

**CONTECC**

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia



**SOEA**

Semana Oficial da Engenharia e da Agronomia

# CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

Coletânea de Publicações 2018

Paulo Roberto Megna Francisco  
Laerte Marques da Silva  
Gisele Herbst Vazquez

# **Ciência, Inovação e Tecnologia**

**Coletânea de Publicações 2018**

C574      Ciência, inovação e tecnologia: coletânea de publicações  
2018/Organizadores: Paulo Roberto Megna  
Francisco...[et al.] - Campina Grande: EPGRAF,  
2018.  
187f.

ISBN: 978-85-60307-39-5

1. Engenharias. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3.  
Ideias Inovadoras. 4. Difusão. I. Francisco, Paulo  
Roberto Megna. II. Silva, Laerte Marques da. III.  
Vazquez, Gisele Herbst. IV. Título.

CDU 62

Paulo Roberto Megna Francisco  
Laerte Marques da Silva  
Gisele Herbst Vazquez  
Organizadores

# **Ciência, Inovação e Tecnologia**

**Coletânea de Publicações 2018**



1.a Edição  
Campina Grande-PB  
2018

# Realização

Sistema



Colégio de  
**Presidentes**

**C D E N** Colégio de  
**Entidades Nacionais**

Coordenadorias Nacionais de  
**Câmaras Especializadas**

Apoio

<sup>®</sup>**Portal Tecnológico  
de Divulgação Científica**  
Eventos, Pesquisas e Inovação



**Revisão, Editoração e Arte da Capa**  
Paulo Roberto Megna Francisco

**Créditos de Imagens da Capa**  
Freepick.com

**1.a Edição**

*Comissão Científica*  
**Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia -  
CONTECC'2018**

**Dayana de Gusmão Coelho**

Dra. em Engenharia Química - UFAL

**Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim**

Dr. em Engenharia Hidráulica e Saneamento - UFAL

**Flavio Barboza de Lima**

Dr. em Engenharia de Estruturas - UFAL

**Heleno Pontes Bezerra Neto**

Ms. em Engenharia Civil - UFAL

**Ivomberg Dourado Magalhães**

Dr. em Agronomia - UFAL

**Lucas Barbosa Cavalcante**

Msc. em Meteorologia - UNIT/AL

**Wellinsilvio Costa dos Santos**

Dr. em Engenharia Elétrica - UFAL

**Zenilda Vieira Batista**

Dra. em Geociências - UFAL

## ***Comissão Organizadora***

**Aline Costa Ferreira**

Dra. em Eng. Agrícola – UFCCG

**Dermeval Araújo Furtado**

Dr. em Recursos Naturais – UFCCG

**Fernando Antônio Souza Bemerguy**

Ms. em Engenharia Florestal - UFRA

**Gisele Herbst Vazquez**

Dra. em Agronomia – Universidade Brasil/SP

**José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy**

Dr. em Recursos Naturais – UFCCG

**Jorge Luiz Bitencourt da Rocha**

Msc. em Eng. Elétrica – PUC/RJ

**Laerte Marques da Silva**

Dr. em Agronomia – UFS

**Marcos Antônio Gonçalves dos Santos**

Eng. Eletricista – Centro Universitário CESMAC, FEJAL/AL

**Paulo Roberto Megna Francisco**

Phd. em Ciência do Solo – UFPB

## SUMÁRIO

<i>Comentários dos Organizadores</i> .....	10
<i>APRESENTAÇÃO</i> .....	12
<i>INTRODUÇÃO</i> .....	14
<i>Capítulo 1</i> .....	15
<i>Análise do comportamento estrutural da longarina de uma ponte em curva horizontal avaliada com diferentes seções transversais</i> .....	15
<i>Capítulo 2</i> .....	22
<i>Aspectos técnicos e contribuições na graduação: o surgimento de uma impressora 3D</i> .....	22
<i>Capítulo 3</i> .....	29
<i>Análise numérico-experimental de um pórtico metálico submetido a cargas de terremoto</i> .....	29
<i>Capítulo 4</i> .....	36
<i>Aplicativo para gestão de resíduos sólidos de classe I no município de Maceió – Alagoas</i> .....	36
<i>Capítulo 5</i> .....	42
<i>Avaliação da transferência de carga de estacas hélice contínua com ponta em rocha</i> .....	42
<i>Capítulo 6</i> .....	49
<i>Carga de ruptura de estacas escavadas a seco com anéis por métodos de extrapolação da curva carga x recalque</i> .....	49
<i>Capítulo 7</i> .....	56
<i>Comparação de sensores resistivos com diferentes geometrias de eletrodos para umidade do solo</i> .....	56
<i>Capítulo 8</i> .....	63
<i>Construção de um detector de metais caseiro utilizando materiais de baixo custo</i> .....	63
<i>Capítulo 9</i> .....	70

<i>Crescimento de cultivares de palma forrageira sob diferentes níveis de salinidade</i> .....	70
Capítulo 10 .....	78
<i>Delimitação das áreas de uso restrito de acordo com o código florestal: uma metodologia geoespacial</i> .....	78
Capítulo 11 .....	85
<i>Desenvolvimento de sensor resistivo para aplicação em sistema de controle automático de irrigação</i> .....	85
Capítulo 12 .....	92
<i>Desenvolvimento de software em Excel para análise de confiabilidade de peças de concreto armado</i> .....	92
Capítulo 13 .....	100
<i>Estudo dos custos do desmonte de rocha por explosivos para fins de uma lavra mineral sustentável</i> .....	100
Capítulo 14 .....	107
<i>Influência do líquido de castanha de caju (<i>Anacardium occidentale</i> L.) no fenômeno da precipitação de parafina em petróleo pesado</i> .....	107
Capítulo 15 .....	114
<i>Influência dos aditivos minerais, cura térmica e microfibras de aço em concreto de pós reativos</i> .....	114
Capítulo 16 .....	122
<i>Metodologia para o projeto de um rotor eólico para instalação em turbina de baixa demanda</i> .....	122
Capítulo 17 .....	130
<i>Métodos para determinação do carbono orgânico em solos de Alagoas</i> .....	130
Capítulo 18 .....	138
<i>Modelagem em elementos finitos de ensaio de resistência ao colapso de tubo internamente desgastado</i> .....	138
Capítulo 19 .....	144
<i>NDVI no estudo da área impactada pelo rompimento da barragem de fundão em Mariana-MG</i> .....	144

Capítulo 20 .....	151
<i>Produção de enzimas amilolíticas por Aspergillus niger em fermentação no estado sólido utilizando bagaço de malte</i> .....	151
Capítulo 21 .....	158
<i>Salinidade e potencial osmótico no crescimento micelial in vitro de oito espécies de Botryosphaeriaceae</i> .....	158
Capítulo 22 .....	166
<i>Simulação numérica de pórtico com não linearidade geométrica e conexão semirrígida</i> .....	166
Capítulo 23 .....	174
<i>Uso de extratos botânicos para controle de praga no armazenamento de milho</i> .....	174
Capítulo 24 .....	180
<i>Utilização de antena de microfita em geometria fractal na detecção da perda de massa óssea</i> .....	180
Curriculum dos Organizadores .....	187

## Comentários dos Organizadores

O que se quer nas próximas edições do CONTECC é o compartilhamento e disseminação de experiências para o avanço de temas relevantes para o Brasil, principalmente voltados para a inovação, empreendedorismo e sustentabilidade; Ampliar a quantidade e aprimorar a qualidade dos trabalhos técnico-científicos, com ênfase aos profissionais integrantes do sistema CONFEA/CREA; Expandir parcerias para maior participação de empresas e lideranças empresariais; Estimular a cultura e a oferta de espaços qualificados para as empresas realizarem rodadas de negócios, apresentando produtos, tecnologias e serviços inovadores; Lançar cursos e workshops para formação e aperfeiçoamento de competências e lideranças em Inovação e Empreendedorismo; Internacionalizar uma rede em inovação e empreendedorismo em temas de Engenharia e Agronomia; Consolidar um ecossistema moderno e colaborativo de boas práticas em Inovação e Empreendedorismo na formação de estudantes na Engenharia e Agronomia (técnicos, graduação, pós-graduação, pesquisa e desenvolvimento), atualização e exercício profissional; Aperfeiçoar habilidades e competências dos profissionais da Engenharia e Agronomia com os rápidos avanços da tecnologia e os imperativos da produtividade, competitividade, inovação e empreendedorismo.

O desafio permanente seria aprimorar o processo de planejamento e gestão rumo ao futuro, assegurando continuidade sem interrupções ou atrasos; Facilitar a comunicação de ideias, propostas e iniciativas entre as sucessivas administrações e lideranças do Sistema CONFEA-CREA-MUTUA, Universidades, Empresas, sem limitar "a priori" as escolhas e ações; e, Tratar as propostas de forma articulada, meritocrática e estruturada, com envolvimento das forças "vivas e legítimas" do Sistema, cujas soluções demandam vontade política, esforço executivo, acertos e erros.

As estratégias seriam expandir o acesso a EaD profissional, conforme demandas econômicas locais; articular, incentivar, consórcios públicos-privados com atores relevantes do ecossistema de inovação e empreendedorismo; criar parcerias com empresas locais compartilhando as melhores práticas, tecnologias, e inovações para os negócios, trabalho e empreendedorismo; valorizar mudanças contínuas de paradigmas de inovação institucional.

Desde a concepção e realização do CONTECC, onde uma das opções para que este fosse um Congresso diferenciado, foi a introdução

da publicação de trabalhos técnicos e científicos em todas as áreas da Engenharia e Agronomia, propiciando, também, uma oportunidade aos estudantes, professores, pesquisadores e, especialmente aos profissionais do sistema Confea/Crea, divulgar seus trabalhos, notas técnicas, experiências profissionais, etc., e a ao longo das cinco edições do CONTECC nota-se uma melhora acentuada nos trabalhos publicados, com uma ampliação em trabalhos sobre Educação, Gestão e Experiência profissional, salientando que o congresso já deixa um legado de mais de 2.350 trabalhos, disponíveis para consultas públicas no site do Confea, trabalhos estes, que podem contribuir no desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços, colaborando assim para o desenvolvimento científico e tecnológico do Brasil.

**Os organizadores  
Maceió, agosto de 2018**

## APRESENTAÇÃO

As novas tecnologias e a inovação irão impactar de forma disruptiva a economia dos países, os modelos de negócios e a atração de jovens para as várias áreas da Engenharia, do empreendedorismo e a prática globalizada da profissão com rápidas e profundas transformações na Engenharia, Agronomia, Inovação e Empreendedorismo.

Diante do cenário acima e da urgência em dinamizar a economia e o desenvolvimento social sustentável do Brasil, o Sistema Confea/Crea/Mútua realizou de 21 a 24 de agosto de 2018, a 5ª Edição do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia-CONTECC concomitante à 75ª Semana Oficial da Engenharia e Agronomia-SOEA.

O CONTECC tem como seus objetivos a divulgação dos trabalhos técnicos científicos desenvolvidos nas mais diversas instituições brasileiras, os quais são publicados nos anais do evento.

Por isso pretende compartilhar e disseminar experiências individuais relevantes para o avanço da inovação e empreendedorismo no Brasil; ampliar a quantidade e aprimorar a qualidade dos trabalhos técnico-científicos; expandir parcerias para maior participação de empresas e lideranças empresariais; estimular a cultura e a oferta de espaços qualificados para as empresas realizarem rodadas de negócios apresentando produtos, tecnologias e serviços inovadores; lançar cursos e workshops para formação e aperfeiçoamento de competências e lideranças em inovação e empreendedorismo; internacionalizar uma rede em inovação e empreendedorismo em temas de engenharia e agronomia; consolidar um ecossistema moderno e colaborativo de boas práticas em inovação e empreendedorismo na formação de estudantes na engenharia e agronomia (técnicos, graduação, pós-graduação, pesquisa e desenvolvimento), atualização e exercício profissional; aperfeiçoar habilidades e competências dos profissionais da engenharia e agronomia com os rápidos avanços da tecnologia e os imperativos da produtividade, competitividade, inovação e empreendedorismo.

Com estas pretensões, este pequeno livro apresenta os 24 melhores trabalhos, selecionados entre mais de 770 recebidos no evento, em forma de coletânea dos trabalhos publicados, como uma maneira de divulgação da pesquisa realizada nas mais diversas instituições brasileiras.

Portanto, esperamos que aproveitem a leitura e que a ciência possa colaborar no desenvolvimento do Homem em sua busca ao futuro com ética e moralidade.

**Fernando Antônio Souza Bemerguy**  
**Professor e Conselheiro do CONFEA**

## INTRODUÇÃO

Há sete décadas o Sistema Confea/Crea realiza a Soea, tradição iniciada em 1940 e que atravessou o século promovendo integração e compartilhando conhecimentos entre os milhares de engenheiros, geógrafos, geólogos, agrônomos e meteorologistas que a cada ano se reúnem numa cidade do país.

Em 2018, em Maceió (AL), não será diferente. Com o tema central “Engenharia e Ética na Reconstrução do Brasil” norteando a programação, debates focados na engenharia, no desenvolvimento do Brasil, na educação, na sustentabilidade socioambiental, na sociedade e na discussão do Sistema Confea/Crea e Mútua, enquanto agente de regulamentação e fiscalização profissional, a Semana atrairá profissionais de todo o país.

A reconstrução, proposta no tema principal, precisa do saber técnico das diversas áreas do conhecimento, envolve aproximação e diálogo e, para trabalharmos juntos, convido todos a participar da Semana que transformará Maceió no centro das discussões sobre o desenvolvimento tecnológico e das geociências nacionais.

A 75ª Soea abre espaço para a criação de vínculos sólidos entre o tradicional e o novo, entre o ensino, a educação e o trabalho comprometido com o progresso. Com linhas e traços convergentes, a Soea aproxima o profissional mais velho e mais experiente daquele que ainda em formação já expõe ideias e projetos.

Reunidos no Contecc 2018, congresso científico que integra a programação, agregam e estimulam a renovação de lideranças e referências profissionais. Com a disposição de quem começa uma nova etapa na vida, convido para nos somarmos nessa empreitada.

Venham, o Brasil precisa percorrer os diversos trajetos que levam a um único rumo: o crescimento socioeconômico e ambiental do país.

**Eng. Civ. Joel Krüeger**  
**Presidente do CONFEA**

## *Capítulo 1*

# ***Análise do comportamento estrutural da longarina de uma ponte em curva horizontal avaliada com diferentes seções transversais***

*Matheus Agustini  
Camila Voltolini Moretão  
Tainá Sarmento  
Yuri Henriques da Silva  
Andriei José Beber*

### **INTRODUÇÃO**

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), anteriormente à evolução das técnicas de construção de pontes, os obstáculos eram, geralmente, transpostos em ângulo reto, em níveis baixos e com o menor comprimento possível, cabendo à rodovia, por meio de curvas e rampas, adaptar-se às obras de arte especiais (BRASIL, 2010).

Contudo, com a evolução das técnicas de construção e com as exigências do tráfego continuamente maiores, além da crescente necessidade de integração das pontes ao ambiente, o projeto geométrico, que define previamente o traçado da rodovia, passou a conduzir os projetos de obras de arte especiais, de maneira que pontes e rodovias possam estar perfeitamente integradas (BRASIL, 2010).

Para que a integração entre ponte e rodovia seja desenvolvida, em algumas situações peculiares as alternativas de projeto acabam atingindo alto grau de complexidade e execução, entrando em uma área da Engenharia Civil pouco disseminada. Têm-se, a exemplo disso, pontes com segmentos de níveis elevados, com grande escondidade ou com curvaturas vertical ou horizontal.

O conhecimento do comportamento estrutural de pontes com geometria irregular, como as pontes em curva horizontal, é considerado relativamente reduzido, quando comparado ao conhecimento em relação às pontes de geometria convencional. Desta maneira, tem-se buscado cada vez mais avaliar o comportamento de estruturas com essas características singulares.

As pontes em curva horizontal são, na maioria dos casos, vistas como estruturas de complexidade elevada, uma vez que: (a) flexão e torção aparecem interligadas, tanto por condições de equilíbrio, quanto por condições de compatibilidade; (b) o aumento da curvatura torna consideráveis as solicitações de torção, que podem condicionar o aumento e a estabilidade da peça; e (c) o aumento da torção, por outro lado, determina um aumento da distorção, isto é, da deformação na seção transversal, que gera esforços transversais e longitudinais que não podem ser desprezados (Stucchi, 1984; Barbosa, 1997 apud Luchi, 2001).

Bastos (2017) indica que a rigidez à torção de vigas está diretamente associada às dimensões da sua seção transversal, de modo que o aumento da largura ou altura são soluções comumente utilizadas por projetistas para aumentar a resistência à torção do elemento estrutural.

Desta maneira, a presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar o comportamento estrutural da longarina de uma ponte em curva horizontal avaliada com diferentes seções transversais, aferindo e comparando os valores de esforços internos resistentes dos diferentes modelos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A partir do estudo desenvolvido por Agustini e Beber (2017), que analisou o efeito de seis diferentes relações comprimento/raio de curvatura (L/R), como ângulo de abertura, nos esforços internos solicitantes de vigas em curva horizontal e constatou maior criticidade, aferindo os esforços internos solicitantes, na viga com maior ângulo de abertura e maior comprimento, idealizou-se uma ponte em curva horizontal, cuja longarina interna apresentasse as características geométricas da viga mais crítica do estudo de Agustini e Beber (2017), ou seja, uma viga de concreto armado com comprimento equivalente a 20,00 m, raio de curvatura de 8,01 m e ângulo de abertura de 143°.

As dimensões dos elementos estruturais do tabuleiro da ponte seguiram as recomendações previstas pela NBR 7187:2003, NBR 7188:2013 e DNIT 109/2009 - PRO.

Foram definidas as ações permanentes e variáveis atuantes na ponte, a partir das orientações da NBR 7187:2003 e da NBR 7188:2013.

O levantamento das ações permanentes transmitidas às longarinas indicou que essas foram oriundas do peso próprio dos elementos estruturais que compõem o tabuleiro da ponte. Como preconiza a NBR 7188:2013, para pontes rodoviárias, foi utilizado o

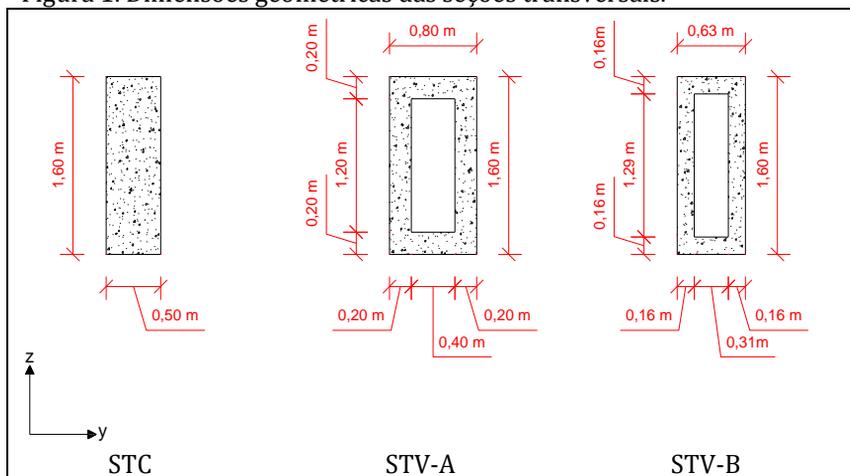
veículo padronizado TB-450 para a determinação das ações variáveis. Ressalta-se que a carga móvel, determinada a partir do trem tipo, foi considerada como a única ação variável atuante na estrutura da ponte. Anteriormente ao traçado das envoltórias dos esforços internos solicitantes, a carga móvel foi ajustada por coeficientes de ponderação.

A partir da determinação das envoltórias de esforços internos solicitantes, a longarina interna da ponte em curva horizontal foi modelada, no *software* SAP2000®, para duas tipologias de seção transversal retangular. Definiram-se para análise uma seção transversal cheia e duas seções transversais vazadas.

As dimensões das seções transversais vazadas foram determinadas a partir das propriedades geométricas da seção transversal cheia (STC). Enquanto a seção transversal vazada A (STV-A) dispôs de uma área de seção transversal correspondente à seção STC, as dimensões da seção transversal vazada B (STV-B) foram definidas de modo que essa e a seção STC apresentassem o mesmo momento de inércia polar (Figura 1).

Buscou-se comparar os valores de tensões apresentados na longarina interna da ponte avaliada, analisada com as diferentes tipologias de seção transversal. Dessa forma, avaliaram-se os esforços internos resistentes da longarina para as seções STC, STV-A e STV-B. Para todas as análises, tomaram-se como referência de comparação os valores provenientes da seção transversal retangular cheia.

Figura 1. Dimensões geométricas das seções transversais.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 correlaciona os valores máximos de tensões normal e tangencial na longarina interna da ponte em curva horizontal, avaliada com seção STC, STV-A e STV-B, com os seus valores de momento de inércia em relação aos eixos Y e Z, e momento de inércia polar.

A área das seções transversais analisadas não foi considerada nesta correlação, uma vez que essa não manifesta influência no comportamento estrutural da longarina, apenas no consumo de material e determinação das ações permanentes.

Considerando-se a Figura 2, faz-se possível perceber que as longarinas de seção STC e STV-B não demonstraram variação expressiva nos valores de tensão normal máxima no elemento estrutural. No entanto, justificou-se a mínima redução desses valores da seção STC, quando relacionada à seção STV-B, ao fato de a primeira apresentar maior momento de inércia em relação ao eixo Y. Ainda, a longarina com curvatura de seção STV-A, que dispõe do maior valor de momento de inércia em relação ao eixo Y, obteve o menor resultado de tensão normal máxima.

Certificou-se que, ao mesmo tempo em que as longarinas de seções transversais vazadas indicaram maiores valores de momento de inércia em relação ao eixo Z, quando relacionadas às longarinas de seção STC, essas apresentaram os menores valores máximos de tensões tangenciais devido ao esforço cortante e momento torsor.

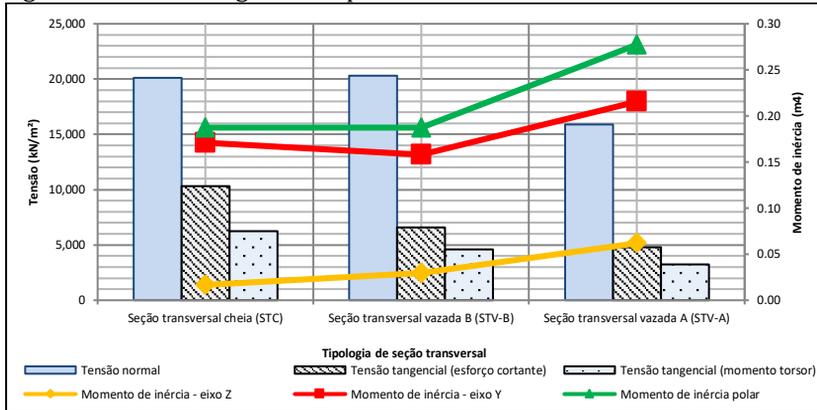
À vista disso, pode-se constatar que o momento de inércia em relação ao eixo Z interfere no comportamento estrutural de vigas com curvatura horizontal nos valores de tensões tangenciais devido ao esforço cortante e momento torsor. Assim, uma vez pronunciada a redução dos resultados das tensões devido esforço cortante e momento torsor, o uso das seções transversais vazadas para a longarina interna da ponte com curvatura horizontal se mostrou mais satisfatório.

Não obstante, mesmo para a tensão normal, a seção STV-A apontou o melhor comportamento, visto que apresentou os menores resultados. No entanto, o uso da seção STV-B não é inviabilizado, uma vez que a variação exibida com essa em relação à seção STC foi considerada de caráter não expressivo.

Na avaliação dos resultados, constatou-se que a longarina, estudada nas seções STC, STV-A e STV-B, apresentou resultados máximos de tensões normal e tangencial na região dos apoios. Tal comportamento foi justificado, uma vez que a região dos apoios dos elementos estruturais estudados neste trabalho indicou os maiores

valores de esforços internos solicitantes nas envoltórias de esforços apresentadas.

Figura 2. Tensão máxima na peça relacionada às propriedades geométricas da longarina da ponte em curva horizontal.



## CONCLUSÃO

Avaliando-se o comportamento estrutural da longarina interna da ponte em curva horizontal, aferindo os valores de esforços internos resistentes, concluiu-se que a variação nos valores de tensão normal máxima nos elementos estruturais, estudados para diferentes tipologias de seção transversal, está diretamente associada aos seus valores de momento de inércia em relação ao eixo Y. Ainda, enfatiza-se que uma vez que há o aumento no valor de momento de inércia em relação ao eixo Y da seção transversal, há a redução dos valores de tensão normal máxima na peça.

Não obstante, destaca-se que na avaliação do comportamento estrutural da longarina interna da ponte em curva horizontal estudada nesta pesquisa, analisada para as diferentes tipologias de seção transversal, concluiu-se que o valor de momento de inércia em relação ao eixo Z de uma seção transversal interfere diretamente nos resultados de tensões tangenciais devido ao esforço cortante e momento torsor de vigas com curvatura horizontal. Desta maneira, as vigas com seção transversal vazada, que apontaram os maiores valores de momento de inércia em relação ao eixo Z, se mostraram mais satisfatórias, uma vez pronunciada a redução dos resultados das tensões devido esforço cortante e momento torsor.

Ainda, o estudo da seção STV-A indicou a possibilidade de redistribuição de uma mesma área de seção transversal cheia em uma seção transversal vazada, melhorando o comportamento estrutural de longarinas com curvatura horizontal e ocasionando em uma redução expressiva dos valores de esforços internos resistentes.

De mesmo modo, a seção STV-B apontou, mesmo que inferior à seção STV-A, a possibilidade de melhoria das propriedades geométricas e consequente comportamento estrutural de longarinas de desenvolvimento curvo, avaliando os resultados de esforços internos resistentes. No entanto, a seção STV-B ainda apresentou a possibilidade de melhoria do comportamento estrutural de longarinas em curva horizontal, associada à redução da área de seção transversal quando comparada a uma seção transversal cheia referência, gerando, consequentemente, menor consumo de material.

Avaliando-se a possibilidade de aplicação das seções STV-A e STV-B à longarina interna da ponte com curvatura horizontal, conclui-se que as duas seções apresentam vantagens consideráveis em relação à seção STC, no entanto, não é possível determinar a melhor entre essas, uma vez que uma é superior à outra quando analisados diferentes aspectos. Enquanto a seção STV-A apresentou resultados expressivamente menores para todas as tensões máximas no elemento estrutural, a seção STV-B possibilitou a redução dos valores de tensão tangencial associada à redução de área da seção transversal.

Vale ressaltar que a seções transversais estudadas não foram avaliadas sob o aspecto de dimensionamento de armaduras, bem como não foram realizadas as verificações do estado limite último e de serviço das estruturas. Desta maneira, recomenda-se o estudo do dimensionamento das longarinas apresentadas nesta pesquisa, a fim de verificar a viabilidade real de aplicação das seções transversais apresentadas e ainda, avaliar o impacto gerado pelos esforços de torção no dimensionamento das armaduras transversais.

Além disso, recomenda-se a análise de seções transversais de características geométricas diferentes das avaliadas neste estudo. Uma vez determinada a possibilidade de melhoria das características geométricas das seções transversais vazadas, mesmo com a sua redução de área, em comparação a uma seção transversal cheia referência, faz-se possível buscar por dimensões de uma seção transversal vazada ideal, com a propriedades geométricas requeridas para o um determinado comportamento estrutural da peça, porém, com a máxima redução de área possível sem que esse seja comprometido.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7187: Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

Agustini, M.; Beber, A. J. Avaliação da influência do refinamento da malha de elementos finitos e da geometria de vigas curvas nos valores de esforços internos solicitantes. In: Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia, 28, Ijuí, 2017. Anais... Ijuí, 2017. p.1-4.

Bastos, P. S. S. Torção em vigas de concreto armado. Apostila Universitária. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017. 111p.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de projeto de obras de arte especiais. Rio de Janeiro, 1996. 225p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. Rio de Janeiro, 2010. 161p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNIT 109 - PRO: Obras complementares - Segurança no tráfego rodoviário - Projeto de barreiras de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2009. 16p.

Luchi, L. A. R. Protensão em vigas celulares curvas. 136f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

## ***Aspectos técnicos e contribuições na graduação: o surgimento de uma impressora 3D***

***David Nery Henriques Knop  
Alexandre Cabral Bedeschi  
Joyce Kelly de Souza Oliveira  
Leonardo Casali Ferreira  
Thiago Ribeiro de Barros***

### **INTRODUÇÃO**

As impressoras 3D são uma tecnologia peculiar, não somente pela complexidade do processo efetuado, bem como pela sua acessibilidade. Apesar de parecerem aspectos opostos, toda essa engenhosidade do funcionamento é facilitada por uma comunidade de entusiastas e profissionais na área, permitindo que pessoas comuns tenham a capacidade de criar peças em três dimensões com ferramentas antes exclusivas de grandes indústrias.

Alguns aspectos foram essenciais para que a impressão 3D despontasse. Primeiramente já estavam consolidados na indústria os métodos de produção utilizados, manufatura aditiva e modelagem por depósito de material fundido. Além disso, na década de 80, surgiu um novo método precursor da impressão 3D, a estereolitografia. A partir desse ponto, ainda no século XX, o método de produção, bem como uma das principais matérias primas dessa tecnologia, o plástico ABS, já estavam disponíveis (Bedeschi et al., 2017).

Mas para se chegar na impressão 3D atual, de fácil acesso para leigos, os avanços da eletrônica e da computação foram fundamentais. Houve o barateamento de componentes eletrônicos, para a confecção de placas, bem como o surgimento de opções de microcontroladores para iniciantes, como a plataforma Arduino. Já era possível enviar comandos para os motores e sistema de aquecimento, mas para isso, é necessário um conjunto de comandos pré-definidos para o controle do *hardware* da máquina, o chamado *firmware* e, com iniciativas *open source* (livre acesso), surgiram projetos gratuitos disponíveis na internet. Ou seja, o dono de uma impressora 3D não precisa se preocupar com a programação por trás de sua máquina.

Além da impressora propriamente dita, são necessários os projetos das peças a serem produzidas, e nesse ponto, o avanço dos *softwares* de modelagem 3D contribuiu muito, tornando os procedimentos simples. Caso o usuário não queira ter o trabalho de projetar sua peça, pode-se encontrar facilmente diversos desenhos gratuitos, elaborados e compartilhados por outras pessoas.

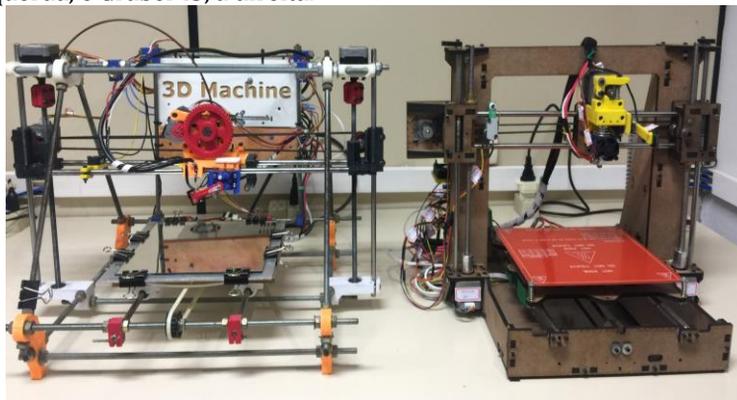
Observa-se então que a impressão 3D não surgiu de uma hora para outra como muitos pensam. Ela é um processo que levou décadas para se concretizar, e não há como negar que é de fácil acesso, seja através de impressoras proprietárias ou pela montagem de um dos diversos projetos *open source* disponíveis.

Atualmente essa tecnologia apresenta uma vasta aplicabilidade no mercado. Devido à constante diminuição de seu custo e sua adaptabilidade para situações específicas, a impressão 3D ganha espaço no ramo da medicina, por meio da produção de próteses (Bass, 2011), da construção civil, para construção de casas e pontes, além da produção de peças mecânicas em indústrias de aviação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Motivados pelas perspectivas de trabalho e aprendizado proporcionadas pelo modelo Prusa Mendel (REPRAP, 2018) (Figura 1), a primeira impressora 3D desenvolvida pelo PET Elétrica, o grupo decidiu evoluir. Baseando-se em outro protótipo, Graber i3 (Figura 1), um projeto *open source* já consolidado, iniciamos a montagem de um novo projeto.

Figura 1. Comparação estrutural das impressoras Prusa Mendel, à esquerda, e Graber i3, à direita.



Quando se fala em montagem de uma máquina, é necessário especificar todos os materiais que serão utilizados durante as etapas, e em uma impressora não é diferente. Dessa forma, serão descritos os principais materiais usados na construção da Graber i3 e suas respectivas aplicações:

**MDF:** Material usado para a confecção da parte estrutural da impressora;

**Motores de passo Nema 17 (item 6, Figura 2):** Movimentam com precisão as correias (item 7, Figura 2) e fusos retificados;

**Extrusora:** Montada a partir de peças construídas pela Prusa Mendel, sobre peças de MDF, é a parte da máquina onde ocorre o derretimento e saída do plástico (extrusão). Nessa estrutura se encontra: bico de extrusão, aleta, *cooler*, *hotend*, motor Nema 17;

**Mesa Aquecida:** Utilizamos a *PCB Heatbed MK2B* (item 4, Figura 2), com alimentação de 12V, que é uma chapa com uma resistência em seu interior que, quando submetida à corrente elétrica, aquece sua superfície, que por sua vez esquenta um vidro acoplado com mesmas dimensões, possibilitando maior aderência da peça impressa;

**Fusos retificados (item 5, Figura 2):** Usados para a movimentação da extrusora no eixo Z;

**Termistores NTC 100K:** Sensores responsáveis pelo monitoramento da temperatura da extrusora e *Heatbed*;

**Módulos dos motores de passo:** Componentes eletrônicos que aumentam a precisão do movimento dos motores, dividindo seus passos. Utilizamos o A4988;

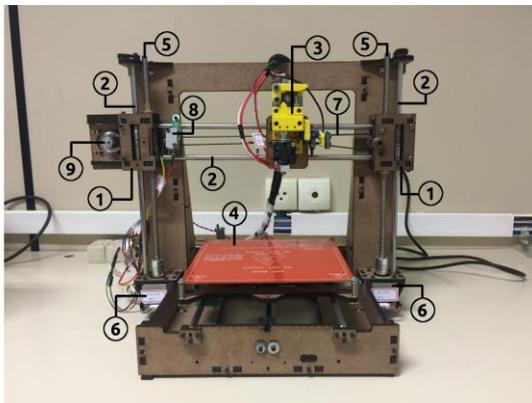
**Endstops (item 8, Figura 2):** Interruptores normalmente fechados (NF) que indicam o fim de curso de determinada parte móvel da impressora;

**Coolers:** Resfriam as placas eletrônicas e a extrusora, evitando o derretimento de partes estruturais;

**Guias lineares (item 2, Figura 2):** São barras lisas utilizadas para orientar a movimentação dos eixos, nas quais os rolamentos lineares deslizam.

Figura 2. Enumeração para localização das partes estruturais da Graber i3.

- ① Suporte das Polias
- ② Guias Lineares
- ③ Conjunto Extrusor
- ④ *Heatbed*
- ⑤ Fusos Retificados
- ⑥ Motores NEMA 17
- ⑦ Correias
- ⑧ *Endstops*
- ⑨ Polias Dentadas



Dentre as variações estruturais de impressoras 3D, foi utilizado MDF de 6mm de espessura como matéria prima básica (0,8m<sup>2</sup> foi suficiente), por ser um material acessível e resistente. Utilizando desenhos auxiliados por computador, realizamos o corte a *laser* das placas de MDF, e com as peças dispostas, efetuamos a fixação entre elas por meio de parafusos, porcas e arruelas.

No que diz respeito a eletrônica, implementou-se a placa *shield* RAMPS 1.4, que controla a temperatura da *Heatbed* e da extrusora, a movimentação da estrutura do auto nivelamento da mesa, os 5 motores de passo, e também faz a leitura dos termistores e *endstops*. Para o interfaceamento computador-RAMPS, utilizou-se o microcontrolador Arduino Mega 2560 R3.

Para a movimentação da extrusora no eixo Z, foram necessários 2 motores NEMA 17 unidos a fusos retificados de alta precisão por meio de acopladores metálicos (similares a porcas). Anexados ao conjunto, encontram-se os rolamentos lineares de esferas e as guias lineares, indicados pelos itens 1 e 2 (Figura 2), permitindo deslocamentos suaves e precisos para o sistema.

Para a movimentação da extrusora no eixo X, optou-se pelo sistema de correia sincronizada e polias dentadas (item 9, Figura 2), que transmitem os movimentos do motor de passo para o conjunto extrusor (item 3, Figura 2). Esse sistema também atua sobre rolamentos lineares de esferas e guias lineares, trabalhando com o mesmo princípio de precisão em relação ao eixo Z. Os movimentos da *Heatbed* são garantidos por sistema idêntico, dimensionado para o eixo Y.

Após expor como acontece a movimentação em cada dimensão, será explicado como é limitado o movimento da mesa aquecida (eixo Y) e extrusora (eixo X), e por serem similares será explicado somente o eixo Y. Na parte posterior de uma das guias lineares que orienta a *Heatbed*, foi instalado um *endstop* (fixado por um suporte impresso pela Prusa), assim, quando o motor conduzir a mesa para trás, o suporte da *Heatbed* irá pressionar o contato do *endstop*, fazendo com que o sinal lógico enviado para a RAMPS se inverta e assim o Arduino interpreta que a mesa chegou à origem do eixo Y. Após chegar na origem, a *Heatbed* tem uma distância máxima de deslocamento frontal preestabelecida, impondo um limite para evitar que o bico da extrusora fique fora do alcance da área de impressão.

O limite de movimento da extrusora no eixo Z é diferente dos demais. Junto ao conjunto extrusor existe um servo motor, contendo uma haste que possui em sua extremidade um *endstop* conectado à RAMPS. Dessa forma, ao movimentar esse conjunto sobre a *Heatbed* e pressionar o *endstop*, pode-se dimensionar os possíveis pontos de desnivelamento. Armazenando esses dados via programação, é possível fazer correções da altura do bico extrusor durante a impressão. Esse sistema é chamado de *BAL - Bed Auto Levelling*.

Como o objetivo é realizar impressões com qualidade superior às realizadas na Prusa Mendel, analisou-se por meio de estudos que seria vantajoso executar algumas alterações. Foi implementado na extrusora um sistema com mola, para saque rápido do filamento, facilitando sua troca, em conjunto com o *direct drive* (peça dentada que empurra o filamento no *hotend* para ser fundido e posteriormente depositado). Adotou-se também o uso do filamento de 1,75mm de diâmetro ao invés do de 3mm, melhorando a qualidade das peças para *nozzles* (bicos) de menor dimensão, como os que serão utilizados (variando de 0,1mm até 0,5mm de diâmetro) e permitindo executar impressões com detalhamentos e velocidades variados.

Para suprir o conjunto elétrico da impressora, foi utilizada uma fonte ATX de 350 Watts com fornecimento máximo de corrente de 29 Amperes, valor acima do requerido, possibilitando uma margem de segurança para o sistema. Essa fonte fornece energia para todos os equipamentos da Graber i3, porém, primeiro a energia passa pela RAMPS para que possa ser feito o controle de funcionamento dos componentes eletrônicos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através deste trabalho, é possível observar a eficácia do projeto, principalmente, no que tange ao conhecimento técnico em termos da estrutura e dos componentes eletrônicos de uma impressora 3D, além de um desenvolvimento interpessoal entre os integrantes, pois sem o diálogo, comunicação, organização e planejamento, nada poderia ter sido feito.

Além disso, vale ressaltar a importância da impressora Prusa para a realização com êxito do projeto, uma vez que a equipe o concluiu levando em consideração os conhecimentos obtidos sobre a mesma no decorrer dos anos. Devido a essa experiência do grupo, tanto a identificação dos problemas a serem solucionados, quanto a escolha dos itens a serem utilizados, foram tarefas relativamente simples.

Em comparação à Prusa, percebe-se que a nova estrutura da impressora se apresenta muito mais estável em relação à forma de construção do primeiro modelo, com barras roscadas e porcas, que se soltam com facilidade. Isso reflete em um modelo mais confiável e capaz de realizar melhores impressões, sem necessidade de ajustes físicos a cada impressão.

