportamento do WCUT foi satisfatória para todos os poços produtores, principalmente para aquelas onde o WCUT já possuía um valor mais elevado. Para os poços onde a curva de corte de água apresenta um crescimento mais suave com o tempo, o FFGM consegue capturar seu comportamento para valores mais baixos de WCUT (0.6). Por outro lado, quando essa mudança é mais abrupta, seu uso para prever o comportamento deve ser feito para valores maiores de WCUT (0.80).

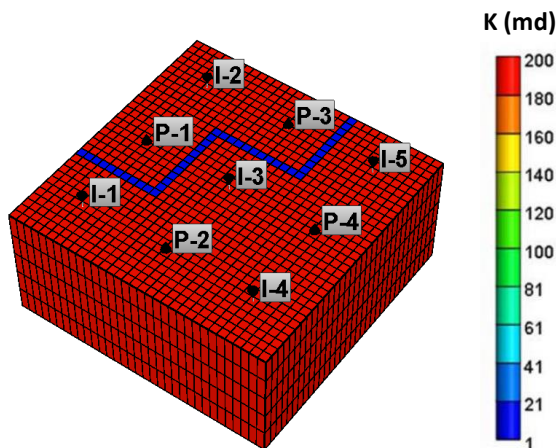


Figura 1: Distribuição da permeabilidade do reservatório estudado. Fonte: Os Autores.

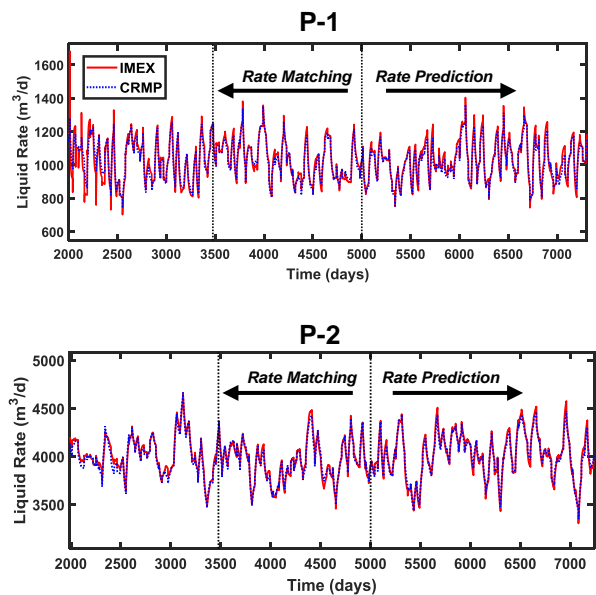


Figura 2: Rate History Matching e Previsão da vazão de produção líquida para os poços P-1 e P-2. Fonte: Os Autores.



#### 4. CONCLUSÕES

Os modelos CRMP e FFGM conseguiram bons resultados, demonstrando sua aplicabilidade para analisar a performance do reservatório, como prever seu comportamento ao longo da exploração, com um baixo custo computacional. Além disso, verificou-se que o modelo CRMP foi eficiente ao detectar a presença de uma heterogeneidade no reservatório, através de suas conectividades, sendo uma boa ferramenta para entender a dinâmica entre os sinais emitidos (injeção e BHP) e recebidos (vazões de produção) do sistema a ser estudado. Por sua vez, o modelo FFGM permite prever o corte de água, podendo ser utilizado para determinação do volume de óleo a ser produzido sob um dado esquema de injeção de água.

Tabela 1: Parâmetros CRMP e FFGM para o modelo estudado.

Conectividades ( $\lambda_{ij}$ )									
$j \setminus i$	1	2	3	4	5	$\tau_j$	$J_j$	$a_j$	$b_j$
1	0.000	0.508	0.000	0.000	0.000	15.196	7.433	$4.03 \times 10^{-14}$	2.101
2	0.635	0.000	0.506	0.499	0.362	25.024	7.880	$5.18 \times 10^{-09}$	1.304
3	0.000	0.486	0.000	0.000	0.000	15.299	7.298	$3.60 \times 10^{-14}$	2.100
4	0.365	0.007	0.494	0.501	0.638	28.269	7.310	$5.17 \times 10^{-09}$	1.304

Fonte: Os Autores.

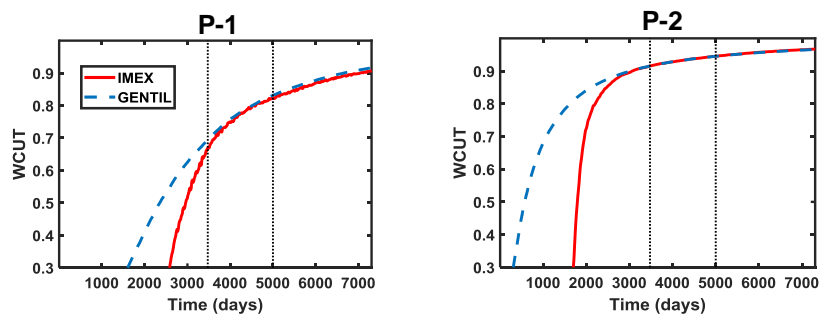


Figura 3: Previsão do WCUT para os poços P-1 e P-2. Fonte: Os Autores.

#### REFERÊNCIAS

ALBERTONI, A.; LAKE, L. Inferring Interwell Connectivity only from Well-Rate Fluctuations in Waterfloods. *SPE Reserv. Eval. Eng.*, v. 6(1), p. 6-16, 2003.

CAO, F.; LUO, H.; LAKE, L. W. **Development of a fully coupled two-phase flow based capacitance resistance model (CRM)**. In SPE Improved Oil Recovery Symposium. 2014. DOI: 10.2118/169485-M.

GENTIL, P. H. **The use of Multilinear Regression Models in Patterned Waterfloods: Physical Meaning of the Regression Coefficients**. Masters Thesis, The University of Texas at Austin. Austin/Texas (EUA), 2005.

LINS, H. K. F. **Métodos Baseados em Modelos de Capacitância e Resistência Dinâmicos em Reservatórios de Petróleo de Múltiplas Camadas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE (Brasil), 2018.

## Particle swarm algorithm for high dimension problems

Higor Vinicius Costa Silva<sup>1,\*</sup>, Silvana Maria Bastos Afonso da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Pernambuco

\* hygor.costa@ufpe.br

### RESUMO

Os algoritmos evolucionários são geralmente aplicados em problemas de otimização na busca pelas melhores soluções globais. Dentro desse grupo, o Método do Enxame de Partículas tem recebido atenção especial nas últimas décadas pela facilidade de implementação e velocidade de convergência, porém em problemas complexos, seu desempenho é degradado. Para analisar este efeito, o presente artigo fará uma comparação entre três versões deste algoritmo, procurando definir seu desempenho em funções analíticas. Os resultados apresentam que métodos com maior capacidade de exploração obtiveram melhores soluções.

**Palavras chaves:** Otimização. Método do Enxame de Partículas. Problemas de alta dimensionalidade.

### ABSTRACT

Evolutionary algorithms are usually applied in optimization problems in the search for the best global solutions. Within this group, the Particle Swarm Method has received special attention in the last decades for the ease of implementation and speed of convergence, but in complex problems, its performance is degraded. To analyze this effect, the present article will make a comparison between three versions of this algorithm and verify its performance in analytical functions. The results show that methods with higher exploration capacity obtain better solutions.

**Keywords:** Optimization. Particle Swarm Optimization. High dimension problems.

### 1. INTRODUCTION

Global optimization algorithms are requested to find better global solutions in complex problems with low or moderate dimensionality, but when the number of design variables increases, the performance is degraded by the exponential growth of the search space volume. In this context, several modifications were made in traditional methods like Particle Swarm Optimization (PSO) to improve its performance.

In this paper, three different methods were used: PSO (EBERHART & KENNEDY, 2015), Adaptive PSO (ZHAN et. al., 2009) and Social Learn PSO (CHENG & JIN, 2015), these methods were applied to solve two minimization problems: a unimodal function with high order dimension and a highly multimodal problem with lower dimensions. The aim of this study is to analyze their exploration capacity.

### 2. METODOLOGY

Particle Swarm Optimization (PSO) has recently take interest of the scientific community of metaheuristic techniques which operate on a population of potential solutions to explore the search space for optimization. PSO is based on natural behavior of birds, design proposed by Eberhart and Kennedy (1995), that update the position of potential solutions called particles, each one collects information by individual and group experience and advance in the search space updating position.

The traditional technique, cited before, was successfully applied for many optimization problems, however its performance remains limited in complex high dimension problems, which can lead the particles to a premature convergence.

Several techniques have been proposed to overcome this performance, two of them are studied here: the first one corresponds to an adaptive scheme to update the coefficients along the optimization, Adaptive PSO; the second one is a version with mechanisms that increase the exploration capacity, known as Social Learn PSO.

In the sequence, a brief presentation of these methods was made.

### 2.1. Particle Swarm Optimization

Each particle represents a potential solution in the search space  $R^D$ , its velocity defines the next position, as shown in the Eq. 1.

$$v_i^d(t+1) = w \cdot v_i^d(t) + c_1 \cdot r_1^d(t) \cdot [Pbest_i^d - x_i^d(t)] + c_2 \cdot r_2^d(t) \cdot [Gbest^d - x_i^d(t)] \quad (1)$$

Where  $Pbest_i^d$  represent the  $d$ -th design variable for the best solution found by the particle  $i$  so far;  $Gbest^d$  is the best solution found for the entire group;  $c_1$  and  $c_2$  are accelerations coefficients;  $r_1^d$  and  $r_2^d$  are random values;  $v_i^d(t)$  is the particle velocity at the  $t$ -th iteration;  $w$  is the inertia.

### 2.2. Adaptive PSO

The parameters at the traditional PSO are empirical and suggest by Eberhart and Kennedy (1995) as  $c_1 = c_2 = 2$  and  $0.4 \leq w \leq 0.9$ . The previous definition of this values can lead the solution to a loss of balance between exploration and exploitation, consequently, degrade the solution. For overcome this effect Zhan et. al. (2009) proposed updates for the coefficients along the optimization based on the four different phases of the process: convergence, exploitation, exploration and jump. The Figure 1 shows the relationship among them in function of the evolutionary factor.

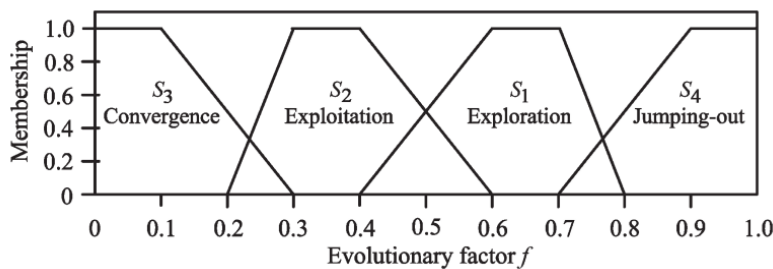


Figure 1- Diffusion function of the evolutionary states (Zhan et. al., 2009)

Where the evolutionary factor represents the spatial segregation between the best solution and the swarm, which is used to update the parameters  $c_1$ ,  $c_2$  and  $w$ .

### 2.3. Social Learning PSO

Because of premature convergence in high dimensional problems, Cheng and Jin (2015) proposed a novel PSO based in a social learn mechanism that have correlations with the crossover in genetic algorithms. In this case the best individual and global solutions won't

be any more saved in a historicity file, however each particle passes a be update by the particles with bests functions values than yours, known as demonstrators, according to Eq. 3:

$$x_{i,j}(t + 1) = \begin{cases} x_{i,j}(t) + \Delta x_{i,j}(t + 1), & \text{if } p_i(t) \leq P_i^L \\ x_{i,j}(t), & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

where the behavior correction can be written by Equation 4:

$$\Delta x_{i,j}(t + 1) = r_1(t) \cdot \Delta x_{i,j}(t) + r_2(t) \cdot I_{i,j} + r_3(t) \cdot \varepsilon \cdot C_{i,j}(t), \quad (4)$$

with:

$$\begin{cases} I_{i,j}(t) = x_{k,j}(t) - x_{i,j}(t) \\ C_{i,j}(t) = \bar{x}_j(t) - x_{i,j}(t) \end{cases} \quad (5)$$

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

To compare the efficiency of the presented schemes, two analytical functions were used. The first one is a traditional unimodal function, show in Eq. (6):

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2, \quad (6)$$

where  $D$  is the number of dimensions and  $x_i$  is the vector of design variables.

In this paper we utilized  $D = 200$  to verify the ‘curse of dimensionality’ effect, fixed the number of particles to 100 and number of iterations to 1000. The boundaries were delimited to  $[-100,100]$  and the global optimum solutions is  $f_1(x^*) = 0$ .

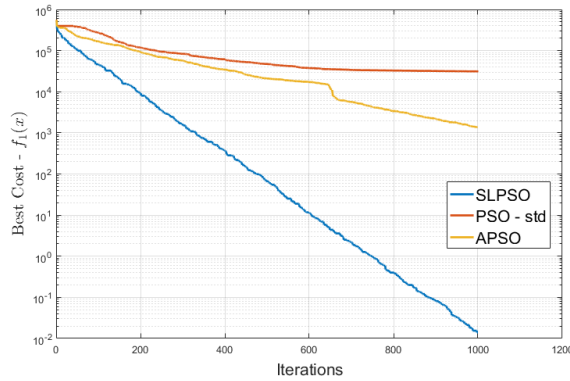


Figure 2 – Evolving trajectories of standard PSO, SLPSO and APSO for  $f_1(x)$ .

The Figure 2 illustrate the poor progression of the traditional versions of the PSO in high dimension problems, effect of the exponentially growth to the dimensional space volume. Clearly, the SLPSO presents the best performance in the  $f_1(x)$  problem.

The second problem,  $f_2(x)$ , is a highly multimodal function used in optimization tests to evaluate the exploration capacity of the method. The function can be expressed as Eq. (7):

$$f_2(x) = 418.9829D - \sum_{i=1}^D x_i \sin(\sqrt{||x_i||}). \quad (7)$$

Fixed  $D = 30$ , numbers of particles to 100 and number of iterations to 2000, furthermore the boundaries were defined as  $[-500, 500]$  with global solution equals a  $f_2(x^*) = 0$ .

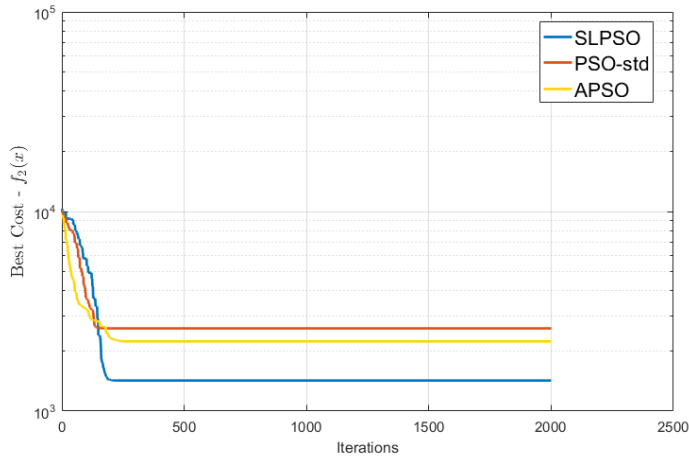


Figure 3 - Evolving trajectories of standard PSO, SLPSO and APSO for  $f_2(x)$ .

The solution show in Figure 3 reassert that the SLPSO has the best exploration capacity, although all the algorithms fail to find the global solution.

#### 4. CONCLUSIONS

This paper proposed a short comparative of three versions of the PSO, the results show that the traditional formulation has a highly degraded performance in high multimodal or high multidimensional problems. The adaptive formulation APSO improved this capacity but is far from the solution obtained by SLPSO.

That responses can be justified by the SLPSO strong exploration ability, that in some way has correlation with the genetic algorithms.

#### REFERENCES

EBERHART, R.; KENNEDY, J. A new optimizer using particle swarm theory. In: **IEEE. Micro Machine and Human Science**, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on., 1995. p. 39–43.

ZHAN, Z.-H. et al. Adaptive particle swarm optimization. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)**, IEEE, v. 39, n. 6, p. 1362–1381, 2009.

CHENG, R.; JIN, Y. A social learning particle swarm optimization algorithm for scalable optimization. **Information Sciences**, Elsevier, v. 291, p. 43–60, 2015.

## Simulação de fluxo 2D em reservatório de petróleo utilizando o Método de Redução por Condensação

Ricardo Pereira Guedes<sup>1\*</sup>, Jean Baptiste Joseph<sup>1\*</sup>, Leonardo José Do Nascimento Guimarães<sup>1\*</sup>, Paulo Marcelo Vieira Ribeiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)  
\*guedes.ricardo@gmail.com, jeanjbluxe@gmail.com, leojnguimaraes@gmail.com,  
paulo.marcelo.1980@gmail.com

### RESUMO

Na engenharia, para simular um problema real, necessita-se que seja resolvido sistemas matemáticos de alta complexidade, aumentando-se tanto o tempo de resolução no computador, como o tamanho do arquivo gerado e conseqüentemente o que se vai armazenar. Necessitando-se cada vez mais de computadores mais velozes e maior área de armazenamento. O presente artigo traz um trabalho de simulação de fluxo em elementos finitos para reservatórios de petróleo, utilizando a técnica de condensação pela redução de Guyan (GUYAN, 1965), onde de um conjunto de graus de liberdades totais se consegue reter uma certa quantidade de graus de liberdade reduzindo o problema e contribuindo para diminuir o processamento, gerando-se ganho computacional no processamento de grandes reservatórios e/ou regiões altamente discretizadas. Como resultado do trabalho foi gerado um código com algoritmo matemático utilizando a técnica de condensação no *Matlab* sendo assim possível resolver um fluxo em meio poroso. Os resultados encontrados nos estudos de 2D já demonstram que a técnica pode ser competitiva para problemas de grandes domínios.

**Palavras chaves:** Ganho computacional; Elementos finitos; Simulação de fluxo em reservatórios de petróleo.

### ABSTRACT

In engineering, to simulate a real problem, it is necessary to solve mathematical systems of high complexity, increasing both the resolution time on the computer, the size of the generated file and consequently what will be stored. Increasingly needing faster computers and larger storage area. This paper presents a work of finite element flow simulation for oil reservoirs, using Guyan reduction condensation technique (GUYAN, 1965), where from a set of total freedom degrees a certain amount of degrees can be retained. of freedom reducing the problem and contributing to slow processing, generating computational gain in the processing of large reservoirs and / or highly discretized regions. As a result of the work, a code with mathematical algorithm was generated using the condensation technique in Matlab so that it is possible to solve a flow in porous media. The results found in 2D studies already demonstrate that the technique can be competitive for large domain problems.

**Keywords:** Computational gain; Finite elements; Simulation of flow in oil reservoirs.

### 1. INTRODUÇÃO

Para caracterizar o fluxo em um reservatório de petróleo necessita-se de um trabalho conjugado de coleta e análises laboratoriais com o conhecimento da formação geológica para que se possa inferir sobre o comportamento presente e futuro do reservatório. A simulação computacional é uma ferramenta de baixo custo que proporciona às várias análises necessárias ao engenheiro de reservatório, possibilitando assim definir as principais ações a serem tomadas na produção do campo de petróleo.

A precisão das informações para as decisões do engenheiro de reservatório está relacionada com o tamanho e com a discretização do domínio do problema. Com o aumento da precisão, o problema ganha cada vez mais graus de liberdades, ou seja, mais variáveis, aumentando muito suas proporções e com isso contribuindo com o custo computacional, tanto

no processamento como no armazenamento destas informações. A proposta de solução para este problema é em utilizar um algoritmo matemático utilizando a técnica de condensação pela redução de Guyan (1965) para que se possa reduzir o sistema de equação com o particionamento do sistema de equação gerado, utilizando assim sistemas menores e ocasionando um ganho para o processamento computacional.

Com está proposta foi possível montar um pequeno código em *Matlab*, com o qual pode-se rodar um domínio 2D chegando a resultados convincentes, mostrados abaixo.

## 2. MÉTODOS

Na técnica de condensação de redução de Guyan (1965) utiliza-se a eliminação de graus de liberdade, o objetivo é eliminar todos os graus de liberdade de deslocamento associados aos graus de liberdades internos (ZU-QING QU, 2004).

Na redução por condensação em problemas estáticos a redução proporciona uma solução exata. O trabalho de fluxo é um problema transiente onde dependente da variável tempo, ou seja, a cada atualização do tempo o sistema de equações deverá ser novamente rodado para atualizar o fluxo. Levando à volta ao sistema de equações do passo anterior, para que a atualização seja executada a cada passo de tempo com a montagem de novos sistemas de equações atualizados.

Este algoritmo matemático foi montado em um código no *Matlab* onde foi rodado em um computador com configurações de processador Intel i7-7700 com 16 Gb de memória RAM.

## 3. MODELO NUMÉRICO

No problema de fluxo transiente consideramos um sistema de equação de primeira ordem conforme equação (1), onde  $K$ ,  $M$  são matrizes de dimensão  $n \times n$ ,  $Q$  é um vetor de dimensão  $n$ , e o  $x$  e  $\dot{x}$  são as incógnitas que são vetores também de dimensão  $n$ .

$$[K]\{x\} + [M]\{\dot{x}\} = \{Q\} \quad (1)$$

Na equação (1) teremos que  $K$  é a matriz de rigidez,  $M$  é a matriz de massa de fluxo,  $Q$  é o carregamento aplicado e  $\dot{x}$  e  $x$  são os valores dos graus de liberdades referente ao tempo e os valores de deslocamento dos graus de liberdades do problema transiente. Na técnica de redução por condensação se faz o particionamento do sistema em graus de liberdades do tipo mestre ( $m$ ) e escravos ( $s$ ),

$$\begin{bmatrix} K_{mm} & K_{ms} \\ K_{sm} & K_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_m \\ x_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{mm} & M_{ms} \\ M_{sm} & M_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_m \\ Q_s \end{Bmatrix} \quad (1)$$

a primeira linha corresponde às incógnitas do tipo mestre ( $m$ ), ao passo que a segunda corresponde às do tipo escravo ( $s$ ). Na técnica de condensação o objetivo é a construção de um sistema de equações definido apenas pelas incógnitas do tipo mestre. Desta forma, um sistema inicialmente de ordem  $n$  passa a ser representado de forma equivalente por um sistema de ordem  $m$ , onde  $m \ll n$ .

Com o sistema de primeira ordem todo montado na equação (2) foi feita uma simplificação para que pudesse utilizar a condensação estática como método de redução do nosso sistema de equações. Utilizado assim a concentração da massa dos graus de liberdade na sub matriz  $M_{mm}$ , o que gerou um novo sistema de equações, na qual chamamos de método pseudo-estático.

$$\begin{bmatrix} K_{mm} & K_{ms} \\ K_{sm} & K_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_m \\ x_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{total} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_m \\ Q_s \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Agora com a equação governante estática definida, necessita-se de introduzir a parte transiente com a incorporação do passo de tempo nas variáveis que serão atualizadas, utilizando-se do método generalizado trapezoidal (HUGHES, 1987).

$$[K]\{x_{n+1}\} + [M]\{\dot{x}_{n+1}\} = \{Q_{n+1}\} \quad (3)$$

O modelo de discretização temporal se apresenta como a equação abaixo,

$$\{u_{n+1}\} = \{u_n\} + (1 - \theta) \Delta t \{\dot{u}_n\} + \theta \Delta t \{\dot{u}_{n+1}\} \quad (4)$$

A nova equação governante transiente, passa a ser:

$$\left(\frac{[M]}{\theta \Delta t} + [K]\right) \{x_{n+1}\} = \{Q_{n+1}\} + [M] \left(\frac{1}{\theta \Delta t} \{x_n\} + \frac{(1-\theta)}{\theta} \{\dot{x}_n\}\right) \quad (5)$$

Para  $\theta > 0$  o sistema de equação é dito implícito, já para casos onde  $\theta > \frac{1}{2}$  os sistemas são estáveis e para o  $\theta=1$  o sistema é incondicionalmente estável, conforme a equação abaixo:

$$\left(\frac{[M]}{\Delta t} + [K]\right) \{x_{n+1}\} = \{Q_{n+1}\} + \left(\frac{1}{\Delta t} [M]\right) \{x_n\} \quad (6)$$

Chegando na equação (7) a qual foi usada no algoritmo matemático do código *Matlab*.

#### 4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Com o código em *Matlab* foi testado o tempo de processamento do código com o método pseudo-estático, confrontando-o com o tempo de processamento do código com o método de resolução clássico, o qual faz a montagem completa das matrizes.

No procedimento de teste para simulação foi construído um domínio de 1.000 x 1.000 metros onde colocou-se como condição de contorno uma pressão de referência em apenas um dos lados gerando um fluxo entre as duas extremidades opostas.



Figura 1 : a) dimensão do problema, b) indicação de pressão de referência – Fonte: Os autores

No processo de simulação usou-se três malhas com o mesmo tamanho de domínio, mas com discretizações diferentes, demonstrando-se passo a passo a importância do aumento dos graus de liberdade para com o tempo de processamento.

A primeira malha tinha 8.978 elementos com 4.624 nós, a segunda aumentou-se em quatro vezes o número de elemento passando para 35.912 elementos e 18.225 nós, chegando na terceira com um aumento um pouco menor, mas de quase três vezes chegando a 99.458 elementos e 50.176 nós. Para o caso do pseudo-estático o domínio foi dividido em 16 partes iguais conforme figura abaixo:

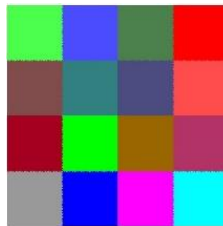


Figura 2 - Divisão do domínio– Fonte: Os autores

A divisão do domínio foi utilizada no código do pseudo-estático para concentrar a massa dos graus de liberdade como demonstrado na equação (3).