É importante ressaltar que sempre é possível aprimorar os projetos já concluídos, sendo que há no mercado e na área acadêmica, inúmeras possibilidades de se fazer um mesmo produto com especificações e características semelhantes, ou até mesmo totalmente distintas, porém com o mesmo princípio. Assim, a construção da nova impressora é motivo de estudo para o contínuo aperfeiçoamento das técnicas de impressão 3D e melhorias estruturais das atuais e futuras impressoras desenvolvidas pelo grupo.

Com a Graber i3 em seu perfeito funcionamento, suas impressões são de extrema importância para as diversas atividades do PET, como o drone, braço robótico e robô seguidor de linha, além dos demais segmentos e alunos da UFJF que contatam o PET para informações sobre pedidos de impressões pessoais ou protótipos de trabalho. Ademais a impressora é uma ferramenta atrativa para a comunidade externa, principalmente, para os estudantes do ensino médio, estimulando o interesse pelos cursos de engenharia.

Portanto, pode-se dizer que o resultado principal do projeto apresentado foi a concepção em si da nova impressora, possibilitando o aprimoramento e manutenção da Prusa Mendel e de si mesma, tornando-a um projeto autossuficiente e didático para o aprendizado por parte dos futuros membros do grupo PET Elétrica.

## CONCLUSÃO

Ao longo dos últimos cinco anos, através de inúmeras experiências com a primeira impressora e agora durante a montagem da Graber i3, o objetivo de trazer novos desafios e crescimento pessoal aos petianos é alcançado constantemente. Aplicou-se no projeto a metodologia ativa de aprendizagem PjBL (*Project Based Learning*) adotada pelo PET, permitindo atingir as diferentes áreas da Engenharia Elétrica de forma prática e empregar os conhecimentos teóricos vistos superficialmente durante a graduação.

É possível destacar a importância e a aplicabilidade do projeto “Impressora 3D” devido à atualidade do tema, bem como sua presença no mercado, o que a torna um objeto de estudo atrativo, possibilitando ainda uma correlação entre as áreas da elétrica e mecânica. A montagem de uma nova impressora permite aos envolvidos uma visão mais ampla acerca do seu funcionamento, facilitando a implementação de melhorias e inovações além da realização de manutenções, consolidando-a assim como um projeto que abrange por completa a tríade ideológica de ensino, pesquisa e extensão que guia os caminhos do PET e de seus membros.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial PET/MEC e à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo suporte para realização deste trabalho, além de toda a equipe petiana envolvida no desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- Bass, C. The past, present and future of 3-D printing, The Washington Post, 2011. Disponível em: [https://www.washingtonpost.com/national/on-innovations/the-past-present-and-future-of-3-d-printing/2011/08/21/gIQAg4fZJ\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/national/on-innovations/the-past-present-and-future-of-3-d-printing/2011/08/21/gIQAg4fZJ_story.html). Acesso em: 04 de maio de 2018.
- Bedeschi, A. C.; Pinto, D. P.; Carvalho, E. A.; Almeida, E. F. de; Lechitz, F. B.; Carneiro, G. F.; Yung, J. G. R.; Cravo, S. Contribuições do desenvolvimento de sistemas de impressão 3D na educação. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2017, Joinville. Anais...Joinville, 2017.
- REPRAP. Prusa i3. 2018. Disponível em: [http://reprap.org/wiki/Prusa\\_i3](http://reprap.org/wiki/Prusa_i3). Acesso em: 26 de maio de 2018.

## ***Análise numérico-experimental de um pórtico metálico submetido a cargas de terremoto***

*Arlindo Pires Lopes*

### **INTRODUÇÃO**

Pórticos metálicos sem contraventamentos são os sistemas estruturais escolhidos quando se deseja acomodar grandes aberturas impostas pelo projeto de arquitetura. Esses sistemas estruturais têm a finalidade de atingir uma ductilidade lateral quando submetidos a carregamentos de terremotos através do escoamento de vigas e pilares, e suas conexões devem ser capazes de permanecer intactas, quando submetidas à vários ciclos de rotação inelástica.

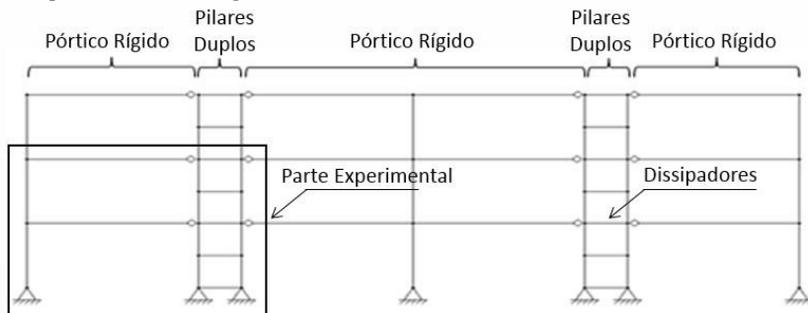
O pórtico metálico apresentado neste trabalho é um novo sistema estrutural capaz de resistir a cargas dinâmicas, ou seja, cargas provenientes de terremotos. O mesmo foi desenvolvido pelo autor deste trabalho na *Portland State University*, nos Estados Unidos, e testado experimentalmente na *University of California at Berkeley*, também nos Estados Unidos.

O objetivo do pórtico metálico consiste em resistir cargas de terremoto, com danos localizados nos dissipadores de energia, que são removíveis, e, posteriormente, ter um retorno rápido de ocupação do prédio, sem a necessidade de demolição total do mesmo. Ou seja, os pilares da edificação permanecem no regime linear elástico, sem dano algum. O sistema estrutural consiste de pórticos rígidos e pilares duplos conectados entre si através de dissipadores de energia, conforme mostrado na Figura 1. O pórtico metálico analisado possui as seguintes características: Pilares W14x132, Vigas W16x57, Dissipadores de energia W10x45, comprimento dos vãos 8m, comprimento dos dissipadores 1,5m e pé-direito 3m. Material utilizado foi o aço A992.

Os pórticos rígidos têm a finalidade de garantir a resistência estrutural quando os carregamentos permanentes são aplicados na estrutura, enquanto que os pilares duplos, interligados através dos dissipadores, são responsáveis pela resistência lateral do sistema. Os dissipadores de energia são dimensionados para escoar, deformar plasticamente e serem removíveis.

A habilidade deste sistema estrutural no que diz respeito ao retorno rápido de ocupação, depende do comportamento dos dissipadores de energia. Este sistema também oferece vantagens arquitetônicas, uma vez que pode vencer grandes vãos, ao contrário dos sistemas contraventados.

Figura 1. Pórtico metálico com pilares duplos conectados entre si por dissipadores de energia.



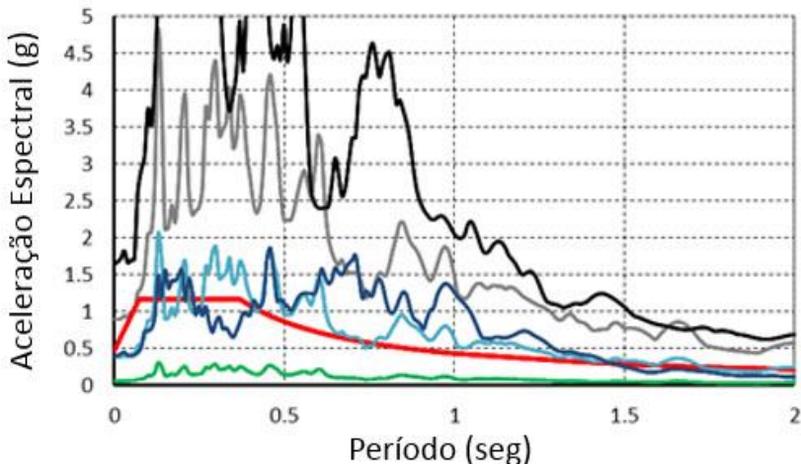
### Análise numérica

A análise numérica do sistema estrutural teve como objetivo obter os esforços internos da estrutura, tais como: momento fletor, esforço cortante e esforço axial, assim como suas respectivas velocidades, acelerações e deslocamentos, além de obter as frequências naturais e modos de vibração da estrutura.

A análise numérica subsidiou a confecção do pórtico metálico que fora testado experimentalmente, no sentido de obter o conhecimento dos esforços e deslocamentos máximos que foram impostos nos atuadores hidráulicos. A análise numérica consistiu de quatro etapas: análise linear estática, análise não-linear estática, conhecida também como pushover, análise dinâmica de vibrações livres e análise dinâmica de vibrações forçadas.

A Figura 2 mostra o gráfico aceleração espectral versus período dos terremotos utilizados na análise de vibrações forçadas. Evidentemente, que antes dessa etapa fora realizado uma análise preliminar considerando o método da carga equivalente com o objetivo de se obter os esforços de cisalhamento nas fundações do sistema estrutural.

Figura 2. Aceleração espectral versus Período dos terremotos utilizados durante a análise estrutural.

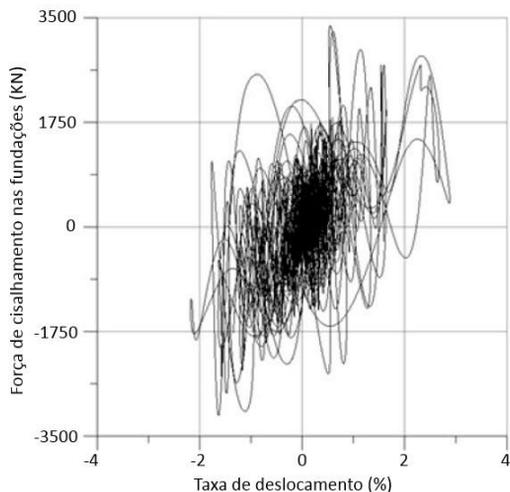


Uma vez obtido as respostas do sistema estrutural, tornou-se necessário dimensionar o pórtico metálico, de acordo com as normas vigentes, com o intuito de se ter uma estrutura a ser testada experimentalmente. As limitações do laboratório foram levadas em consideração assim como o número de canais com o fito de instalar os sensores de deformações, deslocamentos e esforços.

A Figura 3 indica o esforço de cisalhamento esperado, nas fundações, para a última intensidade de terremoto.

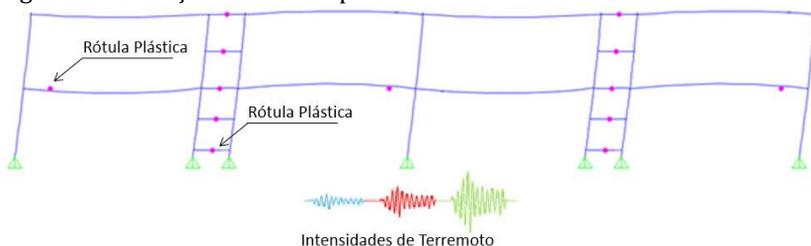
O sistema estrutural aqui apresentado fora dimensionado para formar rótulas plásticas, primeiramente, nos dissipadores de energia, com a primeira rótula plástica sendo a mais próxima às fundações, sendo propagada ao longo da altura do pórtico metálico, onde a quinta rótula plástica encontra-se na altura do segundo andar do pórtico. Após todos os dissipadores de energia terem formado suas respectivas rotas plásticas, as vigas metálicas dos vãos sofrerão algum dano dependendo da intensidade do terremoto. Observe que durante a análise numérica, os pilares metálicos foram dimensionados para não sofrerem danos durante o terremoto, ou seja, os pilares permaneceram no regime linear elástico.

Figura 3. Força de cisalhamento versus taxa de deslocamento para a última intensidade de terremoto.



A formação de rótulas plásticas pode ser visualizada de acordo com a Figura 4. A formação de rótulas de plásticas indica que, inicialmente, os dissipadores sofrerão os danos estruturais do terremoto e, dependendo da intensidade do terremoto, as vigas metálicas também atuarão como dissipadores de energia, evitando, assim, danos nos pilares.

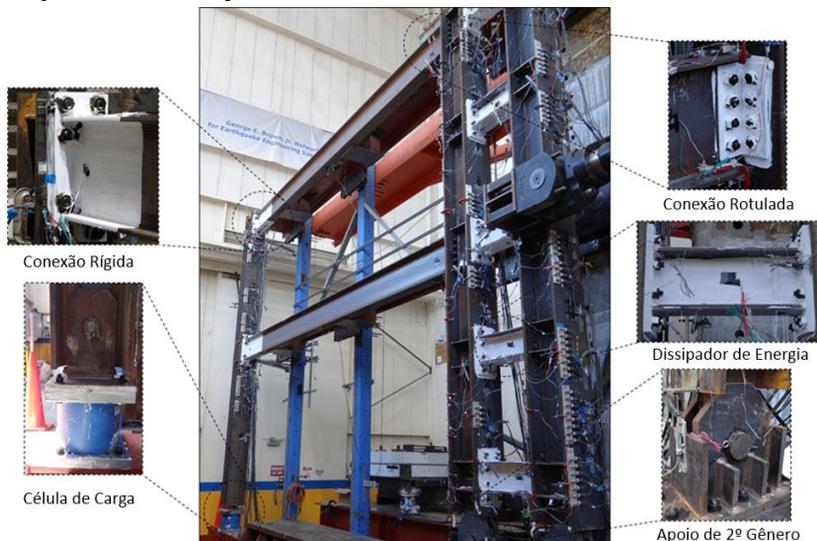
Figura 4. Formação de rótulas plásticas durante a análise estrutural.



### Programa experimental e simulação híbrida

O programa experimental fora realizado na *University of California at Berkeley* e durou dois anos para ser executado. A Figura 5 mostra a estrutura na qual fora submetida a cargas de terremoto.

Figura 5. Pórtico metálico testado experimentalmente na *University of California at Berkeley*.



Dois atuadores hidráulicos por andar foram conectados à parte experimental. Os dissipadores de energia foram dimensionados para formar rótulas plásticas de cisalhamento e o sistema estrutural foi capaz de resistir os deslocamentos máximos previstos em norma. Para a avaliação do comportamento estrutural do sistema, três intensidades de terremotos foram utilizadas na simulação híbrida: 50, 10 e 2% de ocorrer em 50 anos na cidade de Seattle, Washington, Estados Unidos.

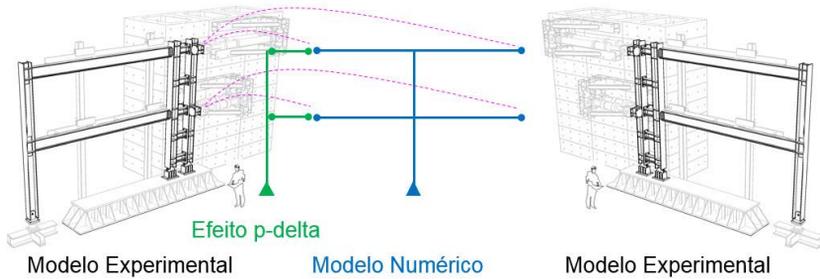
O sistema estrutural exibiu três tipos de níveis de performance: linear elástico, retorno rápido de ocupação, onde apenas os dissipadores de energia sofreram danos, e colapso progressivo, onde as vigas dos vãos também sofreram danos. O sistema estrutural foi dimensionado tanto com conexões rígidas quanto com conexões rotuladas.

O apoio das fundações fora considerado como do segundo gênero para evitar a formação de rótulas plásticas nos pilares. A simulação híbrida fora utilizada uma vez que a escala real da estrutura foi mantida.

O modelo numérico serviu de entrada de dados para os atuadores hidráulicos e a resposta experimental da estrutura (modelo experimental), em termos de esforços e deslocamentos, servia de entrada de dados para o modelo numérico, fazendo um loop conforme

indicado na Figura 6. O primeiro experimento consistiu em testar o pórtico metálico com 05 (cinco) dissipadores os quais foram removidos após a finalização do experimento. Para o segundo experimento, o pórtico foi testado com 03 (três) novos dissipadores.

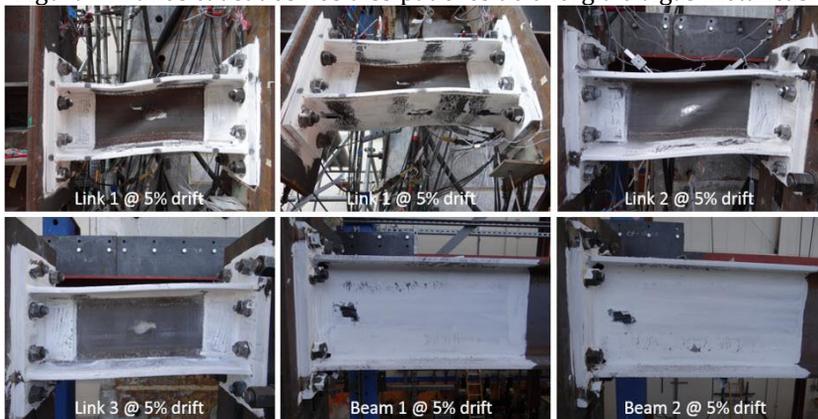
Figura 6. Simulação híbrida considerando os efeitos de não-linearidade (p-delta).



## RESULTADOS

Os danos causados tanto nos dissipadores de energia quanto nas vigas metálicas, mostrados na Figura 7, seguiram a sequência de rótulas plásticas mostrada na Figura 4, o que validou o sistema estrutural, uma vez que os resultados numérico-experimentais foram os mesmos. Os dissipadores puderam ser removidos facilitando, assim, o retorno rápido de ocupação da edificação.

Figura 7. Danos causados nos dissipadores de energia e vigas metálicas.



Foi observado tanto nos resultados numéricos quanto nos experimentais, três tipos de performance: linear elástico, retorno rápido de ocupação, onde apenas os dissipadores de energia sofreram danos, e colapso progressivo, onde as vigas dos vãos também sofreram danos.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados mostraram, ainda, que os pilares não sofreram danos e permaneceram no regime linear elástico. Devido aos esforços internos nas conexões rígidas, propõe-se conexões semirrígidas na conexão pilar-viga, haja vista que não houve dano algum nas referidas conexões. As conexões pilar-dissipadores fizeram com que a deformação de cisalhamento migrasse para a região central do dissipador, formando, assim, a rótula plástica de cisalhamento. Não foi observado fissuras nas soldas das conexões.

## **REFERÊNCIA**

Lopes, A. P. Seismic behavior and design of the linked column steel frame system for rapid return to occupancy. Ph.D. Dissertation. Portland State University. Portland-Oregon, USA, 2016.

## ***Aplicativo para gestão de resíduos sólidos de classe I no município de Maceió – Alagoas***

***Marlos Alan Pereira Santos***

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente há uma preocupação maior com a sustentabilidade ambiental, que envolve uma série de ações, sendo uma delas a atenção com a necessidade de dar aos resíduos tóxicos e perigosos o destino correto, e este é um ponto que está sendo bastante discutido nas políticas de saúde ambientais no cenário moderno.

Maceió, capital de Alagoas, é um município da região nordeste do País que ocupa uma área de cerca de 509,552 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013), distando cerca de 2.013 quilômetros de Brasília. Sendo o município principal e mais populoso do estado de Alagoas, há uma preocupação especial acerca do tratamento do lixo, por conta da quantidade de resíduos descartados diariamente, não só os resíduos de Classe II (orgânicos e outros gêneros semelhantes), bem como os resíduos de Classe I (tóxicos, provenientes de aparelhos eletrônicos como: celulares, câmeras fotográficas, *tablets*, dentre outros).

No ano de 2017, foi estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), que Maceió apresentava a população de 1.029.129 habitantes, sendo a décima quarta capital brasileira a ultrapassar a marca de um milhão de habitantes residentes, e a quinta do Nordeste.

O estado de Alagoas já enfrenta alguns problemas ambientais, e um deles é a falta de cuidado da população, ao separar resíduos de Classe I (tóxicos). Alguns aparelhos eletrônicos, como aparelhos celulares, caso sejam descartados no lixo comum, tendem a formar contaminações no solo, no ar e na água, e ainda gerar um volume de entulho além do necessário.

Nesta direção, o trabalho em questão teve como objetivo a criação de um aplicativo que ajude no descarte de resíduos de Classe I da capital de Alagoas, auxiliando os moradores no tratamento e no descarte desses respectivos resíduos em prol do meio ambiente.

Hoje em dia, por conta do crescimento demográfico exponencial, há um índice muito alto no consumo de aparelhos celulares e de outros aparelhos eletrônicos que contém resíduos de Classe I, estando ainda mais evidente que o nível tecnológico desses aparelhos aumenta de forma descomunal, barateando os custos dos mesmos e fazendo com que o consumo de aparelhos se torne ainda mais difundido no meio da população (Caixeta Filho, 1999).

Entretanto, junto com o consumo desses aparelhos, não há uma consciência efetiva sobre o que fazer com os mesmos após eles se tornarem inutilizáveis, e esta consciência ambiental sobre o descarte desses dispositivos deveria ser algo mais difundido em campanhas, nos telejornais e nas escolas.

O consumo desenfreado aumenta conseqüentemente o descarte desses aparelhos, por vezes eles são jogados ao ar livre sem nenhum tipo de preocupação acerca das conseqüências que este descarte pode causar ao meio ambiente.

Partindo para o lado da coleta de lixo, ela é caracterizada por um conjunto de diversas ações, a saber: ações financeiras, normativas e operacionais guiadas através da gestão municipal, que trabalha em função da coleta, tratamento, segregação e disposição de descarte do lixo da cidade (Vilhena, 2014).

Uma coleta de lixo que seja mal organizada pode não só gerar prejuízos e reclamações, mas gerar simultaneamente problemas ambientais, envolvendo o descarte final do lixo ou o tratamento, no caso mais específico, dos Resíduos de Classe I.

A coleta de lixo, bem como o transporte para as áreas de tratamento e outros destinos finais, é de total responsabilidade do serviço público municipal, serviços que são importantes para a saúde da população, já que é um serviço de manutenção da saúde e que ataca diretamente as transmissões de doenças que podem ocorrer através do abrigo do lixo e de outras substâncias contida nele (IBAM, 2001).

O itinerário da coleta é caracterizado pelo caminho que o veículo do lixo tem de trilhar dentro da respectiva área, em períodos iguais, transportando o máximo de resíduos com o mínimo de percurso desnecessário, diminuindo concomitantemente os desgastes no veículo e na guarnição responsável pela coleta.

O percurso desnecessário pode ser explicado como os trechos em que o veículo passa, mas que não há coleta de lixo, servindo apenas como um trecho que liga um lugar a outro.

O usual é que seja planejado para cada itinerário de coleta uma espécie de roteiro gráfico da área em mapa, indicando o início, o término,

os pontos de coleta manual (pontos onde o veículo não tem acesso, sendo necessário um deslocamento maior de guarnição, e por consequência um maior desgaste), além de outros trechos onde há um gasto de tempo excessivo, como trechos em que necessitam de manobras especiais, como marcha ré, retorno, dentre outras coisas (D'almeida & Vilhena, 2000).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia utilizada foi baseada na seguinte sequência:

Desenvolver um aplicativo para coleta de resíduos de Classe I (aparelhos eletrônicos e outras substâncias tóxicas) que seja inovador, prático e que possa ser utilizado em boa parte dos aparelhos telemóveis; Gerar um impacto positivo no descarte de resíduos de Classe I no Município de Maceió;

Diminuir as barreiras e as dificuldades encontradas no descarte de resíduos de Classe I, facilitando a sua coleta e designando estes resíduos aos seus destinos finais corretos.

O trabalho foi realizado através de uma pesquisa de cunho quantitativo na empresa Bio Digital, uma empresa de coleta de resíduos classe I que é responsável pelo gerenciamento de resíduos em lugares importantes como Maceió.

Nessa pesquisa foram recolhidas informações acerca da quantidade de resíduos de Classe I coletados nos últimos meses.

Após a pesquisa, foi desenvolvido um aplicativo para ajudar na coleta desses resíduos de Classe I, onde o cidadão poderá baixá-lo em plataforma *Android*. Após baixar o aplicativo, o usuário poderá mandar a foto do tipo de resíduo que ele quer descartar, e irá agendar uma data onde algum agente da empresa responsável pela coleta deste resíduo possa recolhê-lo.

O aplicativo “Ambiental MCZ” foi produzido no Ambiente de Desenvolvimento Integrado - *Integrated Development Environment (IDE)*, na versão *MICROSOFT VISUAL STUDIO COMMUNITY 2017*, no formato *Software Livre*, sendo desenvolvido no modelo *Mobile* com *JavaScript* e configurado através do *SDK Android* (nível 23 de API) junto com o *Java SE Development Kit (8.0.1120.15)* com funcionalidade no modo híbrido. A principal intenção é ser um aplicativo simples e prático que funcione em qualquer aparelho móvel, levando educação ambiental em uma linguagem acessível e auxiliando o cidadão no descarte de resíduos tóxicos em prol do meio ambiente.

As pesquisas quantitativas iniciais serviram como base para avaliar o impacto do aplicativo sobre o meio ambiente, analisando a

quantidade de resíduos de Classe I que serão recolhidos após o lançamento do aplicativo, desta forma, será possível fazer uma comparação entre os resíduos recolhidos antes da utilização do aplicativo com os dados coletados após o lançamento dele. É importante destacar que o aplicativo foi lançado em abril de 2018, portanto, ainda está na fase inicial das pesquisas de cunho quantitativo.

O aplicativo “Ambiental MCZ” possui ícones com: a legislação Ambiental Municipal, Estadual e Federal; que tem como objetivo informar o usuário sobre as Leis Ambientais vigentes no município de Maceió, especificamente, as Leis de Resíduos de Classe I conhecidas como logística reversa, em uma linguagem simples e acessível a todos os públicos. E um ícone com informações dos pontos de coletas de resíduos sólidos de classe I. Para acessar o aplicativo seguir o link: [https://app.vc/ambiental\\_mcz](https://app.vc/ambiental_mcz)

Figura 1. Interface do aplicativo.



Fonte: <[https://app.vc/ambiental\\_mcz](https://app.vc/ambiental_mcz)>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que diz respeito aos aparelhos eletrônicos antigos, os portadores dos mesmos têm a alternativa de guardar, doar, revender ou descartar. No município de Maceió, a empresa responsável pela coleta do lixo recolhe estes resíduos através de chamadas telefônicas, sendo que os resíduos também podem ser descartados em caixas de coletas que são específicas para materiais como pilhas e baterias, sendo esta a alternativa ambientalmente correta, mesmo que ainda não seja uma

alternativa amplamente difundida entre a população. Assim, para evitar futuras contaminações pelo excesso desses equipamentos no meio ambiente, é que se propõe possíveis formas de gerenciamento desses resíduos.

Espera-se que esse aplicativo gere um impacto positivo diminuindo e/ou eliminando a quantidade de resíduos de Classe I descartados no meio ambiente, impacto que poderá ser examinado e quantificado através de avaliações dos dados gerados e armazenados no aplicativo.

Em suma, esses dados servirão para fazer um balanço geral da quantidade de resíduos coletados após o lançamento do aplicativo, resíduos que provavelmente seriam descartados em meio ambiente ou receberiam outros fins inapropriados para a saúde ambiental de Maceió.

Também é esperado um impacto científico positivo, já que não existe nenhum aplicativo do tipo em circulação, pelo menos não na área do município de Maceió. Com a criação do aplicativo, é provável que mais pessoas que pesquisam esta área motivem-se a criar aplicativos semelhantes que ajudem a solucionar os problemas ambientais no estado. Por isso, é válido dizer que essa pesquisa é o motor primário que pode dar movimento a outras séries de inovações tecnológicas que podem vir a contribuir com a preservação do meio ambiente.

Pode-se dizer que na área em questão, o aplicativo é algo inovador, pois ele tem uma potencialidade enorme para acabar ou ao menos mitigar este problema ambiental que assola Maceió e outros municípios do Brasil, já que as únicas alternativas atuais para o descarte de lixos de Classe I são os pontos de coleta na cidade e através de agendamentos telefônicos (um método pouco conhecido pelos moradores em geral).

## **CONCLUSÃO**

Nessa perspectiva, o aplicativo pode gerar impactos econômicos indiretos, visto que existirá menos resíduos tóxicos de Classe I sendo descartados em meio ambiente. Paralelamente haverá menos gastos governamentais para lidar com este tipo de problema, fazendo com que esse dinheiro possa ser redirecionado para outras áreas, a exemplo da educação e outros ramos de necessidades mais urgentes como saúde e segurança.

No meio social, o resultado esperado é a educação e a conscientização da população, visto que ao baixar o aplicativo eles recebem informações acerca dos malefícios que o descarte inadequado desses resíduos pode gerar à população, à comunidade em geral e ao

meio ambiente; já que os problemas ambientais por vezes também se estendem para as áreas da saúde pública, além de obterem informações sobre a Lei 6496/2016, que trata da logística reversa dos resíduos de classe I, numa linguagem mais simples de forma a se fazer entender por toda a população.

Portanto, o aplicativo não vem apenas para somar, ou seja, não para ser apenas mais um método de descarte, mas sim para ser um método inclusivo, já que nos tempos de hoje os *smartphones* são ferramentas utilizadas por todos. Além de ser inclusivo o aplicativo é prático, pois reduz os custos da população com descarte de lixo Classe I (haja vista que a população, no geral, tem mais acesso à *internet*), já que o usuário pode marcar o descarte dos resíduos no conforto de casa, utilizando apenas o celular. Além do mais, o aplicativo pode ser vendido para empresas locais, já que ele é uma alternativa sustentável para o meio ambiente e isto também pode gerar uma imagem positiva da empresa.

## REFERÊNCIAS

- Caixeta Filho, J. V. Avaliação do potencial de utilização de tecnologias de roteirização por empresas de coleta de resíduos sólidos urbanos. Piracicaba: USP, ESALQ, 1999. (Relatório técnico de projeto de pesquisa apoiado pelo CNPq).
- D'almeida, M. L. O.; Vilhena, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/ CEMPRE, 2000. 370p.
- IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Ambiental. O que é preciso saber sobre limpeza urbana. 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha/nota.php>. Acesso em: 12 de abril de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área dos Municípios. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de abril de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100923.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2018.
- Scarlato, F. C.; Pontin, J. A. Do nicho ao lixo: ambiente, sociedade e educação. São Paulo: Atual, 1992. 115p.
- Vilhena, A. Guia da coleta seletiva de lixo. 2. ed. São Paulo: CEMPRE, 2014. 52p.

## ***Avaliação da transferência de carga de estacas hélice contínua com ponta em rocha***

***Juliane Andréia Figueiredo Marques***

***Ricardo Figueiredo Marques***

***Abel Galindo Marques***

***Bruno Conde Passos***

***Enzo Gonçalves Yulita***

### **INTRODUÇÃO**

A partir de 2013, a estaca hélice contínua tem sido largamente executada em obras localizadas na região praieira de Maceió-AL. Desde então várias obras têm sido projetadas em estacas hélice contínua, contribuindo para um melhor entendimento do comportamento desse tipo de estaca nos solos característicos da planície costeira da cidade.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados de provas de carga estáticas em estacas tipo hélice contínua executadas em uma obra localizada na orla marítima de Maceió. Foram executadas três provas de carga numa mesma obra composta por duas torres residenciais de 24 pavimentos, sendo o primeiro ensaio (PC1) realizado em estaca com diâmetro de 0,50m e comprimento de 14m pertencente às fundações da Torre A, e os outros dois ensaios (PC2 e PC3) executados em estacas de 0,60m e comprimento de 9,0m, pertencente às fundações da Torre B.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

A investigação geotécnica da área em estudo foi baseada em sondagens a percussão com SPT executadas de acordo com as normas NBR 6484/01 e NBR 8036/83. Foram executados 26 furos de sondagem SPT que indicaram a profundidade do lençol freático da ordem de 3,5m. A Figura 1 apresenta a disposição em planta das Torres A e Torres B e alguns desses 26 furos de sondagem, juntamente com as sondagens rotativas executadas na Torre B (destacadas em azul). Além da localização dos ensaios PC1, PC2 e PC3. A Figura 2 apresenta os perfis de sondagem representativos do subsolo de cada torre e a representação das estacas projetadas para cada torre.

Figura 1. Localização em planta das Torres A e B, furos de sondagens e ensaios PC1, PC2 e PC3 (AGM, 2014).

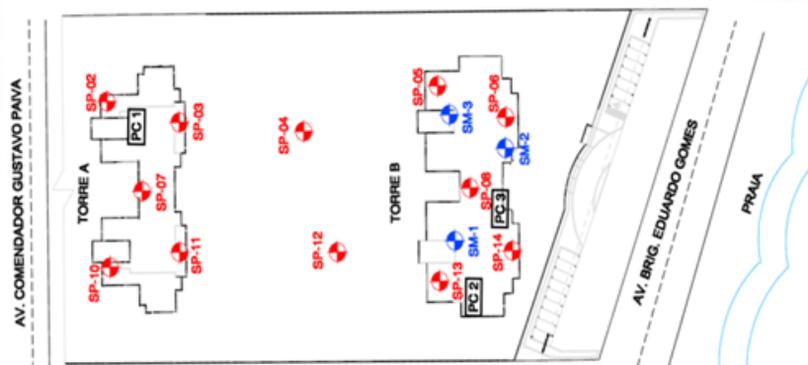


Figura 2.a) Perfil do subsolo da Torre A e representação da estaca do ensaio PC1 (AGM, 2014).

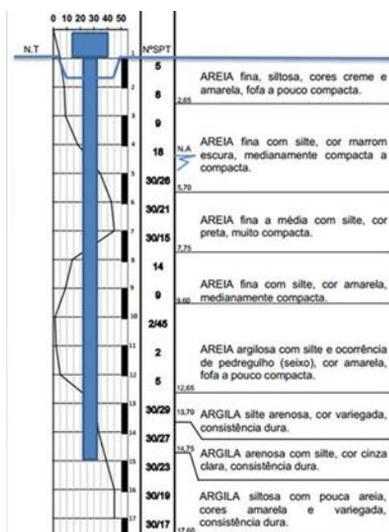
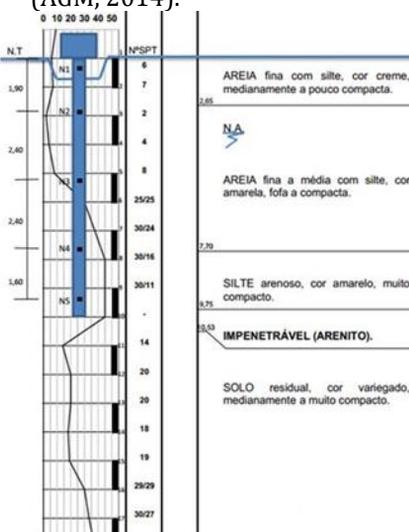


Figura 2.b) Perfil do subsolo da Torre B e representação da estaca instrumentada do ensaio PC3 (AGM, 2014).



O projeto de fundações em estacas hélice continua seguiu o que preconiza a NBR 6122/10. O subsolo da Torre A não apresentou arenito desta forma as estacas foram executadas com trado helicoidal

convencional, projetadas com diâmetro de 0,50m e comprimento de 14m, armadura foi constituída de 5 barras longitudinais de  $\phi$  16,0mm com comprimento 6,0 m e estribo helicoidal de  $\phi$  6.3 mm. A ponta da estaca ficou assente na camada de argila arenosa de consistência dura ( $N_{SPT} = 30/23$ , Figura 2.a) e carga admissível de 1200kN.

As estacas da Torre B foram executadas com diâmetro de 0,60m, comprimento de 9,0m, armadura longitudinal composta por 8 barras de  $\phi$  16mm com comprimento 6,0m e estribo helicoidal de  $\phi$  6.3mm. Carga admissível de 1000kN. No processo de perfuração das estacas da Torre B utilizou-se um trado helicoidal especial, com ponta cônica reforçada com “roller-bits”, cujo objetivo principal foi permitir o embutimento da ponta em solo de alta resistência.

Mesmo com a utilização do trado especial houve grande dificuldade de perfurar o arenito, a exemplo da estaca do ensaio PC3 que ficou com comprimento total de 8,8m ao invés dos 9,0m inicialmente projetado. De forma geral, as pontas das estacas desta torre entraram de 0,20 a 0,30m no arenito (Figura 2.b).

As três provas de carga realizadas (PC1, PC2 e PC3) seguiram os procedimentos da NBR 12131/06. Os ensaios foram do tipo lento. Na execução da estaca a ser instrumentada em profundidade com *strain-gages* (extensômetros elétricos de resistência) referente ao ensaio PC3, houve grande dificuldade para a instalação do tubo de espera no interior da estaca para a colocação das barras instrumentadas. Como a estaca em questão era curta, optou-se por instalar o tubo após a execução da concretagem.

O tubo de espera para a instrumentação foi previamente posicionado e fixado no centro da armadura, e ambos foram inseridos juntos após a finalização da concretagem. No dia seguinte após a execução da estaca, a barra instrumentada foi inserida no interior do tubo de espera (Figura 3), para então proceder a injeção da calda de cimento a partir do fundo do tubo, evitando que ocorresse qualquer falha nesse preenchimento (Figura 4).

Na saída do tubo, onde se acumulam as fiações dos sensores, foram providenciadas proteções para que o bloco de compressão fosse executado sem danificar o sistema.

Figura 3. Barra contínua. Figura 4. Injeção da calda de cimento



Para a instrumentação em profundidade do ensaio PC3 foram utilizados extensômetros elétricos de resistência, instalados em frações de 0,60m de barras de aço CA-50 com diâmetro 12,5mm. Utilizaram-se extensômetros especiais para aço, colados em ponte completa e protegidos com uma resina especial a fim de se evitar danos devido à umidade e choques mecânicos.

Após sua confecção, todas as barras foram calibradas em laboratório, garantindo que as leituras fossem realizadas com precisão. Posteriormente as frações de barras foram unidas através de luvas rosqueadas com as profundidades definidas em cada nível para formarem uma única barra contínua (Figura 3).

A confecção das barras instrumentadas teve como base os trabalhos de Albuquerque (2001) e Albuquerque et al (2001). Foram instalados cinco extensômetros nos níveis: 0,20m (seção de referência); 1,90m; 4,30m; 6,70m e 8,30m (Figura 2.b).

A barra contínua foi inserida no tubo galvanizado juntamente com um mangote plástico, com diâmetro de 12mm, utilizado para injeção da calda de cimento (Figura 4). Teve-se o cuidado de deixar a barra suspensa para se evitar flambagem durante a injeção da calda de cimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam, respectivamente, as curvas carga-recalque dos ensaios PC1, PC2 e PC3. Na prova de carga PC1 foram aplicadas 1920kN e o recalque máximo foi de 23,62mm, recalque permanente 20,26mm (Figura 5).

A prova de carga estática PC2 foi conduzida até 2500kN e o recalque máximo no topo foi de 40,04mm, com recalque permanente de 30,5mm (Figura 6). Na prova de carga PC3 foram aplicadas 2800kN, com recalque máximo no topo de 40,04mm e recalque permanente de 29,41mm (Figura 7), sendo que esta estaca foi instrumentada em profundidade com extensômetros elétricos.

Figura 5. Curva carga-recalque PC1 (AGM, 2014).

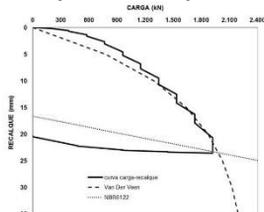


Figura 6. Curva carga-recalque PC2 (AGM, 2014).

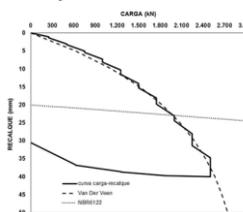
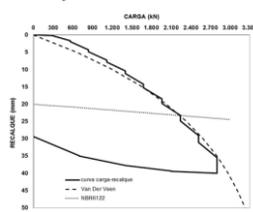


Figura 7. Curva carga-recalque PC3 (AGM, 2014).