Rodando-se o código com a montagem completa das matrizes e com a condensação foi verificado os valores das pressões nas extremidades:

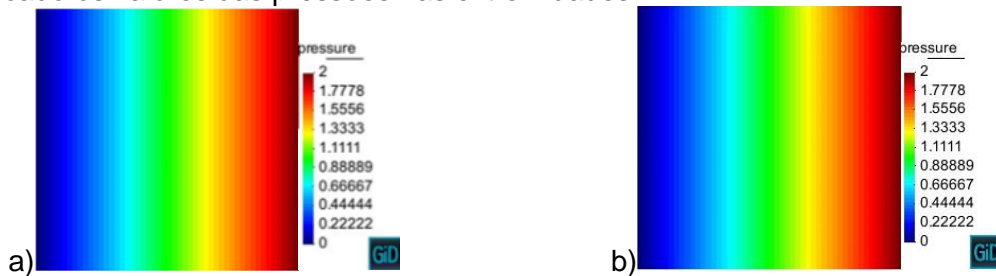


Figura 3 - Comparação de resultados do fluxo - a) código com as matrizes completa b) código pseudo-estático- Fonte: Os autores

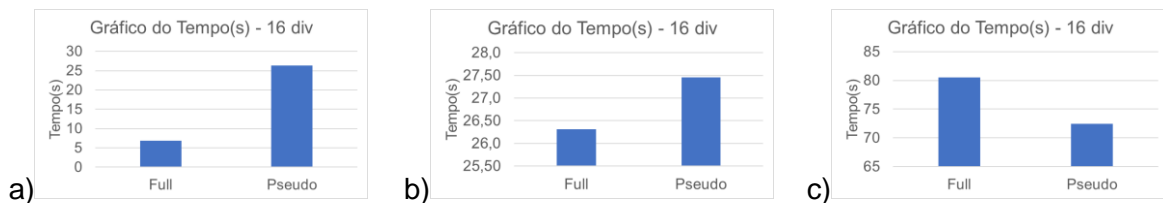


Figura 4 - Comparativo entre as discretizações feitas no domínio do tempo de processamento em segundos – Full para o código com a montagem completa e Pseudo para o código com redução de ordem onde a) , b) e c) são respectivamente referentes as malhas comentadas- Fonte: Os autores

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados conseguidos para uma simulação de fluxo em meio poroso em 2D, conforme o problema proposto no trabalho, demonstrou que com o aumento dos graus de liberdade o método tradicional de resolução de sistemas lineares no *Matlab* é bastante competitivo, mas, assim que se tem um aumento da discretização do problema, o método pseudo-estático se apresenta como uma solução de redução competitiva, conforme demonstrado na Figura 4.

## REFERÊNCIAS

- DAKE, L. P. **Engenharia de Reservatórios - Fundamentos**. Tradução de Carlos Emanuel Ribeiro Lautenschläger e Guilherme Lima Righetto. 1 ed. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014. 488 p.
- FLODÉN, O.; PERSSON, K.; SANDBERG, G. Reduction methods for the dynamic analysis of substructure models of lightweight building structures. **Computers and Structures**, 2014. 49-61. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/compstruc](http://www.elsevier.com/locate/compstruc)>.
- GUYAN, R. J. **Reduction of stiffness and mass matrices**, Downey, 3 n 2:380, 1965. 380.
- HUGHES, T. J. R. **The Finite Element Method - Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1987.
- LOGAN, D. L. **A First Course in the Finite Element Method - Sixth Edition**. [S.l.]: Cengage Learning, 2016.
- SCHILDERS, W. H. A.; VAN DER VORST, H. A.; ROMMES, J. **Model Order Reduction: Theory, Research Aspects and Applications**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

## *TECNOLOGIA AMBIENTAL*

---

## **Aproveitamento e gestão de águas pluviais para fins potáveis e não potáveis em ambiente urbano**

**Júlio Cesar Azevedo Luz de Lima<sup>1\*</sup>, Amanda Marcelle Pinto de Souza<sup>1</sup>, Malu Vitória Barbosa de Melo<sup>1</sup>, Sávila Gavazza dos Santos Pessôa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

\* juliocezarazevedo@gmail.com

### **RESUMO**

A captação de água da chuva pode ser eficiente na contemplação do abastecimento de água, seja para fins potáveis ou não potáveis. Apesar da alta qualidade inicial da água em alguns ambientes, a captação e armazenamento podem introduzir contaminantes que devem ser eliminados antes do consumo. Para proteger o consumidor da contaminação por microrganismos potencialmente prejudiciais, o DesviUFPE foi desenvolvido com o objetivo de reter parte das impurezas decorrentes do contato da água com a superfície de captação ou presentes na atmosfera. O presente artigo traz a avaliação quali-quantitativa da autossuficiência hídrica de prédios públicos que utilizam água de chuva como fonte de abastecimento, usando o DesviUFPE. Analisando preliminarmente a qualidade da água de chuva armazenada identifica-se que, todos os parâmetros físico-químicos estão abaixo do valor máximo permitido (VMP), atendendo a portaria de consolidação nº 05 de 28/09/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, exceto para parâmetros bacteriológicos. Portanto, com uma simples desinfecção é possível enquadrar a qualidade da água ao estabelecido na portaria, podendo ser utilizada para fins potáveis. Ao decorrer do artigo, será aprofundado a influência do DesviUFPE na melhoria da qualidade da água de chuva em meio urbano.

**Palavras chaves:** Captação de água; Água de chuva para uso potável; DesviUFPE; Qualidade da água de chuva.

### **ABSTRACT**

Rainwater catchment can be efficient on contemplating water supply, whether for potable or non-potable purposes. Despite the high initial quality of water in some environments, the catchment and storage may introduce contaminants that must be disposed before consumption. To protect the consumer from contamination by potentially harmful microorganisms, the DesviUFPE was developed and its main goal is to retain part of the impurities that appeared from the contact of the water with the surface of catchment or present in the atmosphere. This article brings the qualitative and quantitative evaluation of the water self-sufficiency of public buildings that use rainwater as a source of supply, applying DesviUFPE. Preliminary analysis of the quality stored rainwater identifies that, all physicochemical parameters analyzed are below the maximum allowable value, in accordance with Ordinance of Consolidation nº 05 of 09/28/2017, annex XX of the Ministry of Health, except for bacteriological parameters. Therefore, with a simple disinfection it is possible to frame the quality of water to the one established in the ordinance, and can be used for potable purposes. In the course of the article, the influence of DesviUFPE on improving the quality of rainwater in urban areas will be deepened.

**Keywords:** Water catchment; Rainwater for potable use; DesviUFPE; Rainwater's quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma grande problemática atual é o abastecimento de água, onde em muitas cidades devido ao desenvolvimento urbano e crescimento populacional, os sistemas de abastecimento de água estão com baixa confiabilidade operacional (IMTEAZ et al., 2013). Uma alternativa a isso é a captação e uso da precipitação, para fins potáveis e não potáveis.

Alves et al. (2014) mostram que, apesar de uma alta qualidade inicial da água da chuva, a captação e o armazenamento podem introduzir contaminantes que devem ser eliminados antes do consumo. Os autores concluem que, são necessários sistemas para melhoraria da qualidade da água coletada que devem ser empregados no ponto de uso.

Carvalho et al. (2018) indicam que o DesviUFPE exerce seu papel retendo parte das impurezas decorrente do contato da água da chuva com a superfície de captação ou presentes na atmosfera. A presente pesquisa traz uma aplicação urbana ao sistema, bem como a viabilidade de seu uso para a autossuficiência hídrica em prédios públicos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa que se encontra em desenvolvimento está sendo realizada em 2 prédios públicos, o Laboratório de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis (LITPEG) e a FIOCRUZ – Instituto Aggeu Magalhães. As análises seguem sendo realizadas nas instalações do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA). As unidades estão localizadas no campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no bairro da Cidade Universitária – Recife – PE.

### 2.1 Análise quantitativa para utilização de água pluvial

Existe o interesse da administração local de ambas as unidades que a água captada da chuva seja utilizada também para fins potáveis sem complementação por outra fonte de abastecimento, em quantidade suficiente e em todo período do ano. Sendo assim, esta pesquisa foi planejada para ser desenvolvida em etapas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das etapas de trabalho

Etapa	Objetivo
1	Levantamento da área de captação e volume de reservação existentes.
2	Realizar balanço hídrico avaliando demanda e pluviometria local
3	Determinar capacidade de reservação necessária para atendimento da demanda
4	Projetar / adequar sistema de reuso de água pluvial
5	Análise econômico-financeiro do sistema proposto
6	Manualização da operação

### 2.2 Análise de qualitativa da água de chuva armazenada

Na captação de água de chuva urbana para fins potáveis, além das características microbiológicas, é importante eliminar os poluentes atmosféricos que são lavados durante a precipitação e transferidos para a água armazenada.

Os parâmetros analisados e os métodos são apresentados na Tabela 2, acrescido da determinação de metais (Al, Pb, Fe, Zn, Mg e Mn), que será feito por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com APHA et al. (2005).

Tabela 2 – Métodos de análise dos parâmetros investigados

Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods	Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods
Cor aparente	Nefelométrico	2120 C	Condutividade elétrica	Com uso do condutivímetro	2510 B
Cor verdadeira	Nefelométrico	2120 C	Sólidos totais dissolvidos (STD)	Gravimetria	2540 B
Turbidez	Nefelométrico	2123 B	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Membrana filtrante	9223 B
Alcalinidade total	Titulométrico	2320 B	Chumbo	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Cloretos	Método de Mohr	4500 B	Alumínio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Dureza total	Titulométrico	2340 C	Zinco	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Potencialidade de captação e utilização de água de chuva em ambiente urbano

A área de captação da FIOCRUZ será toda cobertura do Bloco D, com área total de 90 m<sup>2</sup>. Considerando uma precipitação média anual de 2417,6 mm teremos um potencial de aproveitamento totalizando 217,58 m<sup>3</sup> de água por ano.

Em relação ao LITPEG a área de captação disponível é de 2235,62 m<sup>2</sup>. Considerando a mesma média anual de precipitação utilizada na FIOCRUZ o volume de água de chuva aproveitamento por ano será de 5404,84 m<sup>3</sup>.

Analisando preliminarmente a qualidade da água de chuva já armazenada nas cisternas inferiores enterradas (P1 e P2) e na cisterna superior (P3) do LITPEG, observa-se que todos os parâmetros estão abaixo do valor máximo permitido (VMP), atendendo a portaria de consolidação n° 05 de 28/09/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, exceto para parâmetros bacteriológicos (Tabela 3). Os demais parâmetros previstos na Tabela 1 ainda precisam ser avaliados e o DesviUFPE instalado.

Tabela 3 – Qualidade da água de chuva nos reservatórios do LITPEG

Parâmetros	Unidades	P1	P2	P3	VMP
Cor aparente	uH	0	0	0	15
Turbidez	uT	1	0	2	5
Condutividade elétrica	µS/cm	191,4	107,2	53,7	-
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	90,7	50,8	25	1000
Cloretos	mg Cl/L	16,95	7,4	4,59	250
Alcalinidade total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	52	29,3	13,4	-
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	42	28	15	500
Coliformes totais	NMP/100 mL	5,83 x 10	>2,42 x 10 <sup>3</sup>	2,42 x 10 <sup>3</sup>	ausente

### 3.2 Desempenho do DesviUFPE na melhoria da qualidade da água

Foram analisados inicialmente apenas cinco parâmetros, cor, turbidez, pH, E.coli e Coliformes Totais nos reservatórios da FIOCRUZ, por já possuir o DesviUFPE instalado. Os demais parâmetros ainda serão investigados. O valor máximo permitido (VMP) é referente a portaria de consolidação nº 05 de 28/09/2017, anexo XX do Ministério da Saúde. Todas as análises foram realizadas em até 24 horas após a coleta.

Observa-se que a cor, turbidez e pH da água armazenada no reservatório da FIOCRUZ estão de acordo com o VMP determinado pela portaria. Em relação aos parâmetros bacteriológicos foi identificado em todas as amostras presença de coliformes totais e ausência de E.coli (Tabela 4).

Tabela 4 – Qualidade da água de chuva no reservatório da FIOCRUZ

Parâmetros	Unidades	30/01/2019	20/02/2019	04/04/2019	VMP
Cor aparente	uH	33	20	10	15
Turbidez	uT	14	3	0	5
pH	-	6,8	6,8	6,7	6 - 9,5
E.coli	UFC/100 mL	0	0	0	ausente
Coliformes totais	UFC/100 mL	490	500	480	ausente

## 4. CONCLUSÕES

Carvalho et al. (2018) já atestou a eficiência do uso do sistema DesviUFPE na melhoria da qualidade da água da chuva para uso humano em meio rural. Os resultados preliminares apresentados mostram que o mesmo mantém sua efetividade ao ser aplicado em ambientes urbanos, como visto na análise feita nos reservatórios da FIOCRUZ, com parâmetros abaixo do valor máximo permitido (VMP), atendendo a portaria de consolidação nº 05 de 28/09/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, exceto para parâmetros bacteriológicos. Assim, sendo necessária apenas uma desinfecção simples, caso se deseje utilizar a água para fins potáveis.

Os prédios utilizados como laboratórios experimentais apresentam grande potencial para implementação de um sistema hídrico autossuficiente, com o uso de água da chuva, porém para atestar a viabilidade desta aplicação é necessário um estudo mais aprofundado, que será realizado com o andamento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F.; KOCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S.; M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid áreas in Brazil. **Journal of Water and Health**. v. 12(3); p. 513-525, 2014.
- APHA – American Publishers Health Association. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 21th ed. American Publishers Health Association Washington DC, USA, 2005.
- CARVALHO, J. R. S.; LUZ, J.; SANTOS, S.M.; GAVAZZA, S. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving Rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. **Journal of Water and Health**. v. 16, p. 391-402, 2018.
- IMTEAZ, M.A., AHSAN, A., SHANABLEH, A. **Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: variations within a large city**. Resources, Conservation and Recycling. 77, 37 e 43, 2013.
- LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. Dissertação, 101 p. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

## Biodegradação de anilina em condições anaeróbia e anóxicas: ecologia microbiana e influência dos íons nitrato e sulfato

José Roberto Santo de Carvalho<sup>1\*</sup>, Rhayssa de Brito Silva<sup>1</sup>, Maria de Lourdes Florêncio<sup>1</sup>, Mario Takayuki Kato<sup>1</sup>, Sávía Gavazza dos Santos Pessoa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)  
jrservalho@outlook.com, savia@ufpe.br

### RESUMO

A fabricação, transporte e uso de anilina tem gerado sérios problemas ambientais. A anilina tem sido liberada no meio ambiente através da descarga de efluentes industriais e vazamentos de produtos químicos. Infelizmente, esta substância química apresenta efeitos tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos significativos na vida selvagem e nos seres humanos.

Neste trabalho foi utilizada uma cultura microbiana adaptada a efluente têxtil (CET) para degradação de 2.8 mg/L de anilina utilizando microcosmos operando em quatro condições distintas: (M2) estritamente anaeróbia; (M4) anóxica com 13 mg de  $\text{NO}_3^-$ /L; (M3) anóxica com 180 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /L; e um controle abiótico (M1). A anilina foi removida completamente em três realimentações, nos microcosmos M2, M3 e M4, em períodos 70-85 dias. A taxonomia observada e a falta de correlação com os íons nitrato e sulfato, sugerem que a biodegradação da anilina ocorreu através de consórcio entre microrganismos fermentativos e metanogênicos.

**Palavras-chave:** Degradação anaeróbia; anilina; aceptores de elétrons; ecologia microbiana.

### ABSTRACT

The manufacture, transport and use of aniline have generated a serious environmental issue. The aniline has been generally released into the environment through the discharge of industrial wastewater, and chemical spills. Unfortunately, this chemical exhibits significant toxic, carcinogenic and mutagenic effects on both wildlife and humans. In this work a textile effluent adapted culture (TAC) was used for the degradation of 2,8 mg/L of aniline using microcosms operating in four different conditions: (M2) strictly anaerobic; (M4) anoxic with 13 mg of  $\text{NO}_3^-$ /L; (M3) anoxic with 180 mg  $\text{SO}_4^{2-}$ /L; and an abiotic control (M1). The aniline was completely removed in three feedings, in M2, M3 and M4, in periods of 70-85 days. The taxonomy observed in TAC and the lack of correlation, between aniline removal and nitrate and sulfate removal, suggests that the biodegradation of the aniline occurred through a consortium between fermentative and methanogenic microorganisms leading by *Methanosaeta* as the most abundant genus.

**Keywords:** Anaerobic degradation; aniline; electron acceptors; microbial ecology.

### 1. INTRODUÇÃO

A biodegradação da anilina é um importante processo de remediação em solos e ambientes aquáticos, devido às características carcinogênicas e tóxicas que esse composto possui (USEPA, 1985). As formas mais comuns de contaminação por anilina no meio ambiente, geralmente acontece através de derramamentos acidentais e lançamentos indevidos de indústrias de corantes, pesticidas e farmacêuticas.

O conhecimento atual sobre as rotas de biodegradação da anilina, apontam o uso de culturas puras ou consórcios microbianos sob condições aeróbias, como as rotas mais consolidadas de biodegradação. Entretanto, o conhecimento sobre a degradação da anilina em ambiente anaeróbio, permanece limitado. A biodegradação da anilina sob diferentes condições redox tem sido estudada em alguns trabalhos recentes, com resultados positivos

apresentados, quando em condições nitrificantes, e na presença de sulfato (KAHNG et al., 2000). Apesar desses resultados favoráveis, a falta de informações detalhadas e o pequeno número de trabalhos sobre esse tema, ainda são insuficientes para entender de forma consolidada os processos e os microrganismos envolvidos nas rotas de degradação da anilina em ambiente anaeróbico e anóxico.

Neste trabalho uma cultura de microrganismos adaptada ao tratamento de efluente têxtil foi utilizada em um ensaio de biodegradação da anilina. A cultura foi inoculada em microcosmos sob condições anóxicas, onde sulfato e nitrato foram adicionados como aceptores de elétrons, e em condição anaeróbia metanogênica. As eficiências de remoção da anilina foram monitoradas em cada condição, simultaneamente ao consumo dos íons nitrato e sulfato, observando a correlação entre eles. As informações taxonômicas da cultura utilizada foram acessadas através de sequenciamento massivo do 16S rDNA.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Cultura adaptada a efluente têxtil (CET)

Uma cultura de microrganismos adaptada durante 5 anos para tratar efluente têxtil, serviu de inóculo para realizar os testes de biodegradação da anilina. Foram utilizados 12 mL da cultura adaptada a efluente têxtil (CET) em frascos de penicilina com volume total de 100 mL, resultando em um teor de 2,5 g/L de sólidos suspensos voláteis (SSV). Esses frascos são referenciados nesse trabalho como microcosmos.

### 2.2 Meio basal (MB)

Um meio basal (MB) adaptado de Florencio et al. (1993) e Edwards & Grbic-Galic (1994), foi utilizado para garantir as condições nutricionais necessárias ao acondicionamento da CET nos microcosmos. O meio basal utilizado possuiu a seguinte composição (mg/L):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (140);  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (286);  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (357);  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (32);  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (16);  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (0,4);  $\text{ZnCl}_2$  (0,13);  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (0,13);  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (0,99);  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (1,33);  $\text{CuCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (0,13);  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (1,99);  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  (0,03);  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  (0,13);  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (83,3); resazurina (0,66);  $\text{NaHCO}_3$  (13,33). Após preparado, o MB foi imediatamente acondicionado em uma câmara anaeróbia (Glove-box 818GB, Plaslabs®), preenchida com uma mistura de gás na proporção de 20%  $\text{CO}_2$  e 80%  $\text{N}_2$ . Todo experimento foi conduzido dentro da câmara anaeróbia garantindo ambiente livre de oxigênio atmosférico.

### 2.3 Montagem dos microcosmos

Os microcosmos foram operados em quatro condições distintas, em triplicata: estritamente anaeróbia; anóxica com adição inicial de 13 mg de  $\text{NO}_3^-$ /L; anóxica com adição de 180 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /L; e por último foi montado um controle abiótico sem a utilização da CET. Em cada microcosmo foi estabelecido um volume útil máximo de 80 mL, resultando em um *headspace* de 20% do volume total, purgado com uma mistura  $\text{N}_2/\text{CO}_2$  (80:20 v/v) durante 5 minutos. Foi adicionada em todos os microcosmos uma concentração inicial de anilina de 2,8 mg/L, que era realimentada sempre que alcançava valores próximos de zero.

### 2.4 Procedimentos analíticos

Para quantificação da concentração de anilina nos microcosmos foi utilizado cromatógrafo do tipo HPLC SHIMADZU LC-20AT Shim-pack CLC-ODS (M), com coluna de fase reversa LiChospher® 100 RP. A fase móvel foi composta por metanol (grau HPLC), como solvente B, e tampão fosfato de sódio (5 m M, pH= 7,00), como solvente A. O fluxo da fase móvel foi de 0,8 mL.min<sup>-1</sup>, aplicado em fase móvel com condições isocráticas, 30%, para solvente B; e 70% para solvente A. As amostras foram lidas em comprimento de onda de 230nm.



Para quantificação dos íons nitrato e sulfato foi utilizado cromatógrafo de íons (Dionex, ICS-2100) com amostrador automático, de acordo com o método 4110B em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Biodegradação da anilina

As concentrações de anilina inicialmente medida em todas as triplicatas ( $2,5 \pm 0,2$  mg/L) manteve-se inalterada por aproximadamente 70 dias (Figura 1), indicando uma fase de adaptação microbiana (fase *lag*). Após essa fase a anilina começou a ser removida em M2, M3 e M4. No dia 163 as concentrações atingiram valores próximos de zero para M2 e M3, apresentando eficiências de remoção de  $98,40 \pm 0,05$  e  $98,32 \pm 0,02\%$ , respectivamente. A triplicata da condição anóxica com nitrato (M4) apresentou remoção de  $61,47 \pm 18,33\%$  de anilina para esse mesmo intervalo de tempo. A triplicata abiótica não apresentou nenhuma diminuição significativa na concentração de anilina durante o período observado, o que suporta a degradação biológica dos outros sistemas.

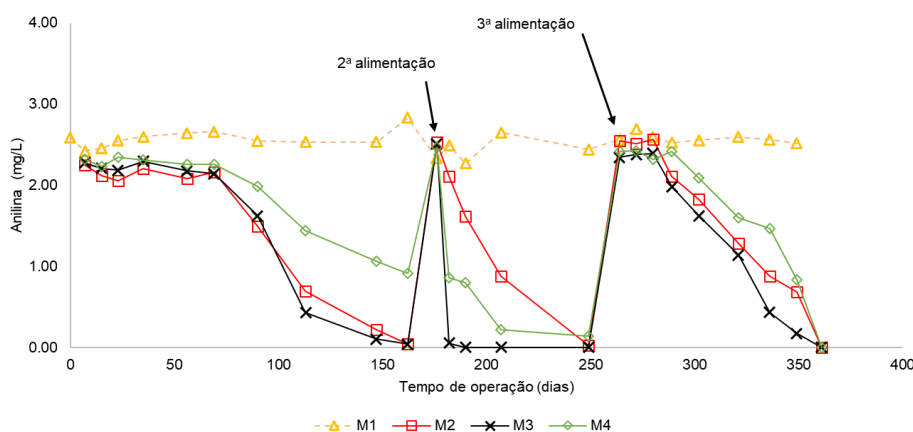


Figura 1. Concentração média da anilina nas triplicatas para as condições: M1 ( $\Delta$ ) abiótico, M2 ( $\square$ ) controle anaeróbico, M3 ( $\times$ ) anóxico com sulfato, M4 ( $\diamond$ ) anóxico com nitrato, ao longo do tempo de operação. Fonte: Os autores.

A partir do dia 177 foi realizada uma segunda alimentação na concentração da anilina. Foi observada a remoção completa da anilina nas condições M2, M3 e M4 em um período de 70 dias, com destaque para a triplicata M3 que levou apenas 7 dias para completa degradação da anilina, demonstrando uma melhor adaptação microbiana ao composto. Uma terceira e última alimentação na concentração de anilina foi realizada no dia 264. As condições M2, M3 e M4 apresentaram cinética de degradação semelhante após a terceira alimentação, entretanto o intervalo de tempo necessário para a remoção completa da anilina foi maior (89 dias), se comparado com o intervalo de tempo da segunda alimentação (70 dias). Por se tratar de um experimento em um sistema fechado os microcosmos após sucessivas realimentações podem acumular subprodutos provenientes da degradação da anilina no sistema. Esses subprodutos por sua vez, podem apresentar toxicidade à microbiota desenvolvida nos microcosmos, retardando o processo de degradação ou até mesmo inibindo o metabolismo dos microrganismos envolvidos.

#### 3.2 Influência dos íons sulfato e nitrato

A concentração média medida do sulfato em M3 no início do experimento foi de  $175,83 \pm 37,07$  mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Foi observado que a remoção do sulfato acontece antes mesmo da remoção da anilina. Até o dia 57, 70,6 % do sulfato já havia sido consumido, enquanto a anilina

ainda não apresentava indícios de degradação nesse mesmo intervalo de tempo. O consumo inicial do sulfato (até o dia 57) sem consumo de anilina, indica que a anilina não foi utilizada como doadora de elétrons para redução de sulfato. Algum outro doador de elétrons foi utilizado pelas BRS para degradação de 124,57 mg/L de sulfato. A endogenia do lodo é uma das possibilidades.

Quanto ao monitoramento das concentrações de nitrato foi observado um rápido consumo de nitrato ao longo de todo o experimento. A cada alimentação realizada, referente a  $13 \pm 2,17$  N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L o consumo total era alcançado em um intervalo máximo de 7 dias. Esse comportamento se repetiu ao longo de todo experimento. No total foram realizadas 9 alimentações de nitrato, totalizando  $117 \pm 19,53$  de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. Diante desses resultados, não há indícios de que o consumo de nitrato esteja relacionado diretamente com a degradação da anilina.

### 3.3 Ecologia microbiana

O gênero metanogênico *Methanosaeta*, apresentou abundância relativa acima de 30%, em M2, M3 e M4, indicando que condições metanogênicas foram bem estabelecidas nos microcosmos. Em condições redox semelhante, utilizando microcosmos, Sun et al. (2015), conseguiram remoção completa de 0,4 mM de anilina em condições anaeróbias, indicando membros da família *Anaerolineaceae* diretamente envolvidos na biodegradação do isótopo anilina-C<sup>13</sup> através de consorcio metanogênico. Neste trabalho a família *Anaerolineaceae* encontrou condições favoráveis para crescimento, aumentando a abundância relativa (AR) de 0,48% no início do experimento para 3,79%, 4,22% e 6,75%, respectivamente a M2, M3 e M4, com principal representante a espécie *Ornatilinea apprima*.