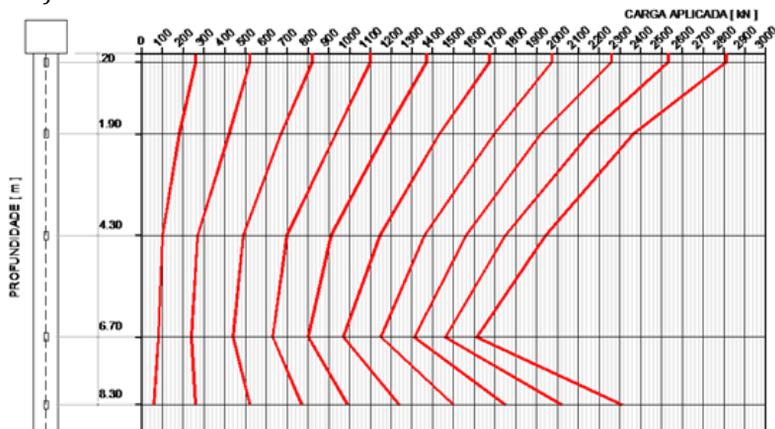


Os resultados da instrumentação em profundidade com *strain-gages* do ensaio PC3 são apresentados na Figura 8, onde têm-se os estágios de carga aplicados no topo da estaca e as cargas nos níveis instrumentados: 0,20m (seção de referência); 1,90m; 4,30m; 6,70m e 8,30m.

A instrumentação mostrou que desde o primeiro estágio de carregamento já houve mobilização da ponta com porcentagem de carga de 20,4%. A cada estágio de carregamento a porcentagem de carga absorvida pela ponta aumentou gradativamente. Ao final do ensaio 82,5% da carga aplicada no topo foi transferida ao solo pelo trecho final da estaca, caracterizando um comportamento típico de estaca de ponta.

Observa-se que nos últimos estágios de carregamento a instrumentação indicou valores superiores de carga no nível 8,30m em relação ao nível 6,70m, resultado que fisicamente não é possível ocorrer. Porém há relatos de pesquisas com estacas embutidas na rocha em que a instrumentação apresentou resultados similares, inclusive confirmados por análise numérica. É um tema que poderá ser melhor interpretado a partir da realização de mais ensaios em estacas embutidas em rocha.

Figura 8. Transferência de carga em profundidade do ensaio PC3 (AGM, 2014).



## CONCLUSÃO

Da análise das três provas de carga em estacas hélice contínua executadas em solos sedimentares do Quaternário, na região praieira de Maceió-AL, pode-se obter algumas conclusões:

As provas de cargas atingiram recalques satisfatórios para as análises de interpretação da curva carga-recalque, o ensaio PC1 com deslocamento de 23,62 mm (4,7%D) e os ensaios PC2 e PC3 com o mesmo deslocamento de 40,04 mm (6,7%D), sendo D o diâmetro da estaca;

Nas estacas dos ensaios PC2 e PC3, com 9,0m de comprimento e diâmetro 0,60m, desde os primeiros estágios de carregamento houve a mobilização da resistência de ponta e aumento gradativo da parcela de ponta com os incrementos de carga;

A instrumentação em profundidade com *strain-gages* na estaca do PC3 confirmou a mobilização da resistência de ponta desde o início do carregamento. Ao final do ensaio 82,5% da carga aplicada no topo foi transferida ao solo pelo trecho final da estaca, caracterizando um comportamento típico de estaca de ponta. As explicações para o elevado percentual de carga na região da ponta da estaca seriam o embutimento em solo de alta resistência nos últimos três metros do fuste e o formato cônico do trado especial com “roller-bits” que permite o início da concretagem da estaca antes da retirada do trado, evitando assim o desconfinamento do solo.

## REFERÊNCIAS

- AGM Geotécnica. Parecer técnico sobre a instrumentação em profundidade em estaca hélice contínua, da obra Condomínio Riviera, Construtora Marroquim. Relatório Técnico. Maceió-Al, 2014. 21p.
- Albuquerque, P. J. R. Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de cargas instrumentadas em profundidade. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- Albuquerque, P. J. R.; Massad, F.; Carvalho, D.; Ferreira, M. A. M. Comportamento à compressão de estacas escavadas, hélice contínua e hélice tipo ômega, em solo residual de diabásio. 198f. Unicamp. Campinas, 2001.
- Alledi, C. T. D. B. Transferência de carga de estacas hélice contínua instrumentadas em profundidade. 293f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. 15p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12131. Estacas – Prova de carga estática: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 8p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484. Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método e ensaio: Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 17p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8036. Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 1983. 3p.

***Carga de ruptura de estacas escavadas a seco  
com anéis por métodos de extrapolação da curva  
carga x recalque***

***Leonardo Barros Dantas Brandão  
Juliane Andréia Figueiredo Marques  
Ana Beatriz Araújo Nobre Dias***

**INTRODUÇÃO**

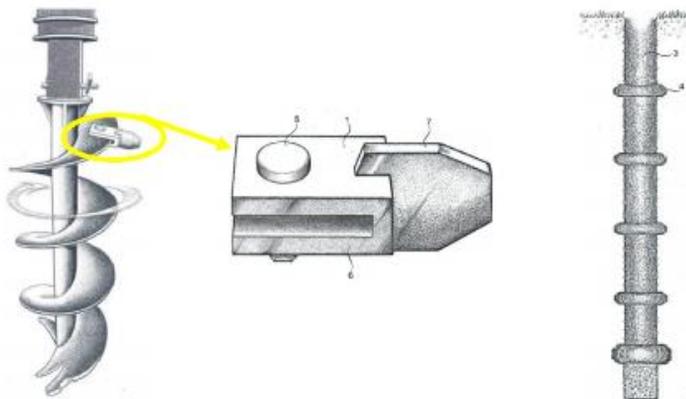
A cidade de Maceió, a partir de meados de 2007, apresentou uma crescente demanda de construções de grande porte na parte alta da cidade. Até então a prática de fundações nessa região composta por sedimentos da Formação Barreiras, era a execução manual de tubulões a céu aberto com base alargada.

Nos projetos de tubulões já eram projetados rasgos, com aproximadamente 10 cm de largura e 10 cm de profundidade, executados com a mesma ferramenta de escavação utilizada pelos poceiros na escavação do tubulão. Esses rasgos tinham o objetivo final de aumentar a segurança geral da fundação e foram a primeira inspiração para a concepção dos anéis.

Estacas escavadas a seco, em geral, possuem produtividade relativamente alta (cerca de 10 a 15 estacas podem ser executadas em um dia), não produzem vibrações e utilizam pouca mão de obra, porém têm capacidade de carga relativamente, já que a parcela de resistência de ponta é reduzida, ou até desprezada, devido ao seu processo executivo, que tem como consequência a presença de solo solto no fundo do furo (Marques et al., 2012).

Marques et al. (2012) comentam ainda que a estaca escavada a seco com anéis foi desenvolvida com o intuito de aumentar a capacidade de carga desse tipo de fundação, reduzir recalques e gerar maior economia para o executante. Os anéis são executados com uma peça denominada “ponteiro” (Figura 1), com comprimento entre 10 e 12 cm, acoplada ao trado de perfuração, e provoca ranhuras (15 a 20 cm) ao longo do fuste em profundidades pré-determinadas.

Figura 1. Detalhe do ponteiro acoplado ao trado e estaca executada com anéis.



De acordo com Velloso e Lopes (2002), a capacidade de carga, nos métodos estáticos, é determinada a partir de formulações que analisam a estaca ao mobilizar a resistência ao cisalhamento do solo. Essa resistência é encontrada a partir de ensaios de laboratório ou in situ.

A determinação da capacidade de carga de uma estaca pode ser feita por métodos teóricos, os quais, segundo Velloso e Lopes (2002), utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros do solo. Cintra e Aoki (2010) destacam a existência de diversos desses métodos na literatura, principalmente pela dificuldade em ajustar um modelo ideal para a ruptura. Os autores lembram ainda que grande parte deles são ineficazes, principalmente se tratando de estacas em areia. Os métodos mais amplamente utilizados para essa finalidade são os semi-empíricos e os que se utilizam da extrapolação da curva carga x recalque, obtida a partir dos resultados dos ensaios de prova de carga (Cintra, 2013).

O presente trabalho apresenta uma análise da carga de ruptura de 1 estaca escavada a seco com anéis ao comparar os valores obtidos para ela por 4 métodos de extrapolação de curvas carga x recalque com os encontrados para 1 estaca lisa, ou seja, sem anéis. Os métodos utilizados no trabalho foram o Método de Van der Veen (1953), o Método da Rigidez de Décourt (1996), o Método da ABNT (2010) e o Método de Davisson (1972).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para as análises apresentadas nesse trabalho, foram selecionadas duas estacas escavadas a seco: uma com anéis (EA) e uma sem anéis (EL), com diâmetros de 600mm e comprimentos de 8m, executadas na mesma região, que haviam sido submetidas à prova de carga estática. O material para a análise faz parte de um banco de dados da empresa *AGM Geotécnica LTDA*, de estacas executadas e ensaiadas por ela. Para cada estaca, foram aplicados os métodos de Van der Veen (1953), da Rigidez de Décourt (1996), da ABNT (2010) e de Davisson (1972) com o intuito de obter as cargas de ruptura, a partir da extrapolação da curva carga x recalque.

A partir dos dados gráficos, o Método de Van der Veen realiza uma previsão do “mergulho” da curva, isto é, de quando a curva se torna assintótica. Para este valor de carga, a ruptura geotécnica acontece, portanto, esse valor representa a carga de ruptura da estaca (Brandão, 2016).

O método da Rigidez de Décourt, por sua vez, determina a carga de ruptura da estaca a partir da análise da curva carga x rigidez, em que a rigidez é obtida pela razão entre carga e recalque. O valor da carga de ruptura é o valor da carga para quando a rigidez é nula (Brandão, 2016).

O valor da carga de ruptura, pelo método da ABNT (2010), é definido como a carga correspondente à interseção da curva x recalque com a reta de equação 1, abaixo.

$$\rho = \frac{D}{30} + Q * \frac{L}{AE} \quad (1)$$

Em que:  $\rho$  é o recalque (mm),  $D$  é o diâmetro da estaca (mm),  $Q$  é a carga de ruptura (kN),  $L$  é o comprimento (mm),  $A$  é a área da seção transversal (mm<sup>2</sup>) e  $E$  é o módulo de elasticidade (kN/mm<sup>2</sup>).

A formulação (equação 2) do Método de Davisson para a obtenção da carga de ruptura é similar à equação do Método da ABNT. Ele pressupõe que a carga é dada pela interseção de uma equação que depende do diâmetro da estaca e que excede a compressão elástica da estaca em 4mm com a curva carga x recalque (Torres, 2018).

$$\rho = \left( \frac{D}{120} + 4 \right) + Q * \frac{L}{AE} \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores obtidos de carga de ruptura obtidos para a estaca escavada a seco com anéis (EA) e a sem anéis (EL) para

cada um dos 4 métodos de previsão de carga analisados: Van der Veen (VDV), Rigidez (RIG), ABNT e Davisson (DAV), bem como o valor da carga máxima aplicada no ensaio de prova de carga (PCmax) e o valor percentual do ganho de carga ao comparar EA com EL para cada um dos métodos.

Tabela 1. Valores de carga de ruptura

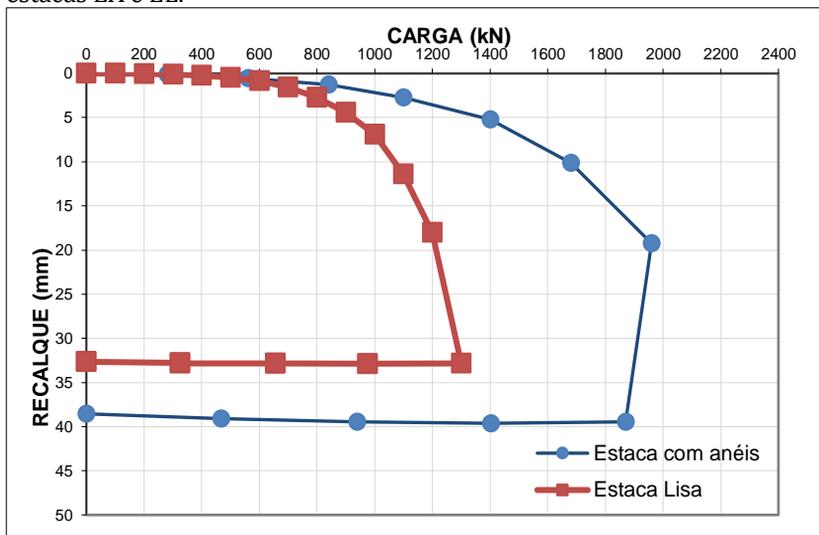
<b>Carga de Ruptura (kN)</b>					
<b>Estaca</b>	<b>PCmax</b>	<b>VDV</b>	<b>RIG</b>	<b>ABNT</b>	<b>DAV</b>
EA	1960,0	1966,0	2065,5	1920,0	1696,0
EL	1300,0	1310,0	1335,5	1225,0	1072,5
<b>%EA/EL-100</b>	<b>51%</b>	<b>50%</b>	<b>55%</b>	<b>57%</b>	<b>58%</b>

De acordo com a Tabela 1, observa-se que o valor máximo de carga de ruptura foi encontrado pelo método da Rigidez (2065,5 kN para EA e 1335,5 para EL) e o menor, pelo método de Davisson. Tanto Davisson quanto o ABNT são métodos reconhecidos pela literatura como mais conservadores no sentido de determinação da carga de ruptura, os quais possuem inclusive formulações semelhantes para a obtenção das cargas de ruptura, assim como o método da Rigidez em geral fornece valores mais altos (Brandão, 2016).

O percentual de ganho de carga médio, obtido a partir da média ponderada dos percentuais de ganhos pelos 4 métodos, foi de 55%, sendo o menor valor, 50% de Van der Veen, o mesmo utilizado por projetistas desse tipo de fundação. O ganho de carga chega a 730 kN se considerarmos o método da Rigidez, 676 kN, a média entre todos os métodos.

A Figura 2 mostra as curvas carga x recalque obtidas após a aplicação das provas de carga em ambas as estacas.

Figura 2. Curvas carga x recalque obtidas a partir de provas de carga nas estacas EA e EL.



Analisando a curva referente à estaca lisa, observa-se um “mergulho” mais acentuado da curva entre os valores de carga de 1200 kN e 1400 kN, ou seja, um aumento considerável no recalque, que passou de 18 mm com a carga 1200 kN para 33 mm em 1300 kN. Pode-se imaginar que a ruptura geotécnica aconteceu nesse intervalo, bem como mostram os métodos.

Com relação à curva carga x recalque da estaca com anéis, observou-se que logo após o último carregamento (1960 kN) o valor do recalque aumentou consideravelmente, sendo encontrado, na primeira medida do descarregamento (1870 kN), um valor de 39,48 mm, bem superior aos 19,26 mm encontrados no último carregamento. Imagina-se que a ruptura aconteceu próximo ao valor de 1960 kN.

## CONCLUSÃO

O aumento da demanda por construções de grande porte na parte alta da cidade de Maceió, com solo de característica coesiva, chamou atenção da necessidade de novas tecnologias em se tratando de engenharia de fundações. As estacas escavadas mecanicamente a seco se mostraram promissoras, porém, devido a sua capacidade de carga, melhoramentos nelas eram necessários. Os anéis ao longo do fuste foram uma solução concebida para essa finalidade.

O trabalho visou apresentar uma análise das cargas de rupturas de uma estaca escavada a seco com anéis e outra sem anéis obtidos por 4 métodos de extrapolação de curvas carga x recalque, plotadas como resultados das provas de carga: o Método de Van der Veen (1953), o Método da Rigidez de Décourt (1996), o Método da ABNT (2010) e o Método de Davisson (1972).

O método de Van der Veen apresentou resultados mais próximos dos valores de parada do ensaio, os da ABNT e de Davisson se mostraram conservadores e o da Rigidez resultou nos valores mais altos para as 2 estacas.

Ao comparar os valores encontrados para as estacas com anéis com os das estacas lisas, observou-se que o ganho de carga médio, foi de 55%. Van der Veen apresentou o menor valor de porcentagem de ganho de carga, 50%, que é o mesmo utilizado pelos projetistas.

A curva carga x recalque da estaca lisa permite inferir que a ruptura geotécnica aconteceu entre os valores de carga de 1200 kN e 1400 kN, em que se observa uma variação grande do recalque (de 18 mm com a carga 1200 kN para 33 mm em 1300 kN). Já a curva da estaca com anéis, mostra um aumento considerável no recalque logo após o último carregamento (1960 kN), o que se sugere que, a ruptura aconteceu próximo ao valor de 1960 kN.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e Execução de Fundações: NBR 6122/10. Rio de Janeiro. 2010.
- Brandão, L. B. D. Estudo da capacidade de carga de estacas escavadas a seco com anéis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2016.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Tsuha, C. H. C.; Giacheti, H. L. Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2013. 144p.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N. Fundações por estacas: projeto geotécnico. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 96p.
- Décourt, L. Análise e Projeto de Fundações Profundas. Estacas. In: Hachich, W.; Falconi, F. F.; Saes, J. L.; Frota, R. G. Q.; Carvalho, C. S.; Niyama, S. Fundações Teoria e Prática. 1. ed. São Paulo: Editora Pini. 1996.
- Marques, J. A. F.; Marques, A. G.; Marques, R. F. Estacas Escavadas com Trado Mecanizado, com Anéis ao Longo do Fuste. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 16, 2012, Porto de Galinhas. Anais...Porto de Galinhas/PE, 2012.

Torres, G. H. F. S. Instrumentação em estacas escavadas a seco com e sem anéis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

Van Der Veen The Bearing Capacity of a Pile. In: 3 rd ICSMFE. v. 2, p.84-90, 1953.

Velloso, D. A.; Lopes, F. R. Fundações profundas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, v.2, 2002. 472p.

## ***Comparação de sensores resistivos com diferentes geometrias de eletrodos para umidade do solo***

***Luís Guilherme Ribeiro  
Sérgio Luiz Stevan Junior***

### **INTRODUÇÃO**

Na agricultura de precisão o principal motivo para monitorar a umidade do solo é para o controle de irrigação, pois quando realizada de maneira eficiente ajuda na economia de água, melhorando os rendimentos das plantas, reduz a dependência dos fertilizantes e melhora a qualidade das culturas (Hassan-Esfahani et al., 2014). Para realizar uma irrigação eficiente é necessário um sensoriamento de umidade do solo preciso, robusto e rápido (Reinert, 2006). Os sensores resistivos de umidade do solo são altamente explorados na literatura, nos trabalhos de Singh et al. (2014), Gurav et al. (2015), Garg et al. (2016) e Bitella et al. (2014) são levantadas as principais vantagens e desvantagens do mesmo. As vantagens são: insensibilidade ao sal, rápido tempo de resposta, baixo custo, leituras podem ser lidas remotamente e medem o teor absoluto de água no solo. As desvantagens são: instabilidade na calibração, imprecisão nas medidas, sensível a temperatura do solo, oxidação dos eletrodos e curta vida útil. No trabalho de Gurav et al. (2015) é mostrado o funcionamento de um sensor resistivo, dois eletrodos são inseridos no solo e a tensão em todo o solo é medida, conforme o teor de umidade aumenta a condutividade efetiva do solo também aumenta.

Singh et al. (2014) afirmam que os sensores resistivos possuem alta imprecisão, em torno de 10% de erro. Portanto, visando suprir algumas desvantagens dos sensores resistivos, neste trabalho são desenvolvidos sensores com diferentes geometrias de eletrodos e material. Afim de obter sensores resistivos mais precisos, robustos e com maior alcance. Sendo assim, objetiva-se com este trabalho comparar cinco sensores resistivos: um sensor comercial e quatro sensores desenvolvidos, a comparação é realizada em termos de sensibilidade, precisão, repetibilidade e alcance.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para medir a umidade do solo, é levado em consideração resistividade entre os eletrodos no solo ou a resistividade de um material que está em equilíbrio com o solo (Pariza et al., 2012). Então a escolha do material dos eletrodos afeta diretamente a umidade do solo, neste trabalho foram utilizados três diferentes materiais para os eletrodos: aço, alumínio e cobre. Na Tabela 1, é mostrado a resistividade e condutividade dos materiais trabalhados.

Tabela 1. Material e suas características elétricas à 20°C

Material	Resistividade ( $\Omega.m$ )	Condutividade ( $\Omega.m^{-1}$ )
Aço	$20 \times 10^{-8}$	$0.6 \times 10^7$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^7$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$	$6 \times 10^7$

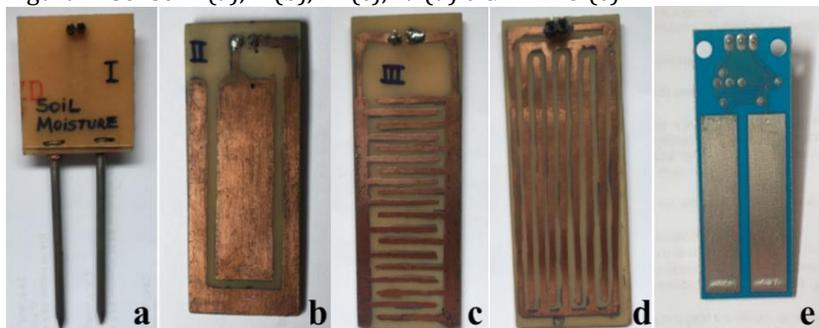
Fonte: Villate (2010).

Afim de avaliar o desempenho foram utilizados cinco sensores com diferentes geometrias de eletrodos e material, três sensores possuem eletrodos de cobre, um de aço e um de alumínio. O sensor que possui o eletrodo de alumínio (GBK P23) é um sensor comercial, constituído por duas sondas metálicas em apenas um lado de sua face (Figura 1e) (GBK Robotics, 2018). Os demais sensores foram desenvolvidos e nomeados como sensor I, sensor II, sensor III e sensor IV. O sensor I possui dois eletrodos de aço, e a geométrica dos eletrodos é circular (Figura 1a). Os sensores II, III e IV, ambos são constituídos por placa de fenolite com eletrodos de cobre nas duas faces, e seus eletrodos possuem diferentes geometrias (Figura 1b, c e d). A Tabela 2 mostra as dimensões e características dos sensores trabalhados.

Tabela 2. Sensores e suas características

	Sensor I	Sensor II	Sensor III	Sensor IV	Sensor GBK
<b>Material dos eletrodos</b>	Aço	Cobre	Cobre	Cobre	Alumínio
<b>Tamanho do sensor</b>	100x35mm	67x27mm	80x28mm	67x27mm	53x20mm
<b>Tamanho dos eletrodos</b>	55mm Ø4mm	20x2mm	44x8mm	55x1,5mm	35x8mm
<b>Distância entre os eletrodos</b>	15mm	4mm	3mm	2mm	2mm
<b>Área de contato dos eletrodos</b>	440 mm <sup>2</sup>	2200 mm <sup>2</sup>	2184 mm <sup>2</sup>	1485mm <sup>2</sup>	560 mm <sup>2</sup>

Figura 1. Sensor I (a), II (b), III (c), IV (d) e GBK P23 (e).



Na amplificação de sinal dos sensores desenvolvidos foi utilizado um módulo comercial denominado como *YL-38*, responsável por fornecer o sinal analógico. Este módulo é alimentado com 5Vdc, fornecendo uma tensão de saída de 0 a 4.2V e corrente de 35mA.

Para realizar a calibração dos sensores foi utilizado um copo de água, e então é mergulhado toda a área dos eletrodos para cada sensor e analisado o valor analógico (varia entre 0 a 1023), o valor marcado considera-se uma umidade de 100%. Ao realizar a calibração percebe-se que certa linearidade do sinal analógico gerado pelos sensores.

### *Experimentos*

Afim de medir a sensibilidade, precisão, repetibilidade e alcance. Foram realizados três experimentos, utilizando o micro controlador *ATmega328* para aquisição dos dados. Para análise estatística foi utilizado o *software R*. Os experimentos serão mostrados a seguir.

#### *Experimento 1: Alcance*

Alcance é a região entre os limites máximo e mínimo nos quais a quantidade medida, recebida ou transmitida pode variar (Braga et al., 2010). Para obter a faixa dos sensores é realizado o seguinte experimento: os sensores foram colocados dentro de uma amostra de solo, então é adicionado 50 ml de água a uma distância, e verificado se existe alguma variação, se existe (mesmo que mínima) esta é o máximo alcance de operação do sensor.

#### *Experimento 2: Repetibilidade e Precisão*

Repetibilidade é a medida da capacidade de um instrumento repetir a mesma saída (medida) para um dado valor, quando a mesma

entrada é aplicada várias vezes (Braga et al., 2010). Para realizar esta análise foi realizado o seguinte experimento: foram capturados 50 vezes o resultado da medida no mesmo lugar para cada sensor, utilizado a seguinte definição (1) matemática:

$$Rp = \frac{(máx-min)*100}{Fundo Escala} \quad (1)$$

Onde *máx* é valor máximo de variação, *min* é menor valor de variação e *Fundo Escala* é o valor máximo absoluto de medida (100%).

De acordo com Braga et al. (2010) a precisão é a medida da consistência do sensor e indica a sua repetibilidade, isto é qual a capacidade do sensor em indicar o mesmo valor, estando nas mesmas condições de operação, em um dado período de tempo. Em geral, os instrumentos são especificados em termos de sua exatidão (acurácia) e não da sua precisão. Buscando verificar possíveis diferenças entre a precisão dos sensores, foi executado o teste estatístico de *Friedman* considerando um  $\alpha$  de 0,05, sendo que para aferir em quais pareamentos a diferença existiu um teste de *post-hoc* se fez necessário.

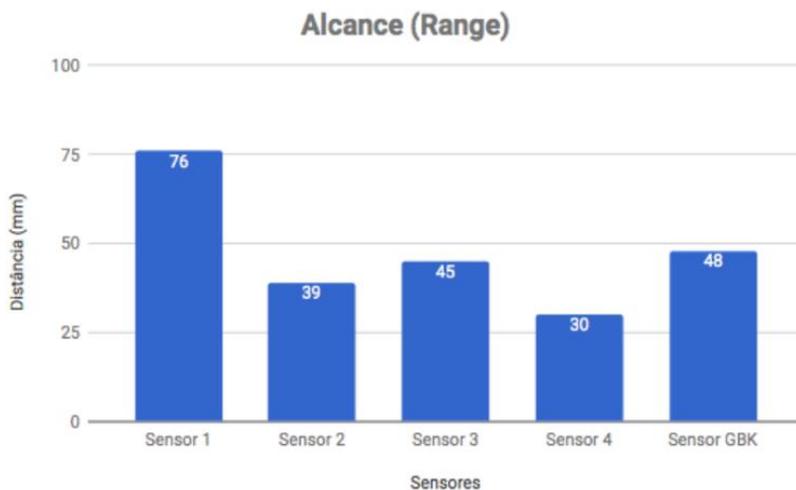
### *Experimento 3: Sensibilidade*

De acordo com a definição de Braga et al. (2010) a sensibilidade mede o grau de variação da saída com variações de entrada. Para realizar esta comparação foi realizado o seguinte experimento: foram colocados os cinco sensores ao mesmo tempo para medir a umidade de uma amostra de solo, em certos períodos de tempo foram adicionados 50 ml de água na proximidade dos sensores, então os sensores que obtiverem maior variação em menos tempo possui maior sensibilidade. Para a análise estatística considerou-se apenas as amostras com maior variação (quando houve adição de água), também foi aplicado o teste estatístico de *Friedman* considerando um  $\alpha$  de 0,05 e o *post-hoc* para aferir os pareamentos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

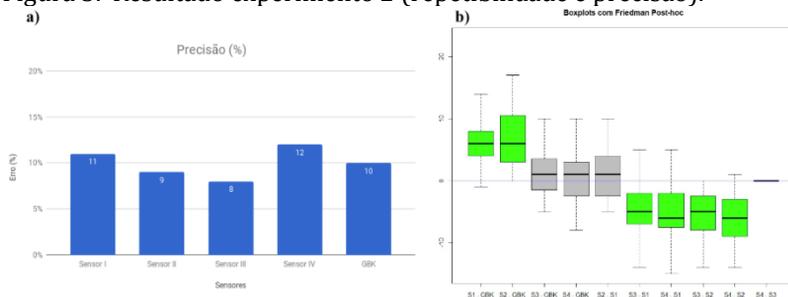
Em termos de alcance o sensor I obteve o melhor resultado com 76 mm (Figura 2), seguido do GBK (48 mm) e sensor III (45 mm), isto pode ser explicado pelo material e geometria dos eletrodos do sensor I.

Figura 2. Resultado experimento 1 (alcance).



Em termos de repetibilidade e precisão, o sensor III demonstrou ser mais preciso com 8%, e o sensor IV apresentou um erro de 4% superior ao caso anterior (Figura 3a). Isso se justifica pela geometria dos eletrodos, onde aqueles que possuem maiores áreas de contato com o solo tendem a ser mais precisos. A aplicação do teste estatístico demonstrou que o sensor III quando comparado com o I e II obteve diferenças significativas (Figura 3b).

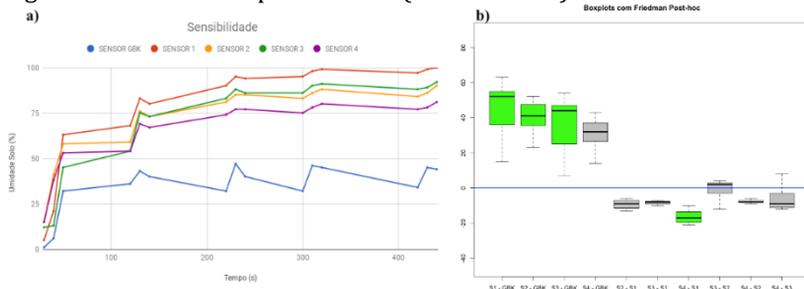
Figura 3. Resultado experimento 2 (repetibilidade e precisão).



Em termos de sensibilidade o GBK P23 demonstrou melhor desempenho (Figura 4a), por meio da análise estatística é demonstrado

diferenças significativas do GBK P23 em relação ao sensor I, II e III (Figura 4b).

Figura 4. Resultado experimento 3 (sensibilidade).



## CONCLUSÃO

Este trabalho obteve resultados da comparação de sensores com diferentes características, isso contribui para o desenvolvimento de novos sensores de umidade do solo, otimizados em termos de alcance, precisão, repetibilidade e sensibilidade. Foi demonstrado que em termos de precisão o sensor III (cobre) foi melhor, em termos de alcance o sensor I (aço) obteve melhor resultado, e em termos de sensibilidade o sensor GBK P23 (alumínio) demonstrou ser superior.

## REFERÊNCIAS

- Bitella, G.; Rossi, R.; Bochichchio, R.; Perniola, M.; Amato, M. A novel low-cost open- hardware platform for monitoring soil water content and multiple soil-air-vegetation parameters. *Sensors*, v.14, p.19639-19659.
- Braga et al. Instrumentação Industrial. DAAE/CEFET-Minas Gerais. 2010.
- Garg et al. Application of soil moisture sensors in agriculture: A Review. International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering, 2016, Pune. Proceedings... Pune, India, 2016.
- Gava et al. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v.10, n.2, p.154-162, 2016.
- GBK Robotics. P23 – Módulo Sensor de Umidade. Disponível em: <https://goo.gl/gY5eSe>. Acesso em: 11 de abril de 2018.
- Gurav et al. A wireless multi-sensor system for soil moisture measurement. Conference Paper. 2015.

Hassan-Esfahani et al. Topsoil moisture estimation for precision agriculture using unmanned aerial vehicle multispectral imagery. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, 8200 Old Main Hill, Logan, UT, USA, 2014.

Pariza, D.; Ashi, Q.; Ruchi, B.; Syed, A. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, v.458-459, p.110-117, 2012.

Reinert, D. J.; Reinert, J. M. *Propriedades física do solo*. Universidade Estadual de Santa Maria, 2006.

Singh. D. N.; Baghini, E. S.; Susha L. S. U. A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 2014.

Villate, J. E. *Eletricidade e magnetismo*. Creative Commons Atribuição-Partilha. Porto, 2013.

## ***Construção de um detector de metais caseiro utilizando materiais de baixo custo***

***Gabriel da Silva Belém  
Felipe Roque de Albuquerque Neto  
Maria Eduarda de Oliveira Sales  
Gerônimo Barbosa Alexandre***

### **INTRODUÇÃO**

Novas estratégias de ensino-aprendizagem vêm ganhando espaço na academia, em especial no ensino de engenharia. Neste cenário grande partes das instituições de ensino brasileiras começam a interagir como estes novos conceitos, rumando em duas vertentes: inserção de transformações mais suaves no processo de ensino-aprendizagem e outras que optam por transformações mais severas no projeto pedagógico da instituição. No caminho mais suave, elas mantêm o modelo curricular predominante – disciplinar –, mas priorizam o envolvimento maior do aluno, com metodologias ativas, como o ensino por projetos de forma mais interdisciplinar, o ensino híbrido e a sala de aula invertida. Outras instituições propõem modelos mais inovadores, sem disciplinas, que redesenham o projeto, os espaços físicos e as metodologias com base em atividades, desafios, problemas e jogos, e em que cada aluno aprende no seu próprio ritmo e de acordo com sua necessidade, além de aprender também com os outros estudantes em grupos e projetos, sob supervisão de professores orientadores (Christensen, 2014; Bacich et al., 2015).

Neste contexto o objetivo deste trabalho é a descrição do Relato de Experiência Técnico-profissional de um estudante de Engenharia Elétrica – A construção do seu Primeiro protótipo: Um detector de metais caseiro. A ideia surgiu a partir da necessidade de procurar objetos metálicos tanto para fins históricos (onde uma porcentagem de relíquias então concentradas no fundo do mar) como para outras áreas como indústria ou militar, com tempo foi surgindo um novo tipo de público no qual apenas visava à diversão de encontrar esse tipo de material nas costas litorâneas ou no quintal de sua casa.

Com o avanço da eletrônica e de estudo relacionados ao magnetismo foi se desenvolvendo dispositivos capazes de detectar objetos metálicos em grandes distâncias e por meio de obstáculos, como por exemplo, em diferentes tipos parede, corpo humano; E ser uma ajuda na área militar para detecção de bombas subterrâneas ou até mesmo dentro de aeroportos e zonas fronteiriças prevenindo tráficos de armas, entre outros. Logo este trabalho tem como objetivo descrever passo a passo a construção de um detector de metais caseiro (de baixa amplitude), funcionamento e que a priori seja constituído de materiais de baixo custo financeiro, já que os demais disponíveis em mercado possuem um preço elevado.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A presente pesquisa caracteriza-se como teórico-experimental. Na fase teórica foi realizado o levantamento de projetos similares já existentes, por meio da consultada na rede mundial de computadores e a consulta a diversos trabalhos feitos no Brasil, após esta etapa foi desenhado o croqui do produto e elaborado as listas de materiais e planilha de execução (projeto). A etapa seguinte foi à compra do material e a montagem física. Depois de confeccionada o detector (protótipo), inicia-se os testes de validação do produto, nesta etapa quando constatado algum problema foi sanado e registrado as alterações no projeto base.

A próxima etapa foi à elaboração de um guia de experimento para o professor e para os alunos, no intuito da reprodução do produto em atividades laboratoriais por outras turmas. Por fim a última etapa consistiu na elaboração de indicadores técnicos e acadêmicos: relatório do projeto, artigos para congressos e exposição no IFPE e em instituições de ensino superior do Agreste Meridional Pernambucano. A equipe projetista utilizou de técnicas de gestão de ideias e escolha da melhor proposta a ser desenvolvida em acordo com o Coordenador do projeto (Professor da Disciplina).

Para o desenvolvimento, o projetista mostrou o funcionamento do protótipo em *protoboard* e, em caso de aprovação, deverão desenvolver a placa de circuito impresso e a maquete do ambiente (casa, horta, sensor). O protótipo final foi calibrado e validado inicialmente em laboratório, depois foi utilizado em oficina experimental a ser utilizado por estudantes e professor do IFPE e instituições da região. Todos os materiais e equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto foram adquiridos ao longo da execução do projeto à medida que surgia a demanda.

Tabela 1. Orçamento detalhado do detector de metais caseiro

<b>Descrição</b>	<b>Quantitativo</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Placa de circuito universal ilhada	01	R\$ 22,00
Resistor de 47k $\Omega$	01	R\$ 0,10
Capacitor eletrolítico 2.2 $\mu$ F	02	R\$ 0,50
Capacitor eletrolítico 10 $\mu$ F	01	R\$ 0,50
Circuito integrado ne555p	01	R\$ 1,00
Alto-falante	01	R\$ 1,34
Bateria – 9 V <sub>CC</sub>	01	R\$ 9,00
Conector de bateria	01	R\$ 2,60
Interruptor monopolar	01	R\$ 1,80
Fio de cobre esmaltado	01	R\$12,00
Cano PVC 3/4"	01	R\$7,75
Custo total = R\$ 59,00		

A lista de materiais e orçamento detalhado é ilustrada na Tabela 1, a maioria dos componentes apresenta preços acessíveis, exceto a placa de circuito universal ilhada, a qual foi escolhida por possuir a entrada dos componentes e com isso facilitar a soldagem dos mesmos.

A segunda etapa de confecção do protótipo constitui-se da impressão do diagrama esquemático do circuito (Figura 1), para guiar o aluno, onde cada componente iria ser posicionado e soldado, desta forma reduz possíveis erros futuros. Desta forma pode-se iniciar a construção do circuito elétrico conforme esquemático da Figura 1, utilizando-se de ferro de solda para soldar os componentes, este disponibilizado no próprio Laboratório de Eletrônica do IFPE – *Campus Garanhuns*.

Foi visualizado também que em série com o capacitor de 2.2  $\mu$ F está à bobina detectora (fenômeno de indução eletromagnética), esta é feita de fio de cobre esmaltado AWG34. O tubo PVC a ser usado pode ser de qualquer bitola, preferível que seja de 60 cm ou mais, deve-se dar 300 voltas com o fio de cobre esmaltado, objetivando construir uma bobina com uma área de detecção (diâmetro de 20 cm). Ela tem que ter semelhança com a bobina ilustrada na Figura 2. Ao iniciar o enrolamento do fio de cobre no cano deixe uma ponte livre com um comprimento de 10 cm e no término também, para que estas sejam soldadas ao circuito da Figura 1.

Após o término da soldagem dos componentes, foi efetuada a soldagem dos fios positivo e negativo do adaptador de bateria nos terminais positivo e negativo do circuito.

A Instalação do interruptor foi efetuada soldando-o nos terminais positivo e negativo na bateria soldando-os na primeira perna e na última. Por fim, foi inserido dentro do cano PVC os componentes devidamente soldados e organizados de forma a não comprometer o desempenho do circuito, quando ocorrer algum tipo de dano (intempérie externa) ao funcionamento do detector de metais.

Figura 1. Circuito elétrico do detector de metais caseiro.

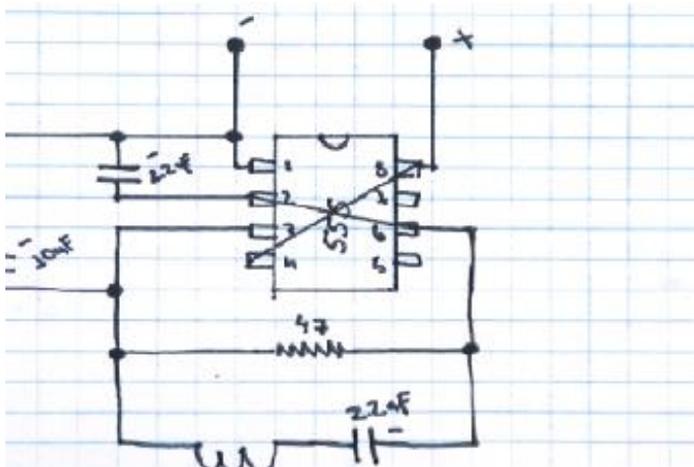


Figura 2. Ilustração da Bobina de detecção.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo construído do detector de metais construído e validado é ilustrado na Figura 3, vários testes foram realizados: continuidade elétrica, área de detecção, tipo de material a detectar e distúrbios externos ao circuito.