## 4. CONCLUSÕES

A cultura CET foi capaz de degradar completamente uma concentração de 2,8 mg/L de anilina em condições anaeróbias. A adição dos íons sulfato e nitrato não influenciou de forma direta o processo de biodegradação da anilina, entretanto, os íons foram utilizados pela cultura em outros processos paralelos. A taxonomia observada na CET e a falta de correlação com os íons nitrato e sulfato, sugere que a biodegradação da anilina ocorreu através de consórcio entre microrganismos fermentativos e metanogênicos, com principais representantes os gêneros *Methanosaeta* (30-47%), *Ornatilinea* (3-6%), *Mesotoga* (6-14%) e *Petrimonas* (7-13%).

## REFERÊNCIAS

- EDWARDS, E. A.; GRBIC-GALIC, D. Anaerobic degradation of toluene and o-xylene by a methanogenic consortium. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 60, n. 1, p. 313–322, 1994.
- FLORENCIO, L., JENIČEK, P., FIELD, J.A., LETTINGA, G. Effect of cobalt on the anaerobic degradation of methanol. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 75, n. 5, p. 368–374, 1993.
- KAHNG, H. Y.; KUKOR, J. J.; OH, K. H. Characterization of strain HY99, a novel microorganism capable of aerobic and anaerobic degradation of aniline. **FEMS Microbiology Letters**, v. 190, n. 2, p. 215–221, 2000.
- SUN, W., LI, Y., MCGUINNESS, L.R., LUO, S., HUANG, W., KERKHOF, L.J., MACK, E.E., HÄGGBLUM, M.M., FENNELL, D.E.L. Identification of Anaerobic Aniline-Degrading Bacteria at a Contaminated Industrial Site. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 18, p. 11079–11088, 2015.

## Biodegradação do 2,4-Diaminoanisol (DAAN), produto reduzido de um composto insensível de munições, sob diferentes condições de oxirredução

Osmar Menezes <sup>1,2</sup>, Natanna Melo <sup>1,\*</sup>, Matheus Paraíso <sup>1</sup>, Danúbia Freitas <sup>1</sup>, Lourdinha Florêncio <sup>1</sup>, Mario Takayuki Kato <sup>1</sup>, Sávía Gavazza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), Recife, PE, Brasil.

<sup>2</sup> The University of Arizona, Department of Chemical and Environmental Engineering, Tucson, AZ, USA.

\* natanna.melo@ufpe.br

### RESUMO

Estratégias para biorremediação de uma amina aromática, 2,4-diaminoanisol (DAAN), foram estudadas neste trabalho. As condições testadas foram: sem aceptor de elétrons (com e sem piruvato), aeróbia, desnitrificante e redutora de sulfato. Lodo anaeróbio-microaerofílico do tratamento de efluente têxtil e lodo anaeróbio do tratamento de efluentes petroquímicos foram utilizados como inóculo numa proporção 1:2, respectivamente. Controles abióticos com os diferentes aceptores de elétrons e controle com lodo autoclavado também foram testados. O controle com lodo autoclavado mostrou saturação de DAAN após 53 dias. A condição aeróbia foi a que mostrou a degradação mais rápida, sendo boa parte devido à autoxidação abiótica do DAAN quando exposto ao oxigênio. Autoxidação do DAAN não foi observada nas demais condições. A condição biótica contendo nitrato apresentou boa taxa de consumo na primeira injeção do composto, porém sua cinética decaiu com as injeções subsequentes. As condições sem aceptor de elétrons (com e sem piruvato) e com sulfato, apresentaram comportamento similar entre si. Todas as condições indicaram haver degradação biológica do DAAN, porém em taxas distintas, variando de 0,04 d<sup>-1</sup> na condição desnitrificante até 0,88 d<sup>-1</sup> para condição aeróbia.

**Palavras chaves:** Aminas aromáticas; Nitroaromáticos; Biorremediação; Compostos insensíveis de munição; Aceptores de elétrons.

### ABSTRACT

Strategies for bioremediation of an aromatic amine, 2,4-diaminoanisole (DAAN) were tested in this work. The essayed conditions were: no electron acceptor (with and without pyruvate), aerobic, denitrifying, and sulfate reducing. Anaerobic-microaerophilic sludge from textile wastewater treatment and anaerobic sludge from petrochemical treatment were used as inoculum in a proportion of 1:2, respectively. Abiotic and heat-killed controls were also performed. Heat-killed sludge showed DAAN saturation after 53 d. The aerobic condition showed the faster consumption, partially due to DAAN autoxidation. DAAN autoxidation was not observed in the other conditions. The biotic condition with nitrate showed a good consumption rate in the first injection of the compound, but its consumption began to slow down in the subsequent injections. The conditions with no electron acceptor (with and without pyruvate) and with sulfate showed a similar behavior. All conditions indicated the occurrence of DAAN biodegradation, but with different consumption rates, varying from 0.04 d<sup>-1</sup> in the denitrifying condition to 0.88 d<sup>-1</sup> in the aerobic condition.

**Keywords:** Aromatic Amine; Nitroaromatic; Biorremediation; Insensitive munitions compound; Electron acceptors.

## 1. INTRODUÇÃO

Compostos insensíveis de munições (IMCs) estão substituindo os explosivos convencionais na indústria de munição devido a sua maior estabilidade, proporcionando um menor risco de explosões acidentais (DAVIES & PROVATAS, 2006). Alguns IMCs são nitroaromáticos, nos quais a principal via de degradação biológica é anaeróbia, com o grupo nitro sendo reduzido a um grupo amina (-NH<sub>2</sub>), formando uma amina aromática (FIELD et al., 1995). As aminas aromáticas formadas podem ser mais tóxicas que o próprio composto inicial. Esta biotransformação acontece no meio ambiente em locais com difícil acesso a oxigênio, contaminados por lançamentos de efluente industrial ou detonação de explosivos no solo, por exemplo, havendo a necessidade de biorremediação.

As aminas aromáticas podem ser bastante resistentes à biodegradação anaeróbia devido à forte estabilidade química da estrutura aromática, embora passível de metabolização em aeróbios. No entanto, a escassez de oxigênio em alguns ambientes faz com que os microrganismos encontrem estratégias para degradá-las anaerobiamente (FUCHS et al., 2011), como o uso de aceptores de elétrons ou metabolismo fermentativo.

Neste contexto, investigamos a degradação do 2,4-diaminoanisol (DAAN), amina aromática proveniente da biodegradação do 2,4-dinitroanisol (DNAN), sob diferentes condições de aceptores de elétrons.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Inóculo e meio basal

DAAN (C<sub>7</sub>H<sub>10</sub>N<sub>2</sub>O, peso molecular: 138,17g/mol, CAS # 615-05-4, padrão analítico), foi adquirido da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). O meio basal foi composto de (mg/L): K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (250), CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (10), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (100), MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (100), NH<sub>4</sub>Cl (280), NaHCO<sub>3</sub> (160) e 1 mL/L de solução de micronutrientes. A solução de micronutriente era composta de (mg/L): H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (50), FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (2000), ZnCl<sub>2</sub> (50), MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (2000), (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O (50), AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (90), CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (2000), NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (50), CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (100), EDTA (1000), resazurina (2000), HCl 36% (1 mL/L).

O inóculo utilizado neste estudo foi uma mistura de um lodo anaeróbio-microaerófilico de um reator tratando efluente têxtil e um lodo granular anaeróbio de um reator de manta de lodo (UASB) tratando efluentes petroquímicos, misturados em proporção 1:2, respectivamente. O lodo foi elutriado cinco vezes em tubos falcon de 50 mL, adicionando água deionizada e centrifugando a 3500 rpm durante 10 minutos. Uma concentração de 5 gSSV/L foi adicionado ao licor misto de cada reator.

### 2.2 Ensaios de biodegradação do DAAN

A biodegradação do DAAN foi investigada em condições semceptor de elétrons (com e sem adição de piruvato), aeróbia, desnitrificante e redutora de sulfato. Os ensaios foram realizados em frascos de penicilina (microcosmos), de 100 mL (120 mL nos com oxigênio), vedados com tampas de butila e lacres de alumínio. O volume final da fase líquida foi de 80 mL. O oxigênio foi purgado com uma mistura de N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> (80/20%) durante 4 min nas condições anaeróbias. Foram usados como aceptores de elétrons (em mg.L<sup>-1</sup>): Piruvato (100), nitrato (80) e sulfato (100). Na condição de oxigênio, uma agulha hipodérmica através da tampa de butila, conectada a um filtro de 0,45 µm, no exterior, promoveu a troca gasosa no meio. Uma concentração subtóxica de DAAN de 176 µM (OLIVARES et al., 2016), capaz de causar 50% de inibição em metanogênicas fermentativas, foi adicionada em todos os microcosmos. Ensaios abióticos (sem lodo) e com lodo inativo foram incluídos. O lodo inativo foi preparado por três dias consecutivos, sendo autoclavado, durante 1 hora no

primeiro dia e 30 min nos próximos 2 dias. Cada condição foi testada em triplicata. A concentração de DAAN foi reposta após o consumo total, por 2 vezes.

### 2.3 Método cromatográfico

Amostras líquidas eram coletadas periodicamente e analisadas através de um HPLC-DAD Shimadzu LC-20AT, acoplado a um detector de arranjo de diodos (HPLC-DAD). Para quantificação de DAAN foi utilizada coluna Zorbax Eclipse XDB-C18 a 30 °C, com tampão metanol/fosfato 5mM (46/54% v/v), detectado em 210 nm, com tempo de retenção de 6,5 min.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas condições bióticas testadas, o DAAN foi completamente consumido, porém em diferentes taxas (Figura 1). Entretanto, ao investigar se o DAAN poderia ser abioticamente consumido por lodo inativo, constatou-se total decaimento de sua concentração após 7 dias (Figura 1a). Contudo, após a segunda injeção, a cinética de adsorção diminuiu gradativamente até ficar constante, indicando que o lodo saturou após 53 dias. A rápida adsorção na primeira injeção de DAAN pode ser explicada pela técnica de inativação dos microrganismos por autoclavagem que, após o rompimento das células, gera uma maior área superficial, adsorvendo maiores quantidades de DAAN.

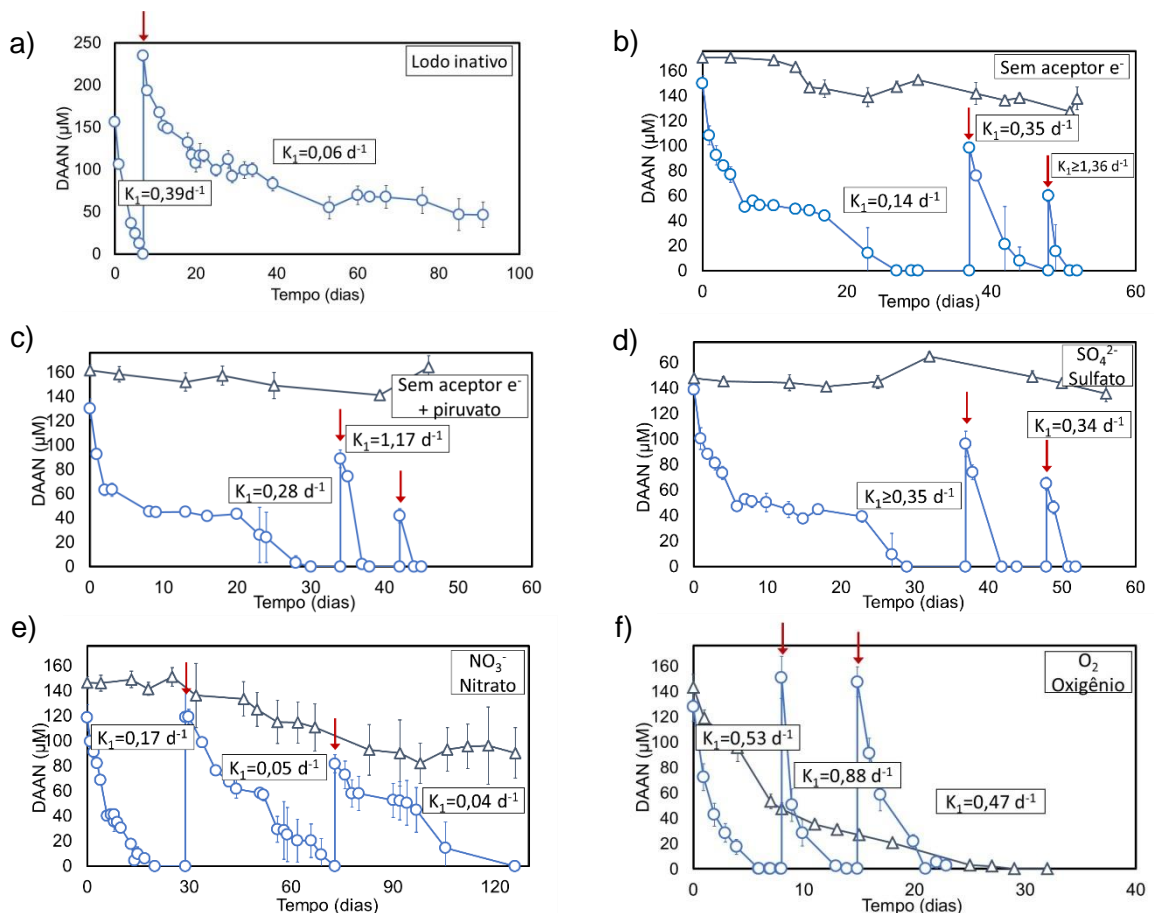


Figura 1: Concentração de DAAN nos microcosmos com lodo (bióticos) (○) e sem lodo (abióticos) (△) ao longo do tempo. ↓ indica injeção de DAAN. Fonte: Os Autores.

Para analisar se existiu biodegradação, as taxas de consumo de DAAN em lodo inativo e em contato com os diferentes aceptores de elétrons foram descontadas da taxa de degradação em lodo vivo para todas as condições. Após a primeira injeção, o consumo de DAAN foi mais lento nos microcosmos com lodo vivo do que nos com lodo inativo. No

entanto, após a segunda e terceira injeções, as taxas de consumo nos reatores bióticos foram maiores, indicando que pode ter havido biodegradação nas condições testadas.

As condições sem acceptor de elétrons (Figura 1b), sem acceptor de elétrons com adição de piruvato (Figura 1c) e com adição de sulfato (Figura 1d) apresentaram comportamento semelhante na degradação do DAAN. Os resultados demonstram que, na primeira injeção de DAAN, houve um rápido decréscimo do composto, podendo ser justificada pela adsorção do composto pela biomassa contida nos reatores (Fase 1). Em seguida, houve uma estabilização, indicando uma fase de latência necessária para a adaptação da comunidade microbiana (Fase 2). Por fim, o DAAN voltou a ser consumido, indicando possível degradação biológica do DAAN. A duração das Fases 1 e 2 juntas correspondem a fase lag, que durou 20,17 e 23 d, respectivamente, para as condições sem acceptor de elétrons, com piruvato e com sulfato. A adição de piruvato (Figura 1c) fez com que o consumo de DAAN fosse mais rápido na segunda e terceira injeções quando comparadas as mesmas etapas do sem acceptor de elétrons sem adição do co-substrato.

Na condição com nitrato (Figura 1e), o DAAN foi consumido mais rapidamente na primeira injeção, comparado as condições anaeróbias (com ou sem piruvato) e com sulfato, e sem fase de latência. Contudo, nas injeções subsequentes de DAAN, as taxas de consumo foram as menores observadas em todos os tratamentos com lodo vivo. Os microcosmos que continham oxigênio (Figura 1f) foram os que apresentaram a maior taxa de consumo de DAAN, nas três injeções. Apesar desta condição ter sido a única a consumir completamente o DAAN abioticamente, sugerindo autooxidação do DAAN, o decaimento foi inferior quando comparado ao seu respectivo biótico. Sendo assim, a biodegradação pode ter sido responsável por uma parcela do consumo de DAAN.

#### 4. CONCLUSÕES

As condições sem acceptor de elétrons (com e sem piruvato) e com sulfato, apresentaram um comportamento similar entre si, embora a condição com piruvato tenha taxa de decaimento mais rápida a partir da segunda injeção do DAAN. A condição contendo nitrato apresentou rápido decaimento na primeira injeção de DAAN, 69% mais lento do que o de oxigênio, porém 80% mais rápido que as demais condições testadas, contudo, seu consumo ficou mais lento com as injeções subsequentes. A condição contendo oxigênio foi a que apresentou melhor resultado, degradando mais rapidamente o DAAN nas três injeções. Apesar de ter existido adsorção de DAAN na condição com lodo inativo, a taxa diminuiu após saturação, sugerindo que a degradação do DAAN pode ter ocorrido em todas as condições bióticas testadas.

#### REFERÊNCIAS

DAVIES, P. J. & PROVATAS, A. Characterisation of 2-4-Dinitroanisole: Na Ingredient for use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations. Weapons Systems Division, **Defence Science and Technology Organisation**, Australian Government: Edinburgh, 1-24, 2006.

FIELD, J.A., STAMS, A.J., KATO, M., SCHRAA, G., Enhanced biodegradation of aromatic pollutants in cocultures of anaerobic and aerobic bacterial consortia. **Antonie Van Leeuwenhoek**, 67, 47-77, 1995.

FUCHS, G., BOLL, M., HEIDER, J. Microbial degradation of aromatic compounds - from one strategy to four. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 11, p. 803-816, 2011.

OLIVARES, C. I.; SIERRA-ALVAREZ, R.; ALVAREZ-NIETO, C.; ABRELL, L.; CHOROVER, J.; FIELD, J. A. Microbial Toxicity and Characterization of DNAN (bio)transformation Product Mistures. **Chemosphere**, v. 154, p. 499-506, 2016.

## Desenvolvimento do consórcio granular aeróbio algal-bacteriano em fotobioreatores de bateladas sequenciais para tratamento de esgotos domésticos

Talita Marinho<sup>1\*</sup>, Marcos A. Sales<sup>1</sup>, Sávia Gavazza<sup>1</sup>, Mario Takayuki Kato, Lourdinha Florêncio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* talita.amb@gmail.com

### RESUMO

O desenvolvimento do consórcio granular algal-bacteriano foi investigado em um fotobioreator em bateladas sequenciais (R1) com ciclos de 4h, sob iluminação artificial e intensidade luminosa de  $140 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ . Rc1 sem iluminação artificial foi utilizado como controle. *Chlorella vulgaris* foi a espécie de microalga inoculada no sistema. A granulação foi alcançada 30 e 34 dias após o início do experimento em R1 e Rc1, respectivamente. O consórcio alga-bactéria foi alcançado, e os reatores apresentaram remoções de DQO de 75% e 77% , R1 e RC1 respectivamente, e remoção de  $\text{NH}_4^+$  de 72 e 70% . R1 apresentou maior percentual de grânulos de diâmetro superior a 0,6mm.

**Palavras chave:** Lodo Aeróbio Granular, Microalga, Simbiose alga-bactéria, Remoção de nitrogênio.

### ABSTRACT

The development of granular algae-bacteria consortia was investigated in a sequencing batch photoreactor with 4h each cycle, under artificial illumination with light illuminance of  $140 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ . Rc1 without light illumination was used as the control. *Chlorella vulgaris* was the target specie of microalgae inoculated. The granulation was achieved 30 and 34 days after the start-up on R1 and Rc1, respectively. Notably, the microalgae presence favored the granulation process, with mature granules ranged between 0,2 and 0,6 mm; resulting in a higher  $\text{NH}_4^+$  removal efficiency, from  $72 \pm 4$  to  $70 \pm 2\%$ . R1 obtained bigger granules ( $\phi > 0.6\text{mm}$ ).

**Keywords:** Aerobic Granular sludge, Microalgae, Algae-bacteria symbiosis, Nitrogen removal.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a aplicação do consórcio granular algal-bacteriano no tratamento de efluentes tem sido bastante estudada, especialmente pela possibilidade de reduzir o consumo energético aplicado a aeração. Esse tipo de sistema tem reportado excelente performance na remoção de nutrientes, degradação de compostos orgânicos e formação granular (Meng *et al.*, 2019). Outro aspecto importante é o possível potencial de aproveitamento da biomassa para produção de bioenergia (Liu *et al.*, 2018). Além disso, sistemas em bateladas sequenciais são mais compactos, sendo necessário menor área para implantação, apresentando como uma alternativa à tratamentos convencionais aeróbios, como os lodos ativados, em locais com limitação de área.

Recentemente, foram desenvolvidos grânulos com auto-agregado alga-bactéria em reatores de bateladas sequenciais (RBS) tratando esgoto doméstico, produzindo biomassa com excelente sedimentabilidade, auxiliando no processo de separação do lodo do efluente tratado (Huang *et al.*, 2015). Além da aplicação em esgoto doméstico, o consórcio foi aplicado também no tratamento de efluentes de suinocultura, obtendo eficiência de remoção de

nutrientes superior a 80% (García *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018). Porém, por ser uma tecnologia nova, ainda existe a necessidade de investigar diferentes condições operacionais para a obtenção do agregado. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a formação do consórcio alga-bactéria, a partir da adição da microalga *Chlorella vulgaris* em um fotobioreator escala de bancada operando em bateladas sequenciais, sob condições anaeróbia/anóxica-aeróbia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em dois reatores idênticos (R1 e Rc1) confeccionados em acrílico, com dimensões de 74mm de diâmetro interno, 3mm de espessura da parede, e 1000mm de altura. Dispondo de um volume total de 5,0 L e volume útil de 3,5 L. O R1 foi exposto à iluminação artificial com intensidade luminosa de  $140 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$  com ciclos 12 horas claro/ 12 horas escuro, o Rc1 foi utilizado como controle sem iluminação artificial. Foram utilizados ciclos de 4 horas, numa sala a temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), consistindo em 60 min alimentação anaeróbia/anóxica, 176 min aeração, 3 min sedimentação, 1 min descarte. Foi utilizada troca volumétrica de 45% e o oxigênio dissolvido foi mantido a 6-7 mg/L durante a fase de aeração.

O consórcio alga-bactéria do R1 foi obtido pela mistura de lodo aeróbio proveniente de uma estação de lodos ativados por aeração prolongada (biomassa floculenta, SSLM=4600mg/L, IVL<sub>5</sub>= 215 mL/g) e *Chlorella vulgaris* (densidade celular de  $10^6$ cell/ml e 103 ug/L de clorofila a). Não houve adição de microalga no Rc1.

Foi utilizado efluente sintético (DQO 400 mg/L) na forma de glicose como fonte de carbono, e solução nutriente composta por: 10mg  $\text{PO}_4\text{-P/L}$  ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ); 100 mg de  $\text{NH}_4\text{-N / L}$  ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ); 10 mg de  $\text{Ca}^{2+}/\text{L}$  ( $\text{CaCl}_2$ ); 5 mg de  $\text{Mg}^{2+}/\text{L}$  ( $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); 5 mg de  $\text{Fe}^{2+}/\text{L}$  ( $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); e 1 ml/L de elementos traço (Huang *et al.*, 2015). O pH nos reatores foi mantido entre 7 e 8 adicionando bicarbonato de sódio.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Monitoramento da biomassa

A morfologia dos grânulos foi acompanhada semanalmente. Após 22 dias de operação, a coloração da biomassa em R1 era verde escuro, típica do consórcio alga-bactéria, enquanto que a biomassa em Rc1 apresentou coloração marrom escura durante todo o experimento.

A granulação foi alcançada aos 30 e 34 dias de operação no R1 e Rc1, respectivamente, representando mais de 80% da biomassa. No R1, 26% da biomassa granular possuía diâmetro maior que 0,6mm enquanto que em Rc1 este percentual foi de 13% (fig. 1).

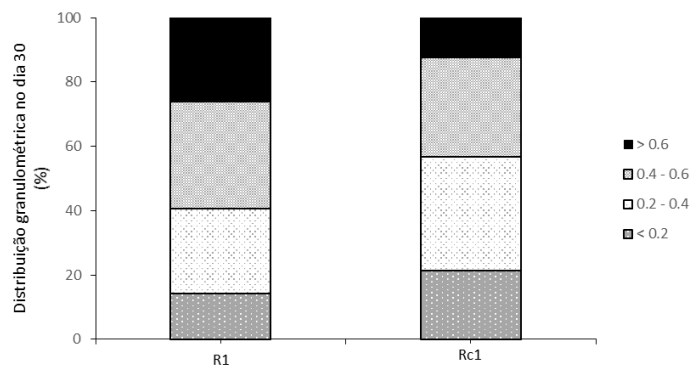


Figura 1: Distribuição granulométrica em R1 e Rc1 30 dias após o *start-up*. Fonte: Os autores.



Pode-se considerar que a presença da microalga *Chlorella vulgaris* favoreceu o processo de granulação, permitindo a formação de maior percentual de grânulos com diâmetro superior a 0,6mm, possivelmente devido à aderência destas à superfície granular. O lodo granular no R1 também apresentou melhor sedimentabilidade ( $IVL_5=14\text{mL/g}$ ) em comparação ao Rc1 ( $IVL_5=32\text{mL/g}$ ).

A partir de 46 dias de operação foi observada a presença de organismos filamentosos nos grânulos do Rc1, sem prejuízos à remoção de matéria orgânica e nitrogênio. No entanto, o surgimento de filamentosos reduz a coesão da biomassa, e é apontado com um indicativo de início de desintegração.

### 3.2 Remoção de DQO e nitrogênio

A fig. 2 ilustra as diferentes formas e a performance de remoção de Nitrogênio nos dois reatores durante os 45 dias de operação. Após 22 dias do *start-up*, a média de eficiência de remoção de  $\text{NH}_4^+$  em R1 e Rc1 foi de  $43\pm 7\%$  e  $46\pm 7\%$ , respectivamente. A partir do 22º dia, houve predominância da biomassa granular em R1, com aumento de 30% na eficiência de remoção. Ao passo que, somente no 24º dia foi observada a predominância granular no reator controle (Rc1), aumentando a eficiência de remoção para  $70\pm 4\%$ . Após 35 dias de operação, foi alcançada a granulação em ambos reatores. R1, ainda assim, apresentou maiores eficiências de remoções de nitrogênio ( $73 \pm 2\%$ ) que o reator controle – Rc1 ( $70 \pm 3\%$ ). Foi percebido acúmulo de nitrito no sistema em ambos reatores. A remoção de matéria orgânica, em termos de DQO foi de  $80\pm 5\%$  e  $77\pm 5\%$  nos reatores R1 e Rc1 antes da granulação. Com a granulação do R1 no dia 30, e 34 no Rc1, as remoções de DQO passaram a  $73\pm 4\%$  e  $70\pm 4\%$  para R1 e Rc1 respectivamente. Apesar da melhora nas remoções de  $\text{NH}_4^+$ , houve acúmulo de nitrito no efluente nos dois reatores, enquanto que apenas baixas concentrações de nitrato foram observadas (fig 2). Evidencia-se que a granulação tem interferência direta na remoção de nitrogênio, uma vez que quanto maior a porcentagem e tamanho dos grânulos, maior a eficiência de remoção.