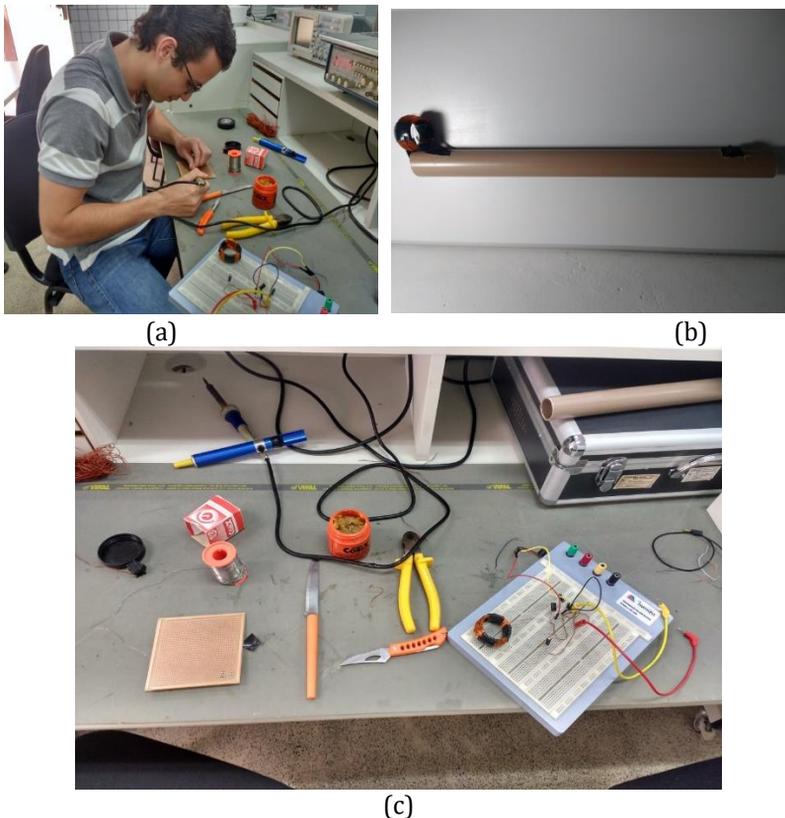


Figura 3. Detalhes da construção do Detector de metais caseiro.

Segundo Iberê (2017), o papel do metal no circuito é mudar a indutância da bobina, simplificando, se colocarmos corrente elétrica na bobina (fizer elétrons passar dentro da bobina) ela vai criar um campo eletromagnético, funcionando como eletroímã. Só que quando aproximamos um metal na bobina, mudamos o campo eletromagnético que está sendo criado pela bobina. Por fim, o papel do circuito elétrico é medir a corrente elétrica que passa pela bobina, emitindo assim um som,

com isso se mudarmos a corrente de elétrons que passa pela bobina, o som muda. Aproximando o metal mudamos o campo eletromagnético assim mudando o som emitido pelo autofalante.

Entretanto com o término da construção do detector de metais e a sua devida validação funcional, no qual foram inseridos materiais metálicos ou aproximando-os da bobina, a mudança da frequência de som que o alto-falante realizava era notória. A partir disso os resultados obtidos foram a real detecção do mesmo em objetos metálicos, podendo assim ser usado para aplicações de baixo porte como detecção de materiais metálicos em sua residência.

Para um melhor desempenho do protótipo, se propõe o aumento do diâmetro da bobina que se localiza na ponta do cano PVC e do próprio cano, pois houve dificuldades com o tamanho que se propôs e a utilização de um material de melhor manuseio.

Vale ressaltar que um detector de metais profissional usado para detectar metais no fundo do mar (ouro e prata) custa em torno de R\$ 2.200,00, enquanto que o protótipo construído custou R\$ 60,00.

Uma melhoria para o detector de metais V2, é implementar uma haste de PVC maior, para evitar problemas de coluna, visto que o detector de metais V1 possui uma haste pequena. A segunda melhoria, é a modelagem de uma bobina maior, visto que a bobina do V1 ficou muito pequena (mesmo funcionando normalmente). E por fim, uma melhoria no aspecto visual para ficar parecido com detector de metais de valores altos.

Uma informação importante observada na maioria dos alunos após o término da Disciplina foi a motivação da Turma a estudar/conhecer a disciplina, quando esta foi assistida por atividades práticas, quando esta ministrada na metodologia convencional (aula expositiva e provas escritas), a tarefa de ensinar torna-se cansativa e de difícil compreensão devido ao quantitativo de equações e cálculos envolvidos, bem como o nível de abstração. Outro resultado positivo diz respeito ao quantitativo de discentes que enxergaram aplicações reais da disciplina (projetos de estruturas mecânicas com instrumentação), um dos desafios da realidade do futuro engenheiro.

## **CONCLUSÃO**

Apesar de ser um trabalho no qual se parece simples, favoreceu a imersão do estudante do curso de Engenharia Elétrica, tanto na Disciplina de Eletricidade Básica como na área de Eletrônica, visto que essa última será de grande importância durante todo seu percurso no curso. O aprendizado que o mesmo adquiriu de soldagem e leitura de

diagramas elétricos proporcionará um melhor entendimento nos futuros projetos. Pode-se concluir que este simples projeto final da disciplina foi repleto de novas experiências, levando consigo um trabalho em equipe e com segurança atentando para as prescrições legais, leitura de manuais, elaboração de projetos, a experiência ao falar em público, manuseio das ferramentas básicas de manutenção elétrica, aprendizagem no uso de manuais de equipamentos elétricos, aprendizagem em organização e guarda de materiais elétricos e o trabalho em equipe.

### **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE – *Campus Garanhuns*).

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bacich, L.; Tanzi Neto, A.; Trevisan, F. de M. Ensino Híbrido: personalização e tecnologia da educação. Porto Alegre: Penso, 2015
- Christensen, C.; Horn, M.; Staker, H. Ensino Híbrido: uma Inovação Disruptiva. Uma introdução à teoria dos híbridos. Maio de 2013.
- Instituto Newton C. Braga. Detector de metais (Art2624). Acesso em: 20/05/2018. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/57-artigos-e-projetos/11152-detector-de-metais-art2624>.
- Manual do Mundo. Como fazer um detector de metais. Acesso em 20/05/2018. Disponível em: <http://www.manualdomundo.com.br/2017/11/como-fazer-um-detector-de-metais/>
- Nova Eletronica. Circuito de detector de metal simples e potente. Acesso em 20/05/2018. Disponível em: <http://blog.novaeletronica.com.br/detector-de-metal/>
- Oficina 70. Como fazer um detector de metais caseiro. Acesso em 21/05/2018. Disponível em: <http://www.oficina70.com/2015/04/como-fazer-um-detector-de-metais-caseiro.html>
- Wikihow. Como construir um detector de metais. Disponível em: <https://pt.wikihow.com/Construir-um-Detector-de-Metais>. Acesso em: 21/05/2018.

## ***Crescimento de cultivares de palma forrageira sob diferentes níveis de salinidade***

***Beatriz de Araújo Tomaz  
Mariana de Oliveira Pereira  
Márcia Cristina de Araújo Pereira  
Jailton Garcia Ramos  
Carlos Alberto Vieira de Azevedo***

### **INTRODUÇÃO**

A pecuária é uma das atividades socioeconômicas mais importantes no Semiárido brasileiro, com destaque para a criação de ovinos e caprinos. Contudo, as características de escassez e/ou irregularidades de chuvas, altas taxas de evapotranspiração e solos rasos (jovens), com baixa capacidade de retenção de água limitam a produção animal, devido à variabilidade na oferta de alimentos (Sales et al., 2013).

Neste contexto, a palma forrageira colabora para atender a demanda de alimentos no período de estiagem, devido a sua rusticidade e elevado potencial de produção e alto valor energético, quando comparada a muitas espécies da vegetação nativa (Bezerra et al., 2015). A palma forrageira pertence à divisão Embryophyta, subdivisão Angiospermea, classe Dicotyledoneae, subclasse Archiclamideae, ordem Opuntiales e família Cactaceae (Sampaio, 2005). É uma espécie xerófila que devido as suas características morfofisiológicas possibilita a sobrevivência em ambiente com escassez de água, alta temperatura e solos de baixa fertilidade. Todavia, apesar da sua adaptabilidade, seu crescimento varia com as oscilações das condições climáticas locais (Pereira et al., 2015).

Estudos têm demonstrado (Neto et al., 2017) que a irrigação da palma forrageira reduz os efeitos das condições edafoclimáticas sobre a cultura contribuindo, assim, com o crescimento e consequente aumento da produção. O uso de água salina na irrigação da palma para minimizar os efeitos causados pela escassez hídrica já se tornou uma realidade para muitos produtores do Nordeste brasileiro, em especial nos Estados da Paraíba e

Pernambuco. Isto porque nestas regiões encontram-se águas com elevados teores de sais (cloretos e sulfatos de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) (Pedrotti et al., 2015). Entretanto, o uso de água com elevados teores de sais solúveis pode reduzir o potencial osmótico da planta, dificultar a absorção de água pelas raízes e causar interferência nos processos fisiológicos prejudicando seu crescimento.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação no crescimento de três cultivares de palma forrageira: miúda ou doce (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), orelha de elefante (*Opuntia stricta*), baiana ou IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido na área experimental localizada no campus I da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, município de Campina Grande ( $7^{\circ}12'52,56''\text{S}$ ;  $35^{\circ}54'22,26''\text{O}$  e 532 m de altitude), Paraíba, no período de setembro de 2016 a junho de 2017. Conforme a classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil, o clima da região é do tipo Csa, mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4 x 3 com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Os fatores consistiram de 4 níveis de salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica ( $\text{CE}_a$ ) de: 0,2; 2,0; 3,8 e 5,6  $\text{dS m}^{-1}$ ; e três cultivares de palma forrageira: Miúda ou Doce (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), Orelha de Elefante (*Opuntia stricta*), Baiana ou IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). Os tratamentos foram iniciados aos 120 dias após o plantio.

A pesquisa foi realizada em vasos de 120 L dispostos a céu aberto com espaçamento de 1,50 m entre linhas e 1,00 entre plantas, com uma planta por vaso. Com o intuito de transformar os vasos em lisímetros de drenagem foram instalados dois drenos ao fundo de cada vaso. Ao fundo dos vasos foi colocada uma camada de brita nº 1, coberta com tela têxtil, uma camada de areia grossa e 170 kg de solo. O solo para enchimento dos vasos foi proveniente da Fazenda Poço de Pedra, Zona Rural, Santa Luzia-PB. A caracterização físico-química do solo foi realizada pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG.

Os cladódios das três cultivares de palma forrageira foram obtidas na Fazenda Poço de Pedra, onde foram cortados e permaneceram por 15 dias a sombra (Rocha, 2012; Gava & Lopes, 2012). Em adição, 48 horas antes da realização do plantio, as raquetes foram tratadas com calda bordalesa preparada conforme recomendação de Motta (2008). As cultivares foram identificadas como: C1 – Miúda ou Doce, C2 – Orelha de Elefante, C3 – Baiana ou IPA Sertânia. As adubações foram efetuadas conforme recomendação de Novais et al. (1991).

A água utilizada para irrigação foi de chuva. A análise físico-química da água foi realizada pelo LIS – UFCG. Para o preparo dos tratamentos, adicionou-se cloreto de sódio comercial (sem iodo), cloreto de cálcio e cloreto de magnésio a água nas proporções 7:2:1, respectivamente, a fim de se elevar a condutividade elétrica da água, conforme metodologia de Richards (1954). As irrigações foram realizadas manualmente com auxílio de recipiente graduado com frequência a cada 10 dias e objetivou retornar o solo a capacidade de campo.

Para a obtenção de parâmetros meteorológicos foi utilizada a estação meteorológica automática de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (7,22°S; 35,90°O e 546 m de altitude) localizada a aproximadamente 1200 m de distância (em linha reta) da área experimental.

A avaliação de crescimento foi realizada 90 dias após o início da aplicação dos tratamentos, de acordo com a metodologia descrita por Borges et al. (2015). Avaliou-se: comprimento, largura e perímetro dos cladódios, utilizando-se a fita métrica e; para espessura dos cladódios, foi utilizado paquímetro digital.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Para as variáveis que apresentaram significância realizou-se análise de regressão linear e quadrática para os fatores quantitativos (níveis de salinidade) e para fatores qualitativos (cultivares de palma forrageira) foi realizado teste de comparação de médias (Tukey) ao nível de 5 % de probabilidade, com o auxílio do software estatístico Sisvar, na versão 5.6 (Ferreira, 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O período compreendido entre o plantio e a avaliação de crescimento apresentou precipitação acumulada de 298,5 mm, temperaturas médias máxima e mínima, respectivamente, de

30,19°C e 20,23°C e umidade relativa do ar média de 76,97%. Após o início da aplicação dos tratamentos, nos 90 dias subsequentes, a precipitação acumulada foi de 207mm.

Os resultados referentes à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para as variáveis de comprimento, largura, perímetro e espessura de cladódio encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC), perímetro de cladódio (PC) e espessura de cladódio (EC)

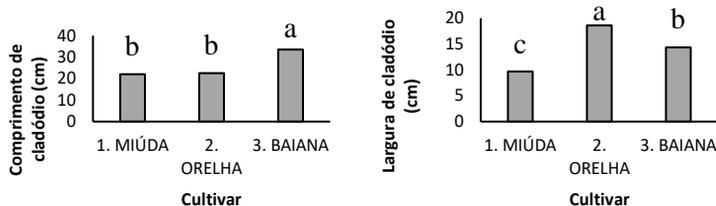
Fonte de variação	GL	Quadrados Médios (QM)			
		CC	LC	PC	EC
Salinidade (S)	3	7,05 ns	0,86 ns	10,90 ns	9,30 ns
Cultivar (C)	2	655,20 *	318,51 *	2556,54 *	119,95 *
S x C	6	17,10 ns	2,54 ns	25,17 ns	8,04 ns
Bloco	3	11,80 ns	1,79 ns	35,83 ns	2,74 ns
Erro	33	4,47	1,38	22,95	4,91
CV (%)		8,11	8,27	7,67	16,77
Média geral		26,07	14,22	62,42	13,22

(\*) - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F; (ns) - Não significativo.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, observou-se que não houve efeito significativo para o fator salinidade ( $p < 0,05$ ), no entanto, para a fonte de variação cultivar ocorreram diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,01$ ) para todas as variáveis avaliadas. A cultivar de palma forrageira Baiana apresentou os maiores valores médios de comprimento de cladódio (33,45 cm) diferindo das demais cultivares. No entanto, as cultivares Miúda e Orelha de elefante não demonstraram diferenças estatísticas entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), com valores de 22,16 cm e 22,60 cm, respectivamente (Figura 1).

Para a variável largura de cladódio, não ocorreram diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) para salinidade e interação entre os fatores, porém, observou-se significância ao nível 1% de probabilidade entre as cultivares estudadas. A cultivar Orelha de Elefante, apresentou maior largura média de cladódio com 18,58 cm, seguida da Baiana com 14,41 cm e Miúda com 9,66 cm (Figura 2).

Figura 1. Comprimento médio de cladódio. Figura 2. Largura média de cladódio.



Segundo Donato (2011), o comprimento do cladódio é uma característica pouco influenciada pelo manejo sendo mais dependente do genótipo.

Silva et al. (2014) ao estudarem o crescimento da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio, verificaram menores valores de comprimento e largura média dos cladódios na palma Miúda, o que corrobora com os valores obtidos nesta pesquisa.

Silva et al. (2015a) ao avaliarem a influência de parâmetros meteorológicos em clones de palma forrageira, verificaram diferenças significativas para comprimentos de cladódios com maiores magnitudes para os clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana. Esses dois clones também apresentaram as maiores larguras de cladódio em comparação a Miúda. Os autores observaram também que a espessura da palma Miúda não se diferiu da IPA Sertânia, mas essa última se diferenciou da Orelha de Elefante. Concluíram, assim, que a Orelha e a IPA foram os clones que se destacaram na maioria das características morfológicas.

De acordo com Silva et al. (2015b), as diferenças observadas entre as cultivares de palma forrageira podem estar relacionadas às estruturas morfológicas de cada uma. Os autores verificaram que cada cultivar possui características peculiares quanto à largura dos cladódios.

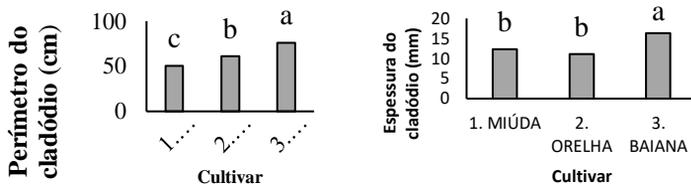
Em relação ao perímetro de cladódio, ocorreram diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,01$ ) apenas para cultivar (Tabela 1). Com base no teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), observou-se que as três cultivares diferiram entre si e que a cultivar Baiana apresentou maior perímetro de cladódio com valor médio de 75,78 cm (Figura 3). Borges et al. (2015) ao analisarem o crescimento das mesmas

cultivares de palma forrageira, obtiveram maiores médias de perímetro de cladódio para a cultivar Baiana com 60,50 cm e Orelha de Elefante com 50 cm, respectivamente.

Ocorreram diferenças significativas ao nível de 1 % de probabilidade para a variável espessura de cladódio em relação ao fator cultivar (Tabela 1). As médias apresentadas para esta variável demonstraram máxima espessura média para a cultivar Baiana (16,31 mm) e menor valor médio de espessura (11,08 mm) para a cultivar Orelha (Figura 4).

Silva et al. (2015b) ao estudarem as características morfológicas das mesmas cultivares de palma forrageira, concluíram que a cultivar IPA Sertânia (Baiana) apresentou maior espessura média de cladódio com 4,11 mm, aos 30 dias após o plantio. Os autores relataram, ainda, que a cultivar Baiana não se diferiu da Miúda, entretanto, ambas as cultivares diferiram da Orelha de Elefante. Isto se deve pelo fato das cultivares Baiana e Miúda serem morfológicamente similares quando comparadas a cultivar Orelha de Elefante.

Figura 3. Perímetro médio de cladódio. Figura 4. Espessura média de cladódio.



## CONCLUSÃO

Para o período avaliado o crescimento das cultivares de palma forrageira foi dependente apenas da variabilidade das características morfométricas de cada cultivar, não tendo sido observada influência da salinidade da água de irrigação.

A precipitação exerceu influência sobre o efeito acumulativo da salinidade sobre a cultura.

## REFERÊNCIAS

Bezerra, S. A. de F.; Silva, T. G. F da; Souza, L. S. B de; Moura, M. S. B de; Morais, J. E. F. de; Diniz, W. J. S da S.; Queiroz, M. G de. Demanda

hídrica bruta da palma forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.6, p.1648-1653, 2015.

Borges, V. E.; Matos, R. M.; Silva, P. F.; Dantas Neto, J.; Sobrino, T. G. Análise de crescimento de três cultivares de palma forrageira. *Educação Agrícola Superior*, v.30, p.7-14, 2015.

Donato, P. E. R. Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco. 135f. Tese (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes). UESB. Itapetinga, 2011.

Ferreira, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.

Gava, C. A. T.; Lopes, E. B. Produção de mudas de palma forrageira utilizando fragmentos de cladódios. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. 2p. (Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido 101).

Motta, I. S de. Calda bordalesa: utilidades e preparo. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 2p.

Neto, J. F. da C.; Morais, J. E. F. de; Souza, C. A. A. de; Carvalho, F. de S.; Rodrigues, C. T. A.; Silva, T. G. F da S. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, n.2, p.98-106, 2017.

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa SEA, 1991. p.189-25.

Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. P. do N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.19, n.2, p. 308-1324, 2015.

Pereira, P. C.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Morais, J. E. F.; Santos, D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, v.28, p.184-195, 2015.

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

Rocha, J. E. da S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil o estado da arte. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012.

Sales, A. T.; Leite, M. L. de M. V.; Alves, A. Q.; Ramos, J. P. de F.; Nascimento, J. P. do. Crescimento vegetativo de palma forrageira em

diferentes densidades de plantio no Curimataú Paraibano. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, v.7, n.1, p.19-24, 2013.

Sampaio, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In. Rômulo S. C.; Menezes, S.; Diogo, A. S.; Everardo, V. S. B. *A palma no Nordeste do Brasil – conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: UFRPE, 2005. p.105-128.

Silva, T. G. F. da; Araújo Primo, J. T.; Moraes, J. E. F. de; Diniz, W. J. da S.; Souza, C. A. A. de; Silva, M. da C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v.28, n.2, p.10-18, 2015a.

Silva, P. F.; Matos, R. M.; Borges, V. E.; Melo Júnior, A. P.; Dantas Neto, J. Características morfológicas de três cultivares de palma forrageira sob fertilização mineral em Campina Grande– PB. *Rev. Encicl. Biosfera*, v.11, n.21, p.385-397, 2015b.

Silva, L. M. da; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. de A.; Moreira, A. L.; Backes, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, p.2064-2071, 2014.

***Delimitação das áreas de uso restrito de acordo  
com o código florestal: uma metodologia  
geoespacial***

*Luciano Cavalcante de Jesus França*

*Fabrina Teixeira Ferraz*

*Danielle Piuzana Mucida*

*Dulcinéia de Carvalho*

*Temístocles Pacheco Lima*

**INTRODUÇÃO**

Com a atualização do Código Florestal brasileiro (Lei Federal nº12.651/2012), foram revisados os mecanismos que atendam à preservação e conservação de áreas reconhecidas como bens de interesse comum e ambientalmente sensíveis, dentre elas, destacam-se as Áreas de Uso Restrito (AUR). São consideradas Áreas de Uso Restrito: (i) planícies pantanais (sítios sujeitos a períodos de cheias e períodos de vazante) e (ii) encostas de morros com inclinação entre 25° e 45° (BRASIL, 2012). De acordo com o Novo Código Florestal, as AUR são áreas disponíveis para uso pelo produtor rural, contudo, com restrições quanto ao tipo de atividade, desde que atenda às técnicas de exploração sustentáveis e siga as recomendações técnicas dos órgãos ambientais estaduais e federais.

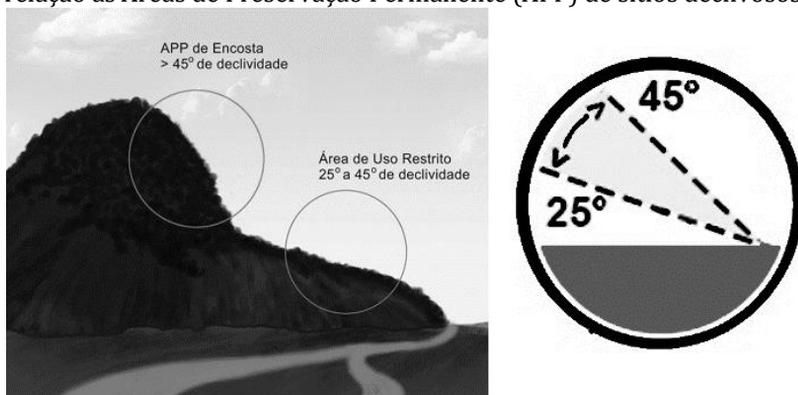
Com a atualização da Lei, prevê-se que supressões de vegetação nativa em AUR para uso alternativo da terra devem estar condicionadas à autorização do órgão estadual do meio ambiente. Contudo, as AUR que apresentam vegetação suprimida até 22 de julho de 2008 são consideradas áreas consolidadas (BRASIL, 2012; França et al., 2018). Conceitualmente, define-se AUR como áreas de inclinação entre 25° e 45° onde são permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício das atividades agrossilvopastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social (BRASIL, 2012).



Todas as etapas da presente metodologia foram desenvolvidas para comandos do *software* ArcGIS 10.3.1 <sup>TM</sup> (ESRI, 2013).

Neste trabalho, a metodologia é aplicada somente para uma das modalidades de AUR, referente aos sítios de encostas declivosas (25° a 45°), que estão sob o estrato abaixo das APP's de encosta (>45°), conforme ilustrado na Figura 2. As AUR relativas às planícies pantaneiras estão restritas às regiões dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, não sendo aplicáveis para a área de estudo e pela metodologia aqui desenvolvida.

Figura 2. Ilustração das Áreas de Uso Restrito (AUR) e sua posição em relação as Áreas de Preservação Permanente (APP) de sítios declivosos.



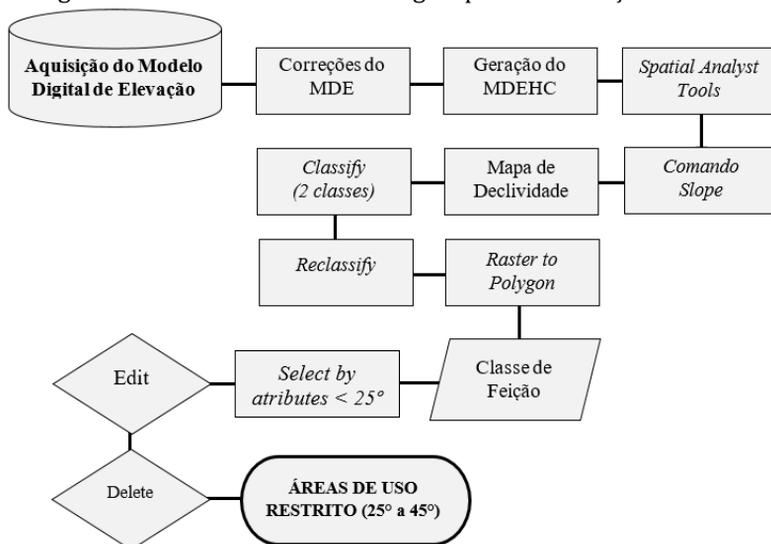
Utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da base *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 90 metros, obtido no sítio eletrônico da Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005). O processamento dos dados SRTM foi dividido em quatro etapas, sendo elas: 1º - Mosaico (*Mosaic*); 2º - Extração de Máscara (*Extract by Mask*) a partir do polígono da bacia hidrográfica; 3º - preenchimento de depressões espúrias (*fill sinks*); e 4º - MDEHC (*Symbology*).

De posse do MDE, identificou-se, removeu-se e preencheu-se as depressões espúrias, conforme orientações de Peluzio et al. (2010), utilizando-se os comandos *Flow Direction*, *Sink* e *Fill*, respectivamente. Com isso, obteve-se o MDEHC, apto para os demais procedimentos.

O MDEHC foi submetido ao comando *Slope*, para a geração do *raster* de declividade e, na sequência, realizou-se a separação das áreas de maiores declividades. Em seguida, executou-se a segregação dos

declives para verificação da existência ou não de AUR. Verificada a ocorrência dessas áreas, executou-se nova segregação para classificá-las, a partir do comando *Classified*, dividindo-as em duas (2) classes, por meio do ajuste do 1º *Break Value* para 25 e o 2º *Break Value* para 45, classificando as áreas abaixo de 25º; e áreas acima de 25º e até 45º. Realizou-se, então, a reclassificação para o novo *raster*, pelo comando *Reclassify* e a conversão para *shapefile*, a partir do *Raster to Polygon*. O fluxograma da Figura 3 caracteriza as etapas metodológicas deste estudo.

Figura 3. Procedimento metodológico para delimitação de AUR.



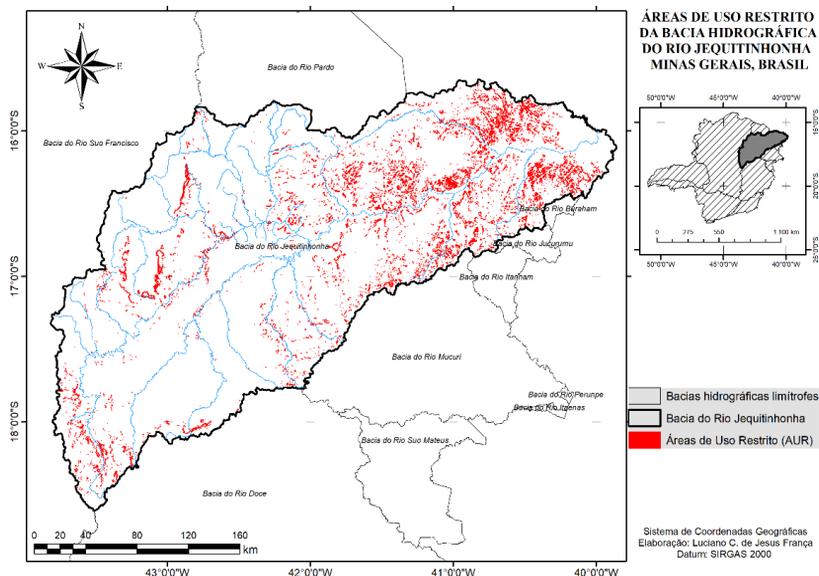
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos procedimentos descritos obteve-se, para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha na porção do estado de Minas Gerais 643,63 km<sup>2</sup> de AUR de encostas de morros com inclinação entre 25º e 45º.

O mapa das AUR da bacia do rio Jequitinhonha é apresentado na Figura 4, onde se verifica a distribuição por quase toda extensão da bacia, mas com concentração na região do Baixo rio Jequitinhonha. Isso corrobora com as considerações de Ferreira e Saadi (2011), ao tratarem da heterogeneidade da paisagem na bacia do rio Jequitinhonha, sendo composta por subterritórios distintos e que requerem atenção

diferenciada, seja por estarem localizados em terrenos mais declivosos, por serem constituídos de solos mais susceptíveis à erosão, por possuírem menor disponibilidade hídrica, por apresentarem particularidades socioculturais ou a combinação de vários fatores.

Figura 4. Mapa das AUR de encostas de morros com inclinação entre 25° e 45° delimitadas na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, MG, Brasil.



Algumas atividades são consideradas como aceitáveis nas AUR, tais como, o turismo, lazer, recreação, a viticultura, olericultura (associadas a estufas e sistemas especiais de irrigação), o pastoreio extensivo, a fruticultura e a silvicultura. E, no que se diz respeito à urbanização destas áreas, o processo deve se dar por aspectos relativos ao abastecimento de água, ao tratamento de efluentes e a disposição e destinação de resíduos sólidos. Em contrapartida, nos usos considerados como inapropriados, têm-se: a implantação de polos industriais, polos de beneficiamento e extração mineral, sistemas agrícolas intensivos não tecnificados e urbanização descontrolada (Eckhardt et al., 2007). Nessa conjuntura, em virtude da permissão de uso atribuída pelo novo Código Florestal, a utilização dessas AUR identificadas pode ser uma alternativa viável e rentável para a região do Vale do Jequitinhonha, que apresenta historicamente a inserção de programas de desenvolvimento que não

são efetivos para a população, especialmente àquelas veiculadas ao meio rural.

O novo Código Florestal apresenta nos artigos 10 e 11 o texto que define as regras para o que caracteriza como “exploração ecologicamente sustentável” nas AUR de encostas de morros. Contudo, nestes sítios inclinados são proibidas novas derrubadas de floresta/vegetação original, conforme exposto em BRASIL (2012) ao tratar da proibição à “conversão de floresta nativa para uso alternativo do solo”, ou seja, nessas áreas somente é permitida a manutenção de culturas de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo e atividades silviculturais, sendo vedada a conversão de novas áreas. Ainda de acordo com o novo Código Florestal (BRASIL, 2012), para o uso das AUR é obrigatório seu registro no Cadastro Ambiental Rural (CAR), bem como elas podem ser contabilizadas nos programas de apoio e incentivo a preservação e recuperação ambiental, tal como o PRA (Programa de Regularização Ambiental).

É importante destacar que, embora as AUR sejam ambientes passíveis de uso, abre-se precedente de valor para com a forma como serão utilizados esses terrenos e como serão implantadas as atividades, uma vez que, de acordo com o nível de declive dentro das AUR, as áreas poderão ser utilizadas entre agricultura, pecuária ou povoados florestais, assim como existem outras questões associadas aos solos e sua fragilidade ambiental. O código florestal não especifica regras claras para o uso das AUR.

Nesse sentido, a metodologia aqui aplicada pode ser aperfeiçoada com uso da averiguação de desempenho do MDE de outros sensores e resoluções, tais como o sensor *Shuttle Radar Topography Mission* SRTM (30 m) e *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Refelctance Radiometer* ASTER (30 m), dentre outras resoluções espaciais e dados de interferometria.

## **CONCLUSÃO**

A metodologia aqui apresentada pode servir de ferramenta estratégica para ações de ordenamento territorial e ambiental em bacias hidrográficas, uma vez que as AUR são terrenos que também requerem atenção no que concerne à política e legislação ambiental. Sua delimitação fornece as diretrizes formas de uso correto destes sítios, considerando-se que a inclinação de terrenos, associados a outros fatores edafoclimáticos, evitando-se, assim, problemas de degradação ambiental local.

Desta forma, as restrições atualmente existentes sobre as AUR decorrem da interpretação que deve ser estabelecida pelos órgãos ambientais para a determinação de modelos que tratem dos parâmetros, definições e limites das AUR.

## **REFERÊNCIAS**

BRASIL. Lei nº. 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20112014/2012/Lei/L12651.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.html). Acesso em: 26 de maio de 2018.

Eckhardt, R. R.; Rempel, C.; Guerra, T.; Porto, M. L. Uso de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento no zoneamento ambiental do Vale do Taquari / RS. *Estudos Geográficos*, v.5, n.2, p.93-111, 2007.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS 10.0: GIS by ESRI. ESRI, 2013.

França, L. C. de J. Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. 114p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucurí, 2018.

Ferreira, V. O.; Saadi, A. Disponibilidade hídrica e subdesenvolvimento socioeconômico em unidades de paisagem da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. *Caminhos de Geografia*, v.12, n.40, p.166-180, 2011.

Ribeiro, C. A. A. S.; Oliveira, M. J.; Soares, V. P.; Pinto, F. A. C. Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros e em linhas de cumeada: Metodologia e estudo de caso. In: *Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicadas à Engenharia Florestal*, 5, Curitiba. Anais... Curitiba, Paraná. p.7-18, 2002.

***Desenvolvimento de sensor resistivo para  
aplicação em sistema de controle automático de  
irrigação***

***Heiderson Bacha Figueiredo  
Bruna Oliveira Ferreira  
Rafael Augusto Dias Rezende  
Allan Douglas Ferreira Corrêa  
Merilene do Socorro Silva Costa***

**INTRODUÇÃO**

Os estudos e desenvolvimento de novas tecnologias tiveram grande evolução nas últimas décadas, no entanto, ainda é muito baixo o investimento tecnológico no setor agrícola. Técnicas de irrigação usadas há séculos atrás, nas quais a água é utilizada de forma inconsciente, continuam sendo aplicadas nos dias atuais (Calbo, 2001).

Cerca de 72% da água consumida no Brasil é proveniente da irrigação. Desse montante, apenas o equivalente a 40% é aproveitado, gerando um desperdício de mais de 24 milhões de litros de água potável por dia apenas nesse setor (FAO, 2015). Isso se dá principalmente pela carência de novas técnicas de irrigação que busquem amenizar esse problema. Partindo desses fatos e conhecendo o valor da água potável, tomou-se como preocupação, utilizar os conhecimentos adquiridos nas áreas da tecnologia, para desenvolver um projeto que vise à máxima redução do desperdício dos recursos hídricos de uma forma sustentável.

O modelo de controle usado no sistema foi o ON-OFF, que é a forma de controlador mais simples e consiste em um circuito comparador que compara o sinal de entrada com dois sinais de referência, chamados de limite inferior e superior. Quando o sinal de entrada fica menor que o limite inferior, a saída do controlador é ativada e o atuador é acionado com sua potência máxima. Quando o sinal de entrada fica maior que o limite superior, a saída é desligada e o atuador desativado (Miranda, 2010).

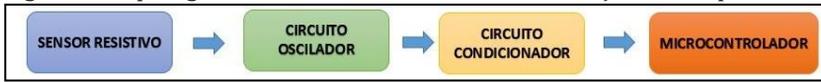
Sendo assim a medição de valores é algo fundamental para o correto funcionamento do sistema como um todo. Para o desenvolvimento desse sensor, foram levadas em conta técnicas de

projetos de circuitos eletrônicos e sistemas embarcados, objetivando com essa implementação um sensor simples, eficaz, de baixo custo e uma alternativa que verifique valores padronizados de umidade do solo, resultando valores concisos para uma mesma condição.

## MATERIAL E MÉTODOS

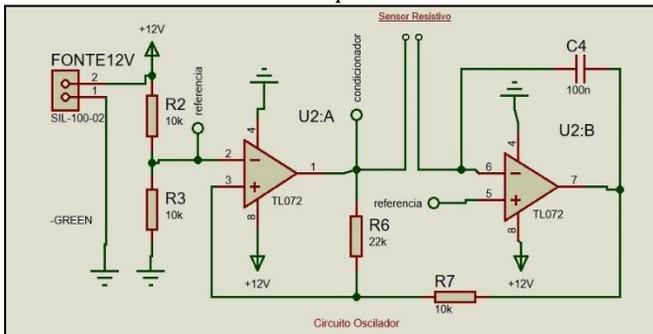
O sensor resistivo desenvolvido se trata de um dispositivo capaz de variar sua frequência de acordo com a resistência do circuito montado. Assim, o sensor faz parte de um circuito oscilador adaptado, que pela variação da quantidade água presente no solo faz com que se altere a resistência e, por consequência, a frequência do oscilador também sofre variações. Com isto, é possível projetar um circuito que monitore a frequência do oscilador, sendo esta inversamente proporcional à umidade do solo, ou seja, quanto menor a frequência maior a umidade. O planejamento do sensor seguiu o diagrama descrito na Figura 1.

Figura 1. Topologia de um Sensor Resistivo com variação da frequência.



Para que o circuito fornecesse o que se foi planejado, ele foi montado como uma adaptação de um circuito condicionador de multivibração estável para gerar uma onda quadrada que muda de frequência conforme a variação da condutividade do solo devido a substituição de uma das suas resistências, a Figura 2 mostra o esquemático deste circuito.

Figura 2. Circuito oscilador de onda quadrada.

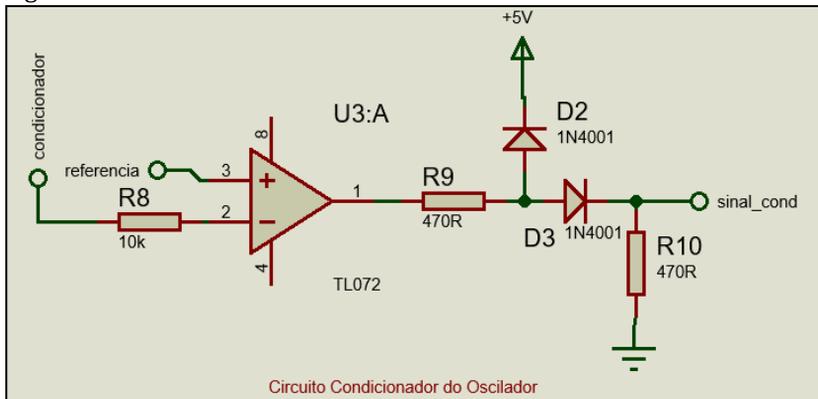


O circuito oscilador desenvolvido pode trabalhar em uma faixa de frequência que vai de 10Hz até 400kHz, é composto por um circuito comparador (conversor de sinal analógico para digital) e um circuito integrador. Na saída assinalada como “condicionador” é obtido um sinal de onda quadrada com frequência descrita pela Equação (1). (Salvadori, 2013).

$$f = \frac{R_6}{4 \cdot R_3 \cdot C} \cdot \frac{1}{R_{sensor}} \quad (1)$$

Nessas condições, porém, a saída do circuito tem valor máximo próximo de 12V e, em sistemas microcontrolados, é necessária uma tensão de operação de 5V. Para isso foi implementado um circuito condicionador que efetua esta limitação de tensão. O circuito montado tem seu esquemático mostrado na Figura 3. O funcionamento desse circuito deve-se principalmente aos diodos D2 e D3. Quando na saída do amplificador operacional tiver uma tensão maior do que 0,7 V o diodo D2 entra em condução até o limite de 5,7 V. Como o microcontrolador necessita de uma tensão menor ou igual a 5 V, é necessário o diodo D3, para uma queda de tensão de 0,7 V, com isso a tensão que irá para o microcontrolador nunca irá ultrapassar os 5 V.

Figura 3. Circuito condicionador do oscilador



Para a confecção da placa do circuito foi necessário: uma placa de fenolite, que possui uma fina película de cobre, na qual foram impressas as trilhas de material do circuito que interligam os componentes eletrônicos.

Para composição do circuito foram utilizados dois (2) resistores de filme de carbono (popularmente, resistores de carvão) com resistências iguais, medidas em aproximadamente 100K, para diminuir os erros do sistema na hora da calibração.

O sensor é a parte do sistema que determina quando há a necessidade do acionamento, ou interrupção da irrigação. A condutividade elétrica dos íons presentes na água aumenta a condutividade do solo, o que conseqüentemente diminui a resistência do mesmo. Quando o solo está seco a condutividade elétrica é baixa, ou seja, temos uma alta resistência e o seu estado é tido como baixo. Mas conforme acrescenta-se água ao solo essa condutividade passa a aumentar, e quanto mais água houver, menor será a resistência à condutividade pelos íons e o solo estará em estado alto (Pellison, 2001).

Os materiais usados para confeccionar o terminal de contato do sensor resistivo com o solo foram basicamente dois de fios de cobre esmaltados com seção nominal de 6 mm<sup>2</sup> e comprimento de 10 cm; e dois pares de conectores de fios, para manter a distância definida entre os fios fixa.

Os dois fios de cobre tiveram seu esmalte raspado em duas partes, correspondentes a 3cm e 7cm de seus comprimentos. A raspagem do esmalte é necessária para que haja a comunicação através do solo entre os dois fios. A Figura 4 mostra o sensor resistivo que foi construído.

Figura 4. Terminal de contato do sensor resistivo



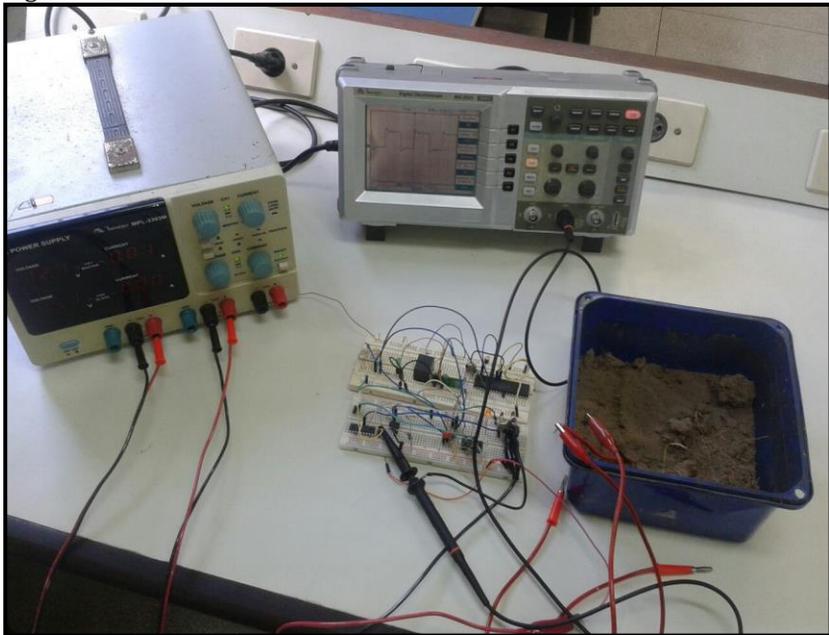
Os conectores de fios foram envolvidos por fita isolante, a fim de impedir que água, ou terra úmida se acumule em suas cavidades, provocando assim alterações nos valores coletados. Como o fio de cobre já possui esmalte próprio, não foi necessário usar nenhum outro tipo de proteção contra a ferrugem, pois, o próprio revestimento do fio já realiza esta função. Como teste, os sensores ficaram mantidos em solo úmido por um período de 20 dias, e estes não apresentaram sinais de oxidação.

A comunicação entre o sensor e as demais partes do sistema de controle autônomo se dá a partir de uma placa com sistema embarcado constituído por um microprocessador PIC16F628A programado para receber em uma de suas entradas o sinal periódico de frequência definida pelo sensor já regulada para uma tensão máxima de 5V. A programação foi implementada de forma ao microcomputador realizar a medição da frequência e enviar esse valor através de rádio frequência para uma placa central que determinará a ligação ou não dos irrigadores e que se comunica com computador para armazenamento desses dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a fase de simulação em *software* seguiu-se para a fase de testes em laboratório, onde o sistema completo foi montado em uma placa de testes (*protoboard*). Foi utilizado para alimentar a placa uma fonte de tensão controlada e um osciloscópio digital. A Figura 5 mostra o teste de eficácia em laboratório do sistema de irrigação.

Figura 5. Teste de eficácia em laboratório.



Para esse teste, as resistências de solo utilizadas foram de 150K $\Omega$  (valor de solo com baixo teor de água), 10K $\Omega$  (valor de solo com alto teor de água) e 60k $\Omega$  (valor de solo com quantidade ideal de água). Durante o teste percebeu-se uma margem de erro na faixa de 4,5 Hz a 10,6 Hz entre a frequência medida e a frequência calculada, por prováveis motivos de perdas nos componentes utilizados, já que estes não são ideais como na simulação em *software*. Essa margem de erro foi considerada e incluída na programação da calibração dos sensores. Os valores de frequência calculados e medidos durante as simulações para as respectivas resistências utilizadas podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de frequência medida e calculada

	<b>150 K<math>\Omega</math></b>	<b>60 K<math>\Omega</math></b>	<b>10 K<math>\Omega</math></b>
$f$ (calculado)	146,66 Hz	366,66 Hz	2,2 KHz
$f$ (medido)	142,20 Hz	360,46 Hz	2,189 KHz

No laboratório, o sistema identificou corretamente a umidade do solo e acionou a válvula quando o sensor da placa remota foi inserido na condição de solo seco, conforme a umidade aumentou, chegando a condição de umidade ótima prevista na calibração, a válvula voltou a condição de normalmente fechada, demonstrando um tempo ótimo de resposta do sistema. Dessa forma, o sistema mostrou eficácia uma vez que o programa identificou o atendimento à condição de ajuste pré-estabelecida.

## CONCLUSÃO

Nos testes preliminares de calibração, o sistema identificou a umidade da amostra de terra preta de forma eficiente.

Com o sistema montado completamente, em testes no laboratório, foi identificada corretamente a umidade do solo pela placa remota e acionou a válvula de forma correta e eficaz e um tempo ótimo pela placa central. Então, pode ser aplicado em campo para analisar seus benefícios aplicados a produtividade de uma propriedade.

O protótipo de sensor mostrou-se, então, eficiente. Desenvolvido com baixo custo, e de maneira simples, o sensor teve seu funcionamento muito próximo ao que se esperava teoricamente e manteve suas medições constantes para medições em mesmas condições. Atuando em conjunto com o sistema de controle como um todo apresentou-se como uma alternativa acessível para automação da irrigação, levando em conta os cuidados com o desperdício de água.

## REFERÊNCIAS

- Calbo, A. Irrigas - novo sistema para o controle da irrigação. In: Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem, 11, 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2001. p.177-182.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/fao-no-brasil/pt/>. Acesso em: 24 de outubro de 2017.
- Miranda, R. G. Controle e Automação Industrial II. 2010. Disponível em: [http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle\\_e\\_-Automacao\\_Industrial\\_II.pdf](http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle_e_-Automacao_Industrial_II.pdf). Acesso em: 13 de março 2018.
- Salvadori, G. K. Desenvolvimento de um sistema para a medição da umidade do solo utilizando sensor capacitivo. Trabalho de conclusão de curso (Eng. Eletricista). Departamento de Engenharia Elétrica. ULBRA. Canoas, 2013.
- Pellison, A. T. Proposta de um sistema automatizado para controle de nível freático em subirrigação. 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/93823>. Acesso em: 24 de setembro de 2017.

# ***Desenvolvimento de software em Excel para análise de confiabilidade de peças de concreto armado***

***Sóstenes Silva Pereira  
Maria de Lourdes Teixeira Moreira***

## **INTRODUÇÃO**

Espera-se que os engenheiros garantam a segurança dos sistemas pelos quais eles se responsabilizam, porém, o senso comum da ideia de segurança difere do que acontece na realidade. Popularmente, pensa-se em um sistema seguro, principalmente na área estrutural, como um sistema “à prova de algo”, 100% confiável. Porém, a própria natureza dos materiais da construção civil, a forma de execução, as simplificações de cálculo e a natureza das cargas revelam que existem muitas incertezas em todo o processo que vai desde o projeto até à utilização da estrutura. Assim, a Engenharia não trata de garantir certezas, mas de, conforme os recursos disponíveis, diminuir as chances de falha dos sistemas.

Diante desse quadro, a segurança torna-se uma questão de probabilidade, por isso se usa a expressão “análise de confiabilidade”. Muito embora desde muito tempo já houvesse ferramentas de estatística e de teoria da probabilidade para lidar com o problema da segurança de forma puramente probabilística, a implementação dessa abordagem esbarrou sempre em duas dificuldades: conseguir dados suficientes para criar modelos probabilísticos para as variáveis envolvidas e o grande esforço computacional necessário para realizar os cálculos de probabilidade. Mas conforme a pesquisa sobre as características estatísticas das variáveis avança juntamente com a tecnologia de computação, essas dificuldades vão sendo superadas.

Como alternativa ao cálculo probabilístico da segurança, as normas modernas determinam a utilização de coeficientes sobre as ações e resistências. Comparativamente, esse método simplifica de forma considerável o dimensionamento das estruturas. Mas uma das desvantagens é que ele não garante ao projetista um controle preciso do nível de segurança dos elementos estruturais. Bastos (2012) mostrou que, por exemplo, comparando duas lajes de espessuras diferentes

projetadas seguindo a norma brasileira, uma pode ter probabilidade de falha mais de 300 vezes maior que a outra. Por se tratarem de probabilidades pequenas, o problema é mais relacionado a economia do que a segurança.

No ano de 1990, Galambos já classificava como uma tragédia que a grande quantidade de pesquisa e dados já disponíveis naquela época sobre análise de confiabilidade fosse tão subutilizada pelos engenheiros estruturais por conta do método utilizado até os dias de hoje (2018) de elaborar o projeto de estruturas seguindo cegamente os coeficientes ditados por uma norma. Como solução, o autor defende um forte ensino dos métodos de análise de confiabilidade desde a graduação (Galambos, 1990).

Por isso, o presente trabalho visa contribuir com a disseminação do conhecimento sobre análise de confiabilidade nos meios acadêmico e profissional, mostrando o desenvolvimento de um programa que analisa probabilisticamente a segurança das estruturas através de uma ferramenta computacional relativamente simples e acessível como o Microsoft Excel.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O programa foi desenvolvido no formato de um arquivo do software Microsoft Excel habilitado para macros. Ele usa as planilhas do Microsoft Excel como interface do usuário enquanto que tem a programação toda feita em *Visual Basic for Applications* (VBA), a linguagem de programação integrada ao Excel.

O programa foi feito para analisar a confiabilidade de vigas e lajes retangulares de concreto armado submetidas à flexão simples e com armadura de flexão simples. Utilizou-se a avaliação de confiabilidade em relação a uma seção, visto que a consideração do elemento estrutural como um todo é bastante complexa. A consideração apenas da seção resulta em um índice de confiabilidade menor que o real, especialmente para lajes, mas ainda assim é um tipo de análise comum na literatura (Santos et al., 2014).

Também foi feita a consideração de que o problema envolve apenas variáveis aleatórias sendo, portanto, uma análise estática, ou seja, que não considera a correlação das variáveis no espaço e no tempo. Uma análise de todo o ciclo de vida de uma estrutura é difícil de modelar, seu custo computacional é muito mais alto que o da análise de confiabilidade estática e está mais associada a estruturas submetidas a corrosão como pontes e estruturas marítimas (Hajjalizadeh et al., 2015; Wang & Wang, 2013; Wang et al., 2015).

O programa retorna ao usuário o índice de confiabilidade, que é uma medida de segurança frequentemente utilizada na literatura de confiabilidade estrutural. O programa usa o método de Monte Carlo para calcular a probabilidade de falha  $p_f$ , que por sua vez é transformada no índice de confiabilidade,  $\beta$ , através da equação 1 (Haldar & Mahadevan, 2000).

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - p_f) \quad (1)$$

Onde:  $\Phi^{-1}$  é o inverso da função de distribuição acumulada normal padrão. Quanto menor a probabilidade de falha, maior será o índice de confiabilidade.

Para utilizar o método de Monte Carlo, é necessário desenvolver uma função  $Z$ , chamada função de falha, que relaciona as variáveis envolvidas no problema de forma que o valor da função é menor que zero quando ocorre a falha do elemento estrutural. A função de falha utilizada no programa conforme a equação 2.

$$Z = \theta_R \cdot f_y \cdot A_s \cdot \left( h - d' - \frac{0,5 \cdot f_y \cdot A_s}{0,85 \cdot f_c \cdot b_w} \right) - \theta_S \cdot (M_g + M_q) \quad (2)$$

Onde:  $\theta_R$  e  $\theta_S$  são variáveis que levam em conta o erro do modelo das resistências e solicitações, respectivamente;  $f_y$  e  $f_c$  são, respectivamente, a resistência do aço e do concreto;  $A_s$  é a área de aço da armadura simples;  $h$  é a altura da viga ou laje;  $d'$  é a distância entre o centro de gravidade da armadura e a fibra mais tracionada; e  $M_g$  e  $M_q$  são, respectivamente, o momento causado pelas cargas permanentes e acidentais. Essa é a mesma função de falha usada por Santos et al. (2014).

A partir daí, é feito um grande número de simulações da função de falha. Em cada uma delas, são gerados números aleatórios para as variáveis de acordo com as suas características estatísticas. O quociente entre o número de simulações em que a função de falha é menor que zero e o número total de simulações é a aproximação da probabilidade de falha pelo método de Monte Carlo.

Desenvolveu-se o programa em três módulos: um módulo de vigas e outro de lajes com modelos probabilísticos predefinidos e outro com a opção de o usuário entrar com o seu próprio modelo. Assim, mesmo que o usuário não possua dados sobre as características estatísticas das

variáveis, ele pode inserir apenas os valores das variáveis que o programa aplicará o seu próprio modelo probabilístico para a análise de confiabilidade. No outro módulo, o usuário entra com o tipo de distribuição, a média e o desvio padrão de cada variável. O usuário pode escolher entre as distribuições normal, lognormal, de Gumbel e de Weibull. A Figura 1 traz as tabelas onde são inseridos os dados e os botões de comando de cada um dos módulos do programa. Da esquerda para a direita: módulo de vigas, de lajes e o módulo de modelo probabilístico customizável.

Figura 1. Partes principais da interface dos três módulos do programa.

**DADOS DE ENTRADA**

Variável	Valor	Salvar
$M_{D1}$	5.0 kN-m	Salvar
$M_{D2}$	19.96 kN-m	Salvar
$f_c$	25.0 MPa	Salvar
$h$	80.0 cm	Salvar
$d'$	46.7 cm	Salvar
$b$	20.0 cm	Salvar
tipo de aço	CA-50	Salvar
$A_s$	4.02 cm <sup>2</sup>	Salvar

Calcular

**DADOS DE ENTRADA**

Variável	Valor	Salvar
$M_{D1}$	23.0 kN-m	Salvar
$M_{D2}$	34.0 kN-m	Salvar
$f_c$	23.0 MPa	Salvar
$h$	33.0 cm	Salvar
$d'$	23.0 cm	Salvar
tipo de aço	CA-50	Salvar
$A_s$	3.5 cm <sup>2</sup> /m	Salvar

Calcular

**DADOS DE ENTRADA**

Variável	Distribuição	Média	Desvio padrão	Salvar
$M_{D1}$	Normal	97.74 kN-m	9.774 kN-m	Salvar
$M_{D2}$	Gumbel	21.74 kN-m	4.348 kN-m	Salvar
$f_c$	Weibull	29.9 MPa	4.480 MPa	Salvar
$h$	Normal	50.0 cm	2.25 cm	Salvar
$d'$	Lognormal	46.5 cm	3 cm	Salvar
$b$	Normal	20.0 cm	1 cm	Salvar
$f_s$	Normal	544.5 MPa	27.225 MPa	Salvar
$A_s$	Normal	9.425 cm <sup>2</sup>	0.14375 cm <sup>2</sup>	Salvar
$\beta_0$	lognormal	1.02	0.0812	Salvar
$\beta_1$	lognormal	1.0	0.05	Salvar

Calcular

A geração de números aleatórios de Gumbel e de Weibull é feita através da técnica de transformação inversa. Para a geração de números aleatórios normais foram testadas a transformação de Box-Muller – um método bastante simples de se programar – e o método de Ziggurat – muito mais complexo, porém em 2007 era o mais rápido método de alta precisão que existia (Thomas et al., 2007). Os números lognormais são gerados através da transformação de números normais explorando uma função biunívoca entre as duas distribuições de probabilidades.

O programa funciona da seguinte forma: cada variável tem um comando para que todos os seus valores aleatórios necessários sejam gerados. Isso possibilita que, enquanto o programa gera os valores de uma variável, o usuário insira os dados de outra, agilizando o funcionamento do programa. Após todos os números aleatórios necessários gerados, o usuário deve dar o comando para que o índice de confiabilidade seja calculado. Foi medido o tempo médio gasto para gerar cada distribuição de probabilidades e também para o cálculo do índice de confiabilidade a partir dos números aleatórios. Os testes foram realizados em computador equipado com processador Intel® Core™ i5-4310U (cache de 3MB, até 3,00 GHz) e utilizando o Microsoft Excel 2007.

O erro do método de Monte Carlo com 95% de confiança é dado pela equação 3 (Shooman, 1968 apud Haldar & Mahadevan, 2000).

$$\varepsilon \% = 200 \sqrt{\frac{1 - p_f}{N \cdot p_f}} \quad (3)$$

Onde:  $p_f$  é a probabilidade de falha real e  $N$ , o número de simulações.

O programa faz sempre 10 milhões de simulações, o que gera um erro variável. Por exemplo, para um índice de confiabilidade real de 3,4, o erro do programa é  $\pm 0,01$ , já para um índice de 4,5, o erro é  $\pm 0,1$ . Essa precisão é satisfatória para os objetivos deste trabalho já que o maior valor alvo do índice de confiabilidade para a flexão na norma americana é 3,5, enquanto no Eurocode o valor alvo é de 3,8 para as estruturas mais usuais (Szerszen & Nowak, 2003; El-Reedy, 2012).

O programa foi verificado através da comparação dos seus resultados com os resultados do estudo de confiabilidade de Bastos (2012). No referido trabalho, foi feita a análise de confiabilidade através do método de Monte Carlo, com o auxílio do programa VaP 1.6, de 3 vigas e 15 lajes submetidas à flexão simples. Cada elemento foi submetido a 11 situações diferentes de carga mudando a proporção entre carga permanente e sobrecarga, mas mantendo-se a mesma carga total. Alterou-se levemente a função de falha original do programa deste trabalho para ser igual à usada por Bastos (2012). A comparação foi feita entre os índices de confiabilidade dados pelos programas que, por sua vez, foram calculados de acordo com a Equação 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra o tempo médio para gerar os 10 milhões de números aleatórios para cada distribuição de probabilidade e para o cálculo do índice de confiabilidade incluindo a execução das simulações.

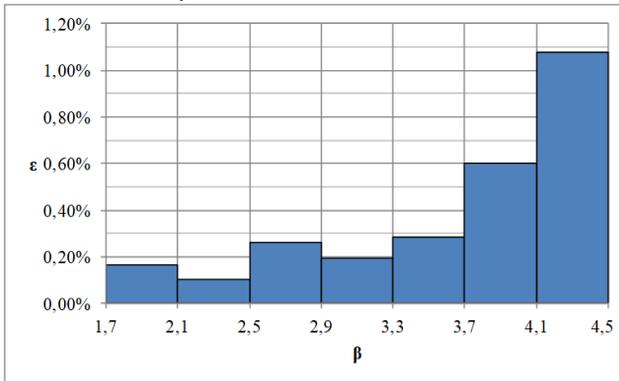
Tabela 1. Tempo de processamento individual das tarefas realizadas pelo programa

Tarefa	Tempo médio de processamento (s)
Normal Ziggurat	3,7
Normal Box-Muller	6,3
Lognormal Ziggurat	5,8
Lognormal Box-Muller	8,2
Gumbel	4,1
Weibull	7,4
Simulações	3,6

Esses resultados mostram que o tempo efetivo de espera do usuário pelo resultado da simulação é de cerca de 10 segundos no caso de inserção manual dos dados, já que o tempo de inserção dos dados é usualmente maior que o tempo de processamento de uma variável e, assim, o usuário vai esperar pelo processamento apenas da última variável e das simulações. No caso de a última variável inserida ser determinística (o que não é raro), o tempo de espera do usuário seria de apenas 3,6 segundos. Percebe-se também que o ganho de velocidade com o método de Ziggurat na linguagem VBA não é tão grande quanto em outras linguagens como C++ em que chega a ser 8 vezes mais rápido que a transformação de Box-Muller (Thomas et al., 2007).

A Figura 2 traz a comparação entre os resultados dos dois programas em termos do erro percentual médio nos intervalos do índice de confiabilidade indicados. O maior erro absoluto e percentual foi registrado na mesma simulação que tinha, segundo Bastos (2012),  $\beta = 4,265$ . O erro percentual foi de 2,08% e o absoluto, 0,089.

Figura 2. Erro do programa em comparação a Bastos (2012) para diferentes intervalos de  $\beta$ .



Como esperado, o erro cresce com o aumento do índice de confiabilidade. O erro do programa é considerado aceitável já que o índice de confiabilidade alvo é comumente estabelecido com precisão de uma casa decimal. Além disso, como já foi mostrado, os valores alvo do índice de confiabilidade para estruturas costumam estar na faixa analisada.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que atualmente a análise de confiabilidade estrutural está acessível aos engenheiros. Com o auxílio de um programa relativamente simples e popular como o Microsoft Excel, um computador com poder de processamento mediano e conhecimento razoável de programação, é possível analisar a confiabilidade de estruturas. O aumento contínuo no poder de processamento dos computadores garante que programas como esse possam substituir o modo convencional de como é feito o dimensionamento estrutural.

As maiores barreiras a uma abordagem puramente probabilística do problema da segurança estrutural (a falta de dados estatísticos e a complexidade dos cálculos) já podem ser consideradas superadas. No entanto, há ainda a necessidade de que essa abordagem seja normatizada desde os dados de entrada à interpretação dos resultados. Isso, juntamente com a ausência da análise de confiabilidade no currículo de grande parte dos cursos de graduação, são as principais últimas barreiras para que o dimensionamento estrutural por confiabilidade faça parte do dia-a-dia dos engenheiros estruturais.

## REFERÊNCIAS

- Bastos, F. P. de S. Análise de confiabilidade de seções submetidas à flexão simples e composta pelo método de Monte Carlo. 108f. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.
- El-Reedy, M. A. Reinforced concrete structural reliability. CRC Press, Boca Raton-FL. 2012. 347p.
- Galambos, T. V. Developments in modern steel design standards. Journal of Construction Steel Research, v.17, n.1- 2, p.141-162, 1990.
- Haldar, A.; Mahadevan, S. Probability, reliability, and statistical methods in engineering design. John Wiley & Sons, Inc., New York-NY. 2000. 304p.
- Hajjalizadeh, D.; Stewart, M.; Enright, B.; OBrien, E. J. Spatial time-dependent reliability analysis of reinforced concrete slab bridges subject to realistic traffic loading. Structure and Infrastructure Engineering, v.12, n.9, p.1137-1152, 2015.
- Santos, D. M.; Stucchi, F. R.; Beck, A. T. Confiabilidade de vigas projetadas de acordo com as normas brasileiras. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.7, n.5, p.723-746, 2014.
- Szarszen, M. M.; Nowak, A. S. Calibration of design code for buildings (ACI 318): Part 2. Reliability analysis and resistance factors. ACI Structural Journal, v.100, n.3, p.383-391, 2003.

Thomas, D. B.; Luk, W.; Leong, P. H. W.; Villasenor, J. D. Gaussian random number generators. *ACM Computing Surveys*, v.39, n.4, 2007.

Wang, L.; Wang, X.; Wang, R.; Chen, X. Time-dependent reliability modeling and analysis method for mechanics based on convex process. *Mathematical Problems in Engineering*, v.2015, p.1-16, 2015.

Wang, Z.; Wang, P. A new approach for reliability analysis with time-variant performance characteristics. *Reliability Engineering & System Safety*, v.115, p.70-81, 2013.

## *Capítulo 13*

# ***Estudo dos custos do desmonte de rocha por explosivos para fins de uma lavra mineral sustentável***

*Paulo Henrique Morais do Nascimento  
Valdenildo Pedro da Silva  
Leandro de Lima Maia*

### **INTRODUÇÃO**

A exploração de granito com uso de explosivos, para fins de produção de brita para construção civil, provoca inevitáveis impactos ambientais e desconforto para as populações do entorno da pedreira. Para Hartman (1992), os custos dessa operação estão diretamente relacionados à razão de carga, o tipo de explosivos utilizados, além do número, diâmetro e profundidade dos furos.

Portanto, é de extrema importância realizar essa atividade mineral de forma sustentável, isto é, procurando minimizar impactos ambientais, sociais e custos operacionais, buscando uma melhor gestão dos recursos naturais.

Em função do problema de pesquisa aqui apresentado, o objetivo deste estudo é analisar os custos do plano de fogo da pedreira Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda., buscando ações de prevenção e mitigação de impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas com uso de explosivos, através de acompanhamento e reavaliação de alguns parâmetros do plano de fogo da empresa.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

Trata-se de um estudo de caso sobre os custos do desmonte de rocha da empresa Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda que foram avaliados considerando as seguintes etapas:

#### **Caracterização do empreendimento e zoneamento legal da área urbana**

O estudo foi realizado na empresa Campel Construções e Máquinas Pesadas Ltda, localizada na Fazenda Serra Pelada, S/N, Zona Rural, Taipu/RN, conforme Figura 1. É uma empresa privada que atua há

mais de trinta anos no mercado da mineração, realizando atividades de exploração, beneficiamento e comercialização de materiais britados para construção civil.

Figura 1. Planta de situação da Pedreira Campel.



### **Análise das práticas operacionais utilizadas no plano de fogo (A)**

As atividades de extração do granito e beneficiamento associado a produção de material utilizado na construção civil, são realizadas pelo método de lavra a céu aberto, em cava, com bancadas descendentes. São utilizados dois tipos de explosivos (granulado e encartuchado). A iniciação da coluna explosiva é realizada com mantopim, e a amarração é feita em linhas, de forma que durante a detonação, saia uma linha de cada vez. A malha é bem apertada (Afastamento = 1,2 m e Espaçamento = 2,3 m), altura média da bancada 13,14 m, tampão de 1,5 m, sub-furação 0,40 m e diâmetro de perfuração de 2,5”.

### **Avaliação e aplicação das novas práticas operacionais sugeridas para o plano de fogo (B)**

Para realização do desmonte de rocha continuou-se utilizando os mesmos dois tipos de explosivos (granulado e encartuchado), o sistema de iniciação dos explosivos foi trocado pelo sistema não elétrico (nonel),

a amarração foi modificada para a forma espinha de peixe utilizando retardos de modo que a detonação saia furo-a-furo, a malha foi alongada (Afastamento = 1,4 m e Espaçamento = 2,8 m), altura média da bancada 13,14 m, tampão de 1,2 m, sub-furação 0,40 m e diâmetro de perfuração de 2,5".

### **Comparação do plano de fogo A e B**

Para o cálculo dos custos do plano de fogo foram utilizadas algumas fórmulas, que são elas:

- Razão de carregamento: é a quantidade de explosivos necessária para o desmonte de 1 m<sup>3</sup> de rocha (Herrmann, 1972). Expressa pela fórmula:  $RC = Q/V$ , onde RC é a razão de carregamento, Q é a quantidade de explosivos e V o volume de rocha "in situ".

- Quantidade de explosivos: com as variáveis referentes a comprimento do furo e razão linear de carregamento é possível calcular a quantidade de explosivos necessários (Olofsson, 1990). A partir da fórmula:  $Q = (AB - T - S) \times RL \times NF$ , onde AB é a altura da bancada, T é o tampão, S é a sub furação, RL é a razão linear de carregamento e NF é o número de furos.

- Volume de rocha "in situ": Para Scott (1996) é possível calcular esse volume através da seguinte fórmula:  $V = A \times E \times NF \times AB$ , onde A é o afastamento dos furos de duas linhas, E é o espaçamento entre furos de uma mesma linha, NF é o número de furos e AB a altura da bancada.

- Custo do desmonte: Para Costa e Silva (2009) o custo de um desmonte pode ser calculado da seguinte forma:  $V \times RC \times CU$ , onde V é o volume de rocha in situ, RC é a razão de carregamento e CU é o custo unitário que é calculado multiplicando a quantidade de explosivo pelo preço do quilo de explosivo dividido pelo volume de rocha.

Dessa forma, foram comparados o plano de fogo A e B, através de pesquisa experimental quantitativa e qualitativa dos impactos decorrentes da atividade do desmonte de rocha com explosivo, buscando conferir qual plano de fogo é o mais adequado para uma lavra que vise minimizar os impactos ambientais e aproveitar os recursos naturais existentes de forma sustentável, reduzindo custos operacionais.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir dos suportes teóricos e procedimentos metodológicos adotados acima, os resultados apresentados mostram que apesar de ter sido utilizada uma carga explosiva significativa no plano de fogo (A), não foram atingidos os mínimos padrões de eficiência no desmonte de rocha, tendo em vista a grande produção de blocos fora de especificação

(matacão), causando grandes transtornos na operação, já que teve que introduzir o rompedor na etapa do desmonte secundário. Além disso, o desmonte secundário é considerado o maior gerador de ruídos e vibrações e impactos ambientais que são os maiores alvos de reclamação da população do entorno da pedreira.

Diante dos problemas observados a primeira mudança no plano de fogo foi em relação a forma de amarração da bancada que não atendia aos padrões técnicos, pois ao invés de serem utilizados retardados furo a furo com os retardos específicos, estava sendo amarrada de uma forma que durante a detonação saíria uma linha de cada vez, onde na verdade deveria sair um furo ou no máximo 3 de cada vez. Isso dificultava e, muito a fragmentação da rocha, pois não se criava frente livre para o explosivo trabalhar.

### **Plano de fogo (A)**

O plano de fogo executado, continha as seguintes especificações: afastamento (A): 1,2 m; espaçamento (E): 2,3 m; altura média da bancada (AB): 13,14 m; tampão (T): de 1,5 m; Sub-furação (S): 0,40 m; bancada com 5 linhas amarradas com cordel detonante e um total de furos (NF): 126.

- Volume de rocha "in situ":  $V = A \times E \times NF \times AB$

$$V = 1,2 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 126 \text{ furos} \times 13,14 \text{ m}$$

$$V = 4.569,56 \text{ m}^3$$

- Quantidade de explosivos:  $Q = (AB - T - S) \times 2,78\text{kg}^* \times NF$

$$Q = (13,14 \text{ m} - 1,5 \text{ m} - 0,40\text{m}) \times 2,78 \text{ kg} \times 126$$

$$Q = 3.937,15 \text{ kg}$$

2,78 kg é a razão linear de carregamento por metros, significa que cada metro perfurado com 2,5" foram necessários 2,78 kg de explosivos encartuchados e/ou granulada.

- Razão de carregamento  $\text{kg}/\text{m}^3$ :  $RC = Q / V$

$$RC = 3.937,15 \text{ kg} / 4.569,56 \text{ m}^3$$

$$RC = 0,862 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Para cada  $1,0 \text{ m}^3$  de rocha a ser detonado serão utilizados 0,862 kg de explosivos encartuchados e/ou granulada.

### **Plano de fogo (B)**

Ao invés de utilizarmos um afastamento de 1,2 m, passou-se a utilizar 1,40 m; já quanto ao espaçamento de 2,3 m, modificamos para 2,8 m; e o tampão de 1,5 m passou a ter 1,20 m.

- Volume de rocha "in situ":  $V = A \times E \times NF \times AB$   
 $V = 1,4 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \times 126 \text{ furos} \times 13,14 \text{ m}$   
 $V = 6.490,10 \text{ m}^3$
- Quantidade de explosivos:  $Q = (AB - T - S) \times 2,78\text{kg} \times NF$   
 $Q = (13,14 \text{ m} - 1,2 \text{ m} - 0,40\text{m}) \times 2,78 \text{ kg} \times 126$   
 $Q = 4.042,23 \text{ kg}$

Amarração tipo espinha de peixe, com retardo furo-a-furo, utilizando não elétrico BRINEL de coluna e não elétrico de ligação.

2,78 kg é a razão linear de carregamento por metros, significa que cada metro perfurado com 2,5" serão necessários 2,78 kg de explosivos encartuchados e/ou granulado.

- Razão de carregamento  $\text{kg/m}^3$ :  $RC = Q / V$   
 $RC = 4.042,23 \text{ kg} / 6.490,10 \text{ m}^3$   
 $RC = 0,623 \text{ kg/m}^3$

Resumindo: Para cada  $1,0 \text{ m}^3$  de minério a ser detonado serão utilizados  $0,623 \text{ kg}$  de explosivos encartuchados ou granulado.

### **Comparação do plano de fogo A e B**

Então sabendo que 1 kg de explosivo encartuchado de 2" X 24 " custa R\$ 7,469 e que 1 kg de explosivo granulado custa R\$ 5,995 teremos uma média de R\$ 6,732/kg.

Isso quer dizer que para detonar a carga, com os padrões do plano de fogo A, haverá um custo médio de explosivos de R\$ 26.504,89 =  $3.937,15 \text{ kg} \times \text{R\$ } 6,732/\text{kg}$ . Calculando o preço médio por metro cúbico temos:  $(\text{R\$ } 26.504,89 / 4.569,56 \text{ m}^3 = \text{R\$ } 5,80/\text{m}^3)$ .

#### **Plano de fogo (A):**

$$\begin{aligned} \text{R\$} &= V \times RC \times \text{Custo unitário} \\ \text{R\$} &= 4.569,56 \text{ m}^3 \times 0,862 \text{ kg/m}^3 \times \text{R\$ } 5,80 \\ \text{R\$} &= 22.845,97 \end{aligned}$$

#### **Plano de fogo (B):**

$$\begin{aligned} \text{R\$} &= V \times RC \times \text{Custo unitário} \\ \text{R\$} &= 4.569,56 \text{ m}^3 \times 0,623 \text{ kg/m}^3 \times \text{R\$ } 5,80 \\ \text{R\$} &= 16.511,65 \end{aligned}$$

Os dados acima compararam os resultados do custo total do plano de fogo A e B. Os resultados apresentados evidenciam uma economia de R\$ 6.334,32 no desmonte de rocha após as modificações realizadas.

Além disso, os níveis de ruídos e vibrações foram amenizados consideravelmente, devido a extinção do uso de cordel detonante e a aplicação do acessório não-elétrico. Outro fator que contribuiu para uma

melhor gestão ambiental desses impactos ambientais foi a diminuição do número de matacões após o fogo primário, conforme podemos observar no comparativo da Figura 2.

Figura 2. Resultado do desmonte de rocha: plano de fogo antigo (A) e plano de fogo proposto (B).



## CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos neste estudo de caso permitiu concluir que o plano de fogo B gerou benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos que deve ser integrada a todas as etapas do processo de desmonte de rochas com uso de explosivos na pedreira Campel.

O custo do desmonte de rocha utilizando o plano de fogo B tornou-se menor em comparação ao antigo, uma vez que a malha utilizada é mais espaçada (malha aberta), fazendo com que a área entre furos aumente, diminuindo assim a quantidade de explosivos necessários.

A aplicação contínua do plano de fogo B reduziu os efeitos maléficos da atividade do desmonte de rochas, pois o cordel detonante foi extinto da empresa e passou-se a utilizar o acessório não-elétrico, que reduz os ruídos e vibrações, tornando o uso dos recursos naturais mais eficiente, minimizando a poluição ambiental e os riscos para a saúde humana.

Portanto, com a realização deste trabalho, chegou-se à conclusão de que a adoção do plano de fogo B reduziu os impactos negativos advindos da atividade de desmonte de rocha com explosivos, isto é, minimizando os impactos ambientais, sociais e culturais e buscando sempre o menor custo operacional.

## **REFERÊNCIAS**

- Costa e Silva, V. Curso de MIN 210 - Operações mineiras. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Minas. UFOP, 2009.
- Hartman, H. L. et al. SME Mining Engineering Handbook. 2. Ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. 1992. 2v.
- Herrmann, C. Manual de perfuração de rocha. 2. ed. São Paulo: Polígono, 1972. 416p.
- Olofsson, S. O. Applied explosives technology for construction and mining. 2. ed. Årila: APPLEX. 1990. 304p.
- Scott, A. et al. Open pit blaster desing: analysis and optimisation. Queensland: JKMRC. 1996. 338p.

***Influência do líquido de castanha de caju  
(Anacardium occidentale L.) no fenômeno da  
precipitação de parafina em petróleo pesado***

***Carlos Wagner Lobo Siqueira  
Denes Carlos Santos da Graça  
Rosiane dos Santos  
Tarcisio Soares Siqueira Dantas  
Gisélia Cardoso***

**INTRODUÇÃO**

A produção de petróleo impõe vários desafios operacionais, dentre eles a desobstrução das tubulações de escoamento de óleo pesado e garantia do seu escoamento (Santos et al., 2014).

Grande parte das reservas de petróleo no Brasil localizam-se em bacias *offshore* com acumulações de petróleo cada vez mais em águas profundas o que favorece a precipitação e deposição das frações de componentes pesados durante a sua produção (Magalhães & Domingues, 2014; Barillas et al., 2014).

A abordagem mais racional para a garantia de escoamento do petróleo pesado é atuar no sentido de evitar a precipitação de parafina, o que implica em manter condições favoráveis de solubilidade da mesma no óleo. Para isso, é necessário manter a temperatura do óleo acima da temperatura inicial de aparecimento de cristal de parafina (TIAC), o que pode ser obtido por isolamento térmico da tubulação, aquecimento artificial da mesma ou fazer uso substâncias como aditivos que dificultem o aparecimento de cristais de parafina ou o seu crescimento, com consequente deposição.

Diante desse cenário, o presente estudo se justifica por buscar contribuir para a promoção da garantia de escoamento de óleo pesado, através de avaliação do uso de um resíduo industrial, o líquido da castanha de caju (LCC), internacionalmente denominado *Cashew Nut Shell Liquid (CNSL)*, substância natural constituída de mistura de compostos fenólicos com cadeia lateral alquílica de 15 carbonos e hidroxila no anel aromático (Matos et al., 2008; França et al., 2016), que lhes conferem características surfactante, com potencial para uso como

aditivo na minimização de problemas causados pelo fenômeno da parafinação no escoamento do petróleo pesado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram amostra de petróleo parafínico (grau API 18) da Região Nordeste do Brasil e líquido da castanha de caju (LCC), advindo de indústria de beneficiamento da castanha de caju do Estado do Ceará, como aditivo, nas concentrações de 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm.

Determinação do teor de água emulsionada no óleo pelo método de titulação Karl Fischer.

Determinação das frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos, por análise SARA.

Avaliação do comportamento da tensão de cisalhamento e da viscosidade aparente do óleo pesado, sem e com aditivo, na faixa de taxa de cisalhamento de  $0,465 \text{ s}^{-1}$  a  $1,3485 \text{ s}^{-1}$ , utilizando um viscosímetro Brookfield DV-III-Ultra, spindle SC4-21, interfaciado com uma célula térmica (Termosel), na temperatura ambiente e média de poço, respectivamente, 298,15 K e 338,15 K.

Determinação da TIAC por meio da medida da variação da viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) na faixa de temperatura de 338,15 K a 275,15 K, a uma taxa de resfriamento de  $0,5^\circ/\text{min}$ , em amostras de petróleo sem e com LCC, empregando equação de Arrhenius linearizada (eq 1) e da energia de ativação de fluxo na TIAC.

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + \frac{E_{at}}{RT} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde: T é a temperatura absoluta (K); R, a constante universal dos gases;  $E_{at}$ , a energia de ativação de fluxo e  $\eta_0$ , o fator pré-exponencial.

O grau de cristalinidade do petróleo pesado sem e com LCC foi avaliado por difratometria de raios-X utilizando equipamento da RIGAKU, modelo Miniflex II, com fonte de radiação de cobre ( $\text{CuK}\alpha$ ) de comprimento de onda  $\lambda = 1,5405\text{\AA}$  e filtro de Ni, operando com tensão de 30 kV, corrente de 15mA e varredura de  $2,0 \text{ graus}/\text{min}$ , na faixa de  $1,55$  a  $55 \text{ graus}$ , empregando a técnica de reflexão.

A caracterização morfológica foi realizada em microscópio ótico de luz polarizada (MOLP) da marca *Leica*, modelo DMLM, com ampliação de 10x.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de água emulsionada na amostra, medida por titulação Karl Fisher foi de  $3,52 \pm 0,41\%$  que confere elevada quantidade de água emulsionada, de difícil separação.