Tais resultados apontam que houve aumento considerável na biomassa oxidadora de amônia, no entanto, as condições operacionais não favoreceram o desenvolvimento de organismos oxidadores de nitrito e nitrato. Um comportamento semelhante foi observado por Liu et al. (2018), que trabalhou com consórcio alga-bactéria em fotobioreator com ciclos de 6 horas, tendo a nitrificação parcial o mecanismo predominante de remoção de nitrogênio.

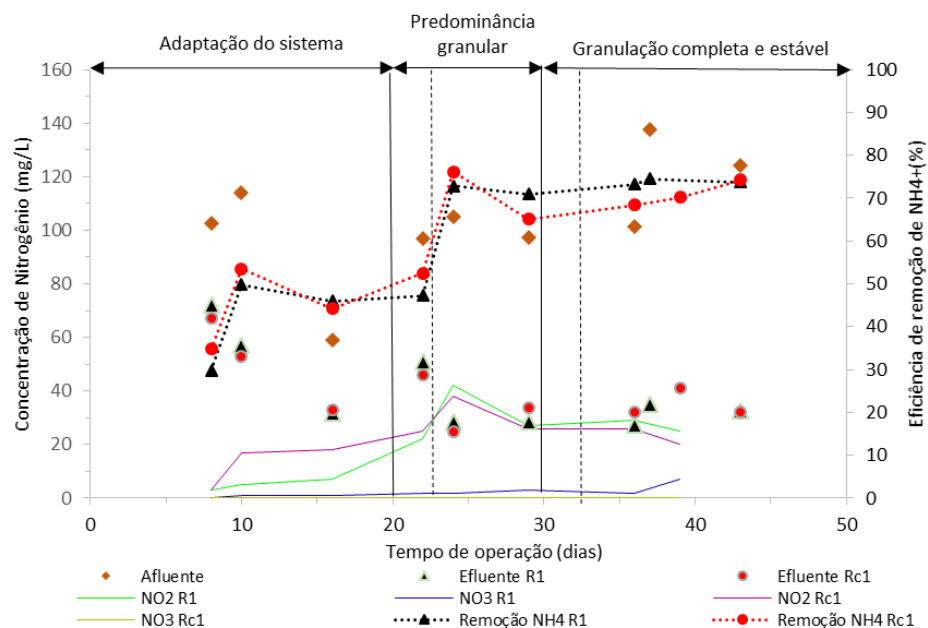


Figura 2: Perfil de remoção de nitrogênio em R1 e Rc1. Fonte: Os autores.

Segundo Huang et al. (2015), a presença e crescimento de microalgas pode inibir a atividade de bactérias oxidadoras de nitrito, no entanto, não foi observada remoção de nitrito no Rc1, desta forma, neste estudo não se pode considerar que a presença de microalgas no sistema teve impacto negativo sobre a nitratação.

#### 4. CONCLUSÕES

O consórcio granular algal-bacteriano foi desenvolvido com sucesso sob condição anaeróbia/anóxica-aeróbia. Um maior percentual de grânulos com diâmetro superior a 0,6mm foi alcançado no R1, essa melhora está associada a presença das microalgas no reator. Em ambos os reatores R1 e Rc1 foi possível alcançar altas remoções de DQO e  $\text{NH}_4^+$ , no entanto, houve acúmulo de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , por isso, maiores estudos sobre condições operacionais para promoção do consórcio com nitrificação e desnitrificação simultânea são necessários.

#### REFERÊNCIAS

- GARCÍA, D.; POSADAS, E.; BLANCO, S.; ACIÉN, G.; GARCIA-ENCINA, P.; BOLADO, S.; MUNOZ, R. **Evaluation of the dynamics of microalgae population structure and process performance during piggery wastewater treatment in algal-bacterial photobioreactors**. *Bioresource Technology*, v. 248, p. 120–126, 2018.
- HUANG, W.; LI, B.; ZHANG, C.; ZHANG, Z.; LEI, Z.; LU, B.; CHOU, B. **Effect of algae growth on aerobic granulation and nutrients removal from synthetic wastewater by using sequencing batch reactors**. *Bioresource Technology*, v. 179, p. 187–192, 2015.
- LI, X.; YANG, W. L.; HE, H.; WU, S.; ZHOU, Q.; YANG, C.; ZENG, G.; LUO, L.; LOU, W. **Responses of microalgae *Coelastrella* sp. to stress of cupric ions in treatment of anaerobically digested swine wastewater**. *Bioresource Technology*, v. 251, p. 274–279, 2018.
- LIU, L.; ZENG, Z.; BEE, M.; GILBSON, V.; WEI, V.; HUANG, X.; LIU, C. **Characteristics and performance of aerobic algae-bacteria granular consortia in a photo-sequencing batch reactor**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 349, p. 135–142, 2018.
- MENG, F.; XI, L.; LIU, D.; HUANG, W.; LEI, Z.; ZHANG, Z.; HUANG, W. **Effects of light intensity on oxygen distribution, lipid production and biological community of algal-bacterial granules in photo-sequencing batch reactors**. *Bioresource Technology*, v. 272, p. 473–481, 2019.

## Digestão anaeróbia do glicerol residual visando a produção de carboxilatos de cadeia média

Shyrlane Torres Soares Veras <sup>1,\*</sup>, Sália Gavazza <sup>1</sup>, Lourdinha Florêncio <sup>1</sup>, Mário Takayuki Kato <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* shyrlane.veras@gmail.com, kato@ufpe.br

### RESUMO

A produção biológica de compostos com valor agregado a partir de resíduos orgânicos confere vantagens importantes para o setor produtivo e o meio ambiente. Resultados recentes de pesquisas mostraram que um dos focos tem sido a produção de ácidos carboxílicos de cadeia média a partir de resíduos orgânicos, seja em sistemas anaeróbios contínuos ou descontínuos. Além disso, esses estudos geralmente foram feitos usando culturas microbianas mistas. Considerando os mecanismos envolvidos nas reações de alongamento, o glicerol, resíduo da produção de biodiesel, pode ser potencialmente utilizado como substrato, junto com uma fonte adicional de doadores de elétrons, para aqueles fins produtivos. Diante disso, as principais informações contidas na literatura para que isso seja desenvolvido, foram reunidas e discutidas no presente trabalho.

**Palavras chaves:** ácidos valérico, caproico e enântico; alongamento de cadeia; biorrefinaria; doadores de elétrons; revisão da literatura.

### ABSTRACT

The biological production of value-added compounds from organic waste represents important advantages for the productive sector and the environment. Recent research results have shown that one of the focuses has been towards the production of medium chain carboxylic acids from waste biomass, either in continuous or discontinuous anaerobic systems. In addition, these studies have generally been done using mixed microbial cultures. Considering the mechanisms involved in elongation reactions, glycerol that is a residue from biodiesel production, may potentially be used as a substrate together with an additional electron donor source, for the production of those compounds. Therefore, the main information contained in the literature for this to be developed was gathered and discussed in the present work.

**Keywords:** valeric, caproic, and enanthic acids; chain elongation; biorefinery; electron donors; literature review.

## 1. INTRODUÇÃO

A exigência em relação ao emprego de tecnologias limpas tem incentivado e intensificado o uso de biocombustíveis no decorrer dos anos. Dessa forma, os biocombustíveis são uma alternativa com vantagens ambientais, econômicas e sociais em relação aos combustíveis fósseis. Com relação ao biodiesel, foi reportado que não somente a produção brasileira, como a mundial, tende a aumentar significativamente com o tempo. No Brasil, considerando os anos de 2008 a 2018, foi verificado um aumento superior a 4 milhões de m<sup>3</sup>, sendo esperado novos aumentos para os anos seguintes (ANP, 2018).

O glicerol residual gerado na produção de biodiesel (10% m/m) apresenta impurezas (ex. ácidos graxos, álcool, sabão, catalisadores) e sua composição depende da origem do óleo vegetal ou da gordura animal empregada. Por esse motivo, ele não pode ser disposto no meio ambiente. Atualmente, parte do glicerol segue para as indústrias como matéria-

prima para a obtenção de vários subprodutos (ANITHA et al., 2016). Contudo, com o aumento significativo da produção de biodiesel, há uma preocupação, tanto da comunidade científica, quanto do setor industrial, sobre a destinação do enorme volume de glicerol produzido, já que este pode não ser totalmente absorvido pelas indústrias. Por isso, é interessante incentivar o uso do glicerol, principalmente na sua forma bruta, otimizando ainda mais a produção de biodiesel.

Paralelamente e de forma mais recente, na literatura foi reportada a obtenção de carboxilatos a partir de resíduos orgânicos utilizando processos biológicos, principalmente os anaeróbios (WU et al., 2019). Entre os carboxilatos em alta cotação, estão os de cadeia média, como o valerato (C<sub>5</sub>), caproato (C<sub>6</sub>), heptanoato (C<sub>7</sub>) e caprilato (C<sub>8</sub>) (AGLER et al., 2012; GROOTSCHOLTEN et al., 2013). Até então, os de cadeia pares têm sido os mais estudados. A produção convencional desses compostos acontece por meio de síntese química ou processos termoquímicos. Entretanto, isto geralmente envolve várias etapas reacionais (ex. reações de hidrogenação, desidratação) resultando em maiores custos.

Considerando essas informações, a conversão do glicerol pela ação de microorganismos em carboxilatos de cadeia média é bastante atraente. Essa atratividade consiste principalmente no fato de utilizar um resíduo orgânico para produzir esses compostos com alto valor agregado. Isso pode ser feito pela degradação anaeróbia do glicerol e algumas variações no processo como: (i) utilizando culturas puras ou mistas e (ii) adicionando doadores de elétrons na forma comercial (ex. etanol, lactato, propanol, metanol) ou ainda, inserindo outros resíduos orgânicos para obter concentrações suficientes dos possíveis doadores de elétrons (co-digestão). Um exemplo deste último seria o etanol proveniente do fermentado de milho (~15%) ou da borra de vinho (~11%), conforme utilizados por Agler et al. (2012) e Kucek et al. (2016) para produzir caproato. Nesse caso, sua adição poderia substituir os reagentes comerciais e suprir as necessidades para as reações de alongamento com os produtos da fermentação primária do glicerol.

Portanto, conhecendo bem os parâmetros operacionais necessários para converter biologicamente o glicerol, junto com um doador de elétrons nesses carboxilatos, é possível adotar um processo eficiente com menores custos e maior simplicidade, em comparação com os termoquímicos, ou até mesmo outros biológicos (ex. aeróbios). Diante disso, como o uso do glicerol para obtenção de carboxilatos de cadeia média ainda foi pouco explorado, como mostrado na literatura recente, o objetivo do presente trabalho foi reunir as principais informações reportadas, para que isso seja desenvolvido e futuramente aplicado pelas indústrias.

## **2. REAÇÕES DE ALONGAMENTO DE CADEIA E FORMAÇÃO DOS CARBOXILATOS DE CADEIA MÉDIA**

Os carboxilatos de cadeia média são formados a partir de reações de alongamento de cadeia envolvendo carboxilatos de cadeia curta (ex. acetato, propionato) e doadores de elétrons, como descrito mais adiante.

A importância da produção desses compostos a partir de resíduos orgânicos está diretamente relacionada com a plataforma do carboxilato que integra o conceito de biorrefinaria. Eles possuem ampla aplicação nas indústrias (ex. lubrificantes, borrachas, fragrâncias, agentes de mistura em combustíveis, antimicrobianos, bioplásticos) e agricultura. Apesar das diversas aplicações, os custos para produzir esses compostos ainda são altos. Isso limita sua aplicação em larga escala (WU et al., 2019).

### **2.1 Mecanismos envolvidos nas reações de alongamento**

O alongamento de cadeia ocorre em ciclos de  $\beta$ -oxidação reversa. Wu et al. (2019) e Cavalcante et al. (2017), em seus artigos de revisão, apresentaram um esquema detalhado sobre o funcionamento desses ciclos para o alongamento de cadeia, com foco na produção

de caproato. O etanol e o lactato estão entre os doadores de elétrons mais utilizados nas pesquisas até então apresentadas. Segundo eles, o alongamento de acetato a caproato envolve basicamente 3 etapas: (i) oxidação do etanol a acetato para geração de energia (ATP, adenosina trifosfato); (ii) conversão do etanol remanescente em acetil-CoA, permitindo o (iii) alongamento de acetato a butirato a partir de ciclos entre a coenzima, NADH,H<sup>+</sup> e FADH<sub>2</sub>. Durante o primeiro ciclo, o acetato se liga a coenzima do butiril-CoA, resultando em butirato. Depois disso e de maneira semelhante, o butirato se liga a coenzima do hexanoil-CoA, formando caproato. Estes ciclos permitem a oxidação do etanol em acetil-CoA por NAD<sup>+</sup> e a redução endergônica de ferredoxina por NADH,H<sup>+</sup>. De forma semelhante, o alongamento de cadeias ímpares também é possível a partir de propionato e doadores de elétrons. Neste caso, o propionato atuaria no lugar do acetato, resultando em valerato (no lugar de butirato) e em seguida, heptanoato (ao invés de caproato) (WU et al., 2019).

## 2.2 Micro-organismos

*Clostridium* e *Megasphaera* estão entre os micro-organismos mais citados nas reações de alongamento de cadeia. Dentre eles, as espécies mais citadas são a *C. kluyveri* e *M. elsdenii*. Uma descrição completa sobre esses e outros micro-organismos foi apresentada por Wu et al. (2019).

Contudo, é importante destacar que estes podem promover alongamento tanto de cadeias pares como ímpares. Isso é possível porque eles são capazes de se adaptar à disponibilidade de outros substratos. Bornstein e Barker (1948) reportaram a formação de valerato unicamente a partir de etanol e propionato usando uma cultura pura de *C. kluyveri*. Depois disso, também mostraram que utilizando somente etanol e acetato com a mesma cultura pura, o produto foi caproato.

## 2.3 Glicerol: forte potencial para a produção dos carboxilatos de cadeia média

A rota de degradação biológica do glicerol é bem conhecida e permite a obtenção de uma gama de subprodutos, dentre eles: etanol, lactato, acetato, propionato e butirato (ANITHA et al., 2016). Então, partindo do glicerol, é possível obter tanto acetato como propionato (carboxilatos de cadeia curta). As concentrações destes, por sua vez, normalmente variam de acordo com as condições aplicadas.

Além disso, diferentemente dos substratos puros utilizados por Bornstein e Barker (1948) e do etanol proveniente de resíduos orgânicos (AGLER et al., 2012; KUCEK et al., 2016), o glicerol não contém inicialmente doadores de elétrons em concentrações suficientes para um alongamento eficiente. Por isso, com a adição de doadores de elétrons, ele pode se tornar potencialmente forte para a obtenção de produtos de alongamento de cadeia.

Diante do exposto, carboxilatos com cadeias pares (caproato, caprilato) podem ser obtidos em maior quantidade com o glicerol, se a microbiota existente e as condições operacionais permitirem, a produção de acetato como principal carboxilato de cadeia curta. O mesmo vale para os com cadeias ímpares (valerato, heptanoato), caso a produção inicial de propionato seja favorecida. E, para que isso seja possível, é necessário compreender os efeitos de alguns fatores sobre o processo, como: concentração limite dos metabólitos e de doadores de elétrons, para evitar inibição da atividade dos micro-organismos; carga de substrato; pH; tempo de detenção hidráulico (TDH); e pressão parcial de H<sub>2</sub>.

## 2.4 Perspectivas para as pesquisas do Grupo de Saneamento Ambiental (GSA) do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) - UFPE

Nesse cenário, o grupo de pesquisa GSA/LSA/LABIOTA (CTG-UFPE), recentemente desenvolveu pesquisas com a produção de 1,3-propanodiol e valerato. A pesquisa com valerato foi feita em parceria com a Embrapa Agroindústria Tropical (Fortaleza CE) e a

Universidade Autônoma de Madri (Espanha) e envolveu também uma etapa com extração contínua deste metabólito usando um sistema de membranas de fibras ocas (VERAS, 2019). Atualmente, estudos estão em andamento para avaliar o efeito do tipo e concentração de doadores de elétrons utilizando diferentes tipos de culturas mistas, e também, o efeito da pressão parcial de H<sub>2</sub> sobre os metabólitos obtidos.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Criar e/ou incentivar alternativas para utilizar o glicerol residual objetivando novos compostos com alto valor agregado, é fundamental para viabilizar a crescente produção de biodiesel. Além disso, aperfeiçoar a produção de carboxilatos ampliando a opção de resíduos orgânicos confere conhecimentos importantes para as biorrefinarias. Essa pequena revisão apresentou os principais pontos para que a produção dos ácidos carboxílicos de cadeia média a partir do glicerol seja foco de pesquisas futuras, visando aplicações em larga escala. Novas pesquisas também podem ser feitas incluindo a co-digestão de glicerol com outros resíduos que contenham doadores de elétrons em sua composição, tornando-o ainda mais atraente do ponto de vista ambiental e econômico.

### REFERÊNCIAS

- AGLER, M.T.; SPIRITO, C.M.; USACK, J.G.; WERNERAB, J.J.; ANGENENT, L.T. Chain elongation with reactor microbiomes: upgrading dilute ethanol to medium-chain carboxylates. **Energy and Environmental Science**, v. 5, p. 8189-8192, 2012.
- ANITHA, M.; KAMARUDIN, S.K.; KOFLI, N.T. The potential of glycerol as a value-added commodity. **Chemical Engineering Journal**, v. 295, p. 119–130, 2016.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, 2018. **Anuário estatístico de 2017**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017> Acesso em: 17 de Julho de 2018.
- BORNSTEIN, B.T.; BARKER, H.A. The energy metabolism of *Clostridium kluyveri* and the synthesis of fatty acids. **Journal of Biological Chemistry**, v. 172, p. 659–669, 1948.
- CAVALCANTE, W.A.; LEITÃO, R.C.; GEHRING, T.A.; ANGENENT, L.T.; SANTAELLA, S.T. Anaerobic fermentation for *n*-caproic acid production: A review. **Process Biochemistry**, v. 54, p. 106–119, 2017.
- GROOTSCHOLTEN, T.I.M.; STEINBUSCH, K.J.J.; HAMELERS, H.V.M.; BUISMAN, C.J.N. High rate heptanoate production from propionate and ethanol using chain elongation. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 715–718, 2013.
- KUCEK, L.A.; XU, J.; NGUYEN, M.; ANGENENT, L.T. Waste conversion into *n*-caprylate and *n*-caproate: Resource recovery from wine lees using anaerobic reactor microbiomes and in-line extraction. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1–14, 2016.
- VERAS, S.T.S. **Produção de compostos com valor agregado a partir da degradação anaeróbia do glicerol**. Tese de doutorado. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 192 p., 2019.
- WU, Q.; BAO, X.; GUO, W.; WANG, B.; LI, Y.; LUO, H.; WANG, H.; REN, N. Medium chain carboxylic acids production from waste biomass: Current advances and perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 37, n. 5, p. 599–615, 2019.

## **Eutrofização em reservatórios do semiárido brasileiro: uma visão geral**

**Hidaiane Fayga Matias Caldas<sup>1,\*</sup>, Maria do Carmo Sobral<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* hidaianecaldas@gmail.com

### **RESUMO**

A eutrofização é uma das principais causas da deterioração da qualidade das águas em reservatórios. O fenômeno é causado pelo aporte de nutrientes vindos de fontes pontuais e difusas na bacia hidrográfica, que têm o potencial de promover a proliferação de algas e macrófitas nos corpos hídricos, além de florações de cianobactérias tóxicas ao ser humano. No semiárido brasileiro, os reservatórios de acumulação de água para múltiplos usos são claramente vulneráveis e estão sendo seriamente afetados, como mostram os resultados de diversos estudos realizados pela literatura ao longo dos últimos anos. As consequências da ocorrência do fenômeno estão sendo cada vez mais agravadas pela incidência da mudança climática mundial, portanto a adoção de medidas preventivas e corretivas passando desde a gestão dos recursos na bacia hidrográfica até o emprego de estratégias de engenharia e modelagem se faz essencial para mitigar os prejuízos ambientais, humanos e socioeconômicos que levam a conflitos pelo uso da água.

**Palavras chaves:** Eutrofização; Semiárido; Reservatórios; Qualidade da água.

### **ABSTRACT**

Eutrophication is one of the main causes of deterioration of water quality in reservoirs. The phenomenon is caused by the contribution of nutrients from point and diffuse sources in the watershed, which have the potential to promote the proliferation of algae and macrophytes in water bodies, as well as cyanobacterial blooms toxic to humans. In the Brazilian semi-arid, water storage reservoirs for multiple uses are clearly vulnerable and are being seriously affected, as shown by the results of several studies carried out in the literature over the last few years. The consequences of the occurrence of the phenomenon are being increasingly aggravated by the incidence of global climate change, so the adoption of preventive and corrective measures, from the management of resources in the river basin to the use of engineering and modeling strategies, is essential to mitigate the environmental, human and socioeconomic damages that lead to conflicts over water use.

**Keywords:** Eutrophication; Semiarid; Reservoirs; Water quality.

### **1. INTRODUÇÃO**

Devido à crescente demanda para abastecimento das cidades, em determinadas regiões se faz necessário o uso de reservatórios para o armazenamento deste recurso. Este é o caso das regiões semiáridas, que são caracterizadas pelas altas temperaturas e chuvas irregulares e escassas.

Por estarem localizados de forma superficial, com o espelho de água exposto, os reservatórios estão vulneráveis a agentes que contribuem para a deterioração da qualidade de suas águas. As poluições pontual e difusa causadas por ações antrópicas, a incidência direta da radiação solar na água causando altas taxas de evaporação, temperaturas altas e

aproximadamente constantes, além da diminuição dos níveis de água devido às estiagens são exemplos desses fatores (GUNKEL et al., 2015; GUNKEL & SOBRAL, 2013).

A qualidade de água tem grande impacto na saúde pública e, de modo mais abrangente, na qualidade de vida da população. Água com qualidade adequada é essencial para o equilíbrio e o funcionamento dos ecossistemas. A eutrofização pode prejudicar a oferta de água para o abastecimento e a saúde humana, navegação, produção de energia hidrelétrica, pesca, lazer e recreação. O estado de conservação dos mananciais e dos ecossistemas em seu entorno são determinantes para a qualidade da água (ANA, 2017).

Diante do exposto, considerando a importância da manutenção da qualidade da água nos reservatórios destinados para os mais diversos usos, o objetivo deste trabalho é explanar através de uma visão geral, o fenômeno da eutrofização e suas implicações em reservatórios do semiárido brasileiro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada pesquisa bibliográfica a respeito do fenômeno da eutrofização na região semiárida do Brasil. Foram selecionados trabalhos que avaliaram quantidade significativa de reservatórios, bem como estudos sobre fontes de água de interesse relevante para a sociedade da área.

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Eutrofização e graus de trofia

Segundo Braga et al. (2005), eutrofização é o enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática. Esse enriquecimento se dá de maneira natural, acompanhando a evolução de um ecossistema aquático ao longo do tempo geológico, mas pode ser acelerado devido a ações antrópicas, sendo denominado então por eutrofização cultural. Nesse caso, trata-se de uma consequência da poluição das águas, ocorrendo pela elevada quantidade de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) dissolvidos na água, os quais chegam, principalmente, através do despejo de esgoto doméstico e industrial sem tratamento adequado, além de fertilizantes agrícolas transportados da bacia hidrográfica pelo escoamento superficial. O mecanismo de resposta geral ao fenômeno é um aumento na biomassa de algas, macrófitas e cianobactérias possivelmente tóxicas na superfície, gerando gradualmente uma diminuição na penetração da luz na coluna de água. A falta de luz impede a realização da fotossíntese dos organismos que estão nas partes mais profundas, diminuindo assim a produção de oxigênio e causando a morte desses seres.

A caracterização do estado trófico de lagos e reservatórios é quantificada por meio de variáveis que se relacionam diretamente com o processo de eutrofização. Geralmente são empregadas a “clorofila-a” (admitida como uma medida da biomassa de algas), as espécies de algas presentes, a transparência das águas, as concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido (ADAMOVIK et al., 2019).

Conforme Braga et al. (2005), a classificação trófica dos ecossistemas lacustres de acordo com a produtividade biológica distingue classicamente três tipos de lagos:

- Oligotróficos: lagos com baixa produtividade e baixa concentração de nutrientes;
- Mesotróficos: lagos com características intermediárias entre oligotrófico e eutrófico;
- Eutróficos: lagos com elevada produtividade e alta concentração de nutrientes.

Von Sperling (1996) apresenta uma caracterização qualitativa entre os principais graus de trofia, conjuntamente com mais dois níveis extremos (ultraoligotrófico e hipereutrófico), de forma a se caracterizar com uma particularidade ainda mais elevada os corpos d'água.



### 3.2 A situação dos reservatórios no semiárido brasileiro

Segundo o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017 da Agência Nacional de Águas (ANA), os pontos de monitoramento de qualidade da água no Semiárido, que, em sua maioria, são localizados em açudes estrategicamente importantes para o abastecimento público, apontam altos níveis de fósforo, representando sérios riscos de eutrofização, sobretudo em períodos de longa estiagem, que é comum na região.

Brasil et al. (2016) realizaram um estudo para avaliar como a redução do nível de água induzida pela seca favorece a proliferação de cianobactérias em 40 reservatórios rasos no estado do Rio Grande do Norte e os resultados demonstraram que a maioria dos sistemas era hipereutrófica e eutrófica. Nesse trabalho, a biomassa fitoplanctônica e biovolume de cianobactérias foram significativamente maiores em condições de seca que em condições de chuvas.

Foi realizada por Rocha Júnior et al. (2018) em 16 reservatórios nas bacias do Piancó e do Seridó, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, respectivamente, uma avaliação sobre como a redução do volume intensifica o risco a eutrofização em reservatórios do semiárido tropical. Essas bacias possuem regimes de precipitação contrastantes e os resultados mostraram que no período definido como extremamente seco, todos os reservatórios estudados foram classificados como eutróficos, mas as concentrações de fósforo total atingiram valores muito mais altos na bacia do Seridó do que na bacia do Piancó.