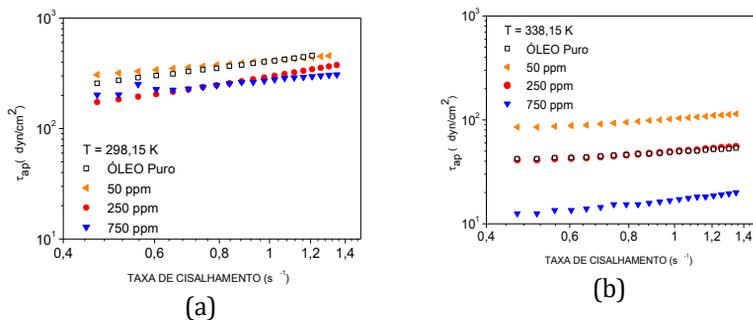
O resultado da análise SARA é mostrado na Tabela 1. Observa que o petróleo em estudo apresenta frações bastante elevadas de aromáticos e resinas, além de um percentual considerável de asfaltenos, que conjuntamente com o quantitativo de água presente na amostra lhes conferem características reológicas de dificuldade de escoamento (Santos et al., 2014).

As Figuras 1(a, b) mostram o comportamento da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC na temperatura ambiente e média de poço, respectivamente, 298,15 K e 338,15 K. Observa-se que o petróleo sem e com LCC apresenta comportamento de fluido não-Newtoniano e que o aumento da concentração do LCC diminui a tensão de cisalhamento e aumenta a sua susceptibilidade térmica, o que pode ser atribuído à maior solvatação das frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos em decorrência da presença de seus grupos aromáticos, que podem estar agindo como agente nucleante e diminuindo o tamanho do cristal e/ou esferas rígidas reduzindo a resistência ao cisalhamento das frações pesadas presentes no petróleo. Porém, na concentração de 50 ppm de LCC, na temperatura ambiente (298,15K) não alterou o comportamento da tensão de cisalhamento aparente com relação ao puro, e na temperatura média de poço (338,15 K) esta é aumentada, a baixa concentração de LCC, comportamento que pode ser atribuído ao favorecimento à nucleação e ao crescimento dos cristais de parafina produzindo um efeito contrário ao quando se encontra em maior concentração, contudo seus valores são inferiores aos medidos na temperatura ambiente, em todas as amostras.

Tabela 1. Análise SARA do petróleo pesado em estudo

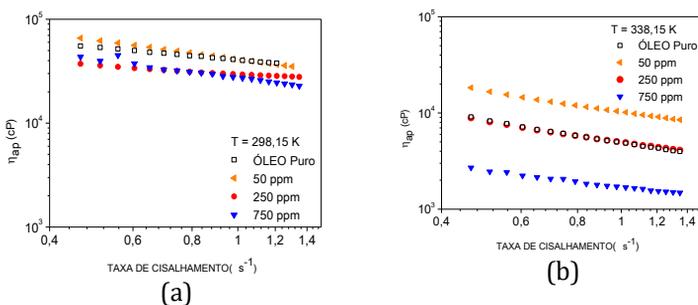
<b>Frações do petróleo em estudo</b>	<b>% em massa</b>
Saturados	47,3
Aromáticos	23,9
Resinas	24,6
Asfaltenos	4,2

Figura 1. Comportamento da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC nas concentrações de 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm: (a) na temperatura de 298,15K e (b) na temperatura de 338,15K.



As Figuras 2(a, b) mostram o comportamento da viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC, nas temperaturas ambiente (298,15K) e médio de poço (338,15K). Observa-se que as amostras apresentam comportamento de fluido não-Newtoniano do tipo pseudoplástico, em toda taxa de cisalhamento analisada, e a viscosidade diminui com o aumento da temperatura para todas as amostras. Contudo, comparativamente, na temperatura de 338,15K, na concentração de 50 ppm, a viscosidade aumenta o que corrobora com a justificativa já apresentada.

Figura 2. Comportamento da viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC : (a) na temperatura ambiente, 298,15 K e (b) na temperatura média de poço, 338,15 K.



Os valores da TIAC, Tabela 2, mostram que não houve variação nas concentrações de 50 ppm e 250 ppm de LCC quando comparados ao petróleo puro, 316,15 K (43°C), contudo, na concentração de 750 ppm de LCC este aumentou, 322,15K (46°C). Analisando os valores da energia de ativação de fluxo na TIAC e na temperatura ambiente 298,15K (25°C), observa-se que esta diminui, para todas as amostras aditivadas, o que facilita o escoamento do óleo pesado.

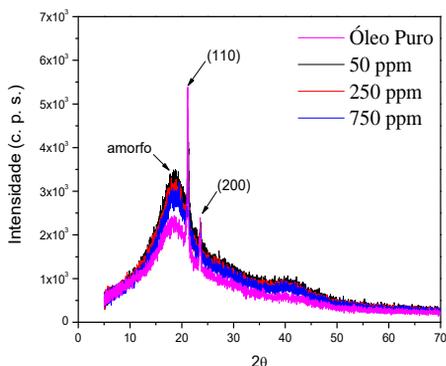
Tabela 2. Valor da TIAC e da energia de ativação de fluxo na temperatura da TIAC do petróleo sem e com adição de LCC

Amostra	LCC (ppm)	TIAC (K)	Ea (J.mol <sup>-1</sup> )*	Ea (J.mol <sup>-1</sup> )**
	-	316,15	5424	7207
Óleo	50	316,15	4620	6379
	250	316,15	4351	6087
	750	322,15	4464	6914

\*Na temperatura da TIAC; \*\* Na temperatura ambiente.

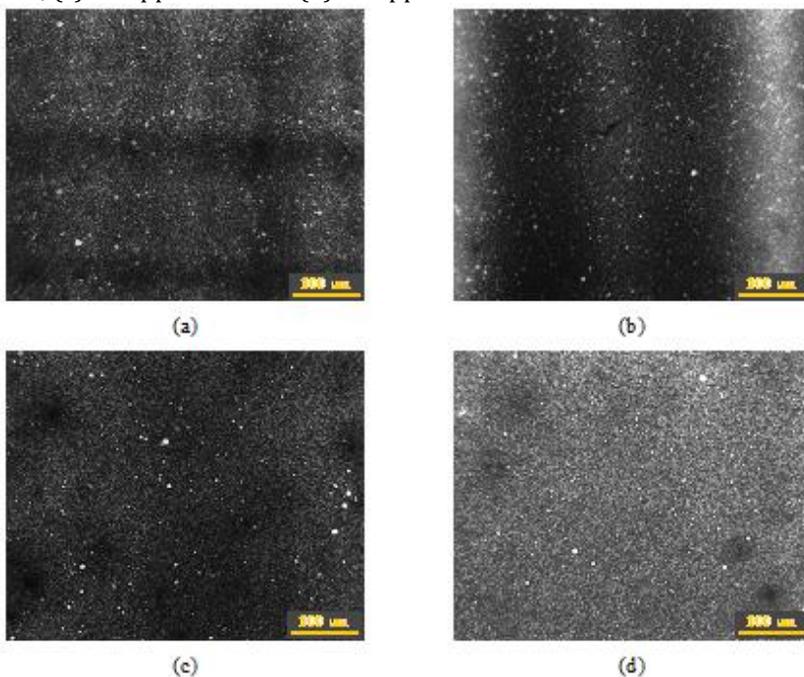
A Figura 3 mostra os difratogramas de raios-X obtidos para amostras de petróleo sem e com LCC, nas concentrações estudadas. Observam-se em todas as amostras dois picos intensos a 21° e a 24° relativos aos planos (110) e (200), respectivamente, e um halo amorfo com um máximo de intensidade em torno de 19°, característicos de cristais de parafina (Becker, 1997), sinalizando que a presença do LCC não alterou a estrutura cristalina na parafina.

Figura 3. Difratogramas (—) Óleo puro; (—) 50 ppm de LCC; (—) 250 ppm de LCC; (—) 750 ppm de LCC.



As micrografias obtidas por MOLP, Figuras 4(a, b, c, d), mostram que a morfologia da amostra de petróleo com a adição de 750ppm de LCC é mais fina e uniforme, quando comparada com as demais, o que concorda com as justificativas anteriores. Os pontos brancos, presentes nas micrografias refletem a presença de água na amostra.

Figura 4. Micrografias obtidas por MOLP do (a) óleo puro, (b) 50 ppm de LCC, (c) 250 ppm de LCC e (d) 750 ppm de LCC.



## CONCLUSÃO

A adição de LCC nas concentrações de 50 ppm e 250 ppm e 750 ppm apresenta potencial tecnológico para uso na garantia de escoamento de petróleo pesado, por reduzir a viscosidade e diminuir a energia de ativação de fluxo do óleo pesado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, ao PEQ/UFS pela oportunidade de realizar da pesquisa, a Petrobras/UO-SEAL e o DET/UFC, respectivamente, pela amostra de petróleo e de LCC.

## REFERÊNCIAS

- Becker, J. R. *Crude Oil – Waxes, Emulsions and Asphaltenes*, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1997, 276p.
- França, F. C. F.; Coelho, E. L.; Uchôa, A. F. J.; Rodrigues, F. H. A.; Ribeiro, M. E. N. P.; Soares, S. A.; Ricardo, N. M. P. S. Síntese e caracterização de surfactantes alquilfenil poliglicosídicos a partir da amilose e alquil fenóis extraídos do LCC natural. *Química Nova*, v.39, n.7, p.771-781, 2016.
- Magalhães, A. S.; Domingues, E. P. Blessing or curse: Impacts of the Brazilian Pre-Salt oil exploration. *Economia*, v.15, p.343-362, 2014.
- Matos, J. E. X.; Silva, F. J. A.; Vieira, P. B. Solventes para extração do líquido da castanha de caju (LCC) e compatibilidade ambiental. *Revista Tecnologia*, v.29, n.1, p.101-109, 2008.
- Santos, R. G.; Loh, W.; Bannwart, A. C.; Trevisan, O. V. An overview of heavy oil properties and its recovery and transportation methods. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.31, n.3, p.571-590, 2014.
- Barillas, J. L. M.; Dutra Jr, T. V.; Mata, W. Improved oil recovery process for heavy oil: a review. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, v.2, n.1, p.45-54, 2008.

## ***Influência dos aditivos minerais, cura térmica e microfibras de aço em concreto de pós reativos***

*João Victor da Cunha Oliveira  
Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira  
Miriam de Normando Lira  
Kennedy Flávio Meira de Lucena*

### **INTRODUÇÃO**

O concreto de pós reativos (CPR) foi criado para suprir demandas que desde a criação do concreto convencional de cimento Portland são buscadas: menor relação água/cimento, maior durabilidade, melhor empacotamento das partículas, maior resistência, melhor ductilidade e tenacidade, baixa porosidade, melhor densificação da zona de transição, etc.

Tutikian et al. (2011) explicam que o princípio do CPR está em primeiro plano associado à retirada do agregado graúdo da composição, restando apenas materiais que do ponto de vista granulométrico, e convencional, são semelhantes à argamassa, aumentando significativamente a superfície específica que compõe o esqueleto granular do compósito (Andrade, 2015), incorporando em sua composição microfibras de aço em casos de adequação estrutural, com uso excludente dos vergalhões de aço.

De maneira simplificada, entende-se como CPR o material cuja composição é constituída basicamente de pós, onde a granulometria dos materiais aplicados não excede o valor de 2 mm com viés de aplicação em elementos estruturais. Vanderlei (2004) esclarece que o material oferece grandes resistências à compressão, além de poder resistir com eficácia aos esforços de tração quando adicionada em sua composição fibras metálicas.

É notado por Figueiredo (2011) que “quando se adicionam fibras de resistência e módulo de elasticidade adequados e num teor apropriado, o concreto deixa de ter o caráter marcadamente frágil”, o que assegura uma menor fissuração do compósito, ratificando a recomendação para o uso em concretos convencionais armados ou não, e servindo de armadura complementar para redução de fissuração.

Sintetizando os parâmetros que permitem expor os benefícios de se aplicar ao CPR procedimentos de cura térmica, Richard e Cheyrezy (1995) enfatizam que o tratamento térmico acelera de forma substancial a reatividade pozolânica no decorrer da modificação da microestrutura dos hidratos que estão sendo formados, que permanecem amorfos em temperaturas de cura até 90°C.

Verificando que o uso das adições minerais transfere ao produto final melhorias no que compreende o melhor empacotamento das partículas e preenchimento dos vazios, ante esse processo preenchidos pela água de amassamento, pelos produtos de hidratação do cimento Portland, a aplicação de mais de uma adição mineral produz efeito sinérgico que ratifica maiores resistências em tempo hábil, que para Rigo (2016) viabiliza a produção de concretos com propriedades estruturais superiores para que sejam aplicados em obras usuais. Isso suscita a geração de C-S-H (silicato de cálcio hidratado), de baixa densidade, produto de hidratação fundamental na obtenção de elevado desempenho físico-mecânico em produtos de matriz cimentícia (Pelisser et al., 2009).

Este trabalho objetiva identificar as influências que o concreto de pós reativos, que detêm em sua composição mais de 1 aditivo mineral, sofre mediante diferentes processos de cura térmica, adensamento e conformação, e variabilidade no quantitativo das matérias-primas aplicadas ao estudo, aferindo o desempenho mecânico aos 7 e 14 dias.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Tomando como base o traço desenvolvido por Vanderlei (2004), para o estudo experimental do concreto de pós reativos (Tabela 1), foram elaboradas 7 composições, em massa, para avaliar o comportamento que cada composição testada sobre o material no estado endurecido (Tabela 2).

Tabela 1. Formulação padrão de amparo na análise de concreto de pós reativos

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Pó de Quartzo</b>	<b>Sílica Ativa</b>	<b>Superplastificante</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,101	0,235	0,246	0,030	0,180

Tabela 2. Traços estabelecidos para avaliação de concreto de pós reativos

<b>Traço - 1 (Sem tratamento térmico + Sem vibração)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,290
<b>Traço - 2 (Tratamento térmico 1 + Vibração 1)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,290
<b>Traço - 3 * (Tratamento térmico 2 + Vibração 2)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,214
<b>Traço - 4 (Tratamento térmico 3 + Vibração 2)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,070	0,120	0,085	0,214
<b>Traço - 5 (Tratamento térmico 3 + Vibração 2)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,060	0,110	0,075	0,194
<b>Traço - 6 (Tratamento térmico 4 + Vibração 2)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,050	0,100	0,065	0,194
<b>Traço - 7 (Tratamento térmico 4 + Vibração 2)</b>					
<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Metacaulim</b>	<b>Microssílica</b>	<b>Aditivo SP</b>	<b>Água (a/c)</b>
1	1,050	0,050	0,080	0,060	0,184

\* Traço - 3 = adicionado teor de 1% de microfibras metálicas conforme ficha técnica do fabricante.

Em virtude de o pó de quartzo não estar disponível na área de estudo, utilizou-se o metacaulim, por ser um material de granulometria semelhante (#325), desejando-se produzir resultados similares para as idades estudadas.

Em contrapartida, o metacaulim é reativo na presença do hidróxido de cálcio, produto de hidratação do cimento, o que provoca aumento da resistência do produto final advindas das propriedades pozolânicas do material.

Dessa forma o consumo não pôde ser semelhante ao mesmo do pó de quartzo adotado por Vanderlei (2004), sendo reduzido sua quantidade em virtude da não realização correta e completa das reações pela sua alta quantidade.

Com o auxílio de argamassadeira adaptada (batedeira planetária) seguiram-se as seguintes etapas na fabricação do CPR: misturou-se com o auxílio de saco plástico os materiais secos (cimento, areia, microssílica e metacaulim) e em paralelo com o auxílio de proveta e béquer, mediu-se

a massa de água (com temperatura entre 1 e 3°C), e de aditivo superplastificante, misturando-os em um único líquido.

As microfibras de aço, para este trabalho experimental, foram do tipo Dramix® da família 3D com comprimento de 30 mm, diâmetro de 0,62mm, fator de forma (l/d) 45, e módulo de Young de  $\pm 210.000$  MPa com tolerância média de  $\pm 7,5\%$ .

Adicionou-se metade do material seco e aos poucos, colocou-se o líquido para iniciar o processo de homogeneização. Logo após boa parte do líquido ser adicionado à metade do material seco, submeteu-se à argamassadeira para conferir melhor eficácia na mistura, adicionando-se aos poucos o material seco intercalado com o líquido, até finalizar todo procedimento, durando cerca de 15 minutos, e depois por mais 5 minutos o material foi submetido à velocidade máxima da argamassadeira.

A etapa de moldagem foi constituída pela fabricação dos protótipos através do adensamento com vibrador portátil de imersão, usando de forma a proporcionar o melhor empacotamento da mistura e minimização dos poros existentes na superfície interna da fôrma cilíndrica. A condição de Vibração 1 consistiu em dividir o procedimento em 2 camadas com 30 segundos de vibração, e a condição de Vibração 2 consistiu em dividir em 3 camadas com 30 segundos de vibração.

Após finalizar o processo de adensamento, os mesmos foram cobertos com plástico filme e reservados até serem desmoldados com 24 horas, ficando imersos nos béqueres à 25°C, até serem direcionados para o processo de cura térmica em estufa elétrica SOLAB Modelo SL-100 com potência de 3.000 W e circulação de ar forçada, com auxílio de béqueres.

Vale ressaltar que a água não evaporou ao ponto de deixar os protótipos não submersos totalmente ao final do tempo determinado, tomando-se esse cuidado mediante testes preliminares para verificar o nível da água após o procedimento oficial.

No tratamento 1, o tempo de pré-cura foi de 72 horas, com isoterma de 16 horas à temperatura de 75°C, e tempo total de aquecimento de 20 horas. No tratamento 2, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 80 horas à temperatura de 65°C, e tempo total de aquecimento de 84 horas. No tratamento 3, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 40 horas à temperatura de 60°C, e tempo total de aquecimento de 44 horas. No tratamento 4, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 32 horas à temperatura de 60°C, e tempo total de aquecimento de 36 horas.

Para todos os tratamentos considerou-se 4 horas do aumento da temperatura + isoterma, e depois mais 4 horas até o resfriamento total da água, para etiquetagem e armazenamento dos moldes até atingirem as idades de 7 e 14 dias para realização dos testes de resistência à compressão axial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponderando cada tipo de cura e adensamento introjetado aos traços elegidos, a Tabela 3 expõe as médias obtidas a partir dos rompimentos realizados para as idades de 7 e 14 dias. Em seguida, a Figura 1 evidencia uma amostragem global do comportamento dos traços frente à diminuição do fator a/c, melhoramento no tipo de adensamento (diante do aumento de 1 camada), e no discernimento quanto a escolha dos intervalos para cada tipo de tratamento térmico acondicionado aos protótipos.

Tabela 3. Desempenho mecânico quanto à resistência à compressão axial

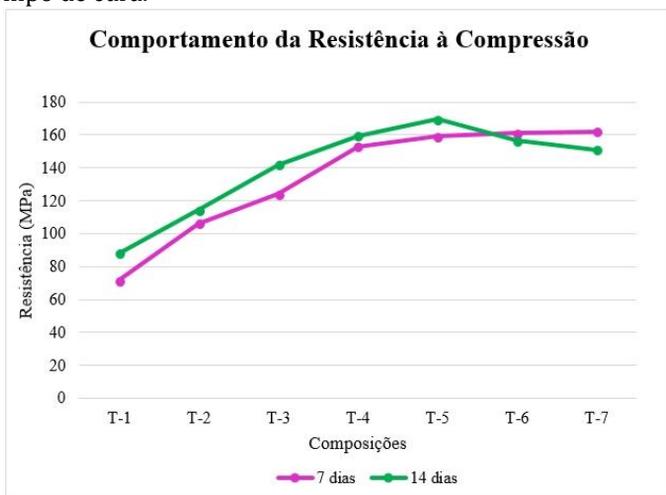
Traços	Idades	
	7 dias	14 dias
T-1	71,54 MPa	88,18 MPa
T-2	106,203 MPa	114,482 MPa
T-3	123,951 MPa	141,94 MPa
T-4	152,959 MPa	159,38 MPa
T-5	159,18 MPa	169,399 MPa
T-6	160,954 MPa	156,523 MPa
T-7	161,97 MPa	150,91 MPa

Observou-se que, para os resultados obtidos, o melhor traço com resultados satisfatórios de elevadas resistências foi o T-5. Comparando com os dados resultantes da pesquisa de Vanderlei (2004), que para 7 dias o mesmo atingiu o valor de 105,65 MPa, houve um aumento de mais de 50% na resistência à compressão. Com exceção do traço T-1, que não recebeu tratamento térmico ou adensamento adequando à mistura quando no estado fresco, todos os outros traços superaram a marca de Vanderlei (2004) aos 7 dias.

O tratamento térmico no qual submeteu-se os protótipos acelerou o processo de produção dos hidratos que compõem a matriz cimentícia do material, podendo ser observado que as isotermas dos traços T-2, T-4, T-5, T-6 e T-7, apesar de haverem diferenças no tempo e na temperatura, não alteraram de forma veemente a progressão de 7

para 14 dias, notando-se também um avanço semelhante para o traço T-3, que mesmo recebendo uma isoterma de 84 horas, não propiciou um resultado diferenciado dos demais, inferindo que exista um período ideal na obtenção de resultados satisfatórios com menor dispêndio energético.

Figura 1. Variação da resistência à compressão em função da composição e do tempo de cura.



Os traços T-6 e T-7 obtiveram resultados melhores que o T-5 na idade de 7 dias, porém não foram considerados como melhores para este estudo pois não houveram progressões dos valores aos 14 dias de idade, além de não haverem superado a marca de Vanderlei (2004) nessa idade, que foi de 159,60 MPa, e traço T-5 denotou 169,399 MPa de resistência, superando em 6,13% a marca alcançada pelo autor. O traço T-1 novamente não alcançou a marca do autor confrontado.

A influência das microfibras para o traço T-3 corroborou melhor progressão, dentre todos os traços, aos 14 dias idade, uma vez que as dobras nas pontas de cada fibra favorecem uma ancoragem interna que, a partir do alto módulo de Young, absorvem e distribuem mais uniformemente o carregamento recebido durante o teste de resistência, associado ao aumento da ductilidade e tenacidade do material, tendo sido demonstrado através do aumento em 14,5% na resistividade mecânica.

Atribui-se o declínio das progressões no desempenho mecânico para os traços T-6 e T-7 em virtude da redução drástica do fator a/c,

podendo-se interpretar que não houve a correta e total hidratação de todas as partículas de cimento Portland que compõem a mistura, reduzindo o empacotamento do compósito através da criação de zonas ausentes de fases cristalinas provenientes dessa reação química. A não produção dos compostos hidratados favorecem com que parte das adições minerais permaneçam inativas, não preenchendo os vazios deixados pela água, após o processo de cura, devido a baixa produção de C-S-H.

A pequena diferença para os resultados obtidos nas progressões dos traços T-4 e T-5, aos 7 e 14 dias, associa-se ao fato de usar-se 2 adições minerais, onde propiciou-se o avanço mais rápido das reações na primeira idade pelo trabalho sinérgico do metacaulim com a microssílica, que para a segunda idade analisada, progrediu em percentuais de 4,19% e 6,41%, respectivamente, avançando mais lentamente por motivo das reações com maior intensidade terem ocorrido antes, durante, e depois do processo de cura térmica do material em frações de horas. Comparando com Vanderlei (2004), a progressão aos 14 dias avançou mais de 50% em comparação aos 7 dias, já que o mesmo utilizou apenas a microssílica como adição mineral.

## **CONCLUSÃO**

Pode-se compreender que os traços desenvolvidos para este estudo de concreto de pós reativos denotam grande atenção no que concerne a correta aplicação dos procedimentos de adensamento, cura térmica e dosagem equilibrada dos materiais envolvidos.

O uso de microfibras metálicas ratifica no melhoramento das propriedades do material no estado endurecido para idades mais avançadas, da mesma forma que o uso sinérgico das adições minerais acelera o processo produtivo desse tipo de concreto para artefatos pré-moldados, como também uma aplicação mais rápida pela obtenção de mais de 80% da resistência final aos 7 dias de idade, que com uso sensato de tempo ideal de cura térmica entre 35 e 40 horas à 60°C, garante-se um potencial avanço nas etapas construtivas de uma obra que dependa fortemente desse material.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq pela concessão da bolsa, na modalidade PIBITI, ao primeiro autor. Ao IFPB – Campus Campina Grande pela estrutura laboratorial. Às empresas: Elizabeth Cimentos, BASF S.A., Belgo Bekaert & Arcellor Mittal, Maia Macedo, e Tecnosil pelas doações das matérias-primas para realização do estudo.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, T. C. C. S. Avaliação do tipo de cura nas propriedades de concretos de pós reativos. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). UFPR. Curitiba, 2015.
- Figueiredo, A. D. Concreto reforçado com fibras. 248f. Tese (Livre-Docência). USP. São Paulo, 2011.
- Pelisser, F.; Gleize, P. J. P.; Mikowski, A. Propriedades nanomecânicas do silicato de cálcio hidratado de síntese. *Ambiente Construído*, v.9, n.42, p.129-139, 2009.
- Richard, P.; Cheyrezy, M. Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, v.25, n.7, p.1501-1511, 1995.
- Rigo, L. A. Estudo da sinergia entre nano sílica e micro sílica em argamassas para aplicação em concretos como proposta de melhoria de desempenho. 83f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). UTFPR. Pato Branco, 2016.
- Tutikian, B. F.; Isaia, G. C.; Helene, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. In: Isaia, G. C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap.36, p.1238-1325.
- Vanderlei, R. D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). USP. São Carlos, 2004.

## ***Metodologia para o projeto de um rotor eólico para instalação em turbina de baixa demanda***

*Victor Hugo Lobo Correia  
Renata Portela de Abreu  
Roberto Arruda Lima Soares*

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente a redução da dependência de combustíveis fósseis é uma preocupação mundial e energias renováveis vêm tomando cada vez mais espaço no cenário da produção energética. De acordo com AEA (2018), países da União Europeia tem o objetivo de alcançar 20% de sua matriz energética total a ser gerada a partir de fontes renováveis até 2020. Na busca por sustentabilidade, o Brasil está entre os principais ascendentes na produção de energia renovável. De acordo com MME (2015), o objetivo do governo é aumentar em 23% a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional até 2030.

No âmbito da produção de energia eólica, o Piauí tem se mostrado um produtor considerável, principalmente a nível regional, ficando atrás apenas da Bahia e do Ceará. Como exemplos do potencial piauiense na geração de energia eólica, pode-se citar o Parque Eólico Complexo Delta 1, localizado nos municípios de Parnaíba e Ilha Grande que tem uma capacidade instalada de 70MW, e o Complexo Eólico Lagoa do Barro localizado na cidade de Lagoa do Barro do Piauí que é formado por oito parques eólicos e possui uma potência instalada de 195 MW.

Seguindo essa tendência, este trabalho propõe uma metodologia para o desenvolvimento de um rotor eólico com aplicabilidade para turbinas de baixa demanda. O projeto foi realizado para o regime de vento do litoral piauiense.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a determinação das características geométricas das pás, foi utilizado um equacionamento baseado no modelo proposto por Jansen e Smulders (1977) que por sua vez, baseou-se na Teoria do Elemento de Pá para sua concepção.

Inicialmente, são estabelecidas as condições de operação da turbina: velocidade média de corrente livre ( $V_0$ ) e densidade do ar ( $\rho$ ). Para se determinar a primeira variável, foi realizada uma pesquisa no portal do INMET (2018), no qual foram obtidos dados históricos medidos de velocidade do vento do município de Parnaíba. Após fazer uma análise dos dados e extrapolando de Parnaíba para toda a região litorânea do Piauí, foi possível observar que o vento pode chegar à velocidade de até 9 m/s. Diante desta informação, estimou-se para este projeto as condições apresentadas abaixo (Tabela 1).

Tabela 1. Condições de operação da turbina

Velocidade de corrente livre - $V_0$	6,5 m/s
Densidade do ar - $\rho$	1,2829 kg/m <sup>3</sup>

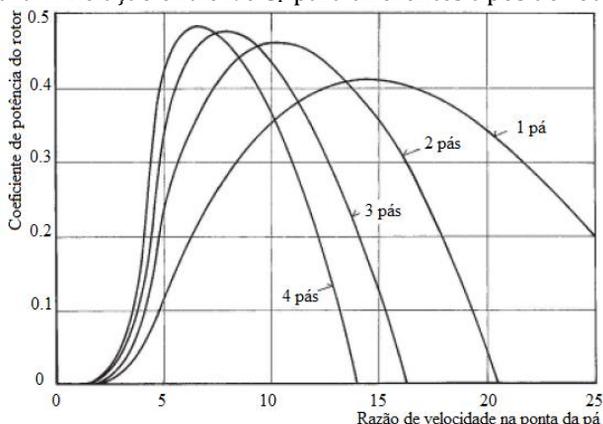
Um rotor eólico deve ser inicialmente qualificado por quatro características: potência nominal desejada, número de pás, razão de velocidade na ponta da pá e coeficiente de potência. Para este trabalho, por se tratar de uma turbina de baixa demanda, determinou-se uma potência ( $P_T$ ) de 1000 W.

Segundo Hau (2006), a potência da turbina aumenta proporcionalmente ao número de pás (B). Porém, o aumento na potência de uma turbina de quatro pás é de aproximadamente 1,5% em relação a um rotor de três pás, o que não justifica o aumento do custo do rotor causado pela adição de mais uma pá na turbina (Figura 1). Então, optou-se por um rotor de três pás.

A razão de velocidade na ponta da pá ( $\lambda$ ) é a razão entre a velocidade na ponta da pá com a velocidade de corrente livre. Já que o primeiro valor ainda não é conhecido, a razão de velocidades foi presumida através de duas considerações: a primeira é que o valor da velocidade de corrente livre é relativamente baixo e a segunda é que, de acordo com Hau (2006), uma turbina de três pás trabalha otimamente com razão de velocidade na ponta entre 7 e 8. Desta forma, estimou-se o valor 8 para a razão de velocidade na ponta da pá.

O coeficiente de potência representa a quantidade de potência extraída da turbina em relação à quantidade de potência disponível no vento. Porém, de acordo com o Hansen (2008), o coeficiente de potência é limitado pelo Limite de Betz como  $C_{Pm\acute{a}x} = 0,5926$ . Então, para este projeto, o coeficiente de potência foi determinado como  $C_P = 0,43$  através do gráfico abaixo (Figura 1).

Figura 1. Relação entre  $\lambda$  e  $C_P$  para diferentes tipos de rotores.



Fonte: Adaptado de Hau (2006).

A escolha do perfil aerodinâmico das pás foi feita através de análises da curva polar de arrasto pelo software XFRL5, que é capaz de fornecer os dados de coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) e de sustentação ( $C_L$ ) de acordo com o ângulo e ataque ( $\alpha$ ) do perfil, além da eficiência aerodinâmica ( $C_L / C_D$ ). Foram analisados os perfis NACA 0012, NACA 4418, S809 e S822, com o objetivo de obter o de melhor eficiência aerodinâmica.

De cada perfil, foi analisada a curva  $C_L / C_D \times \alpha$ , na qual é possível determinar em qual ângulo de ataque se obtém a melhor eficiência aerodinâmica. E, a partir do ângulo de ataque, são determinados os valores de  $C_L$  e de  $C_D$ . Os resultados são apresentados abaixo (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados das análises no software XFRL5

Perfil	$C_L / C_D$	$\alpha$	$C_L$	$C_D$
NACA 0012	100,240	9°	1,023	0,010
S809	121,310	4.5°	0,702	0,006
S822	132,000	3°	0,630	0,005
NACA 4418	158,418	6.5°	1,200	0,008

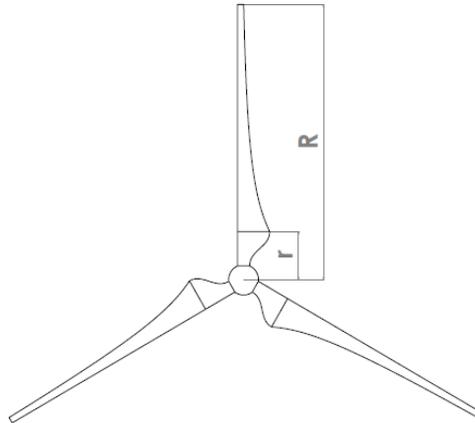
Para este trabalho, foi escolhido o perfil NACA 4418, por sua melhor relação de eficiência aerodinâmica, ou seja, o perfil aerodinâmico apresenta a maior sustentação com o menor custo de arrasto possível.

O raio do rotor é calculado de acordo com a equação 1.

$$R = \sqrt{\frac{2P_T}{\pi\rho V_0^3 C_P}} \quad (1)$$

Para a realização do projeto da pá, é necessário definir sua dimensão (Figura 2). Sendo esta, caracterizada pela distância entre o raio menor ( $r$ ), definido deste trabalho como 0,35 m e o raio maior ( $R$ ), definido pela equação acima como 2 m.

Figura 2. Dimensão de uma pá.



Partindo disto, dividiu-se a pá em vinte seções iguais, também chamadas de elementos de pá. E então, foram definidos os valores de razão de velocidade local em função do raio ( $r$ ) ao longo da pá, através da equação 2.

$$\lambda(r) = \lambda \frac{r}{R} \quad (2)$$

Em seguida, foi definido o ângulo de fluxo ( $\Phi$ ) em função do raio, que representa a devida inclinação do fluxo de corrente livre em relação ao plano do rotor, através da equação 3.

$$\phi(r) = \arctan\left(\frac{2}{3\lambda(r)}\right) \quad (3)$$

Então, de posse dos dados calculados, é possível obter os valores de corda ao longo da pá, que representa a dimensão do perfil aerodinâmico em cada seção da pá, através da equação 4.

$$c(r) = \frac{8\pi r}{BC_L}(1 - \cos \phi(r)) \quad (4)$$

E, por fim, o ângulo de passo ( $\beta$ ), que representa a devida inclinação entre o perfil da pá e o plano do rotor, é calculado por meio da equação 5.

$$\beta(r) = \phi(r) - \alpha \quad (5)$$

Desta forma, através dos cálculos realizados, foi possível obter as características geométricas das pás, de acordo com o raio, sintetizadas abaixo (Tabela 4).

Tabela 4. Características geométricas das pás

Seção	r [m]	$\beta$ [graus]	c [mm]
0	0,35	18,96	237,36
2	0,515	11,43	174,67
4	0,68	7,27	136,47
6	0,845	4,66	111,51
8	1,01	2,87	94,09
10	1,175	1,57	81,30
12	1,34	0,59	71,53
14	1,505	-0,18	63,84
16	1,67	-0,80	57,63
18	1,835	-1,31	52,52
20	2	-1,74	48,23

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a instalação da turbina considerada no projeto, considerou-se uma casa com a demanda energética apresentada abaixo (Tabela 5).

Tabela 5. Consumo energético de uma residência comum

Item	Quantidade	Consumo (W)	Total por aparelho (W)
Geladeira	1	300	300
Televisão	1	100	100
Ventilador	2	100	200
Lâmpada	5	15	75
Consumo total (W)		675	

Sabe-se que o valor da rotação da turbina é facilmente encontrado por uma relação entre o raio da turbina, a velocidade da ponta da pá e a velocidade da corrente de vento apresentada abaixo.

$$\Omega = \frac{V_o \lambda}{R} \quad (6)$$

Considerou-se que a turbina esteja acoplada a uma caixa multiplicadora com razão 1:5.5 que, por sua vez, esteja acoplada a um motor trifásico por indução de 1hp de potência e rotação nominal 1200 rpm. E então, foi possível observar que a turbina é capaz de atender uma baixa demanda.

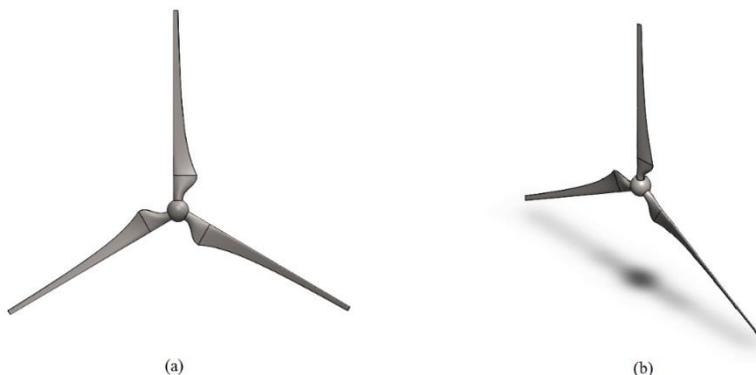
Através dos resultados obtidos com os cálculos descritos neste trabalho, foi possível desenhar em CAD a pá do rotor, apresentada abaixo (Figura 3).

Figura 3. Vista isométrica da pá.



Também, são apresentadas a seguir (Figura 4) as vistas frontal e isométrica do modelo de rotor obtido neste trabalho.

Figura 4. Vistas frontal (a) e isométrica (b) do rotor.



## CONCLUSÃO

O rotor dimensionado apresentou características finais que atendem ao nível de demanda proposta no projeto. Também, trata-se de uma tecnologia viável para solucionar problemas de regiões com difícil acesso a energia elétrica no litoral do estado do Piauí. É interessante perceber que o projeto consiste em ótima alternativa para evitar o uso de geradores a diesel, comumente utilizados nesses casos. Além disso, é notável que o rotor obtido possui dimensões consideravelmente viáveis para sua construção, de acordo com sua demanda.

Por fim, é importante ressaltar que melhorias podem ser feitas neste método. Para considerar as perdas relativas à diferença de pressão entre as superfícies anterior e posterior das pás e de velocidade antes e após o rotor, são propostas equações as quais são resolvidas por complexos métodos matemáticos. Além disso, outros fatores de perda também podem ser adicionados para melhorar a acurácia do projeto.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Piauí pela concessão de bolsas de iniciação científica ao primeiro e segundo autor.

## REFERÊNCIAS

AEA. Agência Europeia do Ambiente. Energias renováveis: a chave para um futuro da Europa com baixas emissões de carbono. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/articles/energias-renovaveis-a-chave-para>. Acesso em: 20 de maio de 2018.

Hansen, M. O. L. Aerodynamics of wind turbines. 2 ed. Earthscan, 2008. 192p.

Hau, E. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Third, translated edition. Springer, London, 2006. 888p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas\\_mensal\\_sem.php](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas_mensal_sem.php). Acesso em: 10 de maio de 2018.

Jansen, W. A. M.; Smulders, P. T. Rotor design for horizontal axis windmills. (SWD publications; Vol. 7701). Amersfoort: Stuurgroep Windenergie Ontwikkelingslanden, 1977. 55p.

MME. Ministério de Minas e Energia. Brasil terá oportunidades em investimentos com expansão das renováveis. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/> >. Acesso em: 20 de maio de 2018.

## ***Métodos para determinação do carbono orgânico em solos de Alagoas***

***Deni Rafaela Silva Barros  
Gilson Moura Filho  
Leila Cruz da Silva Calheiros  
Adriano Barboza Moura  
Érica Valéria Silva Teixeira***

### **INTRODUÇÃO**

A matéria orgânica (MO) afeta diretamente os processos biológicos do solo, pois atua como fonte de carbono (C) e nutrientes para o crescimento e desenvolvimento dos macro e microrganismos.

Durante a decomposição dos resíduos de plantas e animais, pelos organismos do solo, parte do C é reciclado para a atmosfera na forma CO<sub>2</sub> e parte é armazenado na matéria orgânica do solo (MOS). Para Resck et al. (2008) a estocagem desse elemento pela MOS, consiste no processo fundamental do sequestro de C. Como o solo desempenha uma importante função no ciclo do carbono, um ponto bastante em foco atualmente é capacitá-lo para elevar seu potencial no sequestro de C através de um sistema de manejo apropriado. Para tal, há a necessidade de manter níveis adequados de MO nesse solo. Desta forma, a correta determinação do carbono e posterior quantificação do teor de matéria orgânica do solo torna-se de extrema importância para se conhecer se este solo apresenta um teor adequado ou deficiente de MO. Dentre os principais métodos utilizados para a determinação do C no solo destacam-se as técnicas por combustão úmida (Walkley & Black modificado e Colorimetria) e por combustão seca (Análise Elementar e Gravimetria) (Yeomans & Bremner, 1988; EMBRAPA, 2009).