Gunkel et al. (2018) realizaram uma análise do processo de eutrofização no reservatório Itaparica, de onde são transferidas as águas do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Os resultados identificaram inúmeros processos externos e internos que influenciam a qualidade da água: o próprio influxo do rio São Francisco, a lavagem do solo na bacia, a erosão, a drenagem da irrigação, os despejos de esgoto, a mineralização de solos e vegetação inundados, a liberação de nutrientes dos sedimentos e da aquicultura. Constatou-se ainda que os processos variam espacialmente e sazonalmente, como refletido na considerável flutuação da qualidade da água, que é fortemente afetada pelo influxo do rio São Francisco e pelo regime de chuvas na bacia.

No estado do Ceará, Silva et al. (2017) investigaram a similaridade da trofia em 10 reservatórios da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe. Os resultados obtidos rearranjaram as águas da bacia em 4 grupos de acordo com suas similaridades. Os reservatórios da região noroeste e sul da bacia apresentaram as piores classificações, sendo enquadrados como hipereutróficos. Além destes, os reservatórios ao leste e centro da bacia foram classificados como eutrófico e supereutrófico. Dentre os avaliados, o açude Pau Preto obteve destaque apresentando um processo de eutrofização avançado. Os autores concluíram que as águas da bacia do Alto Jaguaribe apresentam um grau de trofia elevado, considerando-se os indicadores avaliados.

Também no estado do Ceará, Vidal & Capelo Neto (2014) estudaram a dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. O reservatório em questão era o açude Gavião, responsável pelo abastecimento de água potável da Região Metropolitana de Fortaleza. O açude apresentou presença excessiva de fitoplâncton, dificultando substancialmente o tratamento da água no reservatório e elevando seus custos. No período de estudo, o açude acumulou cerca de 28,06 t de fósforo e 121,42 t de nitrogênio, podendo ser classificado como eutrófico.

## 4. CONCLUSÕES

A vulnerabilidade dos reservatórios localizados no semiárido brasileiro ao fenômeno da eutrofização é um fator natural do ecossistema e foi constatada através da pesquisa bibliográfica. O controle das fontes de poluição que causam o problema tem se mostrado ineficiente, de acordo com os resultados das pesquisas avaliadas na região. A ação do homem sobre o meio ambiente, através, principalmente, das atividades agrícolas e da falta

de saneamento básico, atrelada aos efeitos agravantes da mudança climática, enseja a ocorrência da eutrofização e suas consequências ambientais e de saúde pública. Finalmente, a adoção de medidas preventivas e corretivas é essencial para mitigar os efeitos do fenômeno, e passa primordialmente pela gestão eficiente dos recursos naturais na bacia hidrográfica. Em adição a isso, a implementação de soluções adaptativas de engenharia e a pesquisa científica no sentido de modelagem de efeitos potenciais deve ser apoiada para que, apesar das incertezas envolvidas no processo, os prejuízos ambientais, humanos e socioeconômicos que levam a conflitos pelo uso da água sejam minimizados.

## REFERÊNCIAS

ADAMOVICH, B.V.; MEDVINSKY, A.B.; NIKITINA, L.V.; RADCHIKOVA, N.P.; MIKHEYEVA, T.M.; KOVALEVSKAYA, R.Z.; VERES, Y.K.; CHAKRABORTY, A.; RUSAKOV, A.V.; NURIEVA, N.I.; ZHUKOVA, T.V. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring. **Ecological Indicators**, v.97, p.120-129, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília, 2017.

BRAGA, B.; HESPANHOL, B.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Prentice Hall, 318 p., 2005.

BRASIL, J.; ATTAYDE, J.L.; VASCONCELOS, F.R.; DANTAS, D.D.F.; HUSZAR, V.L.M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia**, v.770, p.145-164, 2016.

GUNKEL, G.; LIMA, D.; SELGE, F.; SOBRAL, M.; CALADO, S. Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. **WIT Trans Ecol Environ**, v.197, p.187–200, 2015.

GUNKEL, G.; SELGE, F.; KEITEL, J.; LIMA, D.; CALADO, S.; SOBRAL, M.; RODRIGUEZ, M.; MATTA, E.; HINKELMANN, R.; CASPER, P.; HUPFER, M. Water management and aquatic ecosystem services of a tropical reservoir (Itaparica, São Francisco, Brazil). **Reg Environ Change**, v.18, p.1913-1925, 2018.

GUNKEL, G.; SOBRAL, M. Re-oligotrophication as a challenge for tropical reservoir management with reference to Itaparica Reservoir, São Francisco, Brazil. **Wat Sci Technol**, v.67, p.708–714, 2013.

ROCHA JUNIOR, C.A.N.; COSTA, M.R.A.; MENEZES, R.F.; ATTAYDE, J.L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.30, 2018.

SILVA, E.B.; ARAÚJO NETO, J.R.; LIMA, B.P. Similaridade de eutrofização das águas superficiais da bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, p.336-343, 2017.

VIDAL, T.F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.402–407, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG, 243 p., 1996.

## Levantamento das emissões de metano por estação de tratamento de esgoto no estado de Pernambuco

Graciano Fernandes de Mendonça<sup>1,\*</sup>, Bruna Soares Fernandes<sup>1</sup>, Sávvia Gavazza<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* g\_fm0@hotmail.com, savia@ufpe.br

### RESUMO

O processo biológico de tratamento de esgotos possui emissões de gases inerentes a tecnologia, dentre eles o metano (CH<sub>4</sub>). Apesar do aspecto negativo dessa emissão, esse gás pode ser reaproveitado para fins de geração de energia. Neste contexto, realizou-se uma estimativa da geração do gás metano nas Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário do Estado de Pernambuco utilizando dados do *Atlas Esgotos* elaborado pela ANA – Agência Nacional de Águas em conjunto com dados da Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento. O valor encontrado de emissão foi de 7017 tCH<sub>4</sub>/ano, concentrando-se nas proximidades dos polos econômicos do estado. Como próximo passo, os autores irão avaliar a geração de óxido nitroso, assim como avaliar estratégias de redução de emissões, como o aproveitamento energético do biogás.

**Palavras chaves:** Estações de Tratamento de Esgoto, Gás Metano, Aproveitamento energético.

### ABSTRACT

The biological process of wastewater treatment has inherent gas emissions including methane (CH<sub>4</sub>). Besides the negative aspects of this emission, this gas can be recovered for energy generation. In this context, an estimative of the methane generation from Wastewater Treatment Plants in the State of Pernambuco was done using data from *Atlas Esgotos* produced by ANA – Agência Nacional de Águas together with data from Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento. The value found is 7017 tCH<sub>4</sub>/year, concentrated near the economic poles of the State. Following, the authors will evaluate the generation of nitrous oxide, as well as evaluate emission reduction strategies, such as the biogas energy utilization.

**Keywords:** Wastewater Treatment Plants, Methane Gas, Energy exploitation.

### 1. INTRODUÇÃO

A influência humana no clima tem sido a causa dominante do aquecimento global observado desde meados do século XX, e esse aumento da temperatura já resultou em aumento do número de enchentes e inundações, eventos climáticos extremos, aumento do nível do mar e perda da biodiversidade no planeta (MASSON-DELMOTTE et al., In Press).

Estações de tratamento de esgotos podem emitir gás carbônico (CO<sub>2</sub>), gás metano e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que são os três principais gases de efeito estufa. Dentre eles o mais importante é o metano, pois apresenta elevado potencial poluidor, porém possui valor econômico devido ao seu elevado poder calorífico. O metano é proveniente principalmente de processos anaeróbios de biodegradação de resíduos sólidos e líquidos, que geram também outros gases como gás sulfídrico e gás carbônico, formando assim o chamado biogás.

O nordeste brasileiro está localizado em região de clima quente, com temperatura favorável para tratamento de esgotos sanitários via processos anaeróbios. Os tratamentos de esgotos sanitários via processos anaeróbios apresentam baixos custos operacionais e de implantação quando comparados a sistemas aeróbios, razões pelas quais vem sendo cada vez mais adotados. Entretanto o biogás gerado não costuma ser tratado ou aproveitado, causando impacto social, ambiental e econômico.

Alguns inventários de gases de efeitos estufa (GEE) já foram realizados no Brasil, e a parcela referente às emissões de metano de estações de tratamento de esgoto sanitário (ETEs) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Inventários de GEE por estações de tratamento no Brasil

Área de Abrangência do Estudo	Emissões	Período de Referência	Escopo referente	Referência
Nacional	25.512 tCH <sub>4</sub>	2015	Tratamento de Efluentes Domésticos em Pernambuco	De Azevedo et al. (2015)
Nacional	549.600 tCH <sub>4</sub>	2015	Efluentes Domésticos no Brasil	MCTIC (2017)
Minas Gerais	26.573 tCH <sub>4</sub>	2014	Tratamento de Efluentes Domésticos pela Copasa	Copasa (2014)

Fonte: Os autores.

Dessa forma, contabilizar o gás gerado é o primeiro passo para o estabelecimento de políticas de redução de emissão, servindo de base para o estabelecimento de possíveis cenários de aproveitamento energético, como mecanismo mitigador de emissão de GEE.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A quantidade de metano gerada foi contabilizada seguindo as diretrizes do IPCC (2019), utilizando a seguinte equação 1:

$$\text{EmissãoCH}_4 = \sum (B_0 \cdot \text{MCF} \cdot \text{Ef} \cdot \text{POP} \cdot C_{\text{DBO}}) \quad (1)$$

A EmissãoCH<sub>4</sub> é a emissão de metano (tCH<sub>4</sub>/ano); B<sub>0</sub> é a geração teórica de metano (0,6 tCH<sub>4</sub>/tDBO) (IPCC, 2019); MCF é o fator de correção de metano, dimensional; Ef é a eficiência da Estação de Tratamento; POP é a população atendida por cada ETE; e C<sub>DBO</sub> é a carga orgânica por habitante (19,71 kgDBO/ano) (VON SPERLING, 2014).

Os dados de eficiência de remoção de DBO adotados foram derivados dos dados do Atlas Esgotos (2017) e de dados de eficiência da Compesa, assim como dados de população atendida e coordenadas das estações. Entretanto, como apontado por Espinoza et al. (2016), geralmente os dados de eficiência de ETEs não possuem pontos de monitoramento intermediários, após cada unidade de tratamento, dificultando assim a obtenção das eficiências por reator. Esse fato também pode ser observado nos trabalhos realizados por Oliveira & Von Sperling (2005), nos dados apresentados pela ANA (2017) e nos dados da Compesa. Dessa forma, foi necessário estimar a eficiência de alguns dos tipos de tratamento, calculando as mesmas com base nos dados utilizados.

Algumas das eficiências de remoção de DBO utilizadas nesse estudo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Alguns exemplos de eficiências remoção de DBO adotadas nos tratamentos

Tipo de Tratamento	Como Tratamento Principal	Como Polimento
Lagoa Aerada	80%	59%
Lagoa Anaeróbia	70%	
Lagoa Facultativa	80%	25%
Fossa Filtro	67%	
Lodos Ativados Convencional	85%	52%
Decantador Primário	41%	
UASB	71%	
Filtro Biológico	71%	27%

Fonte: Os autores

As emissões contabilizadas são provenientes da remoção de matéria orgânica em estações de tratamento de esgoto sanitário.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra o resultado de emissões diretas de metano por ETEs no estado de Pernambuco, totalizando emissão de 7017 tCH<sub>4</sub>/ano, correspondente a 238.595 tCO<sub>2</sub>eq/ano (adotando GWP de 34). As ETEs da região metropolitana são responsáveis por mais da metade das emissões. Petrolina, uma das cidades mais saneadas do Brasil (79% da população atendida com esgoto sanitário, SNIS, 2017), responde por 20% desse total.

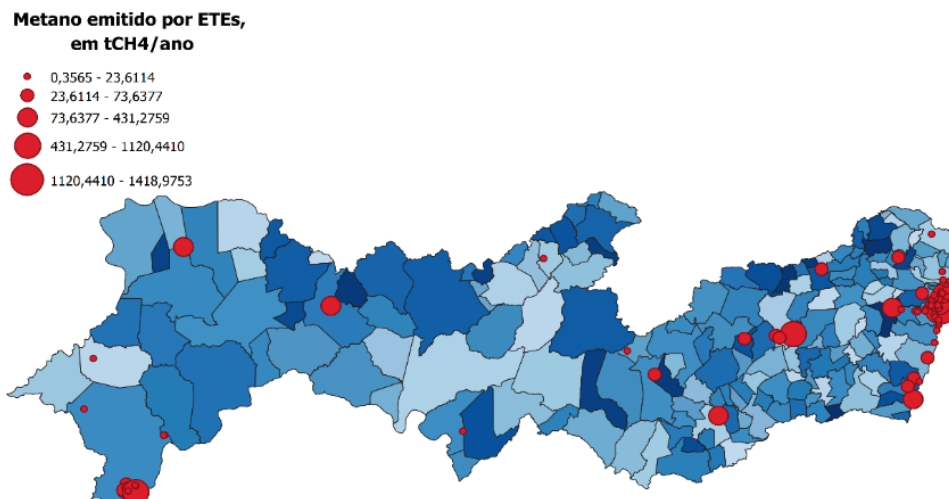


Figura 1: Emissões de metano por estações de tratamento de Esgoto em Pernambuco.

Fonte: o autor.

Neste trabalho foram analisadas 86 Etes operantes no estado de Pernambuco. Dentre elas, 59 possuem alguma etapa anaeróbia e 13 são exclusivamente anaeróbias. Cerca de 70 ETEs menores não foram contabilizadas por estarem desativadas, inoperantes ou atenderem populações muito baixas. Das ETEs levantadas, 42 possuíam lagoas de estabilização e 31 possuíam reatores anaeróbios do tipo UASB. No momento, não é feito nenhum tipo de aproveitamento do biogás proveniente de ETEs no Estado.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares apontam para um baixo aproveitamento do biogás, onde 1/3 das emissões provêm de sistemas com lagoas de estabilização.

A principal dificuldade neste levantamento é a falta de dados de eficiências e a incompatibilidade dos dados de diferentes fontes. No entanto, o estudo do metano ganha importância quando se incorporam variáveis de aproveitamento energético, uma vez que a maior quantidade de emissões se encontra nas proximidades dos polos econômicos do estado.

Como próximo passo, os autores irão avaliar a geração de óxido nitroso, assim como avaliar estratégias de redução de emissões, como o aproveitamento energético do biogás.

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília/DF (Brasil), 2017.

DE AZEVEDO, T.; COSTA, C.; BRANDÃO, A.; DOS SANTOS CREMER, M.; PIATTO, M.; TSAI, D.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES M.; GALUCHI, T.; RODRIGUES, A.; MORGADO, R.; FERREIRA, A.; BARCELLOS, E.; SILVA, F.; DE FREITAS VISCONDI, G.; DOS SANTOS, K.; DA CUNHA, K.; MANETTI, A.; COLUNA, I.; DE ALBUQUERQUE, I.; WATANABE, S.; LEITE, C.; KISHINAMI, R. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015, **Scientific Data**, v.5, 2018.

ESPINOSA, M. F.; VON SPERLING, M.; VERBYLA, M. E. Performance evaluation of 388 full-scale waste stabilization pond systems with seven different configurations. **Water Science and Technology**, v. 75, p. 916-927, 2016.

MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P.R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J.B.R.; CHEN, Y.; ZHOU, X.; GOMIS, M.I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; TIGNOR, M.; WATERFIELD, T. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. In press.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO (MCTIC). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília/DF (Brasil) 91p, 2017.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n.4, p. 347-357, 2005.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA – **Inventário de Emissões de Gases do Efeitos Estufa**. Belo Horizonte/MG (Brasil), 50p, 2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO(SNIS) – **SNIS: Série Histórica**. 2017. Disponível em: < <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>> Acesso em 16 de jul. de 2019.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) – **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventory**. New York/NY (United States of America), 1535 p, 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte/MG (Brasil): Editora UFMG, 472p., 2017.

## Reúso de esgoto doméstico tratado para cultivo de mudas de *Capsicum Chinense*

Marcos Henrique Gomes Ribeiro <sup>1,\*</sup>, Wanderli Rogério Moreira Leite <sup>1</sup>, Savia Gavazza<sup>1</sup>,  
Lourdinha Florêncio <sup>1</sup>, Mário Takayuki Kato <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Saneamento Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

\* mhgribeiro@gmail.com

### RESUMO

A irrigação é o setor que mais contribui para o aumento da demanda do uso de água no mundo, sendo o esgoto tratado uma tentativa viável de substituição da água para fins agrícolas sem que haja qualquer tipo de malefício à população e ainda tendo como vantagem o aumento da capacidade nutritiva do solo. As pimentas estão muito presentes no agronegócio brasileiro, especialmente na agricultura familiar, uma modalidade muito presente na região semiárida do Brasil. Além do potencial ornamental, as frutas podem ser utilizadas para outros fins, como molhos e geleias. Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a produtividade do uso de diferentes águas de irrigação, especialmente esgoto tratado, no cultivo de mudas de cultura de pimenta (*Capsicum chinense* Jacq.) com complementação com adubação mineral NPK. Os resultados mostraram maiores valores de altura, número de folhas, massa seca e fresca para as plantas irrigadas com esgoto tratado. Os valores obtidos para clorofila total e sódio dão possível indicativo de estresse salino sofrido pelas plantas irrigadas com esgoto tratado. No entanto, não foram obtidas diferenças significativas em relação ao peso dos frutos para os tratamentos avaliados.

**Palavras chaves:** Efluente; Irrigação; Agricultura; Pimenta.

### ABSTRACT

Irrigation is the sector that contributes most to the increasing demand for water use in the world, and the reuse of treated sewage is a viable attempt to replace water for agricultural purposes without damage to the population, contributing to enhance the soil's nutrient capacity. The peppers are very present in Brazilian agribusiness, especially in familiar agriculture, very commonly practiced modality in the semi-arid region of Brazil. In addition to ornamental potential, fruits can be used for other purposes such as sauces and jellies. In this way, the general objective of this work was to evaluate the productivity of the use of different irrigation waters, especially treated sewage, in the cultivation of pepper seedlings (*Capsicum chinense* Jacq.) with NPK mineral fertilization. The results showed higher values of height, number of leaves, dry and fresh mass for the plants irrigated with treated sewage. The values obtained for total chlorophyll and sodium give possible indicative of saline stress suffered by the plants irrigated with treated sewage. However, no significant differences were observed in relation to fruit weight for the evaluated treatments.

**Keywords:** Effluent; Irrigation; Agriculture; Pepper.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo consta em Hespanhol (2003), na falta de disponibilidade de água de boa qualidade, esta não deverá ser utilizada para usos menos nobres que toleram águas de qualidade inferior, cabendo desta forma o reúso de água. De acordo com a USEPA (2004), a

técnica de reúso de água conserva os recursos hídricos ao mesmo tempo em que reduz a poluição. Para Semura et al. (2007), o reúso da água consiste no aproveitamento de efluentes tratados desde que atenda ao determinado fim para o qual foi destinada.

De acordo com Telles e Costa (2007), o efluente tratado é fundamental no planejamento e gestão de recursos hídricos como fonte hídrica alternativa para fins agrícolas. O reúso de esgoto tratado se configura, como solução alternativa para suprir parcial ou integralmente as demandas hídricas e nutricionais da agricultura. Entretanto, o uso efetivo e ambientalmente correto de esgotos em solos agrícolas, deve considerar aspectos relacionados às características dos solos (Kacprzak et al., 2017). Com o uso do efluente líquido, o solo ganha os nutrientes, que dependendo das características dos solos e da cultura, as suas demandas serão variáveis, podendo complementar com parcela significativa os nutrientes necessários às plantas e ao solo.

O presente estudo visa avaliar o desempenho do cultivo de mudas de pimenta utilizando diferentes tipos de água de irrigação (água de torneira, esgoto doméstico tratado e água destilada), com foco na avaliação das características físico-químicas das plantas irrigadas com esgoto tratado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente o cultivo foi realizado com pimenta, *Capsicum chinense* Jacq., variedade Boyra Habanero, em potes de 200 mL. Doze potes por tratamento, três sementes por pote, plantadas a uma profundidade de 3 cm. Os potes foram diariamente irrigados para a manutenção de 50% da capacidade de saturação do solo nos primeiros 15 dias e para 85% até o final da primeira parte do experimento (FAO, 2003). A temperatura foi monitorada diariamente registrando valores entre 26 e 33°C (Experimento I)

Posteriormente, as plantas irrigadas com efluente tratado e com água da torneira no Experimento I foram transplantadas para vasos de 10 L e cultivadas em casa de vegetação. Foi realizada a complementação mineral com NPK segundo recomendações da cultura. O nível de saturação do solo nos vasos foi mantido em 100% até a colheita, sendo a avaliação realizada através de tensiômetros. O desenvolvimento das plantas foi avaliado pela altura, número de folhas, massa fresca, massa seca, teor de macro e micronutrientes selecionados e clorofila total. Os frutos foram avaliados quanto ao comprimento, diâmetro e peso (Experimento II)

Análises físico-químicas para o solo e planta foram realizadas de acordo com metodologias específicas para cada caso. Para de água destilada, água de torneira e efluente, foi utilizada a APHA (2012), Tabela 1. Concentrações de metais presentes nas águas de irrigação (Na, K e Ca) foram detectadas por fotometria de chama.

Tabela 1: Parâmetros dos diferentes tipos de águas de irrigação utilizados.

Variável	Efluente Tratado	Água de Torneira	Água Destilada
NTK mg/L	23,00	1,40	ND
Nitrato mg/L	0,22	ND	ND
Amônio mg/L	16,00	1,23	ND
DQO mg/L	95,52	ND	ND
Fósforo mg/L	2,82	0,34	ND
pH	7,29	6,80	7,24
EC µS/cm	776,00	316,14	229,00
Na mg	82,70	32,80	ND
K mg	13,85	5,20	ND
Ca mg	15,90	4,50	ND

Fonte: Os autores



A normalidade dos dados foi verificada usando o teste de Shapiro-Wilk. Os valores médios obtidos nos tratamentos foram comparados com ANOVA e teste de Tukey para distribuição normal ou Kruskal-Wallis para o Experimento I. Para o Experimento II, os valores médios foram comparados usando o teste t para os dados normais e o teste U caso contrário, com nível de significância de 5%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 apresenta resultados de parâmetros físicos para as mudas submetidas aos diferentes tratamentos (Exp. I). As mudas irrigadas com efluente tratado apresentaram a maior média de altura e número de folhas, enquanto os menores valores foram obtidos para o tratamento com água destilada. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos parâmetros analisados. O suprimento de matéria orgânica no solo proveniente da irrigação com esgoto tratado, possivelmente foi o responsável pelos maiores valores obtidos para o tratamento com efluente tratado (KIEHL, 1985).

Tabela 2: Parâmetros de produtividade das mudas avaliados por tratamento.

Tratamento	Altura Média (cm)	Nº Médio de Folhas	Sobrevivência (%)	Quantidade de Mudas Avaliadas
Efluente Tratado	5,90±2,14a	6,70±1,06a	27,78	10
Água de Torneira	5,56±3,29a	6,25±2,25a	22,22	8
Água Destilada	4,10±3,20a	5,80±2,20a	27,78	6

Fonte: Os autores

A Tabela 3 apresenta as características das plantas e dos frutos obtidas ao final do Experimento II. Os resultados para matéria fresca e seca, assim como os apresentados na Tabela 2, apresentaram maiores valores para as plantas irrigadas com efluente em relação às plantas irrigadas com água de torneira. Resultados para clorofila total (a + b) foram maiores para as plantas irrigadas com água da torneira. Tais resultados são possíveis indicadores de estresse salino ou hídrico. Plantas sob estresse hídrico ou salino, geralmente reduzem o seu conteúdo de clorofila, pois o estresse beneficia a síntese de espécies reativas de oxigênio induzindo a oxidação de pigmentos fotossintéticos associados a auto degradação das moléculas de clorofila (CARLIN, 2012). Os resultados obtidos para sódio nas plantas reforçam essa possibilidade de estresse salino.

Tabela 3: Características das plantas e frutos após 120 dias de irrigação.

Variável	Efluente Tratado	Água de Torneira
<i>Características das Plantas</i>		
Matéria Fresca (g.plant <sup>-1</sup> )	155,29±40,30a	146,46±42,53a
Matéria Seca (g.plant <sup>-1</sup> )	36,74±14,22a	34,19±10,50a
Nitrogênio Total (g.kg <sup>-1</sup> )	42,88±5,07a	44,42±4,68a
Fósforo Total (g.kg <sup>-1</sup> )	3,77±0,43a	4,48±0,48a
Sódio (mg.kg <sup>-1</sup> )	70±8,22a	55±2,74b
Clorofila Total (mg.g <sup>-1</sup> )	3,35±0,26b	4,12±0,28a
<i>Características dos Frutos</i>		
Comprimento (cm)	32,13±1,23b	34,07±3,01a
Diâmetro (cm)	28,43±1,40b	29,66±1,64a
Peso Fresco (g)	6,47±0,61a	6,48±0,87a

Fonte: Os autores

Não foram observadas diferenças significativas no peso dos frutos em relação ao tratamento adotado. Para as variáveis de comprimento e diâmetro, os frutos das plantas irrigadas com água apresentaram valores superiores. Almuktar (2015), em experimento com reuso de efluente de wetland para cultivo de plantas do gênero *Capsicum*, associou a alta concentração de nutrientes no efluente a prejuízo para os frutos.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso do efluente tratado para cultivo de mudas resultou em maiores alturas e número de folhas (Experimento I), assim como maiores massas seca e fresca (Experimento II). Os resultados de clorofila total e sódio nas plantas são possíveis indicativos de estresse salino sofrido durante a irrigação com esgoto tratado, no entanto, não foram observadas diferenças significativas em relação ao peso dos frutos para os tratamentos. Dessa forma, o uso de efluente tratado para cultivo de mudas de *Capsicum chinense* se mostrou eficaz, uma vez que os resultados apresentados foram equivalentes aqueles obtidos pelo tratamento com água. Podendo, dessa forma, o efluente substituir a água para este determinado fim.