Vários pesquisadores vêm trabalhando na comparação desses métodos para determinação do carbono em diferentes tipos de solos sob áreas de cultivo, nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do território Brasileiro (Sampaio et al., 2012; Sato et al., 2014). No entanto, ainda existe uma necessidade de realização desses mesmos estudos em áreas de mata nativa, visto que estas representam potencial para serem cultivadas futuramente. Nesse contexto, como o território do Estado de

Alagoas apresenta uma grande diversidade de classes de solos, dos mais pobres (Neossolos) aos mais ricos (Organossolos) em MO, localizados em áreas não antrópicas, torna-se o local ideal para dar início aos estudos de comparação de métodos de determinação de C do solo em áreas de mata nativa.

Visando a necessidade de estudos do teor de carbono em áreas de mata nativa. Este trabalho teve como objetivos determinar os teores de carbono e matéria orgânica do solo por diferentes métodos; aplicar estatística descritiva aos dados; correlacionar os métodos e determinar a semelhança ou diferença entre os métodos alternativos com o Analisador Elementar e Walkley e Black modificado, por meio do teste estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram coletadas quarenta e oito amostras compostas de solo na profundidade de 0 – 20 cm em locais de mata nativa, em municípios das regiões Litorânea, Agreste e Sertão do Estado de Alagoas, com auxílio de um trado holandês de aço inox. Sendo uma amostra composta o resultado da junção de 10 amostras simples. As amostras foram identificadas e secas a 30°C em estufa de ventilação forçada de ar por quatro dias. Em seguida foram passadas em peneira de 10 mesh e acondicionadas em sacos plásticos para posterior realização das análises.

A determinação do carbono do solo pelos diferentes métodos foi realizada no Laboratório de Nutrição de Plantas do CECA-UFAL e no Laboratório Multifuncional da Unidade de Execução de Pesquisa da Embrapa Tabuleiros Costeiros em Rio Largo - AL, utilizando três repetições. Os métodos adotados foram: Walkley e Black modificado (EMBRAPA, 2009), Colorimétrico (Sato et al., 2014), Gravimétrico ou perda de massa por ignição (Carmo & Silva, 2012) e Análise elementar (CNHS) (Sato et al., 2014).

Os dados foram submetidos ao procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) a 1% de probabilidade, o qual avalia a identidade de métodos analíticos, comparando duas variáveis dependentes quantitativas, resultando na combinação de três testes: o teste F(H0) de Graybill, teste t para o erro-médio ( $\bar{t}\bar{e}$ ) e o teste da análise do coeficiente de correlação linear ( $r_{y_j y_1}$ ) em comparação ao erro-médio (Leite & Oliveira, 2002). Avaliou-se os resultados também via análise estatística descritiva e por meio dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e correlação ( $r_{y_j y_1}$ ) da curva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes a análise descritiva dos teores de carbono orgânico (CO) determinados pelos métodos Walkley & Black modificado, Gravimétrico, Análise Elementar (CNHS) e Colorimétrico, são apresentados na Tabela 1. Em relação ao método de referência (CNHS) os métodos Walkley e Black modificado e Colorimétrico, tenderam a subestimar os teores de CO em 16,27 e 55,44%, respectivamente. Para Silva et al. (1999), essa subestimação de teores de C ocorre porque o  $K_2Cr_2O_7$  possui baixa capacidade de oxidar formas de C mais estáveis/recalcitrantes. Assim as formas protegidas por frações minerais, tais como parte da humina, C inorgânico, carbonatos e carvão, são atacadas apenas parcialmente durante a digestão ácida (Silva et al., 1999; Segnini et al., 2008; Coser et al., 2012).

Como observado na Tabela 1, os altos valores para os coeficientes de variação ( $CV > 150\%$ ) indicam que os teores de CO, apresentam elevada heterogeneidade tendo em vista à alta variabilidade ambiental das amostras de solo coletadas. Neste sentido, os dados não apresentaram distribuição normal, conforme constatado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

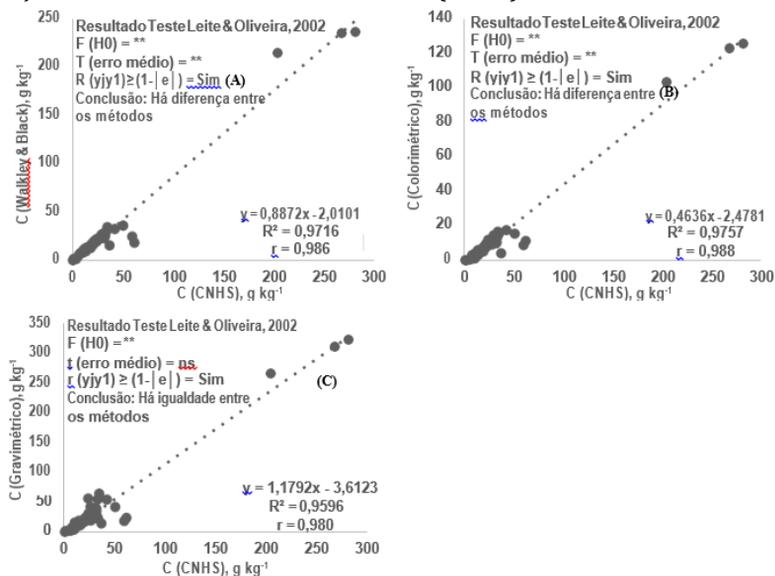
Tabela 1. Valores mínimo (Mín), máximo (Máx), média, mediana (Md), desvio padrão (s), coeficientes de variação (CV), assimetria (CAss), curtose (CCurt) e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) dos teores de carbono do solo obtidos por diferentes métodos

Métodos	Valores		Média	Md	s	Coeficientes			K-S
	Mín	Máx				CV	CAss	CCurt	
C WB modificado	0,61	236,07	30,77	18,17	52,38	170,23	3,58	11,81	0,3958*
C Gravimétrico	0,29	324,13	39,95	19,59	70,05	175,34	3,51	11,58	0,3917*
C CNHS	0,60	281,81	36,94	21,48	58,19	157,53	3,54	12,12	0,3403*
C Colorimétrico	0,10	125,58	14,65	8,05	27,31	186,42	3,60	12,11	0,3547*

Nota: \*significativo a 5% de probabilidade.

Os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e correlação (r), assim como também as equações da reta e os resultados do teste de Leite e Oliveira (2002) para as comparações dos métodos analíticos de determinação de carbono, utilizando como método padrão o CNHS, encontram-se na Figura 1.

Figura 1. Comparação dos teores de carbono determinados por meio dos métodos Walkley e Black modificado, Colorimétrico e Gravimétrico, em função do método de Análise Elemental (CNHS).



No caso das relações entre os métodos Walkley e Black modificado e Colorimétrico em função da Análise Elemental (Figuras 1A e 1B), tem-se, respectivamente, os valores de  $F(H_0) = 24,26^{**}$  e  $1878,12^{**}$ , significativos a 1% de probabilidade, dessa maneira  $b_0$  e  $b_1$  são diferentes de 0 e 1, ou seja, os teores de carbono para os métodos alternativos em função do padrão não são coincidentes. Em relação ao teste do erro médio através do valor de  $t_{\bar{e}}$ , obteve-se  $t_{\bar{e}} = -6,19^{**}$  e  $-38,05^{**}$ , significativos a 1% de probabilidade, indicando que as diferenças entre os métodos testados não são causadas aleatoriamente. Por fim, valores de 0,843 e 0,344 foram encontrados nas expressões  $(1 - | - 0,1567 |)$  e  $(1 - | - 0,6557 |)$ , que são menores que as correlações  $r_{y_1} = 0,986$  e  $r_{y_2} = 0,988$ . Ambos os resultados (Figura 1A e 1B) se enquadram no caso 7 do teste de identidade de modelos de Leite e Oliveira (2002), ou seja, não se constatou identidade entre os métodos alternativos e o método padrão.

Muito embora não tenha sido detectado identidade estatística entre os métodos Colorimétrico e CNHS (Figura 1B) pelo teste de Leite e Oliveira (2002), a determinação de C por oxidação com dicromato de

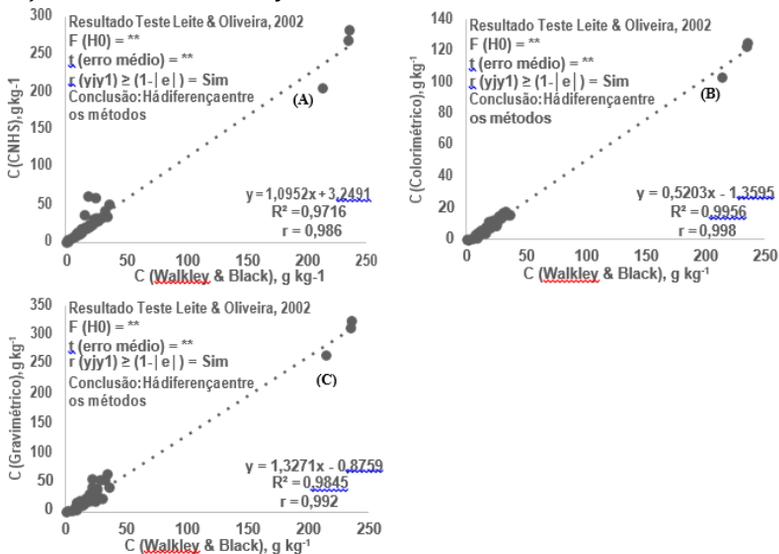
sódio (Na) possui viabilidade de uso, quando se analisa, os altos coeficientes de determinação ( $R^2=0,956$ ) e correlação ( $r=0,988$ ) existentes na comparação entre os métodos alternativo e padrão (CNHS).

Analisando a comparação entre o método Gravimétrico e o CNHS (Figura 1C), observa-se um valor de  $F(H_0)=13,67^{**}$ , significativo a 1% de probabilidade, indicando que  $b_0$  e  $b_1$  são diferentes de 0 e 1, sendo, portanto, os teores de C determinados pelos dois métodos diferentes. Obteve-se o valor de  $t\bar{e}=0,39ns$ , não significativo. Além disso, um valor de 0,977 foi encontrado para a expressão  $(1 - |0,0231|)$ , que é menor que a correlação  $r_{y1} = 0,980$ . Os resultados se enquadram no caso 5 do teste de Leite e Oliveira (2002). Isso indica que os métodos de determinação de carbono do solo (Perda de Massa por Incineração e CNHS) proporcionaram resultados estatisticamente semelhantes, ou seja, há identidade entre os métodos, de acordo como teste de Leite e Oliveira (2002).

Os valores dos coeficientes de determinação e correlação, bem como as equações da reta e os resultados do teste de Leite e Oliveira (2002) para as comparações dos métodos analíticos de determinação de carbono, utilizando como método padrão o Walkley e Black, encontram-se na Figura 2.

Para as situações observadas (Figura 2A, 2B e 2C) tem-se o teste F de Graybill [ $F(H_0)$ ] com valores de 15,29\*\*, 6320,95\*\* e 114,46\*\*, respectivamente, significativos a 1% de probabilidade. Com isso pode-se concluir que  $b_0$  e  $b_1$  são diferentes de 0 e 1, respectivamente, ou seja, os teores de carbono do solo determinados pelos métodos alternativos em função do padrão (Walkley & Black modificado) são diferentes. Com relação ao teste t para o erro médio ( $t\bar{e}$ ) foram encontrados os seguintes valores: 4,27\*\*, -32,86\*\* e 3,56\*\*, significativos a de 1% de probabilidade, indicando que as diferenças entre os métodos testados não são causadas aleatoriamente. Finalizando, tem-se os valores 0,736, 0,412 e 0,785 que correspondem aos resultados das expressões  $(1 - |0,2642|)$ ,  $(1 - |-0,5882|)$  e  $(1 - |0,2148|)$ , que são menores que os coeficientes de correlação  $r_{y1} = 0,986$ ,  $r_{y1} = 0,988$  e  $r_{y1} = 0,992$ .

Figura2. Comparação dos teores de carbono determinados por meio dos métodos, Análise Elemental (CNHS), Colorimétrico e Gravimétrico, em função do método Walkley e Black modificado.



Dessa maneira, pode-se concluir por meio destes resultados que ambas as situações se enquadram no caso 7 do teste de identidade de modelos analíticos de Leite e Oliveira (2002), em que os valores de  $F(H_0)$  e  $t$  são significativos a um nível  $\alpha$  de probabilidade e o coeficiente de correlação é maior que  $1 - |e|$ , isso implica afirmar que os métodos alternativos de determinação de carbono do solo (Análise Elemental, Colorimétrico e Gravimétrico), quando comparados ao método de padrão (Walkley & Black modificado), proporcionaram valores estatisticamente diferentes, de acordo com o teste de Leite e Oliveira (2002) a 1% de significância, ou seja, não foi observada semelhança entre os métodos Análise Elemental, Colorimétrico e Gravimétrico e o método Walkley e Black modificado.

Embora não tenha sido observada identidade na comparação entre os demais métodos, nota-se elevados valores para seus coeficientes de determinação e correlação indicando a possibilidade de utilização de métodos mais viáveis ambiental e financeiramente em análises laboratoriais.

O método Colorimétrico apresenta altas correlações com os métodos CNHS e Walkley e Black modificado, sendo possível sua utilização em análises de rotina.

## CONCLUSÃO

Os métodos Walkley e Black modificado e Colorimétrico tendem a subestimar os teores de carbono, enquanto o Gravimétrico tende a superestimar, comparativamente a Análise Elementar.

O método Gravimétrico apresentou identidade com a Análise Elementar, podendo ser utilizado para determinação de carbono total em amostras de solo.

O método Colorimétrico apresenta altas correlações com os métodos CNHS e Walkley e Black modificado, sendo possível sua utilização em análises de rotina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carmo, D. L do; Silva, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.4, p.1211–1220, 2012.

Coser, T. R. et al. Recuperação de carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo, sob consórcio milho-forrageiras, no Cerrado. *Bioscience Journal*, v.28, p.91–97, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

Leite, H. G.; Oliveira, F. H. T de. Statistical procedure to test identity between analytical methods. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.33, n.7 e 8, p.1105–1118, 2002.

Resck, D. V. S. et al. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: In: Santos, G. de A.; Silva, L. S da; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.359–417.

Sato, J. H. et al. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soil. *Scientia Agricola*, v.71, n.4, p.302–308, 2014.

Sampaio, T. F. et al. Comparação entre métodos para determinação de carbono orgânico em amostras de solo mensuradas por volume ou massa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.517–523, 2012.

Segnini, A. et al. Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). *Química Nova*, v.31, n.1, p.94–97, 2008.

Silva, A. C.; Torrado, P. V.; Abreu Junior, J de. S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. *Revista da Universidade de Alfenas*, v.5, p.21–26, 1999.

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. Carbono orgânico total. In: Mendonça, E. de S.; Matos, E. da S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: UFV: Editora Ltda, 2005. p.7-13.

## ***Modelagem em elementos finitos de ensaio de resistência ao colapso de tubo internamente desgastado***

***Gustavo Teixeira da Silva  
Lucas Pereira de Gouveia  
Eduardo Toledo de Lima Junior***

### **INTRODUÇÃO**

Ao longo de todos os processos pertinentes a vida útil de um poço de petróleo, o desgaste mecânico do sistema de revestimento se faz presente. Este problema é ocasionado, quase que em sua totalidade, pela rotação ou deslizamento da coluna de perfuração. O fenômeno do desgaste é originado pela fricção entre o revestimento e as juntas de conexão (*tool joints*) dos tubos de perfuração que compõem a coluna de perfuração, provocando a perda de espessura da parede dos tubulares, favorecendo a diminuição da resistência mecânica do revestimento às solicitações, muitas vezes combinadas, podendo induzi-lo ao colapso.

O desgaste no revestimento gera uma concentração elevada de tensões, por isso torna-se importante o conhecimento deste fenômeno, bem como as suas causas em elementos estruturais com tubulares de revestimentos de poços de petróleo, como o colapso. De acordo com Timoshenko e Gere (1936), o fenômeno de colapso é entendido como a transição entre um comportamento de estabilidade para uma condição repentina de instabilidade do material sujeito a esforços que os levam a essa condição.

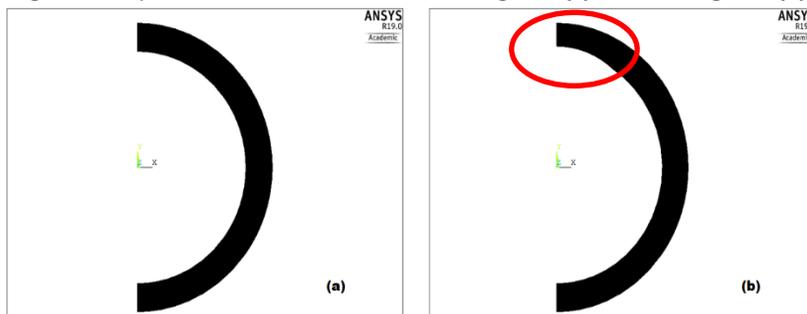
O presente trabalho busca uma avaliação numérica da resistência ao colapso de um modelo experimental representado por um tubo de revestimento *high collapse* internamente desgastado, ensaiado por Moreira Junior (2009). Propõe-se a modelagem numérica via Método dos Elementos Finitos (MEF), em Estado Plano de Tensões, de uma situação de ensaio em câmara hiperbárica, no qual o tubo é engastado em apenas uma das extremidades aplicando-se uma pressão hidrostática ao longo de toda a parede externa.

## MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho a modelagem numérica é executada em Estado Plano de Tensões, representado pela seção transversal do tubo. As simulações são executadas pelo *software* ANSYS *Mechanical* APDL, versão acadêmica 19.0. Considerando-se a simetria presente no tubo, e visando o menor custo computacional, modela-se apenas metade da seção transversal, sem desgaste (Figura 1a) e com desgaste destacado pelo círculo em vermelho, vide (Figura 1b).

O tubo com grau de aço V-140 HC ensaiado por Moreira Junior (2009) é objeto desta discussão. Este tubo é dividido em 3 porções (pé, meio e ponta), em que o desgaste é usinado apenas nas porções referentes ao pé e meio do tubo, sendo então a ponta representativa do tubo sem desgaste.

Figura 1. Seção transversal do tubo sem desgaste (a) e com desgaste (b).



As informações do referido tubo são listadas na Tabela 1, na qual D representa o diâmetro externo, t é a espessura e D/t o índice de esbeltez. Apresentam-se os valores nominais das variáveis, bem como os valores medidos no espécime ensaiado, via perfilagem ultrassônica.

Tabela 1. Informações do tubo V-140 HC

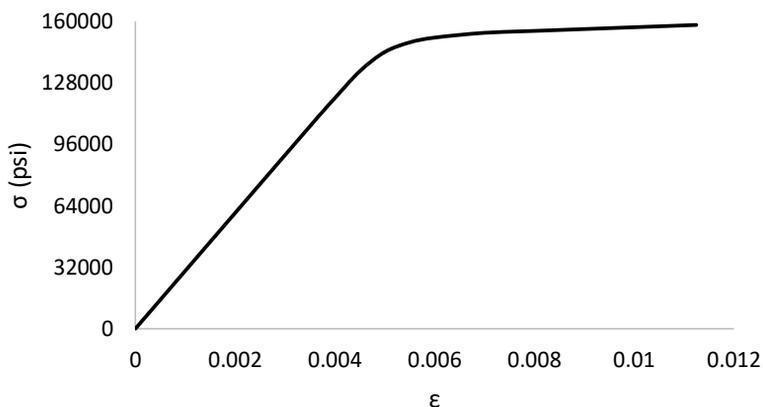
Grau do Aço	Porção do Tubo	D	D (pol)	t	t (pol)	D/t	D/t
		(nominal) (pol)		(nominal) (pol)		(nominal)	
V-140 HC	Pé		10,815		0,822		13,075
	Meio	10,75	10,822	0,80	0,816	13,48	13,174
	Ponta		10,826		0,828		12,986

Fonte: Moreira Junior (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

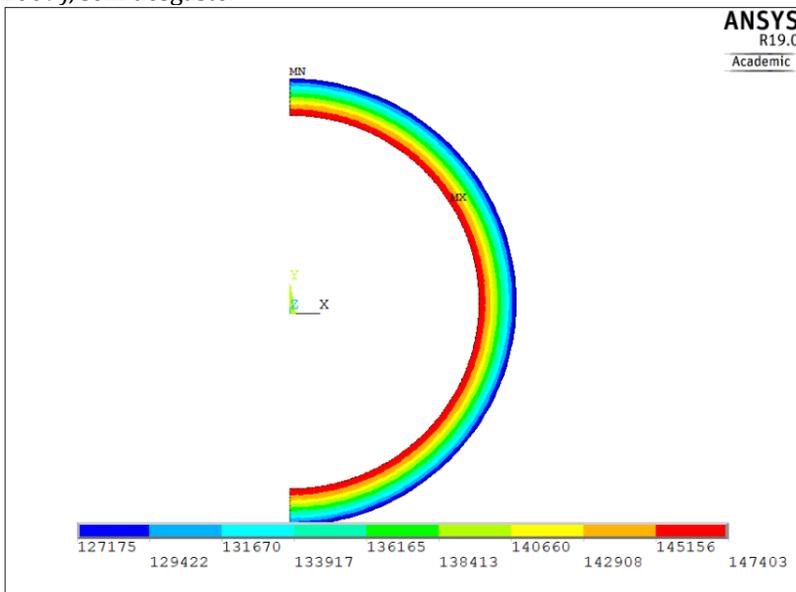
O aço do tubo possui tensão de escoamento de 140000 psi e tensão de ruptura de aproximadamente 158100 psi, obtidos experimentalmente, conforme ilustrado na Figura 2. Este modelo constitutivo é considerado na modelagem, de forma a reproduzir fielmente o comportamento do material do ensaio.

Figura 2. Gráfico tensão-deformação para o aço ensaiado por Moreira Junior (2009).



O autor obteve experimentalmente outras propriedades do aço como o módulo de elasticidade no valor de  $3,01 \cdot 10^7$  psi e coeficiente de Poisson igual a 0,29. Aplicando-se no modelo sem desgaste (porção da ponta do tubo), a pressão de colapso de 21929 psi, obtida experimentalmente, gera-se uma tensão equivalente de von Mises de aproximadamente 147403 psi na parede interna, como ilustrado pela Figura 3, indicando que o tubo falha no regime plástico de colapso. Comparando esse tubo com um tubo de grau API (*American Petroleum Institute*) similar (mesma esbeltez da seção transversal), de resistência ao colapso de 17957,1 psi segundo a formulação contida na norma API/TR 5C3 (2008), o ganho de resistência é de 18,11%. O grau API de um tubo consiste na classe de resistência do aço que o tubo é feito.

Figura 3. Nível de tensão na parede interna do tubo de Moreira Junior (2009), sem desgaste.



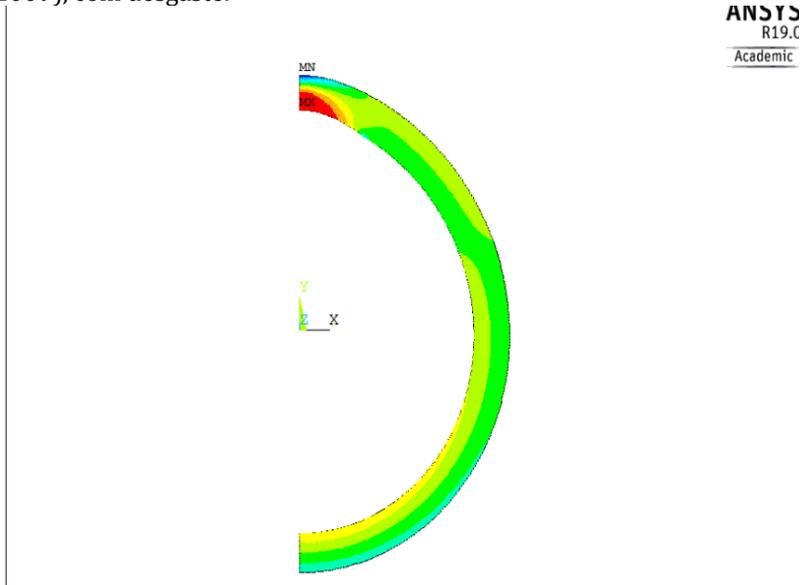
O mesmo é feito para as porções do tubo que consideram o desgaste, a exemplo da porção intermediária do revestimento, aplicando-se uma pressão externa de 17970 psi obtida no ensaio de Moreira Junior (2009), gerando uma tensão equivalente de von Mises na região do desgaste de 156486 psi, como mostrado na Figura 4. Note que para o tubo íntegro, as tensões geradas se distribuem axissimetricamente ao longo da parede do tubo. Já para o tubo desgastado, o vértice da região de desgaste atua como um concentrador de tensões. Todos os valores de tensão alcançados via simulação numérica, relacionados a seus desgastes médios e pressões externas aplicadas, são listados na Tabela 2. Nota-se que todos os níveis de desgaste usinados medidos permanecem menores que os 20% pretendido pelo autor.

Tabela 2. Pressões aplicadas e tensões alcançadas na simulação numérica

Porção do Tubo	Desgaste (pretendido)	Desgastes Médios (medidos)	P (psi)	$\sigma$ (psi)
Pé	20%	16%	17666	158022
Meio		14%	17970	156486
Ponta		0%	21929	147403

Para as porções do tubo que consideram o desgaste, as tensões não ultrapassaram a tensão última de 158091,1 psi, porém foram superiores à tensão de escoamento do aço em questão, adentrando na região de plasticidade do material, assim como o nível de tensão obtido para o tubo sem desgaste. Isso mostra que os revestimentos *high collapse* possuem uma reserva de resistência considerável mesmo se encontrando na região plástica de falha.

Figura 4. Nível de tensão na parede interna do tubo de Moreira Junior (2009), com desgaste.



## CONCLUSÃO

Observa-se que a abordagem sobre o colapso de tubulares de revestimentos é de grande importância em projetos de poços de

petróleo, para garantir a sua integridade mecânica. Para o tubo modelado sem desgaste, nota-se que o mesmo falha em regime plástico, portanto a tensão equivalente de von Mises na parede do tubo se mostra acima da tensão de escoamento. Este mesmo tubo, quando comparado com o tubo API de mesma esbeltez da seção transversal, possui uma resistência ao colapso cerca de 18% maior, mostrando que o tubo em questão é de alta resistência. Para o tubo sem desgaste, as tensões se distribuem axissimetricamente ao longo da parede do tubo. Já para o tubo desgastado, a região de desgaste comporta-se como um concentrador de tensões. Para ambos os tubos as tensões não ultrapassaram a tensão última do aço, porém foram superiores à tensão de escoamento, indicando que há plastificação do material. Isso mostra que os revestimentos *high collapse* possuem uma reserva de resistência considerável, mesmo na região plástica.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao CENPES/PETROBRAS pelo apoio para que esta pesquisa se tornasse possível.

### **REFERÊNCIAS**

- API. American Petroleum Institute. API/TR 5C3. Technical report on equations and calculations for casing, tubing, and line pipe used as casing or tubing. 1 ed. Washington, D.C., 2008.
- Moreira Junior, N. Análise experimental e numérica da resistência ao colapso dos tubos de revestimentos sob desgaste interno. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reservatório e de Exploração). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Macaé, 2012.
- Timoshenko, S.; Gere, J. M. Theory of elastic stability. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, p.222-224, 1936.

***NDVI no estudo da área impactada pelo rompimento da barragem de fundão em Mariana-MG***

***Iarla Leticia Felipe Mendes  
Giovana Mira de Espindola***

**INTRODUÇÃO**

Medidas de combate ao uso indiscriminado de recursos naturais e diminuição dos danos causados por atividades humanas vêm ganhando evidência em discussões no meio político, científico e social. Essas medidas de prevenção chamam mais a atenção quando regiões urbanizadas ou de grande importância biológica são sujeitas a acidentes ambientais de grandes proporções, resultado, em alguns casos, de instalações precárias ou falta de manutenção preventiva.

Quando há falhas na fiscalização, gestão dos ricos ou nos planos de prevenção de catástrofes, entra em cena o monitoramento de causas e consequências. De grande valor e urgente necessidade, esse monitoramento inicia com a delimitação das áreas impactadas, indicando os locais que foram afetados, ou que ainda poderão ser, refletindo diretamente no custo dos processos de recuperação do dano ambiental e auxiliando na tomada de decisões.

É nesse contexto que cresce o uso das geotecnologias. As técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), vêm sendo utilizados no mapeamento de alterações ambientais por disponibilizar um panorama conjunto de grandes áreas, com revisitas em intervalos temporais regulares. Baptista (2010) destaca que “Os Sistemas de Informação Geográfica, pela multiplicidade de informação que conseguem reunir, são uma ferramenta fundamental na gestão de catástrofes naturais e no apoio aos planos de emergência”.

O uso dos SIG's pode auxiliar de forma preventiva ou remediava, como em casos aplicados no monitoramento de barragens ou no mapeamento de tragédias causadas por elas por exemplo, sendo este último abordado nesse trabalho.

O vigor da vegetação, ou a falta dela, pode ser um bom indicativo das áreas impactadas pelo acidente. Índices de vegetação, entre eles o

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, do inglês Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), podem ser utilizados para demonstrar o comportamento da vegetação. Esse índice se baseia principalmente nas propriedades de reflectância da vegetação verde na região do vermelho e infravermelho próximo, e “pode ser analisado por valores obtidos em diferentes datas, que permitem avaliar a variação da área verde em certo período de tempo” (Zanzarini, 2013).

Outra técnica relevante é o uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT), que possuem grande importância em um mapeamento prévio de possíveis danos causados no rompimento de uma barragem visto que torna possível traçar o sentido do escoamento superficial, de modo a permitir simular no caso de um possível rompimento as regiões que serão atingidas, sendo de grande importância em sua fase de instalação.

Um acidente ambiental de grandes proporções que ganhou grande visibilidade foi o rompimento da Barragem do Fundão no Subdistrito de Bento Rodrigues em Mariana/MG em 5 de novembro de 2015, que ocasionou uma enxurrada de lama e rejeitos de mineração. O Governo do Estado de Minas Gerais (2016) divulgou que a catástrofe provocou destruição, deixando 17 mortos, mais de 600 pessoas desabrigadas e desalojadas, milhares de pessoas sem água e gerou ainda graves danos ambientais e socioeconômicos a toda a Bacia do Rio Doce.

Posto isso, este trabalho se propõe analisar a espacialidade do acidente de modo que a metodologia aqui aplicada, unida a outras ferramentas, possa auxiliar no processo de delimitação das áreas impactadas.

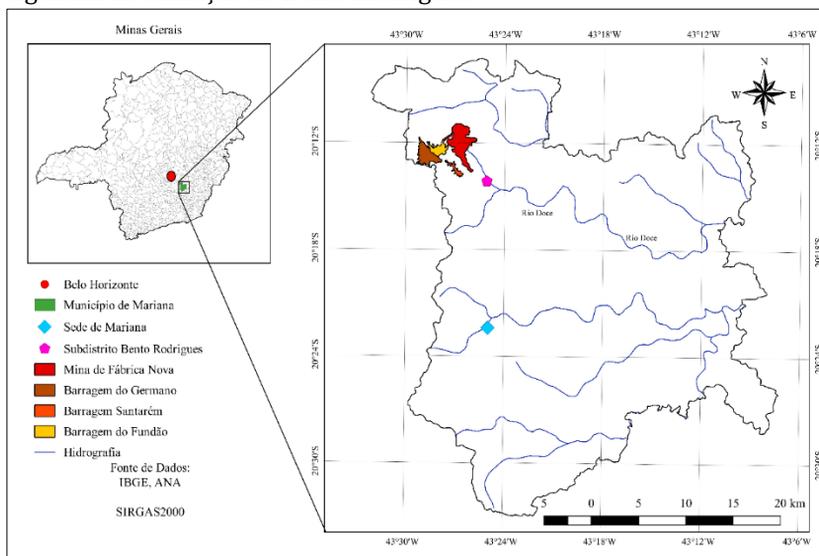
## **MATERIAL E MÉTODOS**

Localizado na área central de Minas Gerais, o município de Mariana, de área aproximadamente 1.194 km<sup>2</sup> e população estimada em 2015 de 58.000 (IBGE, 2015), em 5 de novembro de 2015 presenciou a maior tragédia de sua história, o rompimento da Barragem de Fundão, no subdistrito Bento de Rodrigues. Fundão faz parte do complexo da Mina de Fábrica Nova, junto com as Barragens de Germano e Santarém, ambas da Mineradora Samarco (controlada pela Vale e BHP Billiton).

Bento Rodrigues é um subdistrito de Santa Rita Durão e encontra-se a 35 km do centro de Mariana e a 124 km de distância da capital do Estado, Belo Horizonte, caracterizada pela intensa extração mineral.

Na Figura 1, que segue, é possível notar a proximidade de Bento Rodrigues ao complexo de barragens de rejeitos de mineração da Mina de Fábrica Nova.

Figura 1. Localização de Bento Rodrigues.



Um fator determinante para a proporção da tragédia foi a distribuição altimétrica da região. Para esta análise, foi usada uma a Carta SF-23-X-B do estado de Minas Gerais com o Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM com resolução espacial de 90m. As cartas estão disponíveis para download gratuito no site da EMBRAPA onde é possível encontrar a cobertura de todo país (<https://www.cnpemembrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>).

A exibição dos dados altimétricos foi possível com o uso do Software QGIS, a partir da renderização tipo banda simples falsa-cor, onde é atribuído um gradiente de cor que representa respectivos valores de elevação dentro da região imageada.

Após esta análise complementar que demonstra o relevo da região, partiu-se para a análise temporal do verdor vegetativo, de modo a evidenciar a espacialidade do acidente no subdistrito a partir da distribuição da vegetação. Para tanto foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8, obtidas gratuitamente via United States Geological Survey (USGS) pelo programa EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), relativas aos dias 11/10/2015 (anterior ao acidente) e 12/11/2015 (posterior ao acidente).

O cálculo do NDVI é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (visível - vermelho) dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas (Rouse et al., 1973). O resultado varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Na faixa espectral do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam altas reflectância da energia solar incidente. Quanto maior, portanto, o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada e a combinação destas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens, sendo que neste princípio se baseiam os índices de vegetação (Lourenço & Landim, 2004).

O processamento das imagens para cada uma das datas estudadas, foi realizado na ferramenta “calculadora raster” do software QGIS a partir da equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (1)$$

Onde: IVP: fator reflectância bidirecional no infravermelho próximo (banda 5 do Landsat 8); V: fator de reflectância bidirecional no vermelho (banda 4 do Landsat 8);

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

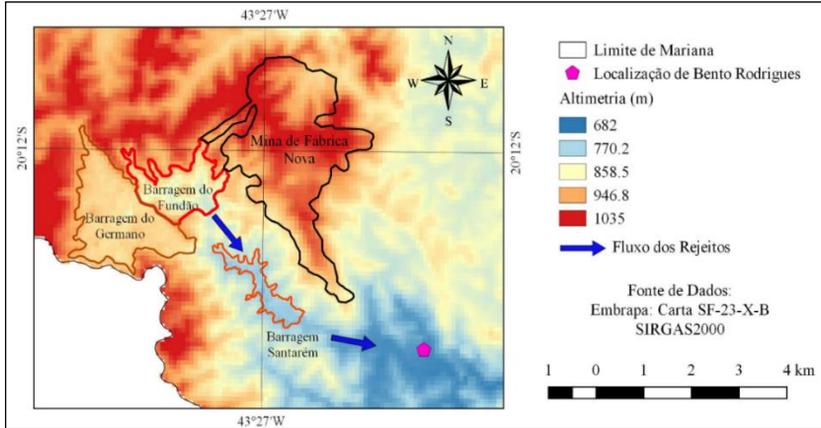
Em uma análise complementar quanto o entorno de Bento Rodrigues foi possível gerar o Mapa de Declividade (Figura 2) que demonstra a formação do relevo da região, elucidando os altos e baixos do entorno das barragens.

Através da Figura 2 é possível perceber a diferença de altitude entre o subdistrito de Bento Rodrigues, integrante de uma região de menores altitudes ilustrada em azul escuro (682m), a Mina, que está localizada na região mais alta do mapa, ilustrada em um vermelho intenso (1035m) e as Barragens, estas de altitudes variando entre 770,2m e 946,8m, ambas de maiores altitudes que a do subdistrito.

Com o rompimento da Barragem de Fundão, uma correnteza de rejeitos seguiu para as áreas mais baixas, envolvendo a Barragem de Santarém (que inicialmente tinham suposições de seu rompimento, descartados pela Samarco) seguindo na direção de Bento Rodrigues. Essa formação natural do relevo pode ter relação com a intensidade e a

rapidez que ocorreu a catástrofe, visto que a diferença de nível, vindo através do mapa, pode ser superior a 250m.

Figura 2. Mapa de Declividade.



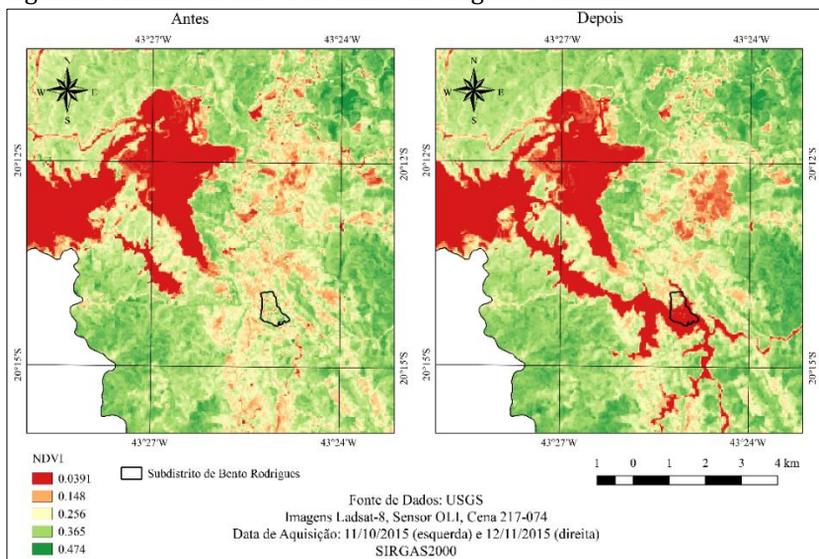
Feito esta análise prévia, o mapa de NDVI do antes e depois, pode nos demonstrar a proporção do acidente através de uma análise temporal, em um intervalo de um mês conforme ilustra a Figura 3.

A Figura 3 mostra os mapas das imagens processadas referente aos cálculos de NDVI, para os dois períodos estudados, antes e depois do rompimento. Verifica-se em ambas imagens regiões com alto valor de NDVI (0,474) devido a apresentação de vegetação nativa ou uma área de vegetação mais densa.

Uma área com vegetação menos densa cobre grande parte da área estudada com NDVI = 0,365. Nas duas imagens também são observados valores de NDVI próximos de 0,256 que representam regiões com pouca vegetação e próximos de 0,148 regiões de solo exposto ou parcialmente exposto.

Nas imagens é possível perceber regiões em um vermelho bem intenso (NDVI = 0,0391) e com uma espacialidade bem definida, essas áreas compreendem o complexo de barragens e a Mina e outras regiões edificadas, seu baixo NDVI se dá ao fato de nesses locais não haver vegetação.

Figura 3. Análise do NDVI de Bento Rodrigues e entorno.



## CONCLUSÃO

O estudo do relevo do subdistrito de Bento Rodrigues, realizado utilizando os dados altimétricos contidos nas imagens SRTM, possibilitou a geração de documentos cartográficos relevantes para análise da influência da distribuição altimétrica na proporção da tragédia.

Ao analisarmos o mapa comparativo do NDVI anterior e posterior ao rompimento da barragem o que mais chama atenção, é o crescimento da região em vermelho quando comparados o antes e depois. A localização de Bento Rodrigues passou a ser caracterizada por uma região de baixo NDVI, e com uma maior e bem mais definida espacialidade, que representa o quanto a lama tomou todo o subdistrito.

As informações adquiridas pelo SIG a partir do cálculo do NDVI podem auxiliar no conhecimento da situação ambiental da região estudada, apoiando nas decisões a serem tomadas no intuito de controlar e corrigir problemas ambientais causados pela catástrofe. Assim, o mapeamento temático de uma região através com a utilização de SIG's se torna uma ferramenta importante na criação de bases para ações e estudos posteriores.