#### REFERÊNCIAS

- ALMUKTAR, S. A. A. N., SCHOLZ, M., AL-ISAWI, R. H. K., & SANI, A. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigating chillies and sweet peppers. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 1-22, 2015.
- ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e desenvolvimento)–Universidade Estadual do Paraná, Curitiba./PR (Brasil), 1999.
- CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. de L; SANTOS, D. M. M. dos. **Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.
- HESPAHOL, I. Potencial de Reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água**. São Paulo/SP (Brasil): NISAM-USP, p. 37, 38, 58-72, 2003.
- KIEHL, Edmar José. Fertilizantes orgânicos. 1985.
- KACPRZAK, M. et al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental Research**, vol. 156, p. 39-46, 2017.
- PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture-FAO irrigation and drainage paper 47: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Natural Resources Management and Environment Department**. <http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e06.htm>, v. 4, 1992.
- SEMURA, K. A.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. **Estudo para Implantação de Reúso e Proposição de Parâmetros de Qualidade para Usos Urbanos Não Potáveis a Partir das ETE's da RMSP**. In: Anais do WORKSHOP USO E REUSO AGUAS RESIDUARIAS E SALINAS. Viçosa/MG (Brasil). 2007.
- TELLES, D D.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas**. São Paulo/SP (Brasil): Editora Blucher, v. 2, 2007.
- USEPA, USAID. Guidelines for water reuse. **EPA/625/R-04/108, 25-167-250**, 2004.

## **Valorização do glicerol residual para produção de 1,3-Propanodiol usando culturas mistas**

**Shyrlane Torres Soares Veras <sup>1,\*</sup>, Cândida Nathaly Cordeiro Souto <sup>1</sup>, Sávvia Gavazza <sup>1</sup>,  
Lourdinha Florêncio <sup>1</sup>, Mário Takayuki Kato <sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)

\* shyrlane.veras@gmail.com, kato@ufpe.br

### **RESUMO**

A crescente demanda por biodiesel tem aumentado significativamente a quantidade de glicerol gerada ao longo do tempo. No entanto, o excesso de glicerol gerado torna necessária a adoção de alternativas para evitar futuros problemas ambientais. Diversos subprodutos com valor agregado podem ser obtidos a partir da digestão anaeróbia do glicerol usando tanto culturas puras como mistas. O 1,3-propanodiol (1,3-PDO), principal produto da via redutiva, é alvo de muitas pesquisas. Sendo assim, as principais informações contidas na literatura bem como as vantagens em utilizar culturas mistas para produzir esse composto foram reunidas e discutidas neste artigo de revisão. Melhorar a sua produção é um desafio e uma contribuição valiosa tanto para a valorização do glicerol como para o processo, especialmente do ponto de vista econômico.

**Palavras chaves:** Glicerol; 1,3-propanodiol; consórcio microbiano misto; processos anaeróbios; revisão da literatura.

### **ABSTRACT**

The growing demand for biodiesel has significantly increased the amount of glycerol generated over time. However, the excess of glycerol generated makes necessary the adoption of alternatives to avoid future environmental problems. Several value-added by-products can be obtained from the anaerobic digestion of glycerol using both pure and mixed cultures. 1,3-Propanediol (1,3-PDO), the main product of the reductive pathway, is the subject of many research. Therefore, the main information contained in the literature, as well as the advantages in using mixed cultures to produce that compound, were gathered and discussed in this review article. Improving its production is a challenge and a valuable contribution both to the glycerol valorization and to the process, especially from the economic point of view.

**Keywords:** Glycerol; 1,3-propanediol; mixed microbial consortium; anaerobic processes; literature review.

### **1. INTRODUÇÃO**

A crescente quantidade de resíduos orgânicos levanta questões bastante discutidas devido aos impactos ambientais e riscos à saúde que eles podem proporcionar. Nesse contexto, há uma preocupação com o glicerol gerado diante do aumento da produção de biodiesel ao longo do tempo. Estima-se que sejam gerados em torno de 100 gramas de glicerol para cada quilograma de biodiesel produzido. Em 2018, a produção brasileira de biodiesel ultrapassou 5 milhões de m<sup>3</sup> com o aumento na mistura com óleo diesel de 8% para 10%. No cenário mundial, espera-se um valor próximo a 42 milhões de m<sup>3</sup> até 2026 (OECD/FAO, 2017). Sendo assim, a oferta de glicerol pode ser muito maior do que a

demanda nas indústrias e uma parcela significativa poderia ficar sem destinação definida.

O glicerol é utilizado pelas indústrias como matéria-prima para fabricação de diversos produtos como: cosméticos, fármacos, aditivos para combustíveis, surfactantes, flavorizantes, gelatinizantes, solventes, lubrificantes, anticongelantes e polímeros. Contudo, seu uso na forma bruta geralmente está associado a maiores custos (ex. purificação, etc.). Por isso, algumas vezes as vantagens de sua aplicação como matéria-prima nas indústrias são questionadas.

O uso do glicerol em processos biológicos é uma alternativa em potencial, visto que é possível obter compostos com grande interesse para o mercado. Alguns estudos têm mostrado seu emprego como fonte de carbono para vários grupos de micro-organismos, tanto em condições aeróbias quanto anaeróbias. Dentre estes, os processos em condições anaeróbias têm ganhado destaque principalmente por exigir menores custos de implantação e operação em relação aos aeróbios (ABAD & TURON, 2012).

Com relação à digestão anaeróbia do glicerol, além dos produtos gasosos, principalmente  $\text{CH}_4$  e  $\text{H}_2$ , é possível obter outros subprodutos com valor agregado. Com o tempo, o foco das pesquisas incluíram os vários metabólitos obtidos pela via reductiva e oxidativa, como o 1,3-PDO e os ácidos orgânicos. Dentre estes subprodutos, o 1,3-PDO é amplamente utilizado na fabricação de uma variedade de produtos (ex. adesivos, resinas, tintas, lubrificantes, anticongelantes, cosméticos), principalmente polímeros.

No entanto, apesar a maioria dos estudos apresentarem resultados com culturas puras, a ideia proposta é incentivar o desenvolvimento e aplicação dos processos com culturas mistas, visando uma produção mais simples e com menores custos. Com isso, o objetivo deste trabalho foi reunir as principais informações contidas na literatura para incentivar o desenvolvimento de pesquisas envolvendo o uso do glicerol bruto como substrato para produção de 1,3-PDO utilizando consórcio microbiano.

## 2. GLICEROL: SUBSTRATO PARA DIVERSOS GRUPOS DE MICRO-ORGANISMOS

O glicerol pode ser utilizado por micro-organismos como fonte de carbono e energia. Vários grupos são capazes de convertê-lo em álcoois (ex. etanol, butanol), gases (ex.  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ), ácidos carboxílicos e dióis (ex. 1,3-PDO e 2,3-butanodiol), todos com ampla aplicação industrial. *Clostridium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Lactobacillus* e *Citrobacter* estão entre os gêneros mais citados na literatura (SUN et al., 2018).

As rotas metabólicas envolvidas na degradação anaeróbia do glicerol por essa variedade de micro-organismos são conhecidas e foram bem descritas em muitos estudos como o de Silva et al. (2009). A seguir foram reunidas as principais informações contidas na literatura sobre a produção de 1,3-PDO por culturas puras e mistas, destacando as vantagens e desvantagens em se utilizar as culturas puras e mistas.

### 2.1 Via reductiva: 1,3-PDO

O 1,3-PDO é o principal e mais antigo produto obtido pela via reductiva da degradação anaeróbia do glicerol. Ele foi obtido pela primeira vez em 1881, pelo químico austríaco August Freund a partir de glicerol e uma cultura mista contendo *C. pasteurianum* (SILVA et al., 2009). Apesar de sua descoberta ser antiga, o interesse em produzi-lo em larga escala foi impulsionado a partir da década de 90. Isso ocorreu após a Shell anunciar a comercialização de um novo polímero, o trimetileno politereftalato (PTT), obtido a partir da policondensação do ácido tereftálico e 1,3-PDO. O PTT apresenta propriedades com vantagens e preços competitivos comparados ao polietileno tereftalato (PET) e butileno politereftalato (PBT), os quais têm sido comercializados há mais de 50 anos (SILVA et al., 2014).

Mais de 100.000 toneladas de 1,3-PDO são produzidas anualmente com valor de mercado quase R\$ 9/kg, sendo estimado um aumento em torno de 10% até 2021. A maior

parte da produção é obtida pela fermentação de açúcares ou glicerol (VERAS et al., 2019). *K. pneumoniae* e *C. butyricum* são as espécies mais citadas na literatura devido à elevada produtividade de 1,3-PDO (SUN et al., 2018). É importante citar que *E. coli* modificada geneticamente já é utilizada pela DuPont para produzir 1,3-PDO (Susterra®), a partir da fermentação da glicose de milho (resíduo agrícola) e, com este, produzir o polímero PTT, denominado comercialmente de Sorona® (SILVA et al., 2014).

## 2.2 Culturas puras x culturas mistas

Os grupos de micro-organismos mencionados anteriormente foram estudados utilizando glicerol puro ou bruto em diferentes condições, entre elas: aeróbia, microaerófila e anaeróbia tanto em sistemas contínuos como descontínuos. Além disso, os maiores rendimentos já obtidos são reportados com culturas puras e com co-digestão entre glicerol e glicose, alguns envolvendo processos com 2 estágios: (i) para formação de glicerol a partir de glicose e (ii) formação de 1,3-PDO do glicerol produzido na etapa 1 (SAXENA et al., 2009, SILVA et al., 2009; SUN et al., 2018). Em termos operacionais, muitos estudos foram feitos com temperatura entre 30 e 37 °C e pH entre 5 e 9, sendo a maioria apresentada com pH na faixa de 7. Em geral, os rendimentos são entre 0,5 e 0,7 mol de 1,3-PDO por mol de glicerol consumido, principalmente para *K. pneumoniae* e *C. butyricum* em batelada ou batelada alimentada (SAXENA et al., 2009). Em sistemas contínuos são reportados rendimentos entre 0,4 e 0,5 mol/mol, valendo também para o uso de culturas mistas (MOSCOVIZ et al., 2016; VERAS et al., 2019).

No entanto, o uso em larga escala de cultivos puros está associado a várias exigências operacionais, como: (i) meios nutricionais específicos; (ii) novas fontes de substrato como acontece na co-digestão; (iii) manter o meio livre de outros micro-organismos, o que é bastante complicado visto que o glicerol bruto não é um substrato estéril e (iv) muitas cepas são patogênicas e de difícil acesso. Como consequência disso, têm-se vários desafios. Para Nakazawa et al. (2017), esses desafios podem tornar o processo economicamente inviável, além de envolverem maiores custos.

Em virtude disso, muitos estudos têm destacados alguns pontos importantes em relação ao uso de culturas mistas, como: (i) maior facilidade de controle operacional; (ii) permitem elevada produção de metabólitos; (iii) envolvem elevada diversidade microbiana capaz de degradar substratos brutos (não estéreis) e (iv) menores custos. No entanto, ainda há um número menor de trabalhos, principalmente envolvendo sistemas contínuos. Portanto, para encorajar o uso de culturas mistas para a fermentação anaeróbia de glicerol, é importante definir muito bem quais parâmetros são importantes e saber como controlá-los, para obter eficientemente os produtos desejados.

## 2.3 Perspectivas futuras para a pesquisa pelo Grupo de Saneamento Ambiental (GSA) do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) - UFPE

O grupo de pesquisa GSA/LSA/LABIOTA tem desenvolvido pesquisas com o uso de glicerol em processos anaeróbios para produção de 1,3-PDO. Em 2015 e 2019 duas teses foram defendidas em regime de co-tutela com a *Universidad Autónoma de Madrid* (UAM). A primeira envolveu o uso de reator UASB e lodo granular (NAKAZAWA, 2015). E em 2017, um artigo apresentando os efeitos de parâmetros operacionais e nutricionais sobre o rendimento de 1,3-PDO foi publicado em periódico internacional (NAKAZAWA et al., 2017). A segunda tese defendida envolveu o uso de reatores UASB com biofilmes formados por diferentes culturas mistas em espumas de poliuretano e mangueira de silicone com glicerol puro e bruto (VERAS, 2019), resultando na submissão de duas publicações, onde uma delas já se encontra disponível (VERAS et al., 2019). Atualmente, novas pesquisas objetivando outros compostos além do 1,3-PDO, estão em andamento.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso eficiente do glicerol para obtenção de novos compostos é essencial para a comercialização do biodiesel. Ao incentivar a produção e comercialização de biocombustíveis, pode resultar na redução da dependência em relação aos recursos não renováveis e a expansão das biorrefinarias. E esta pequena revisão abordou os principais pontos para justificar a importância em desenvolver pesquisas utilizando o glicerol como substrato para diversos grupos capazes de convertê-lo em 1,3-PDO por meio de processos fermentativos. Dessa maneira, processos com maior simplicidade e menores custos podem ser desenvolvidos e/ou aperfeiçoados mediante condições operacionais apropriadas para garantir bom rendimento e produtividade considerando futuras aplicações em larga escala.

### REFERÊNCIAS

- ABAD, S., TURON, X. Valorization of biodiesel derived glycerol as a carbon source to obtain added-value metabolites: Focus on polyunsaturated fatty acids. **Biotechnology Advances** v. 30, p. 733–741, 2012.
- MOSCOVIZ, R.; TRABLY, E.; BERNET, N. Consistent 1,3-propanediol production from glycerol in mixed culture fermentation over a wide range of pH. **Biotechnology for Biofuels**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2016.
- NAKAZAWA, M. M. **Aproveitamento de glicerol para a produção de biogás ou 1,3-propanodiol em reator UASB**. Tese de doutorado. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 103 p., 2015.
- NAKAZAWA, M.M.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T.; GAVAZZA, S.; SANZ, J.L. Effects of the operational conditions on the production of 1,3-propanediol derived from glycerol in anaerobic granular sludge reactors. **Water Science and Technology**, v. 75, p. 963–970, 2017.
- OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i7465e.pdf> > Acesso: 15 junho 2019.
- SAXENA, R.K.; ANAND, P.; SARAN, S.; ISAR, J. Microbial production of 1,3-propanediol: Recent developments and emerging opportunities. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 6, 895–913, 2009.
- SILVA, G.P.; CONTIERO, J.; ÁVILA NETO, P.M.; LIMA, C.J.B. 1,3-Propanediol: production, applications and biotechnological potential. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 527–534, 2014.
- SILVA, G.P.; MACK, M.; CONTIERO, J. Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. **Biotechnology Advances**, v. 27, p. 30–39, 2009.
- SUN, Y.Q.; SHEN, J.T.; YAN, L.; ZHOU, J.J.; JIANG, L.L.; CHEN, Y.; YUAN, J.L.; FENG, E.M.; XIU, Z.L. Advances in bioconversion of glycerol to 1,3-propanediol: Prospects and challenges. **Process Biochemistry**, v. 71, p. 134–146, 2018.
- VERAS, S.T.S. **Produção de compostos com valor agregado a partir da degradação anaeróbia do glicerol**. Tese de doutorado. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 192 p., 2019.
- VERAS, S.T.S.; ROJAS, P.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T.; SANZ, J.L. Production of 1,3-propanediol from pure and crude glycerol using a UASB reactor with attached biomass in silicone support. **Bioresource Technology**, v. 279, p. 140–148, 2019.

*TRANSPORTE E GESTÃO DAS  
INFRAESTRUTURAS URBANAS*

---

## **Análise de fatores influentes para implantação de políticas e modos de locomoção em regiões de morro no Recife**

**Débora Gonçalves Vasconcelos<sup>1\*</sup>, Maurício Oliveira de Andrade<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Departamento de Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas

\* debora.eng94@gmail.com, mauandrade@gmail.com.

### **RESUMO**

A escolha de modos e implantação de políticas de transportes envolve dificuldades e particularidades de diversas ordens. A literatura aponta para essas escolhas e implantações a utilização de parâmetros que levem em conta a mobilidade sustentável, além de fatores econômicos e sociais por meio de análises de custo efetividade. Contudo, para escolha adequada de parâmetros, é preciso levar em conta particularidades locais da área de implantação. Assim, visando encontrar fatores adequados a implantações nas áreas de morro do Recife, foi elaborada pesquisa com estudiosos, gestores e moradores, analisando padrões de palavras nas respostas fornecidas e distâncias por meio do software Orange Canvas, atentando para diferenças de opiniões entre os grupos entrevistados. É observada consonância entre os parâmetros apontados e a literatura, mas é destacada preocupação adicional com pontos interessantes, como a segurança dos usuários e a atenção a vontade da população. É observável também diferenças de opiniões de acordo com a formação acadêmica do entrevistado, grau de instrução e sua condição como morador ou não do morro. Dessa forma, se observa a importância da composição de um quadro representativo para os diferentes grupos no estudo e implantação de intervenções de transportes.

**Palavras chaves:** Regiões de morro; Transportes; Fatores.

### **ABSTRACT**

The choice of modes and implementation of transport policies involves difficulties and particularities of various kinds. The literature points to these choices and implementations the use of parameters that take into account sustainable mobility, as well as economic and social factors through cost effectiveness analyzes. However, for proper choice of parameters, one must take into account local particularities of the area of implantation. Thus, in order to find suitable factors for implantation in the hills of Recife, a survey was conducted with scholars, managers and residents, analyzing word patterns in the answers provided and distances through the Orange Canvas software, paying attention to differences of opinion between the interviewed groups. Consonance is observed between the parameters mentioned and the literature, but additional concern with interesting points such as users' safety and attention to the population's will is pointed. Differences of opinion can also be observed according to the interviewee's academic background, educational level and his or her status as a resident or not of the hill. Thus, the importance of composing a representative framework for the different groups in the study and implementation of transport interventions is observed.

**Keywords:** Hill regions; Transportation; Factors.

### **1. INTRODUÇÃO**

A mobilidade nas cidades é um aspecto muito importante na vida de seus habitantes. Somente por meio de uma adequada mobilidade e acessibilidade aos equipamentos



urbanos é possível o acesso da população à saúde, educação, além do próprio acesso ao mercado de trabalho, visando a sustentabilidade da economia local.

Por conta do crescimento da população e da falta de ordenamento no desenvolvimento das infraestruturas e moradias nas cidades, a população mais pobre tende a ocupar regiões desfavoráveis e sem infraestrutura, como os morros (OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES, 2006). Apesar das dificuldades, há soluções que podem melhorar a mobilidade nesses locais. No Recife têm sido aplicadas soluções de escadarias e linhas de ônibus complementares (RECIFE, 2018; RECIFE, 2019). No entanto, para testar as várias alternativas possíveis no contexto local, é necessário que sejam bem avaliadas. Assim, é preciso apontar que aspectos devem ser considerados mais relevantes e devem ser levados em conta pela gestão pública, para então apontar a melhor estratégia de intervenção.

Dessa forma, foi realizada pesquisa com estudiosos em diferentes áreas voltadas a questão infraestrutural dos morros, além de gestores e moradores dessas regiões de forma a analisar parâmetros para intervenções de transportes considerando a região do Recife. Assim, se objetiva a construção de elementos que permitam escolhas bem embasadas por parte dos gestores para implantação de políticas e modos de transportes adequados para a região.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para execução da pesquisa proposta, foi realizada aplicação de questionário eletrônico por meio da plataforma Google Docs. O formulário contemplava questões sobre o perfil do entrevistado (formação acadêmica, em que trabalha, e se é morador de morro ou não), e 3 questões relativas a mobilidade nos morros: quais problemas ele vislumbrava na locomoção (dentro do morro e desse para outras regiões da cidade); que soluções ele propunha para corrigir tais problemas; e quais critérios/fatores ele considera importante para a escolha de uma solução de transporte nos morros. Foi realizada aplicação piloto com 9 participantes, após isso, o questionário foi enviado a entidades e empresas envolvidas no Plano Diretor do Recife, Organizações Não Governamentais (ONGs), associações de moradores, representantes de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco (áreas de pesquisa de Transporte, Arquitetura e Geografia) e entrevistas realizadas com os próprios moradores. Buscou-se obter valores próximos a paridade de opinião entre moradores, pesquisadores e gestores, de forma que as opiniões de cada um desses grupos não sobrepusessem outro na análise total. O formulário online foi enviado para 105 pessoas, recebendo-se apenas 17 entrevistas, realizando então as demais entrevistas pessoalmente, obtendo-se 57 respostas. Posteriormente, foi realizada análise textual das respostas obtidas por meio do software Orange Canvas, permitindo obtenção de padrões de respostas com análise de *bag of words*, ou seja, nuvem de palavras que indicam o quanto elas foram repetidas nos discursos analisados (representadas pelo tamanho com que aparecem) e a proximidade entre elas nos discursos (pela proximidade visual em que estão dispostas na figura), além da análise de distâncias, que permite a observação de proximidade de respostas e opiniões entre diferentes pesquisados, mesmo pertencendo a grupos diferenciados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após aplicação dos questionários e realizando-se análise das respostas pelo software, se obtiveram os resultados gráficos de *bag of words* exibidos a seguir na figura 1. Tais resultados, apontam as palavras mais usadas nas respostas do entrevistado. As palavras maiores indicam as que foram mais usadas, enquanto a proximidade entre elas indica maior relação no uso delas ao longo das respostas.



Figura 1: Trecho das *Bag of words* das respostas dos pesquisadores a) Quanto as dificuldades enfrentadas para locomoção dos moradores; b) Quanto a possíveis soluções aos problemas encontrados; c) Quanto aos critérios de escolha de intervenções de transportes para as regiões de morro. Fonte: Os autores.

Assim, fazendo uma análise visual imediata no aspecto dos problemas, são apontados problemas com as escadarias (destaque para seu maior tamanho), e os ônibus, que se mostrou próximo a palavra "falta", indicando uma frequência ou frota insuficiente segundo os entrevistados. Com menos impacto, se verifica a questão das calçadas, barreiras e infraestrutura, que aponta para insuficiências nessas áreas.

Já partindo para os aspectos de solução, se observa uma tendência a melhoria imediata de equipamentos, como as escadarias e as calçadas. Também foi apontada a questão da qualidade das intervenções propostas.

Analisando-se a questão de critérios de escolha, vê-se o custo e capacidade de manutenção. Os entrevistados apontaram a necessidade de se levar em conta os custos das intervenções, tal qual as análises de benefício e custo já utilizadas para a análise de viabilidade de soluções. Tais fatores concordam com o que é apontado na literatura por meio da questão da mobilidade sustentável, com discussões iniciadas desde o Relatório Brundtland e que se seguem até hoje (PORTUGAL, 2017), que apontam os pilares de análise em econômica, social e ambiental. Contudo, observa-se também a preocupação com relação a "segurança" dos usuários, extremamente válida para o local de estudo, que apresenta criminalidade elevada, que prejudicam a população nos diferentes aspectos da vida, incluindo na locomoção. Mostrou-se também preocupação em levar em conta a opinião das comunidades que serão afetadas pelas intervenções, destacadas pela presença das palavras "população", "comunidade" e "moradores". Embora tal já seja abordado com as audiências públicas, se observa que tal instrumento não costuma apresentar o resultado desejado, já a população é apenas comunicada de uma decisão previamente tomada, e da qual não pode opinar por não possuir conhecimentos técnicos necessários.

Seguindo agora para análise de distâncias, considerando as respostas como um todo, se observa uma segregação das respostas obtidas de acordo com sua formação acadêmica, tal como evidenciado na figura 2 a seguir. Tal resultado mostra que, mesmo diante de uma mesma problemática em uma mesma região de estudo, a forma de pensar o problema é feita de forma diferenciada por cada uma das áreas de formação. Em especial, nota-se a segregação entre engenheiros e arquitetos (destaque em vermelho), demais acadêmicos (em verde), em especial da pedagogia e advogados, e aqueles com formação mais básica (em azul), em geral, moradores de região de morro (atentando para sua segregação em comparação aos demais). Tudo isso ressalta a necessidade da presença de equipes multidisciplinares para a formulação e implementação de soluções, o que deveria ser levado em conta no momento de montar equipes de apoio para os gestores locais.

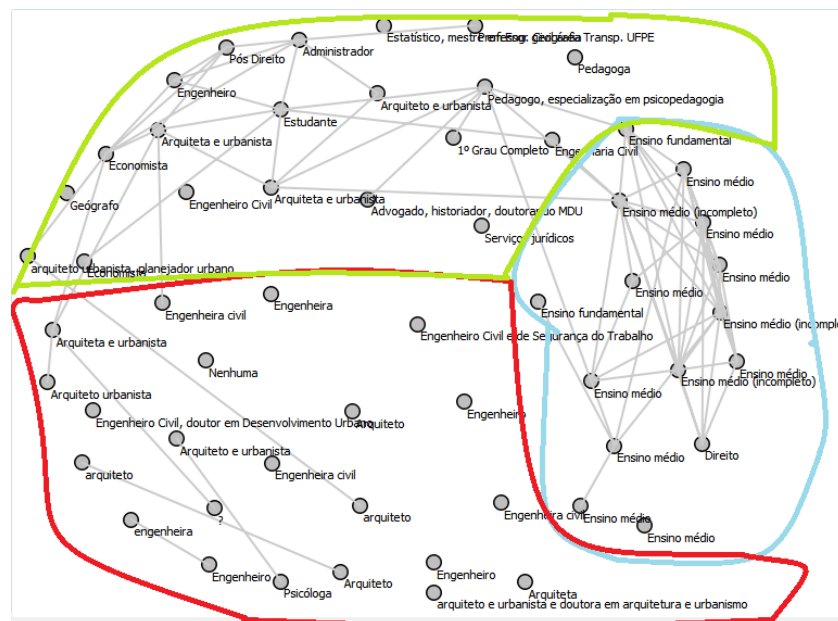


Figura 2: Análise da formação acadêmica dos entrevistados. Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Com o trabalho realizado, se observaram fatores interessantes para a aplicação de políticas públicas de transportes para a região do Recife que vão além do que é estipulado normalmente pela literatura, apontando aspectos que poderiam ser negligenciados caso observados apenas por meio de parâmetros externos. Além disso, verificou-se a importância de se abranger diferentes áreas de estudo, dando atenção aos diferentes pontos de vista que estas apresentam de forma a trazer uma análise que englobe diferentes possibilidades, problemas e soluções que não seriam verificados de outra forma. Isso é essencial para a formação de equipes de estudo e apoio para gestores públicos, para que estes tomem a decisão mais adequada de intervenção. Além disso, destaca-se a importância da participação da população diretamente afetada, que trás para a discussão pontos de vista diversos que enriquecem a discussão dos problemas e implantação de soluções, que realmente irão condizer com as necessidades existentes, expandindo ainda mais a gama de fatores a serem considerados para uma intervenção bem sucedida.

#### REFERÊNCIAS

RECIFE - Prefeitura da Cidade - Gabinete de Imprensa. Moradores de Água Fria comemoram requalificação de rua e escadarias. **Notícias**. Recife, PE, 04 de jul. 2018. Disponível em: <<http://www.recife.pe.leg.br/noticias/aumento-dos-acidentes-com-motociclistas-no-recife-foi-tema-de-audiencia>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

RECIFE - Prefeitura da Cidade - Portal da Prefeitura da Cidade do Recife. **Transporte Complementar**. Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/servico/transporte-complementar>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **COMO ANDA A REGIÃO METROPOLITNA DO RECIFE**. Setembro, 2006. Disponível em: <[http://www.observatoriodasmetrolopes.ufrj.br/como\\_anda/como\\_anda\\_RM\\_recife.pdf](http://www.observatoriodasmetrolopes.ufrj.br/como_anda/como_anda_RM_recife.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2019.

PORTUGAL, L. S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Elsevier, 2017.

## Avaliação da eficiência ambiental do sistema de transporte brasileiro utilizando análise envoltória de dados

Viviane Adriano Falcão<sup>1\*</sup>, Flávia de Castro Camioto<sup>2</sup>, Francisco Gildemir Ferreira da Silva<sup>3</sup>, Leise Kelli de Oliveira<sup>4</sup>

1 Universidade Federal de Pernambuco – DECIV

2 Universidade Federal do Triângulo Mineiro

3 Universidade Federal do Ceará – CAEN

4 Universidade Federal de Minas Gerais

\* viviane.afalcao@ufpe.br

### RESUMO

O desenvolvimento econômico de um país depende diretamente do seu sistema de transportes. A importância do bom desempenho do setor de transporte para o crescimento econômico é amplamente reconhecida. Porém, os países não só querem aumentar produtividade e a eficiência das suas economias, como querem reduzir o consumo de energia e a poluição ambiental. O Brasil foi um dos países que mais emitiu CO<sub>2</sub> no setor de Transportes nos últimos 40 anos. O objetivo do trabalho é mensurar e analisar a eficiência dos sistemas de transportes do Brasil comparando-os com modelos internacionais por meio da Análise Envoltória de Dados, considerando variáveis ambientais e operacionais. A avaliação da eficiência é crucial para a condução de um planejamento mais adequado ao desenvolvimento dos sistemas de transportes. Essa análise será possível por meio de um ponto de referência, em que, neste trabalho, serão os sistemas de outros países. Desta forma, será possível compará-los e determinar como o Brasil está neste cenário e o quanto se pode melhorar. Ao término desse trabalho, haverá uma melhor compreensão da eficiência dos sistemas de transportes a nível nacional e internacional, além de fornecer informações sobre os fatores que influenciam a eficiência dos sistemas de transportes nacional. **Palavras chaves:** Eficiência Ambiental; Matriz de Transporte; Sistemas de Transportes; Emissões de CO<sub>2</sub>.

### ABSTRACT

The country economic development depends directly of the transport system. The importance of the good performance of the transportation sector to economic growth is widely recognized. However, countries not only want to increase productivity and the efficiency of their economies, but also want to reduce energy consumption and environmental pollution. Brazil was one of the countries that emitted the most CO<sub>2</sub> in the transport sector in the last 40 years. The purpose of this work is to measure and analyze the efficiency of Brazil's transportation systems, comparing them with international models through Data Envelopment Analysis, considering environmental and operational variables. Efficiency assessment is crucial for conducting better planning for the development of transportation systems. This analysis will be possible by means of a reference point, in which, in this work, will be the systems of other countries. In this way, it will be possible to compare them and determine how Brazil is in this scenario and how much can be improved. At the end of this work, there will be a better understanding of the efficiency of transportation systems at national and international level, as well as providing information on the factors influencing the efficiency of national transportation systems. **Keywords:** Environmental Efficiency; Transportation Matrix; Transportation Systems; CO<sub>2</sub> emissions.

### 1. INTRODUÇÃO

As infraestruturas de transporte têm uma grande importância para a promoção do desenvolvimento econômico de um país, pois é através da movimentação de pessoas e de mercadorias que se movimenta a economia. Sendo assim, o desenvolvimento econômico de um país depende diretamente da eficiência do seu sistema de transportes. Diante disso, muitos estudos científicos vêm se preocupando com a eficiência do sistema de transportes.

Jiang, Liu e Lv (2017), por exemplo, utilizaram o DEA para avaliar a eficiência das rodovias, eles escolheram como input as variáveis: total de investimento, quantidade de equipamentos, extensão das vias, empregados; e como output movimentação de carga e de passageiros. Ao final do trabalho, eles sugerem que analisem a eficiência dos modos de transportes, ferroviário, aeroviário e aquaviário.

Porém, nos dias atuais, não se pode pensar em desenvolvimento econômico sem preocupar-se com a sustentabilidade. Segundo Chang et al. (2011), um dos problemas mais graves decorrentes do crescimento econômico é o dano ambiental. Os países não só querem

aumentar produtividade e a eficiência das suas indústrias, como querem reduzir o consumo de energia e a poluição ambiental.

Ressalta-se que as funções de transporte e logística permitem o comércio em escala global. A importância do bom desempenho do setor de transporte para o crescimento econômico e a redução da pobreza é amplamente reconhecida. Porém, uma fonte de preocupação é como o desempenho econômico e logístico estão relacionados às emissões de CO<sub>2</sub> dos países. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE, 2017), o setor de transporte contribuiu com 24 % do total de emissões de CO<sub>2</sub> do mundo, em 2015.

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2017, o segmento de transporte apresentou uma expansão de 1,9 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo o segundo maior avanço da demanda energética no país. Isto ocorreu principalmente em virtude do aumento de 2,7% do consumo de óleo diesel, consequência da maior atividade do setor de transporte de carga. No mercado de veículos leves, foi registrado um crescimento de 0,5% na produção de gasolina automotiva, enquanto o consumo deste combustível expandiu 2,6%. Já a produção e consumo de etanol tiveram um comportamento inverso, com queda de 2,1% e 0,4% em relação ao ano anterior, respectivamente (BEN, 2018).

Como consequência, este setor foi responsável pela maior parte das emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira, emitindo 199,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>-eq), de um total de 435,8 (Mt CO<sub>2</sub>-eq) das emissões do país (BEN, 2018).

Na Figura 1, é apresentado um comparativo das emissões de CO<sub>2</sub> entre Brasil, China, Rússia, Estados Unidos, África do Sul, Índia, México e Canadá, entre 1971 e 2014, além dos países do BRICS, que têm uma economia similar a brasileira, foram incluídos países do continente americano. A partir desse comparativo é possível observar que o Brasil foi o país que mais emitiu CO<sub>2</sub> no setor de Transportes, entre todos os países considerados.

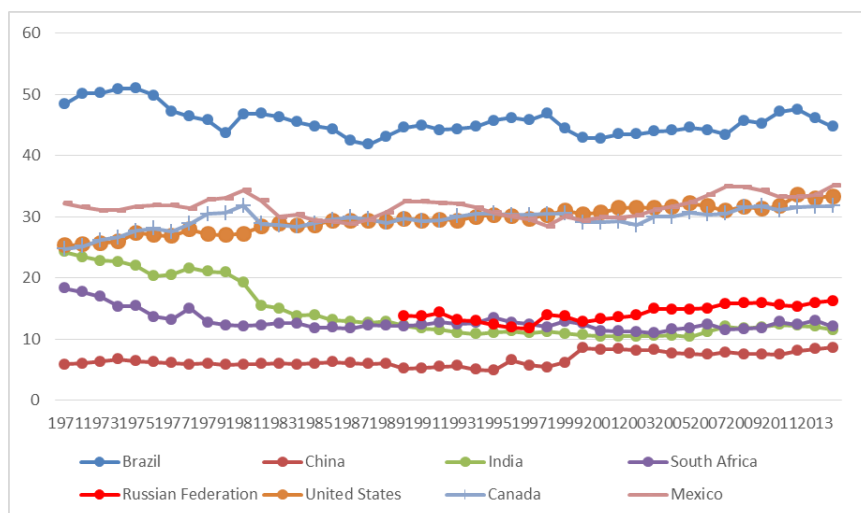


Figura 1: Emissões de CO<sub>2</sub> no setor de transportes (% do total de combustível fóssil) comparativo entre países e o Brasil entre 1971 e 2014. Fonte: Adaptado do World Bank Data (2018)

Diante desse cenário, é possível citar alguns estudos mais recentes que consideram aspectos ambientais para a análise do sistema de transportes. Mariano et al. (2017), por exemplo, avaliou a eficiência na relação entre o desempenho logístico de transporte, medida pelo Índice de Desempenho de Logística (LPI) e as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte. A análise envoltória de dados (DEA) foi usada para construir um índice de desempenho logístico de baixo carbono (LCLPI) classificando um grupo de 104 países que foram selecionados usando os dados disponíveis. Considerando os resultados da DEA, os países com melhor desempenho em termos de LCLPI foram Japão, Alemanha, Togo, Benin e Estados Unidos, e os países mais evoluídos foram Luxemburgo, Irlanda, Líbano e Honduras.

Já o estudo de Melo et al. (2018) compararam a eficiência dos corredores brasileiros e norte-americanos de transporte de soja utilizando a análise envoltória de dados (DEA). Para isso, foram consideradas variáveis que representam os três pilares da sustentabilidade e como um dos resultados os autores verificaram que a eficiência das viagens de navegação depende de quantas barcaças são usadas na mesma expedição. Rotas com mais de três modos tendem a ser ineficientes, o que sugere que há um limite para a multimodalidade.

Considerado um país emergente, o desenvolvimento do Brasil se comporta de maneira acelerada, porém insustentável, principalmente no que diz respeito a matriz de transportes nacional. No tocante a divisão modal brasileira, sabe-se que o modo rodoviário detém 65% da fatia desse mercado (EPL, 2015), esse mesmo modo rodoviário é considerado o mais poluente, por conta das emissões de CO<sub>2</sub>. Todavia, qualquer país desenvolvido detentor de um sistema de transporte sustentável já foi um país emergente e conseqüentemente implantou políticas e planos de investimentos destinados a diversificar os modelos de transporte, garantindo um uso sustentável de energia e capital (REPLOGIE, 1991).

Portanto, torna-se apropriado analisar a eficiência ambiental dos sistemas de transporte do Brasil comparando com diferentes economias do mundo para identificar melhores práticas. Além disso, a presente pesquisa pretende contribuir para a literatura científica sobre o tema, uma vez que possibilitará a análise de aspectos ambientais e operacionais, de forma conjunta, considerando os diferentes modos de transporte. Esse tipo de análise agregada carece de estudos para o Brasil, bem como de estudos comparativos considerando diversos países.

Avaliar o sistema de transporte do Brasil baseando-se em modelos internacionais, eficientes do ponto de vista ambiental, permitirá ter uma visão otimizada do planejamento e da destinação de recursos no Brasil. Dessa maneira, por meio da análise da eficiência, utilizando a Análise Envoltória de Dados, cada variável considerada na análise poderá ser avaliada.

A análise de eficiência é crucial para a condução de um planejamento mais adequado ao desenvolvimento dos sistemas de transportes, principalmente se tratando do aproveitamento ótimo dos recursos disponíveis. Essa análise será possível por meio de um ponto de referência, em que, neste trabalho, serão os sistemas de outros países. Desta forma, será possível compará-los e determinar como o Brasil está neste cenário e o quanto se pode melhorar.

O objetivo desse projeto é mensurar e analisar a eficiência dos sistemas de transportes do Brasil comparando-os com modelos internacionais por meio da Análise Envoltória de Dados, considerando variáveis ambientais e operacionais.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Nesta seção, a presente proposição apresenta, de forma ainda preliminar, a delimitação do trabalho no que diz respeito aos procedimentos metodológicos.

Segundo Mariano (2008), o cálculo da eficiência é problemático e para ser realizado necessita de algumas técnicas como a Análise por Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis). A DEA teve origem nos trabalhos de Charnes et al. (1978) e de Banker et al. (1984), sendo ambos baseados em Farrel (1957), que propôs um modelo empírico para medir a eficiência relativa. Essa técnica possibilita a análise da eficiência dos sistemas de transportes, por meio da construção de uma fronteira de eficiência. A DEA será utilizada nesse projeto para avaliar a eficiência do sistema de transportes brasileiros frente aos internacionais.

## **3. DESENVOLVIMENTO**

Este item introduz alguns estudos que avaliaram regiões de múltiplos aeroportos. Além de apresentar os principais trabalhos que utilizaram técnicas de preferência declarada e modelos de escolha discreta.

Os trabalhos relativos a transporte foram resumidos por Coelli et al. (2003) e Merkert et al. (2012). Dessa forma, percebe-se que Coelli et al. (2003) e Merkert et al. (2012) não encontraram estudos que façam uma análise da eficiência ambiental e operacional,

simultaneamente, dos sistemas de transportes considerando a infraestrutura dos principais modos, em geral são escolhidos um modo para ser analisado.

Ramanathan (2000), por exemplo, usou o DEA para avaliar a eficiência energética dos modos ferroviário e rodoviário de transporte na Índia. A análise mostra uma melhoria gradual na eficiência energética do transporte ferroviário, enquanto o transporte rodoviário no final da década de 1980 foi mais eficiente do que na década de 1990.

Já Liu e Lin (2018) também aplicaram DEA para avaliar a eficiência energética no setor de transportes de províncias chinesas. Com o rápido desenvolvimento da economia chinesa, a demanda por transporte aumentou drasticamente, o que causou um alto consumo de energia no setor de transporte. A redução de emissões é atualmente uma tarefa longa e árdua para a China.

#### 4. RESULTADOS ESPERADOS

Ao término deste projeto espera-se, contribuir para uma melhor compreensão da eficiência dos sistemas de transportes a nível nacional e internacional. Compreender os fatores que influenciam a eficiência dos sistemas de transportes. Avaliar os fatores que podem contribuir para a melhoria da eficiência ambiental e técnica dos sistemas de transportes nacional.

#### REFERÊNCIAS

- BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W. (1984). **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis**. *Management Science*, v. 30, p. 1078-1092.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2018** (Ano-Base 2017). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 05 set. 2018.
- CHANG, Y.-T.; ZHANG, N.; DANAQ, D.; ZHANG, N. **Environmental efficiency analysis of transportation system in China: A non-radial DEA approach** / *Energy Policy* 58 (2013) 277–283.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. (1978). **Measuring the efficiency of decision making units**. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p.429-444.
- COELLI, T.; ESTACHE, A.; PERELMAN, S.; TRUJILLO, L. (2003) **A Primer on Efficiency Measurement for Utilities and Transport Regulators**. Washington: The World Bank.
- EPL. Empresa de Planejamento e Logística. **Plano Nacional de Logística**. Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015. Disponível em <https://www.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015>. Acessado em 06 de setembro de 2018.
- JIANG, G.-J.; LIU, L.; LV, H.-D. (2017) **Transportation system evaluation model based on DEA**, *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 20:1, 115-124, DOI: 10.1080/09720529.2016.1178908
- LIU, W.; LIN, B. **Analysis of energy efficiency and its influencing factors in China's transport sector**. *Journal of Cleaner Production* 170 (2018) 674e682
- MARIANO, E. B. **Sistematização e Comparação de Técnicas, Modelos e Perspectivas não paramétricas de análise de Eficiência Produtiva**. São Carlos, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.
- MARIANO, E.B., GOBBO, J.A., CAMIOTO, F.D.C., REBELATTO, D.A.D.N. **CO2 emissions and logistics performance: a composite index proposal**. *Journal of Cleaner Production*, v. 163, pp. 166-178, 2017.
- MELO, I.C., JUNIOR, P.N.A., PERICO, A.E., GUZMAN, M.G.S., REBELATTO, D.A.N. **Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA)**. *Benchmarking*, 25(2), pp. 713-742, 2018.
- MERKERT, R., ODECK, J., BRATHEN, S.; PAGLIARI, R. (2012) **A Review of Different Benchmarking Methods in the Context of Regional Airports**, *Transport Reviews*, 32:3, 379-395, DOI: 10.1080/01441647.2012.662707
- RAMANATHAN, R. **A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes**. *Energy Policy* 28 (2000) 743-747
- REPLOGIE, M. **Sustainability: A vital concept for transportation planning and development**. *Journal of Advanced Transportation*, Washington, p. 3-18, 1991.
- WORLD BANK DATA. Disponível em [https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS?end=2014&locations=BR-ZA-CN-RU-IN-US-CA-MX&name\\_desc=false&start=1971&view=chart](https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS?end=2014&locations=BR-ZA-CN-RU-IN-US-CA-MX&name_desc=false&start=1971&view=chart). Acessado em 06 de setembro de 2018.

## Escolha aeroportuária: estudo de caso da Região do Triângulo Mineiro

Viviane Adriano Falcão<sup>1\*</sup>, Francisco Gildemir Ferreira da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – DECIIV - viviane.afalcao@ufpe.br\*

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará – CAEN – gildemir@ufc.br

### RESUMO

Desde 2015 constatou diminuição no movimento de passageiros do Aeroporto de Uberaba, atingindo em 2017 cerca de 60.000 passageiros. Em contrapartida, o Aeroporto de Uberlândia, situado a cerca de 100km do mesmo, apresentou um crescimento considerável na mesma época. Logo, o objetivo do trabalho é estudar o processo de escolha aeroportuária na região do Triângulo Mineiro, identificando quais são os atributos determinantes para a escolha por parte do passageiro. Para isso será feito um comparativo com os aeroportos concorrentes, analisando as respectivas matrizes Origem/Destino, dados socioeconômicos. Posteriormente serão definidos os atributos considerados importantes na escolha por um aeroporto, será estabelecido um questionário baseado em técnicas de preferência declarada. E por fim, será aplicado um modelo de escolha discreta (Logit) para avaliar os fatores que mais contribuem para escolha de um aeroporto em detrimento do outro. Espera-se obter, quais os fatores, como frequência de voos, horários, acessibilidade, preço da passagem aérea e renda média da população influenciam na escolha do aeroporto de origem e como os passageiros poderiam mudar a escolha em função de alterações nesses atributos. **Palavras chaves:** Aeroporto Regional; Escolha Aeroportuária; Logit.

### ABSTRACT

Since 2015, there has been a decrease in the movement of passengers from the Airport of Uberaba, reaching in 2017 about 60,000 passengers. On the other hand, the Airport of Uberlândia, located about 100km from the same one, presented a considerable growth in the same time. Therefore, the objective of this work is to study the process of airport choice in the Triângulo Mineiro region, identifying which are the determining attributes for the passenger's choice. For this, a comparison will be made with the competing airports, analyzing the respective Origin / Destination matrices, socioeconomic data. Later, the attributes considered important in the choice of an airport will be defined, a questionnaire based on declared preference techniques will be established. And finally, a discrete choice model (Logit) will be applied to evaluate the factors that contribute most to choosing one airport over another. It is expected to obtain, what factors, such as flight frequency, schedules, accessibility, airfare price and average population income influence the choice of the airport of origin and how passengers could change the choice due to changes in these attributes. **Keywords:** Regional Airport; Airport choice; Logit.

### 1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo regional aumentou significativamente nos últimos anos no país. Hoje o Brasil é o segundo país do mundo com o maior número de aeródromos e o terceiro mercado mundial de transporte aéreo doméstico (Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2016). Além disso, o Brasil em 2016 apresentou um crescimento acumulado nos últimos 10 anos de 32,1% na quantidade de voos domésticos (ANAC, 2017). No mesmo período, o Brasil por inúmeros motivos, dentre eles políticas externas, incentivo a políticas públicas, entre outros, teve um avanço econômico de 4% a.a., um aumento superior a décadas anteriores (CRUZ et al., 2012). Isso exemplifica que o transporte aéreo doméstico de passageiros pode estar diretamente interligado ao desenvolvimento econômico da região.

Além disso, outro aspecto importante para o aumento da demanda de transporte aéreo foi à redução da tarifa, tornando o mercado mais competitivo e dinâmico. O benefício dessa competitividade reduziu em 48% o valor do preço médio por quilômetro voado de 2003 a 2008 (McKinsey&Company,2010). Logo é possível inferir que o aumento da renda média da população e a diminuição dos preços cobrados por passageiros podem ter contribuído para a expansão da demanda de voos domésticos e internacionais, levando o sistema de transporte aéreo ser o preferido para longas distâncias (ABAETAR, 2011).

Com o crescimento da movimentação de passageiros no transporte aéreo, os aeroportos regionais se tornam estratégicos para consolidação desse modo. Assim é necessário avaliar a demanda de aeroportos regionais para garantir uma conexão, mais



rápida e segura de demais localidades, e sua integração através da aviação (ABAETAR, 2011).

A análise dos aeroportos de origem em regiões com vários aeroportos tem uma tradição bem estabelecida em transporte e economia regional. Marcucci e Gatta (2011) estimaram a importância dos diferentes atributos que determinam a escolha do aeroporto de origem em uma região com quatro aeroportos regionais na Itália.

Uberaba é uma cidade localizada na Região do Triângulo Mineiro, que apresenta localização estratégica. Além disso, segundo a ABAETAR, (2011), Uberaba é um dos aeroportos regionais com grande potencial de crescimento. Em 2009 o número de passageiros no Aeroporto Mário Almeida Franco foi 69.619 passageiros, e a previsão em 5 anos foi de 370.315 passageiros. Contudo, em 2014, Uberaba teve uma demanda de 141.676 passageiros, não atendo as expectativas de crescimento para o mesmo ano. Em 2017, a demanda caiu para 67.189 passageiros (INFRAERO,2018). Acredita-se que o decréscimo de passageiros ocorreu pela crise político-econômica, pelo baixo número de rotas encontrada no Aeroporto Mário de Almeida Franco, pela frequência de voos existente nos aeroportos concorrentes e principalmente pela tarifa dos mesmos.

Assim, existe a necessidade de avaliar o processo de escolha aeroportuária na região do Triângulo Mineiro, identificando quais são os atributos determinantes para a escolha por parte do passageiro. Logo, um estudo que se propõe a entender a escolha do aeroporto de origem na região do Triângulo Mineiro, poderá auxiliar os operadores aeroportuários na tomada de decisão de forma a atrair uma maior demanda para o aeroporto de Uberaba, gerando mais investimentos, e conseqüentemente melhoria na economia da região.

Estudar regiões de múltiplos aeroportos é considerado uma importante área de pesquisa para o planejamento do sistema aeroportuário. Quando vários aeroportos já servem uma região, a previsão de distribuição de voos e passageiros entre eles é sempre complexo. Além disso, a viabilidade de novos aeroportos depende da sua capacidade de penetrar nesse mercado (HANSEN, 1995). O objetivo do trabalho é avaliar o processo de escolha aeroportuária na região do Triângulo Mineiro, identificando quais são os atributos determinantes para a escolha por parte do passageiro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Nesta seção, a presente proposição apresenta, de forma ainda preliminar, a delimitação do trabalho no que diz respeito aos procedimentos metodológicos.

O segundo momento da pesquisa será a definição e a caracterização dos aeroportos concorrentes na área de estudo, analisando as respectivas matrizes Origem/Destino, dados de infraestrutura, socioeconômicos, movimentação de passageiros, aeronaves e cargas. Durante essa etapa inicial também serão definidos os atributos que influenciam na escolha do aeroporto de origem pelo passageiro, de forma a embasar a confecção do questionário.

Em seqüência, será aplicado o questionário na cidade de Uberaba. Serão realizadas as análises estatísticas e posteriormente, será aplicado o modelo de escolha discreta, com o auxílio do software GRETLL, com o objetivo de encontrar a ponderação dos atributos.

Por fim, serão conhecidos os principais atributos na escolha do aeroporto de origem na região do Triângulo Mineiro, e poderão ser estabelecidos cenários com a alteração desses atributos de forma a verificar como pode-se atrair uma maior demanda para o aeroporto de Uberaba.

## **3. DESENVOLVIMENTO**

Este item introduz alguns estudos que avaliaram regiões de múltiplos aeroportos. Além de apresentar os principais trabalhos que utilizaram técnicas de preferência declarada e modelos de escolha discreta.

Uma questão importante para os gestores de aeroportos é se o aeroporto está atraindo um número suficiente de passageiro para o qual foi projetado. Se, por exemplo, o número de passageiros usando um aeroporto é substancialmente inferior ao que o aeroporto deveria atrair, o aeroporto pode não ter o número necessário de companhias aéreas para fornecer um

nível adequado de serviço aéreo e, por conta disso, não ter tarifas competitivas para a região. Por esta razão, os gestores aeroportuários precisam conhecer os critérios de escolha de passageiros aéreos (SUZUKI et al. 2003).

Como dito anteriormente, a escolha do aeroporto em regiões com múltiplos aeroportos é de grande interesse para os gestores aeroportuários, mas também para as companhias aéreas. Os resultados de alguns estudos, baseados em dados de preferência declarada mostram que a tarifa aérea, o acesso, o tempo, a frequência de voos e o número de companhias aéreas foram os atributos mais importantes para essa escolha. Em contraste, a quantidade de modos de acesso ao aeroporto, o custo do acesso, a área de compras no aeroporto e o tempo de espera nos balcões de check-in não foram considerados estatisticamente significativos (LOO, 2008).

Região de Múltiplos Aeroportos - RMA, como o nome já diz, é uma região que compreende dois ou mais aeroportos. Os três principais exemplos de Regiões de Múltiplos Aeroportos no Brasil são: o Rio de Janeiro, com um sistema de dois aeroportos (Galeão e Santos Dumont) e São Paulo, com um sistema de três aeroportos (Congonhas, Guarulhos e Viracopos). Deste modo, o presente trabalho tem como finalidade o estudo de caso da escolha aeroportuária na região do Triângulo Mineiro, que pode ser considerada uma região de múltiplos aeroportos.

Dentro das regiões de múltiplos aeroportos os usuários, podem escolher entre aeroportos diferentes, não só com base na vizinhança, mas também em uma série de outros atributos. Geralmente, o preço da passagem é o fator mais importante e é chamado de atributo nível de serviço primário do aeroporto. Outros fatores, amplamente conhecido como atributos secundários do aeroporto, podem ser categorizados em dois tipos.

Ashford e Bencheman (1987) desenvolveram um modelo de escolha discreta, mais precisamente um Logit Multinomial, para os passageiros da Inglaterra. Como resultados obtiveram que para os passageiros a trabalho, os atributos mais importantes foram: o tempo de acesso ao aeroporto e a frequência de voos para o destino escolhido. Para os passageiros em lazer, os fatores com maior importância foram: o preço da passagem aérea, tempo de acesso e a frequência de voos disponíveis, nessa ordem de importância.

Hess e Polak (2005) fizeram uma análise utilizando o modelo Misto Logit Multinomial "Mixed Logit" na região de múltiplos aeroportos em São Francisco – EUA, eles reforçaram os resultados anteriores que mostram que os viajantes de negócios são muito menos sensíveis aos aumentos de tarifas do que os viajantes a lazer, e estão dispostos a pagar um preço mais alto por diminuições no tempo de acesso.

Blackstone et al. (2006) utilizaram o Probit, que é um modelo de escolha discreta um pouco menos utilizado que o Logit. Eles modelaram o comportamento do usuário na escolha por aeroportos na região do Médio Atlântico. Como resultados tiveram que a renda, a experiência do passageiro, a facilidade de estacionamento, o tempo de acesso e o valor das passagens são variáveis significativas na escolha do aeroporto.

Paliska et al. (2016) utilizaram o modelo Multinomial Logit e o Misto Multinomial para modelar o comportamento dos usuários na escolha do aeroporto na região Adriática Superior, mas também a área de influência de cada um deles. Os resultados indicaram que os três aeroportos têm áreas de influência relativamente pequenas e que a quota de mercado diminui rapidamente com o aumento do tempo de acesso ao aeroporto. Os resultados reforçaram descobertas anteriores mostrando que o tempo de acesso ao aeroporto é o fator mais importante na escolha do aeroporto para todos os segmentos. Além disso, os resultados indicaram uma baixa importância no preço das passagens.

Muñoz et al. (2017) utilizaram o Modelo Logit Multinomial (MNL) na região metropolitana da Colômbia com dois aeroportos domésticos. A partir dos resultados eles concluíram que além de calcular a demanda de cada alternativa, foi possível conhecer a sensibilidade que a demanda tem diante das mudanças dos valores das diferentes variáveis do modelo como: preço da passagem aérea, o preço para viajar até o terminal e o tempo para viajar até o aeroporto.

Os estudos sobre escolha aeroportuária vêm aumentando com a finalidade de entender os fatores que são decisivos para os usuários optarem por determinado aeroporto. Os modelos de escolha discreta, em especial o Logit vem sendo muito utilizado para tal. Para Murça e Correia (2013), a popularidade do Logit se deve ao fato do mesmo ser um modelo de fácil interpretação e manuseio analítico. Porém, conforme observado por Abreu (2017), há uma parte crítica no método de modelagem, pois o mesmo utiliza fatores não observáveis com uma mesma variância e quando houver casos em que estes fatores estão em combinação de escolha o Logit Multinomial não será o mais apropriado, devendo então utilizar o Nested Logit ou Hierarchical Logit.

#### 4. RESULTADOS ESPERADOS

Como produto do trabalho, espera-se conhecer os principais atributos na escolha do aeroporto de origem na região do Triângulo Mineiro. De tal forma a estabelecer cenários com a alteração desses atributos e verificar como pode-se atrair uma maior demanda para o aeroporto de Uberaba.

#### REFERÊNCIAS

- ABAETAR. **Associação Brasileira das Empresas de Transporte Aéreo Regional**. Estudo para adequação da Infraestrutura Aeroportuária nas Regiões de Interesse Turístico. Brasília, DF: 2011.
- ABREU, T. P. **Análise de escolha aeroportuária em uma Região de Múltiplos Aeroportos: um estudo de caso considerando um novo aeroporto para São Paulo**. 2017. 118f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológica de Aeronáutica.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do Transporte Aéreo 2017**. Brasília, DF: 2018. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-do-anuario-do-transporte-aereo>>. Acessado em: 29/03/2018.
- ASHFORD, N., BENCHEMAN, M., 1987. **Passengers' choice of airport: an application of the Multinomial Logit model**. Transportation Research Record 1147, 1–5.
- BLACKSTONE, E., BUCK, A., HAKIM, S., 2006. **Determinants of airport choice in a multi-airport region**. Atl. Econ. J. 34, 313e326.
- CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **Boletim Estatístico** fev. 2018. Brasília. 2018.
- CRUZ, A. I. G.; AMBROZIO, A. M. H.; PUGA, F. P.; SOUZA, F. L.; NASCIMENTO, M. M. **A economia brasileira: conquistas dos últimos 10 anos e perspectivas para o futuro**. BNDES: Banco Nacional do Desenvolvimento. Biblioteca Digital. 2012. Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos\\_perspectivas\\_setoriais/Setorial60anos\\_VOL1EconomiaBrasileira.pdf](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos_perspectivas_setoriais/Setorial60anos_VOL1EconomiaBrasileira.pdf)>. Consulta em: 29/03/2018.
- FALCÃO, V. A. **Demanda aeroportuária de Manaus e sua influência para o setor de turismo da região**. Journal Of Transport Literature, v. 7, n. 1, p.127-146, jan. 2013.
- GOMES, M. T. S. **Dinâmica econômica e cidades médias: uma análise sobre a cidade de Uberaba na região do Triângulo Mineiro**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 19, n. 3, p. 516-534, mês. 2016. ISSN 2179-0892.
- GRETLL. **Multi-plataforma para análise econométrica**. Licença Pública Geral GNU (GPL) publicada pela Free Software Foundation. Disponível para download em <http://gretl.sourceforge.net/>. Acessado em 11 de dezembro de 2018.
- HANSEN, M. **Positive Feedback Model of Multiple-Airport Systems**. Journal of Transportation Engineering, Vol. 121, No.6, November/December, 1995. ASCE, ISSN 0733-947X/195/0006-0453-0460.
- HESS, S. and POLAK, J.W. **Mixed logit modelling of airport choice in multi-airport regions**. Journal of Air Transport Management 11 (2005) 59–68. 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.jairtraman.2004.09.001
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária **Estatísticas**, 2018.
- LOO, B.P.Y. **Passengers' airport choice within multi-airport regions (MARs): some insights from a stated preference survey at Hong Kong International Airport**. Journal of Transport Geography 16 (2008) 117–125. 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.jtrangeo.2007.05.003
- MARCUCCI, E. and GATTA, V. **Regional airport choice: Consumer behaviour and policy implications**. Journal of Transport Geography 19 (2011) 70–84. 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.jtrangeo.2009.10.001
- MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro: 2010
- MUÑOZ, C.; CORDOBA, J. and SARMIENTO, I. **Airport Choice Model in Multiple Airport Regions**. Journal of Airline and Airport Management, 2017 - 7(1), 1-12. Online ISSN: 2014-4806 – Print ISSN: 2014-4865. <https://doi.org/10.3926/jairm.62>
- MURÇA, M. C. R. and CORREIA, A. R. (2013) **Análise da modelagem da escolha aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos**. Journal of Transport Literature, vol. 7, n. 4, pp. 130-146.
- PALISKA, D; DROBNE, S; BORRUSO, G; GARDINA, M. and FABJAN, D. **Passengers' airport choice and airports' catchment area analysis in cross-border Upper Adriatic multi-airport region**. Journal of Air Transport Management 57 (2016) 143e154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.07.011>. 0969-6997/© 2016 Secretaria Nacional de Aviação Civil (Org.). **Aeroportos**. 2016. Disponível em: <<http://www.aviacao.gov.br/assuntos/aeroportos>>. Acesso em: 29 mar. 2018.
- SUZUKI, Y; CRUM, M. R.; and AUDINO, M. J. **Airport Choice, Leakage, and Experience in Single-Airport Regions**. Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 2, March 1, 2003. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2003/2-212–218

## Planos de mobilidade urbana: condicionantes para efetividade por meio da governança colaborativa

Karla Denise Castro Leite <sup>1\*</sup>, Maria Leonor Alves Maia <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE

Área: Transporte e Gestão das Infraestruturas Urbanas

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE

Área: Transporte e Gestão das Infraestruturas Urbanas

\* karla\_leite@yahoo.com

\* nonamaia@gmail.com

### RESUMO

O desafio do desenvolvimento sustentável passa, por políticas de transporte, mobilidade e acessibilidade, integradas ao desenvolvimento urbano, com uma visão holística. A articulação entre políticas urbanas e políticas de mobilidade é fundamental, sendo uma diretriz da própria Lei de Mobilidade Urbana. Nesse sentido é essencial o fortalecimento da governança que vai costurando e coordenando os interesses de diferentes *stakeholders* e suas demandas por vezes conflitantes. Este projeto de tese se justifica frente à dificuldade de efetivação da política de mobilidade urbana e sua conexão com outras políticas de desenvolvimento urbano. Argumenta-se que a ausência de mecanismos para controle e monitoramento da governança contribui na pouca efetividade na concretização de planos de mobilidade urbana, assim como a falta de comunicação e transparência levam ao pouco envolvimento da sociedade na construção e no monitoramento das ações. Busca-se apontar as estruturas fundamentais de governança para a mobilidade urbana capaz de integrar, monitorar e avaliar as ações dos planos de mobilidade urbana condicionantes para sua efetividade. Com os resultados espera-se contribuir com uma ferramenta que facilite o processo de tomada de decisão do gestor público.

**PALAVRAS CHAVES:** PLANOS DE MOBILIDADE URBANA, GOVERNANÇA COLABORATIVA.

### ABSTRACT

The challenge of sustainable development goes hand in hand with transport policies, mobility and accessibility, integrated with urban development, with a holistic vision. The articulation between urban policies and mobility policies is fundamental, being a guideline of the Urban Mobility Law itself. In this sense it is essential to strengthen the governance that is tailoring and coordinating the interests of different stakeholders and their sometimes conflicting demands. This thesis project is justified by the difficulty of implementing the urban mobility policy and its connection with other urban development policies. It is argued that the absence of mechanisms to control and monitor governance contributes to the lack of effectiveness in the implementation of urban mobility plans, as well as the lack of communication and transparency lead to the poor involvement of society in the construction and monitoring of actions. It seeks to point out the fundamental structures of governance for urban mobility capable of integrating, monitoring and evaluating the actions of the urban mobility plans that constrain their effectiveness. The results are expected to contribute with a tool that facilitates the decision-making process of the public manager

### 1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um tema que diz respeito a todos os cidadãos, sendo determinante para o desenvolvimento sustentável das cidades e para a qualidade de vida das pessoas. E ainda muitas vezes, transcende o território municipal, necessitando da governança interfederativa. O tema ganhou importância mundial, na 3ª. Conferência da ONU

sobre Habitação e Desenvolvimento Sustentável – Habitat III, realizada em 2016, sendo considerado um dos maiores desafios na Nova Agenda Urbana. Nessa agenda também foi apontada a necessidade de fortalecimento da governança urbana para uma abordagem integrada, garantindo coerência entre os objetivos e as medidas das políticas setoriais (United Nations, 2017).

No Brasil a Lei 12.587/12 conhecida como Lei de mobilidade Urbana (Brasil, 2012), determina aos municípios com mais de vinte mil habitantes a tarefa de elaborar e executar seus Planos Municipais de Mobilidade Urbana (PMMU) com os princípios, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) integrando-os ao planejando urbano através do Plano Diretor Municipal, visando o desenvolvimento sustentável. Assim, o PMMU é uma importante ferramenta na garantia da política urbana de mobilidade que orienta ações e investimentos da mobilidade e acessibilidade, assim os gestores públicos precisam enfrentar o desafio de elaborar e efetivar seus planos de mobilidade urbana.

A mobilidade urbana faz parte de qualquer agenda pública, é um tema suprapartidário com complexidades peculiares, pois depende de integração com outras políticas, que por vezes divergem nos objetivos, assim medidas pontuais e isoladas não são suficientes para minimização de externalidades negativas. Para Machado & Piccinini (2018) para haver transformações efetivas na mobilidade urbana, é necessário um esforço político para promover as diversas formas de integração, superar as barreiras externas e melhorar os processos organizacionais e técnicos. Contudo, observa-se poucos estudos voltados para o processo de governança dos planos e sua implementação, bem como o monitoramento e avaliação da qualidade desses planos.

É nesse contexto que se justifica a pesquisa, pela necessidade de buscar metodologias para a melhoria da governança, valorizando as pessoas, entendendo o desenho institucional, assegurando a comunicação, monitoramento, transparência, avaliando e corrigindo, e assim garantir a efetividade dos planos de mobilidade urbana. A questão principal que se procura responder é: Que elementos estruturantes de governança são necessários para efetividade dos planos de mobilidade urbana? Qual o papel da população na colaboração e monitoramento dos planos de mobilidade urbana?

Como hipótese desta pesquisa argumentar-se que a governança colaborativa representa um aspecto central na efetividade dos planos de mobilidade urbana, capaz de articular e integrar as políticas de mobilidade urbana com as políticas de desenvolvimento urbano através da cooperação dos diferentes níveis de governo, além do envolvimento colaborativo entre a população e todos os stakeholders envolvidos no processo. E ainda a garantia da comunicação e transparência das ações da gestão pública.

De acordo com Banister (2008) para o envolvimento da população, o processo deve ser participativo e inclusivo, com objetivos claros e compreensão das consequências das estratégias propostas. Segundo o autor, a aceitação pública conduz a concordância política, e as ações só ocorrerão quando o apoio público for suficiente para as mudanças propostas, sendo necessário entender as expectativas da população. Para Banister (2008), deve haver uma vontade de mudar e uma concordância de responsabilidade coletiva, por isso a importância de construir a transparência na gestão.

Segundo a ONU, uma boa governança urbana é caracterizada pela interdependência dos princípios de sustentabilidade, equidade, eficiência, transparência, responsabilidade, segurança, engajamento e cidadania. Requer estruturas legais adequadas, processos políticos, gerenciais e administrativos eficientes, bem como mecanismos, diretrizes e ferramentas que permitam que o governo local responda às necessidades dos cidadãos.

O termo “governança” foi introduzido no vocabulário da gestão pública nas duas últimas décadas, apresentando notória repercussão no âmbito dos debates de temas concernentes à administração pública (FREITAS, 2016). Conforme Denhardt e Denhardt (2000) o princípio da governança pública, em uma de suas dimensões, prega que a gestão administrativa busque servir o cidadão ao invés de dirigir. O que reforça a necessidade de

novas formas de governança que sirvam ao interesse público e atendam às necessidades humanas.

No entanto, o que se nota é uma grande dificuldade, tanto da efetivação da política de mobilidade quanto da sua integração com outras políticas de desenvolvimento urbano, segundo Tormans et al (2013) a mobilidade é resultado de uma interação, que envolve diferentes organismos, instituições e pessoas, dentro de um ambiente vivo, que é o espaço urbano. Corroborando com esse desafio, Sano e Montenegro Filho (2013) sugere que a necessidade da eficácia, eficiência, e efetividade na gestão pública está intrinsecamente relacionada à questão do desenvolvimento social, pois suas possibilidades são, muitas vezes, cerceadas, quando os atores envolvidos na gestão pública não estão comprometidos com estes conceitos, resultando em impactos negativos na vida de todas as pessoas.

A governança tem sua complexidade pela diversidade de problemas, por vezes conflitantes e pela necessidade de coordenar interesses distintos, assim é preciso estratégias e ferramentas que possibilitem atender as demandas. Lidar com esses desafios requer políticas públicas com objetivos mensuráveis, prazos pré-determinados, papéis definidos, monitoramento e avaliação. O Ministério das Cidades apresentou um relatório de Indicadores de efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana, focado na avaliação da efetividade da PNMU com vistas a identificar os efeitos produzidos na vida da população, buscando assim avaliar os investimentos através do impacto social gerado (Brasil, 2016). No entanto, neste documento, não aprofunda a governança e gestão do plano.

Considerando-se o contexto descrito, o objetivo principal desta tese é avaliar os elementos fundamentais de uma estrutura de governança colaborativa capaz de integrar diferentes níveis de governo e diferentes stakeholders, bem como monitorar e avaliar as ações para a efetividade dos planos de mobilidade urbana.

Objetiva-se ainda, investigar as especificidades, condições e condicionantes para efetividade dos planos de mobilidade urbana; apontar as estruturas fundamentais para um modelo de governança, ajustada às necessidades e expectativas dos cidadãos, transparente e dotando o gestor de uma capacidade de resposta aos problemas relativos à mobilidade urbana para a tomada de decisão; recomendar procedimentos e indicadores, para o monitoramento da governança na perspectiva de interação de atores que contribuem para as possibilidades de efetividade dos planos de mobilidade e sua integração metropolitana capaz de transformar o espaço, assim como sua qualidade.

#### **4. METODOLOGIA DA PESQUISA**

Inicialmente será realizada revisão da literatura acerca do tema, incluindo o ferramental teórico-conceitual associado aos modelos integrativos, metodologias e métodos de avaliação das políticas públicas; métodos de mapeamento de processo com modo de falha e análise de efeitos; tecnologia da informação e comunicação (TIC); machine Learning; Business Process Management (BPM); Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) e o estado atual da literatura sobre governança e governança colaborativa. Também identificar exemplos de boas práticas em governança com ênfase na mobilidade urbana, observando as causas e efeitos positivos e assim construir os indicadores baseados na fundamentação teórica. A partir dessas referências, parte-se para a construção das perguntas para as entrevistas com os atores-chave da política de mobilidade urbana regional. E posteriormente partir para sistematização dos indicadores, desenvolvendo-se uma abordagem conceitual e caracterizando os elementos estruturais para governança da mobilidade, mapeando e integrando as políticas. Finalizando com a construção de um fluxograma de avaliação, possibilitando o processo de tomada de decisão. Pretende-se ainda aplicar e testar a hipótese no Município de Olinda que é a terceira maior cidade do Estado de Pernambuco, abrigando em seus 41,681 km<sup>2</sup> de extensão territorial uma população de 390.771 habitantes (IBGE,2011). Possibilitando verificar a efetividade. A escolha se justifica por ser uma cidade de médio porte e pela facilidade no acesso às informações. Posteriormente serão feitas as análises e as conclusões sobre o modelo.

## 5. ANÁLISES CONCLUSIVAS E RESULTADOS ESPERADOS

Cabe esclarecer que a pesquisa ainda está em andamento e que espera-se que a abordagem conceitual desenvolvida no contexto de uma governança colaborativa e eficiente possa contribuir para subsidiar teoricamente o desenvolvimento de instrumentos de gestão, monitoramento e controle para efetivação dos planos de mobilidade urbana nos municípios.

Pretende-se ainda apresentar um modelo piloto de governança eficiente, com procedimentos simples e ágeis, além de indicadores e medidas de controle da execução dos planos para ser testado na prática.

## REFERÊNCIAS

- BANISTER, D. (2008) The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy* 15. 73–80. 10.1016/j.tranpol.2007.10.005. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~martinez/PDF/MobiCredit/Paper10.pdf>. Acessado em outubro de 2017.
- BRASIL (2012) Lei Federal nº. 12.587, de 03 de janeiro– institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília – DF, 2012. Disponível em [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm). Acessado em abril de 2016.
- BRASIL (2016) Ministério das Cidades – Indicadores de efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br>. Acessado em novembro de 2017.
- DENHARDT, R. B., DENHARDT, J. V. (2000) The New Public Service. *Serving Rather than Steering*. *Public Administration Review*, v. 60, n., 6 Nov./Dec.. Disponível em: <https://lang.hse.ru/data/.../The%20new%20public%20service.doc> Acessado em novembro de 2017.
- FREITAS, R. (2016). Governança Participativa no âmbito do orçamento público: Os Casos dos Municípios mineiros de Unaí e Buritis, participantes da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal – RIDE – DF.. 92f. Dissertação de Mestrado em Administração. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/21413> Acessado em novembro de 2017.
- IBGE (2011) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=destaques&c=2609600> Acessado em novembro de 2017.
- MACHADO, L. e PICCININI, L. S. (2018). Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática. *urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba* , v. 10, n. 1, p. 72-94, Apr. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/urbe/v10n1/2175-3369-urbe-2175-3369010001A006.pdf>. Acesso em 28 de maio de 2019.
- SANO, H.; MONTENEGRO FILHO, M. J. F. (2013) As técnicas de avaliação da eficiência, eficácia e efetividade na gestão pública e sua relevância para o desenvolvimento social e das ações públicas. *Desenvolvimento em Questão*, v. 11, n. 22, p. 35-61. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/9706/as-tecnicas-de-avaliacao-da-eficiencia--eficaci---> Acessado em novembro de 2017.
- TORMANS, H., MIERMANS, W., COOLS, M., POLDERS, E., JANSSENS, D., & WETS, G. (2013). Performance assessment of local mobility policy-making administrations using the principles of total quality management in Flanders, Belgium: expounding the decision-making processes. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(4), 318-346. <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2011.633155>.
- UNITED NATIONS (2017) United Nations Habitat III – New Urban Agenda English 2017 Disponível em: <http://www.habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English.pdf>. Acessado em outubro de 2017.

## ÍNDICE REMISSIVO

Afonso, Silvana Maria Bastos .....	71	Fernandes, Bruna Soares .....	212
Albuquerque, Cleber Gomes de.....	145	Ferreira, Silvio Romero de Melo ....	84, 100
Alencar, Cleandro O. S.....	79	Florêncio, Lourdinha....	196, 200, 204, 216, 220
Almeida, Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque .....	88, 92, 116	Florêncio, Maria de Lourdes.....	192
Amorim, Analice França Lima .....	163	Fonseca, Liliane .....	171
Andrade, Maurício Oliveira de.....	225	Freitas, Danúbia.....	196
Araújo, Ana Itamara Paz de .....	108	Freitas, Jonathas Barbosa de Araújo...	137
Araújo, Ézio .....	171	Galindo, Katia Botelho Torres.....	167
Barbosa, Larissa.....	54	Gavazza, Sávia ...	196, 200, 204, 212, 216, 220
Basto, Priscilla .....	54	Gomes, Igor Fernandes.....	120, 151, 163
Batista, Larissa Ferreira David Romão	133	Guedes, Flávio Leôncio.....	92
Belfort, Nayara Torres.....	108, 112, 120	Guedes, Ricardo Pereira.....	183
Bertulino, Tacila .....	54	Guimarães, Leonardo José do Nascimento .....	108, 163, 167, 183
Bezerra, Izabela Medeiros de Lima.....	84	Gusmão, Luna.....	145
Bezerra, José J.....	79	Holanda, Sávio Henrique de Barros .....	96
Brandão, Fellipe José Reis ....	96, 108, 112	Horowitz, Bernardo.....	155, 159, 175
Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira .....	129, 137, 141	Joseph, Jean Baptiste .....	120, 151, 183
Cabral, Larissa Marques Cunha .....	50	Jucá, José Fernando Thomé....	88, 92, 96, 104, 112, 116
Caldas, Hidaiane Fayga Matias .....	208	Kato, Mario Takayuki...	192, 196, 200, 204, 216, 220
Camoto, Flávia de Castro .....	229	Leite, Karla Denise Castro.....	237
Carneiro, Arnaldo.....	50	Leite, Wanderli Rogério Moreira .....	216
Carvalho Filho, José Adson Andrade de .....	137	Lima, Analice.....	167
Carvalho, José Roberto Santo de .....	192	Lima, Júlio Cesar Azevedo Luz de .....	188
Carvalho, Maria Eduarda Ferreira de...	141	Lima, Lucas Eduardo dos Santos.....	112
Chaves Junior, Cicero Vitor .....	59	Lima, Nicelle Ayanne da Silva .....	112
Costa, Ianyqui Falcão .....	171	Lima, Rodrigo Costa Portela de.....	50
Cruz, Hedmun Matias da .....	137	Lins, Cecília Maria Mota Silva .....	167
Dantas, Ana Karine Santos.....	108	Maia, Maria Leonor Alves.....	237
Drumond, Magno Augusto Motta Macieira .....	100	Marinho, Talita.....	200
Estolano, Victor.....	54	Mattos, Rayane Conceição Ribeiro da Silveira .....	120
Falcão, Viviane Adriano .....	229, 233		
Feitosa, Cristovão J. D.....	79		



Medeiros, Carlos Eduardo Bessa de....	100	Queiroz, Bruna Araujo de .....	159
Medeiros, Rafaella de Moura .....	96	Regis, Paulo.....	50
Melo Neto, Antônio de .....	54	Ribeiro Neto, Alfredo .....	133
Melo, Luciana Mendes P.de.....	163	Ribeiro, Marcos Henrique Gomes.....	216
Melo, Malu Vitória Barbosa de .....	188	Ribeiro, Paulo Marcelo Vieira .....	59, 183
Melo, Natanna .....	196	Rodrigues, Arivânia Bandeira .....	125, 129
Mendonça, Graciano Fernandes de....	212	Sá, Roberta Tabaczinski de .....	79
Menezes, Osmar .....	196	Sales, Marcos A. ....	200
Montenegro, Suzana Maria Gico Lima .	145	Santos, Danilo Silva dos.....	100
Motta, Renato de Siqueira .....	75	Silva, Francisco Gildemir Ferreira da..	229, 233
Moura, Lysanne Souza de .....	125	Silva, Hygor Vinicius Costa.....	179
Moura, Marina de Paula.....	125	Silva, José J. R.....	79
Nascimento, Jacqueline Cristine Messias do .....	75	Silva, Leonor Alves de Oliveira da.....	96
Nascimento, Leonardo José do .....	151	Silva, Rhayssa de Brito .....	192
Nascimento, Raquel Ferreira do .....	125	Silva, Silvana Maria Bastos Afonso da	179
Oliveira Júnior, Antônio Italcly de.....	104	Silva, Willian Menezes da.....	63
Oliveira, Adjane Damasceno de.....	92	Sobral, Maria do Carmo .....	208
Oliveira, Aline Dantas de .....	163	Sousa, Paulo Fernando Silva .....	71
Oliveira, Dilayne Santos.....	175	Souto, Cândida Nathaly Cordeiro .....	220
Oliveira, Leidjane Maria Maciel de .....	145	Souza Junior, Alexandre de.....	155
Oliveira, Leise Kelli de .....	229	Souza, Amanda Marcelle Pinto de.....	188
Oliveira, Leonardo Correia de .....	159	Tavares, Camila de Melo.....	88, 116
Oliveira, Shirley Minnell Ferreira de .....	163	Teixeira, Nilvan.....	54
Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de .	125, 137, 145	Tueros, Alberto Juan Rojas .....	175
Paraiso, Matheus.....	196	Vasconcelos, Débora Gonçalves.....	225
Pereira, Matheus Alves.....	67	Veras, Shyrlane Torres Soares ...	204, 220
Pessôa, Sávia Gavazza dos Santos ...	188, 192	Viana, Jussara Freire de Souza .....	125
Pires, Tiago Ancelmo de Carvalho..	63, 67, 79	Vilarim, Maiana Borba .....	125
		Villar, Ana Claudia.....	145
		Willmersdorf, Ramiro Brito.....	71, 171