Mesmo fazendo-se necessário um estudo *in locu* para confirmar os resultados obtidos, eles se mostram bastante favoráveis para análise do acidente. Apresentaram com eficiência as áreas possivelmente

impactadas, além de demonstrar de forma visual bastante compreensível para a sociedade, seja gestor, cientista ou a população em geral. O usuário conseguirá entender facilmente as informações demonstradas graças as técnicas de SIG empregadas na metodologia.

## **REFERÊNCIAS**

Baptista, L. SIG e os desastres naturais. Territórios Digitais, v.2, n.8, p.10-11, 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Cidades. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314000&search=minas-gerais|mariana|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

Gonçalves, F. A. F.; Brantes, H. de A. Mapeamento temático para suporte à tomada de decisão: Bacia do Rio Doce após rompimento da Barragem de Fundão. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2016

Lourenço, R. W.; Landim, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. *Holos environment*, v.4, n.1, p.38-55, 2004.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão. Mariana. MG. 2016. p.6.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Tecnology Satellite 1 Symposium*, 3, 1973. *Proceedings...* Washington, 1973, v.1, Sec. A, p.309-317.

Zanzarini, F. V. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.6, p.608-614, 2013.

## ***Produção de enzimas amilolíticas por *Aspergillus niger* em fermentação no estado sólido utilizando bagaço de malte***

***Renan Carlos Freitas de Lima  
Iara Rebouças Pinheiro***

### **INTRODUÇÃO**

A partir do século XX, com as leis de legislação ambiental e fiscalização mais severa, as grandes empresas agroindustriais estão tomando ciência da importância do descarte consciente e responsável de seus resíduos (Santaella et al., 2014). Uma das alternativas para o correto descarte dos resíduos é o reaproveitamento destes para obtenção de novos produtos. Casca de café, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de mandioca e bagaço de malte de cevada, são exemplos de subprodutos, de baixo valor comercial, que têm grande potencial para reutilização como insumos na produção de energia e produtos de interesses.

A indústria cervejeira no Brasil cresce a cada ano e se destaca no cenário mundial. Segundo Marcusso e Miller (2017), o Brasil nos últimos anos vem desenvolvendo um enorme papel dentre os maiores produtores de cerveja global, chegando, em 2016, na marca de 138 milhões de hectolitros e se tornando o terceiro maior produtor mundial. A produção de resíduo na indústria cervejeira é alta, atingindo cerca de 1/5 na proporção de quilo de bagaço de malte por litro de cerveja produzido (Mussatto & Roberto, 2016), tornando-o, assim, um rejeito atrativo para estudo.

Segundo Pandey (1991), o termo fermentação em estado sólido (FES) é caracterizado pela fermentação de microrganismos sobre ou dentro de partículas de uma matriz sólida, tendo condições de umidade necessária para que ocorra o desenvolvimento e crescimento celular no meio fermentativo.

Destaca-se na FES, do ponto de vista industrial, a possibilidade de emprego de resíduos abundantes e de baixo custo, como substratos para geração de produtos de maior valor agregado (Raimbout, 1998; Santos, 2007; Maciel, 2006).

As enzimas são produtos da FES e por sua vez são amplamente aplicadas na indústria. As enzimas amilolíticas hidrolisam o amido em cadeias menores de glicoses e são aplicadas em processos industriais como na indústria têxtil, indústria de papel, alimentos, bebidas entre outros. Com a finalidade de baratear os processos e resolver os problemas ambientais de legislação, esse tipo de enzima está cada vez mais substituindo reagentes químicos nocivos, que causam tantos problemas ambientais e danos aos equipamentos industriais.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo o estudo da fermentação em estado sólido, utilizando bagaço de malte para produção de amilases por *Aspergillus niger*.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Substrato e suporte**

O bagaço de malte foi obtido a partir de cervejeiros artesanais da cidade de Alegre – ES. Foi congelado e armazenado a -18°C. O preparo a FES foi realizado por secagem à 60°C durante 24 horas e o resíduo seco foi triturado, peneirado (12 mesh) e armazenado em recipiente fechado à temperatura ambiente. Caracterizou-se o bagaço de malte conforme sua composição centesimal (fibra, proteína, carboidrato, lipídio, cinzas e umidade) de acordo com as técnicas apresentadas pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

O suporte utilizado na fermentação foi o bagaço de cana, cedido pela Usina Paineiras (Itapemirim-ES). Este foi triturado e peneirado para ajuste da granulometria em 10 mesh.

### **Microrganismo**

O fungo empregado foi o *Aspergillus niger*, isolado pelo Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Doenças e Pragas (NUDEMAFI), da UFES. Foi preservado em meio sólido composto de em bagaço de malte e bagaço de cana-de-açúcar.

### **Fermentação em estado sólido**

Inicialmente pesou-se as proporções pré-definidas de substrato (bagaço de malte) e suporte (bagaço de cana-de-açúcar) totalizando 10 gramas. Adicionou-se, então, os nutrientes necessários e autoclavou por 20 minutos à 120°C. Os fracos foram então inoculados com a adição de  $10^7$  esporos/grama de substrato. Manteve-se o meio fermentativo em estufa controlada a 30°C.

## **Análise do substrato fermentado**

Após as fermentações concluídas, foi retirado 1 grama de amostra para análise de umidade na balança de análise de umidade MOC63u. Em seguida realizou-se a etapa de extração das enzimas do meio sólido fermentado. Retirou-se uma amostra de 2 gramas e foi adicionado 40mL de tampão acetato pH 5,0 numa proporção de 1:20. A suspensão ficou em agitação por 60 minutos. O extrato foi centrifugado a 3500 rpm durante 30 minutos e o sobrenadante foi utilizado para a análise da atividade enzimática. A atividade de  $\alpha$ -amilase foi determinada através da liberação de açúcares redutores (ART), dosados pelo método DNS (Miller, 1959).

## **Planejamento experimental**

Foi realizado um DCCR com 3 fatores ( $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ ). Este planejamento foi utilizado para selecionar o ponto ótimo de produção de enzimas amilolíticas e gerar um modelo quadrático completo que descreva o processo, seguindo a Tabela 1. Para o estudo, nomeou-se os fatores:  $x_1$  = umidade;  $x_2$  = tempo;  $x_3$  = porcentagem de substrato.

Tabela 1. Matriz do Planejamento experimental DCCR com os valores codificados e decodificados para os fatores  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ .

<b>Experimento</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>
1	54 (-1)	72 (-1)	38 (-1)
2	66 (1)	72 (-1)	38 (-1)
3	54 (-1)	144 (1)	38 (-1)
4	66 (1)	144 (1)	38 (-1)
5	54 (-1)	72 (-1)	62 (1)
6	66 (1)	72 (-1)	62 (1)
7	54 (-1)	144 (1)	62 (1)
8	66 (1)	144 (1)	62 (1)
9	50 (-1,6818)	108 (0)	50 (-1)
10	70 (1,6818)	108 (0)	50 (-1)
11	60 (0)	48 (-1,6818)	50 (0)
12	60 (0)	168 (1,6818)	50 (0)
13	60 (0)	108 (0)	30(-1,6818)
14	60 (0)	108 (0)	70 (1,6818)
15	60 (0)	108 (0)	50 (0)
16	60 (0)	108 (0)	50 (0)
17	60 (0)	108 (0)	50 (0)
18	60 (0)	108 (0)	50 (0)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise da composição centesimal do bagaço de malte

Tabela 2. Composição química do bagaço de malte

Componente (%)	Presen te estudo	Cordeiro, El-Aouar, Gusmão	Wilhelmso, Lehtinen, Weymarn	Mussatto e Roberto	Carvalho et al.	Meneses et al.
Carboidratos	65,78 ± 0,97	N.D*	N.D*	N.D*	N.D*	N.D*
Celulose	N.D*	N.D*	16,8 - 25,4	16,78	21,9	21,7
Hemicelulos e	N.D*	N.D*	21,8 - 28,4	28,42	29,6	19,2
Lignina	N.D*	N.D*	11,9 - 27,8	27,78	21,7	19,4
Cinzas	2,26 ± 0,01	1,31	2,4 - 4,6	4,6	1,2	4,2
Fibras	4,79 ± 0,15	4,15	N.D*	N.D*	N.D*	N.D*
Lipídeos	4,37 ± 0,89	2,49	3,9 - 10,6	5,82	N.D*	10,7
Proteína	16,13 ± 0,15	5,67	15,2 - 24,2	15,25	24,6	24,7
Grupo acetil	N.D*	N.D*	N.D*	1,35	1,2	N.D*
Umidade	6,66 ± 0,32	75,45**	N.D*	N.D*	N.D*	N.D*

\*N.D - não determinado. \*\*A umidade foi obtida com o bagaço úmido.

Os valores determinados para o bagaço de malte apresentam resultados coerentes segundo os apresentados na literatura. Destaca-se, na composição centesimal, o alto valor de carboidratos presentes no bagaço de malte, uma vez que esses cereais são ricos em amidos, que no processo cervejeiro são convertidos em moléculas de glicose, o que se torna condizente com os valores encontrados para esse resíduo. Outro ponto em destaque é o valor de proteína que se encontrou realçado na composição centesimal. Esse valor está associado ao teor de proteína presente no cereal e nas enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilases liberadas no processo de moagem do grão.

#### Análise do Planejamento experimental

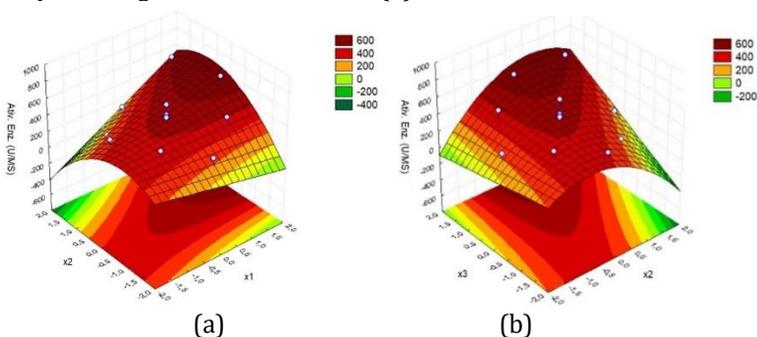
Os efeitos das variáveis independentes e das suas interações na formação do produto podem ser visualizados através da análise de superfície de resposta, conforme as Figuras 1a e 1b.

A atividade enzimática máxima de 1380,91 U/MS foi encontrada pelo modelo da superfície de resposta (Equação 1), obtendo-se os valores correspondente a 70% de umidade, 156 horas, e 70% de porcentagem de substrato. Os valores encontrados estão de acordo com

a superfície de resposta, como se observa na Figura 1a, a atividade enzimática máxima parece estar situada em torno do valor de 1,5 em  $x_1$  e na faixa entre 1,5 e 1,0 para  $x_2$ . A Figura 1b apresenta a interação entre  $x_2$  e  $x_3$ , indicando a atividade enzimática máxima no máximo de  $x_3$  e a faixa entre 1,0 e 0 para  $x_2$ .

Esses resultados são os valores máximos para a região estudada, porém não o valor ótimo para essa FES. A região deverá ser estudada com mais precisão, aumentando os valores de umidade e porcentagem de substrato, para avaliação da nova região em estudo e, assim, obter o valor ótimo de produção de amilases.

Figura 1a e 1b. Superfície de resposta para avaliação da atividade enzimática como função das variáveis umidade- $x_1$  e tempo- $x_2$  (a); tempo- $x_2$  e porcentagem de substrato - $x_3$  (b).

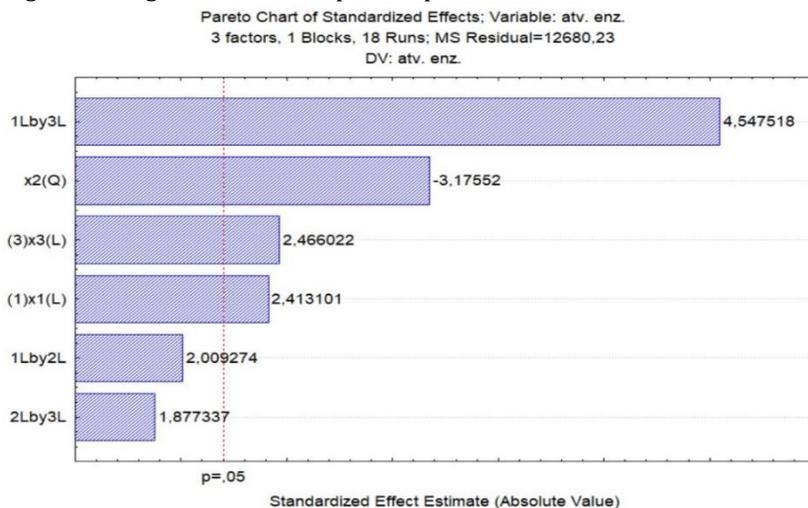


Foram estimados os parâmetros do modelo de superfície de resposta, ajustada conforme a Equação 1.

$$\hat{Y} = 443,95 + 73,53x_1 - 96,83x_2^2 + 75,14x_3 + 79,99x_1x_2 + 181,05x_1x_3 + 74,74x_2x_3 \quad (1)$$

Percebeu-se um bom ajuste do modelo através do  $R^2 = 0,83$ , uma vez que valores acima de 0,8 são aceitáveis para esse tipo de processo, pois existe uma aleatoriedade na FES e o difícil controle dos parâmetros operacionais.

Figura 2. Diagrama de Pareto para os parâmetros do modelo.



A significância dos parâmetros do modelo pode ser observada no diagrama de Pareto (Figura 2). Um estudo sobre a significância do modelo foi realizado pelo teste F da Anova, mostrando coerência na predição do modelo ao nível de 5% (Tabela 3).

Tabela 3. Anova ao nível de 5% de significância

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Reg.	6	636925,1	106154,2	9,89*	2,92
Res.	13	139482,6	10729,43		
F.A	8	138330,5	17291,3	45,02*	4,82
Erro Puro	3	1152,1	384		
Total	19	776407,7			

\* Significativo ( $p < 0,05$ ).

## CONCLUSÃO

O bagaço de malte de cevada é um substrato promissor para o crescimento de microrganismos, uma vez que tem altas concentrações de carboidratos.

A partir dos dados obtidos e da análise do planejamento experimental obteve-se a melhor condição de produção para  $\alpha$ -amilases: 70% de umidade, tempo de 156 horas e 70 % de proporção de substrato/suporte, com atividade enzimática máxima de 1380,91 U/MS.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, F.; Esteves, M. P.; Parajó, J. C.; Pereira, H.; Gírio, F. M. Production of oligosaccharides by autohydrolysis of brewery's spent grain. *Bioresour Technol*, v.91, p.93-100, 2004.
- Cordeiro, L. G.; El-Aouar, Â. A.; Gusmão, R. P. Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.3, p.20-22, 2012.
- Maciel, G. M. Desenvolvimento de bioprocesso para produção de Xilanases por fermentação no estado sólido utilizando bagaço de cana de açúcar e farelo de soja. 133 f. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.
- Marcusso, E. F.; Muller, C. V. A Cerveja no Brasil: O ministério da agricultura informando e esclarecendo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/a-cerveja-no-brasil-28-08.pdf>. Acesso em: 19 março 2018.
- Meneses, N. G. T.; Martins, S.; Teixeira, J. A.; Mussatto, S. I. Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. *Separ. Purif. Technol.*, v.108, p.152-158, 2013.
- Miller, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, v.31, 1959, 426p.
- Mussatto, S. I.; Roberto, I. C. Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.81, p.268-274, 2006.
- Pandey, A. Aspects of fermenter design for solid-state fermentation. *Process Biochemistry*, v.26, p.335-361, 1991.
- Raimbault, M. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, v.1, n.3, p.1-15, 1998.
- Santaella, S. T.; Brito, A. E. R. M.; Costa, F. A. P.; Castilho, N. M.; Mio, G. P.; Filho, E. F.; Leitão, R. C.; Salek, J. M. Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira. Fortaleza: UFC/LABOMAR/NAVE, 2014, 232p.
- Santos, S. F. M. Estudo da produção de pectinases por fermentação em estado sólido utilizando pedúnculo de caju como substrato. 148 f. Teste (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

***Salinidade e potencial osmótico no crescimento  
micelial in vitro de oito espécies de  
Botryosphaeriaceae***

***Gustavo Rodrigues Coelho  
Leonardo Aparecido Brandão da Silva  
Catarina Dourado Oliveira  
Alexandre Sandri Capucho***

**INTRODUÇÃO**

A família *Botryosphaeriaceae* engloba uma gama de fungos que são patógenos de plantas, principalmente em hospedeiros lenhosos. Eles são encontrados em todas as regiões geográficas e áreas climáticas do mundo, com exceção das regiões polares (Phillips et al., 2013).

Dentre as espécies pertencentes a esta família, as do gênero *Lasiodiplodia* apresentam grande importância agrônoma por causar doenças em diversas culturas, como por exemplo, na videira (*Vitis spp.*), mangueira (*Mangifera indica* L.), algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), citros (*Citrus spp.*), coqueiro (*Cocos nucifera* L.), meloeiro (*Cucumis melo* L.), roseira (*Rosa spp.*), aceroleira (*Malpighia emarginata*), dentre outras (Batista et al., 2010).

As condições favoráveis ao desenvolvimento de doenças causadas por esses fungos são diversas. São fungos cosmopolitas, polífagos, com pouca especialização patogênica e estão, geralmente, associadas a plantas sob estresse (Pereira et al., 2006). Condições de estresse que podem favorecer a vulnerabilidade das plantas a estes fungos, têm-se a salinidade e o estresse hídrico, além de outros. Estes fatores promovem a inibição do crescimento das plantas sob condições salinas tanto pelo déficit hídrico, provocado pela redução do potencial osmótico do solo, quanto pelo efeito causado pelo acúmulo de determinados íons no protoplasma. Este acúmulo pode causar problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais ou ambos (Munns, 2005). Esses fatores, juntamente com a pressão biológica de patógenos e pragas expandindo sua faixa geográfica, são todos elementos que favorecem o desenvolvimento de doenças relacionadas a *Botryosphaeriaceae* (Desprez-Loustau et al., 2006).

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a influência *in vitro* da salinidade e do potencial osmótico no crescimento micelial de oito espécies de *Lasiodiplodia* spp.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

As espécies utilizadas foram identificadas por Cabral (2017), a qual coletou e realizou a identificação molecular das espécies seguindo a metodologia de Alves et al. (2008).

Inicialmente, a patogenicidade de oito isolados de *Lasiodiplodia* spp. pertencentes a cada uma das espécies identificadas foi restaurada. Para isso, cada isolado foi repicado para placas de Petri contendo meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar). A seguir, as placas foram incubadas em câmara tipo BOD por 7 dias a 25°C no escuro. Após esse procedimento, os isolados foram inoculados em mudas de aceroleira a partir de discos de micélio (4,76 mm de diâmetro), os quais foram colocados em pequenos cortes em bisel realizados em ramos de mudas de aceroleira cv. Junko e, após a inserção do disco, foi colocado um pedaço de algodão umedecido para promover um ambiente favorável ao desenvolvimento da doença. Após o aparecimento dos sintomas, fragmentos do caule foram usados para reisolar cada isolado do patógeno em BDA nas mesmas condições de incubação.

A partir dos isolados com a sua patogenicidade restaurada, os mesmos foram usados para avaliar o efeito da salinidade no crescimento dos fungos *in vitro*. O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições. Discos de micélio foram retirados de placas de Petri com 7 dias de incubação a 25°C no escuro. Posteriormente, cada isolado foi transferido para o centro de placas de Petri contendo BDA suplementado com 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8% (peso/volume) de cloreto de sódio (NaCl), os quais consistiram no fator 1 e os oito isolados de *Lasiodiplodia* spp. consistiram no fator 2. A unidade experimental foi constituída por cada placa de Petri. As placas foram incubadas em câmara tipo BOD no escuro a 25°C e o diâmetro da colônia, em duas posições ortogonais, foram medidos com um auxílio de um paquímetro digital após 72 horas da inoculação.

Para a avaliação do crescimento dos isolados *in vitro* submetidos a diferentes potenciais hídrico foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições. A unidade experimental foi constituída de cada placa de Petri. O fator 1 foram: 0 MPa (controle); -1,0 MPa; -2,0 MPa; -3,0 MPa, -4,0 MPa e -5,0 MPa. O fator 2 foram oito espécies de *Lasiodiplodia* spp. Os discos de

micélio foram retirados de placas com 7 dias de incubação, como nas condições anteriores. Posteriormente, cada isolado foi transferido para o centro de placas de Petri com o respectivo potencial osmótico (foi utilizado cloreto de potássio para alcançar o potencial osmótico desejado). As placas foram incubadas em câmara tipo BOD no escuro a 25°C e os diâmetros, em milímetros, das colônias, em duas posições ortogonais, foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital após 72 horas de incubação.

Os dados foram coletados e foi realizada a análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knot ( $P \leq 0,05$ ), com o auxílio do Sisvar versão 5.4. Além disso, foram feitos gráficos de dispersão com curva de regressão, com o auxílio do SigmaPlot 10.0.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Quanto à salinidade, os isolados cresceram conforme mostrado na Figura 1. É possível observar, analisando os gráficos, que com o aumento da concentração salina ocorre diminuição do crescimento micelial. Na Tabela 1, observa-se que apenas o isolado 19 não apresentou diferenças significativas entre as concentrações de 0 e 1%; e o isolado 15 não apresentou crescimento micelial a partir de 6% de NaCl.

É possível constatar, também, que o isolado 19 demonstra uma possível adaptabilidade em alguns níveis de sal; e que, mesmo a concentração salina do ambiente encontrando-se dentro do suportado pela cultura, os fungos podem vir a crescer e causar doença na planta.

Figura 1. Gráficos da influência da salinidade no crescimento micelial do agente causal da morte descendente causada por *Lasiodiplodia* spp.

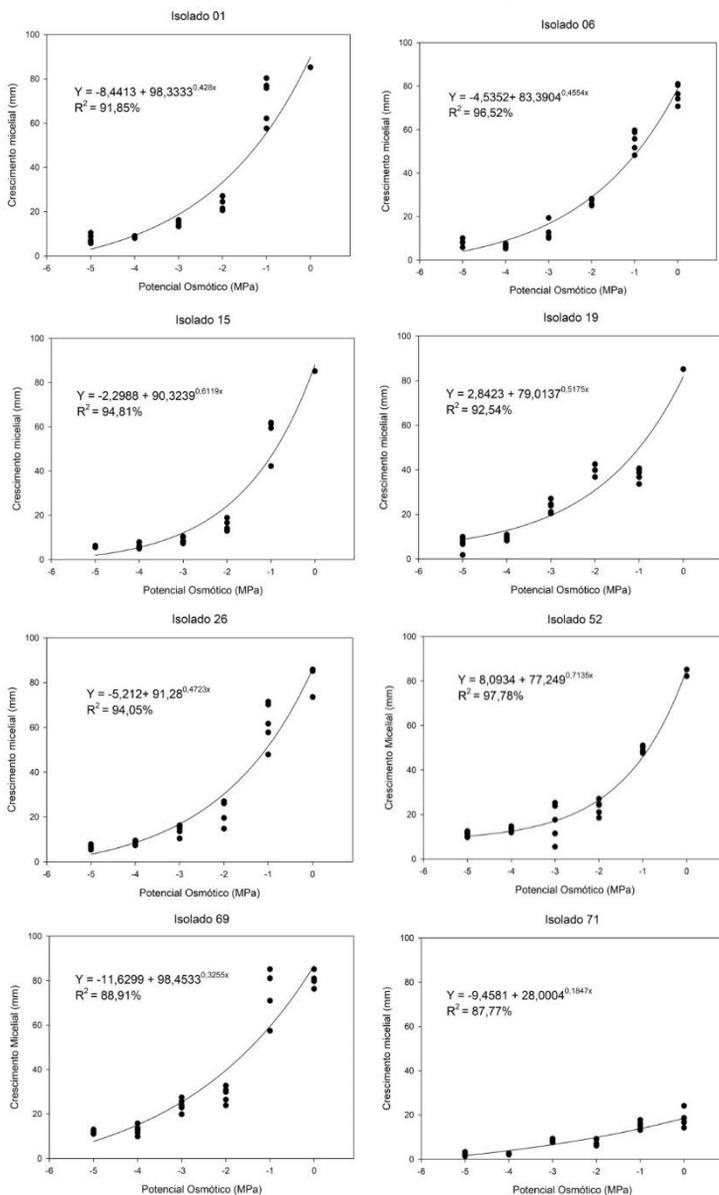


Tabela 1. Análise de variância do crescimento micelial, em milímetros, em função da salinidade dos oito isolados de *Botryosphaeriaceae*

Concentração Salina	Isolados							
	01	06	15	19	26	52	69	71
0%	85,2 a	80,34 a	52,74 a	85,20 a	74,09 a	85,20 a	68,02 a	28,08 a
1%	27,78 b	31,94 b	46,17 b	85,20 a	43,76 b	69,25 b	15,65 b	21,04 b
2%	9,26 c	12,49 c	18,60 c	19,97 b	20,16 c	21,00 c	11,79 c	15,99 c
3%	6,97 c	6,62 d	9,38 d	8,19 c	12,51 d	9,97 d	9,30 c	12,45 d
4%	6,64 c	6,05 d	5,12 e	7,22 c	12,42 d	8,53 d	3,81 d	9,60 d
5%	5,93 c	3,84 d	4,78 e	3,94 d	9,33 e	8,49 d	4,73 d	6,71 e
6%	5,47 c	2,64 d	0,00 f	2,62 d	8,26 e	6,32 d	5,08 d	5,52 e
7%	5,72 c	3,19 d	0,00 f	2,59 d	7,13 e	5,80 d	3,26 d	4,24 e
8%	2,77 c	2,23 d	0,00 f	1,32 d	4,92 e	7,77 d	1,99 d	3,88 e

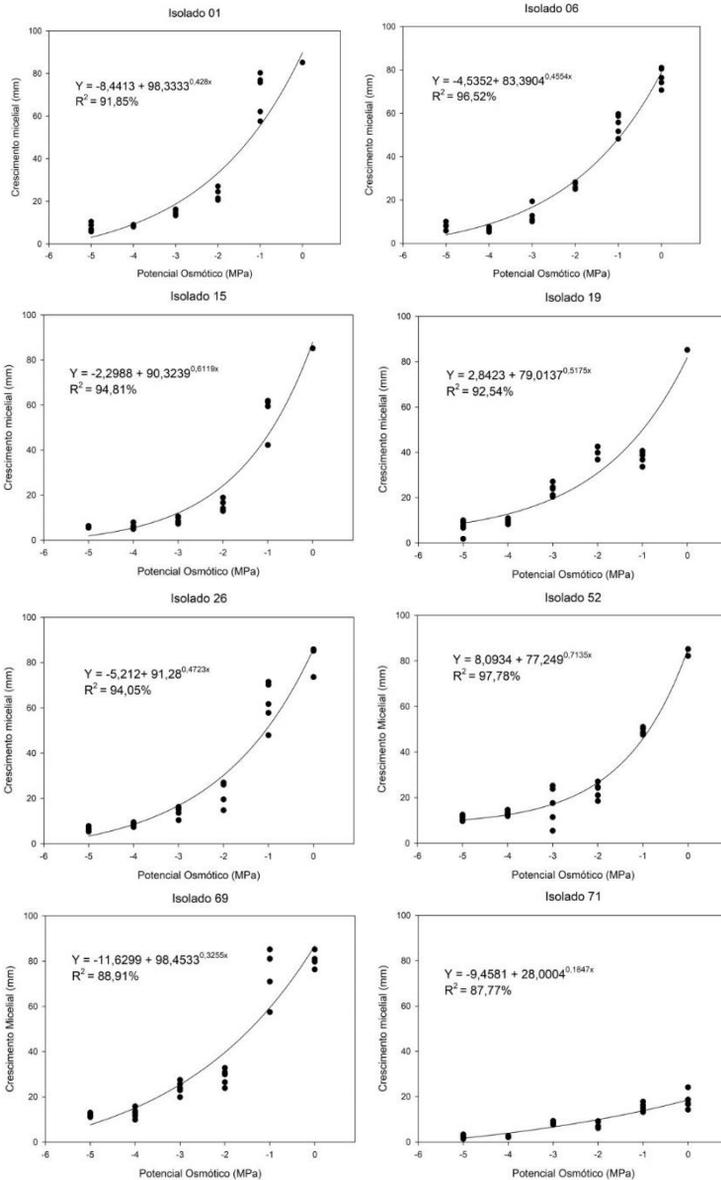
Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot ( $P \leq 0,05$ ).

O isolado 01 não apresentou diferenças significativas entre as concentrações a partir de 2%. Isso demonstra que o ambiente ausente em salinidade promove melhores condições para o crescimento do fungo. À medida que o sal aumenta de concentração, o crescimento micelial é diminuído. O mesmo ocorre com o isolado 06 e 52, entre os tratamentos a partir de 3%; com o isolado 26 e 71 nas concentrações a partir de 5%; e com o isolado 69 nas concentrações a partir de 4%. Todos estes isolados apresentam crescimento, nas condições do experimento, na concentração de 8% mantendo um menor crescimento em relação à testemunha.

Resultado semelhante foi encontrado por Arafat et al. (2013) que estudaram o efeito da salinidade da água de irrigação na redução do crescimento de *Lasiodiplodia theobromae* identificando que a concentração de sal capaz de elevar a condutividade elétrica da água de irrigação para 15,63 dS/m<sup>2</sup> foi capaz de reduzir o crescimento do fungo em 17,03%.

Quanto ao potencial osmótico, o crescimento dos isolados se deu como mostrado na Figura 2. Na Tabela 2 encontram-se os resultados do teste de média para cada isolado. Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos e os resultados demonstram que, à medida que o potencial osmótico diminui, há redução do crescimento micelial.

Figura 2. Gráficos da influência do potencial osmótico no crescimento micelial do agente causal da morte descendente causada por *Lasiodiplodia* spp.



Todos os isolados apresentaram menor crescimento micelial no potencial osmótico de -4,0 MPa, e este não diferiu do potencial -5,0 MPa e o isolado 71 não apresentou diferenças significativas entre os potenciais 0,0 e -1,0 MPa, apresentando certa resistência ao estresse hídrico, nas condições deste experimento.

Os resultados mostram que os isolados conseguem se desenvolver submetidos a diferentes potenciais osmóticos *in vitro*, entretanto, à medida que o potencial osmótico diminui, há redução no crescimento.

A influência do potencial osmótico no crescimento e desenvolvimento dos fungos foi estudada por Coutinho et al. (2001), onde foi observado que a restrição hídrica do meio BDA, com a adição de NaCl, KCl ou manitol, nos potenciais de -0,6 e -0,7 MPa, não afetou o crescimento micelial de *Drechslera oryzae*, *Gerlachia oryzae*, *Phoma sorghina*, *Pyricularia grisea*, *Colletotrichum lindemuthianum* e *Rhizoctonia solani*. Além disso, concluíram que o potencial osmótico de -0,7MPa do meio ágar-água induzido por NaCl afeta adversamente o crescimento micelial *in vitro* do fungo *Macrophomina phaseolina*.

Tabela 2. Análise de variância do crescimento micelial, em milímetros, em função do potencial osmótico dos oito isolados de *Botryosphaeriaceae*

Potencial Osmótico	Isolados							
	Iso 01	Iso 06	Iso 15	Iso 19	Iso 26	Iso 52	Iso 69	Iso 71
0 MPa	85,2a a	76,56 a	85,20 a	85,20 a	82,88 a	84,59 a	81,51 a	18,12 a
-1,0 MPa	70,56 b	54,81 b	57,32 b	40,87 b	61,81 b	49,16 b	75,17 b	15,17 a
-2,0 MPa	22,98 c	21,34 c	15,26 c	37,97 b	22,83 c	23,15 c	28,80 c	8,48 b
-3,0 MPa	8,65 d	12,71 d	8,82 d	23,44 c	8,37 d	16,74 d	23,99 c	8,07 b
-4,0 MPa	8,58 d	8,47 d	5,98 d	9,37 d	6,47 d	13,07 d	12,75 d	2,31 c
-5,0 MPa	7,73 d	6,41 d	5,95 d	7,02 d	5,31 d	11,20 d	12,06 d	2,30 c

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot ( $P \leq 0,05$ ).

## CONCLUSÃO

Os isolados conseguem crescer, *in vitro*, na presença de sais e sob diferentes potenciais osmóticos, entretanto, a adição de sal e a redução do potencial osmótico do meio promovem a diminuição do crescimento micelial, nas condições do experimento.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/UNIVASF pela concessão de bolsa de IC ao primeiro autor. Este projeto foi financiado pela FACEPE (APQ-0243-5.01/14) e CNPq (445.963/2014-0).

## REFERÊNCIAS

- Alves, A.; Crous, P. W.; Correia, A.; Phillips, A. J. L. Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. Fungal diversity, v.28, p.1-13, 2008.
- Arafat, K. H.; Mohamad, A. M.; Elsharabasy, S. Influence of environmental conditions, salinity and root exudates on incidence and disease severity of lasiodiplodia theobromae that caused root rot of date palm offshoots and biocontrolling. The Journal of Biological Chemistry, v.8, n.1, p.73-91, 2013.
- Batista, D. da C.; Costa, V. S. O.; Barbosa, M. A. G.; Terao, D.; Silva, F. M.; Tavares, S. C. C. H. Manejo Integrado de *Lasiodiplodia theobromae* em Videira no Submédio do Vale do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Circular Técnica CTE 91).
- Cabral, P. G. C. Botryosphaeriales associated with acerola dieback and necrotic symptoms on plant species near commercial orchards in the Caatinga biome of Northeastern Brazil. 100f. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Departamento de Fitopatologia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2017.
- Coutinho, W. M.; Machado, J. C.; Vieira, M; G; G; C.; Guimarães, R. M.; Ferreira, D. F. Uso da restrição hídrica na inibição ou retardamento da germinação de sementes de arroz e feijão submetidas ao teste de sanidade em meio ágar-água. Revista Brasileira de Sementes, v.23, n.2, p.127-135, 2001.
- Desprez-Loustau, M. L.; Marcais B.; Nageleisen, L. M.; Piou, D.; Vannini, A. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. Annals of Forest Science, v.63, n.6, p.597-612, 2006.
- Munns, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, v.167, n.3, p.45-663, 2005.
- Pereira, A. L.; Silva, G. S.; Ribeiro, V. Q. Caracterização fisiológica, cultural e patogênica de diferentes isolados de *Lasiodiplodia theobromae*. Fitopatologia Brasileira, v.31, n.6, p.572-578, 2006.
- Phillips, A. J. L.; Alves, A.; Abdollahzadeh, J.; Slippers, B.; Wingfield, M. J.; Groenewald, J. Z.; Crous, P. W. The *Botryosphaeriaceae*: genera and species known from culture. Studies in Mycology, v.76, p.51-167, 2013.

## ***Simulação numérica de pórtico com não linearidade geométrica e conexão semirrígida***

***Luiz Antônio Farani de Souza***

### **INTRODUÇÃO**

As metodologias de análise/projeto estrutural passam por uma mudança de paradigma, em que as análises lineares (com adaptações para consideração de efeitos não lineares) estão sendo progressivamente substituídas por análises capazes de englobar diversos efeitos não lineares (segunda-ordem, inelasticidade do aço, semirrígidez das ligações, interação solo-estrutura, efeitos dinâmicos, entre outros). Diversas normas de projeto, mesmo que sugerindo o uso de análises não lineares, ainda apresentam inconsistências no sentido de estabelecer uma conexão entre a etapa da análise e a de projeto estrutural (Santos et al., 2012).

Neste trabalho é apresentado um modelo numérico para análise de pórticos planos, por meio do Método Corrotacional de Elementos Finitos, cujos efeitos da não linearidade geométrica e ligações semirrígidas são incorporadas ao modelo. A relação constitutiva do material que constitui os elementos estruturais é elástico-linear. O sistema de equações não lineares que governa o equilíbrio estático da estrutura é solucionado por um esquema incremental e iterativo proposto aqui por meio da adaptação do método de Weerakoon e Fernando (2000), com convergência cúbica, associando-o à técnica de continuação Comprimento de Arco Linear. A ligação semirrígida é simulada por um modelo linear, colocando-se molas nas conexões cuja flexibilidade ou rigidez é definida por uma constante  $S_c$ . Um problema de pórtico do tipo galpão duplo é analisado numericamente com o *software* Matlab. Avaliou-se nas simulações os seguintes parâmetros: o tempo de CPU em segundos ( $t$ ); os números totais de passos de força (NP) e iterações acumuladas ( $k_{total}$ ) até a convergência para a solução; e o número médio de iterações por passo de força ( $k_{médio}$ ).

## MATERIAL E MÉTODOS

A formulação Corrotacional de Elementos Finitos para a viga 2D com dois nós e três graus de liberdade/nó, apresentada por Crisfield (1991) e Yaw (2009), é descrita a seguir. Assume-se que não há deformação de cisalhamento na viga e, então, a seção transversal da mesma é sempre normal ao eixo neutro. Na configuração inicial, as coordenadas dos nós 1 e 2 do elemento de viga no sistema global são  $(X_1, Y_1)$  e  $(X_2, Y_2)$ , respectivamente. O comprimento original  $L_0$  é dado pela seguinte equação:

$$L_0 = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (1)$$

Para o elemento de viga na sua configuração corrente, as coordenadas nodais globais são  $(X_1 + u_1, Y_1 + v_1)$  para o nó 1 e  $(X_2 + u_2, Y_2 + v_2)$  para o nó 2, onde  $u_1$  é o deslocamento do nó 1 na direção X e  $v_1$  é o deslocamento do nó 1 na direção Y. O comprimento corrente  $L$  é:

$$L = \sqrt{(X_2 + u_2 - X_1 - u_1)^2 + (Y_2 + v_2 - Y_1 - v_1)^2} \quad (2)$$

O deslocamento axial local ( $u_l$ ) do elemento é calculado por:

$$u_l = \frac{L^2 - L_0^2}{L + L_0} \quad (3)$$

A deformação específica  $\varepsilon$  é assumida constante e é determinada por  $\varepsilon = u_l/L_0$ . A força axial ( $N$ ) da viga é então dada por:

$$N = \frac{EAu_l}{L_0} \quad (4)$$

Na qual  $A$  é a área da seção transversal e  $E$  é o módulo de Young.

Usando a análise estrutural padrão, os momentos locais nas extremidades do elemento de viga são relacionados com as rotações nodais locais ( $\theta_{1l}$  e  $\theta_{2l}$ ) e são dados por:

$$\begin{Bmatrix} \bar{M}_1 \\ \bar{M}_2 \end{Bmatrix} = \frac{2EI}{L_0} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{1l} \\ \theta_{2l} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Na qual  $I$  é o momento de Inércia.

As rotações nodais locais são computadas por:

$$\theta_{1l} = \arctan\left(\frac{\cos\beta \sin\beta_1 - \sin\beta \cos\beta_1}{\cos\beta \cos\beta_1 + \sin\beta \sin\beta_1}\right) \quad (6)$$

$$\theta_{2l} = \arctan\left(\frac{\cos\beta \sin\beta_2 - \sin\beta \cos\beta_2}{\cos\beta \cos\beta_2 + \sin\beta \sin\beta_2}\right) \quad (7)$$

Na qual  $\beta_1 = \theta_1 + \beta_0$  e  $\beta_2 = \theta_2 + \beta_0$ .

Os ângulos  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são as rotações nodais globais calculadas do sistema de equações globais, e as expressões para os ângulos inicial e corrente da barra,  $\beta_0$  e  $\beta$ , são, respectivamente:

$$\beta_0 = \arctan\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right) \quad (8)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{Y_2 + v_2 - Y_1 - v_1}{X_2 + u_2 - X_1 - u_1}\right) \quad (9)$$

A matriz de rigidez tangente elementar  $K_{el}$  é determinada pela expressão:

$$K_{el} = B^T DB + \frac{N}{L} zz^T + \frac{\bar{M}_1 + \bar{M}_2}{L^2} (rz^T + zr^T) \quad (10)$$

Na qual  $D$  é a matriz constitutiva, os vetores  $z$  e  $r$  são, respectivamente:

$$z = [\sin(\beta) \quad -\cos(\beta) \quad 0 \quad -\sin(\beta) \quad \cos(\beta) \quad 0]^T \quad (11)$$

$$r = [-\cos(\beta) \quad -\sin(\beta) \quad 0 \quad \cos(\beta) \quad \sin(\beta) \quad 0]^T \quad (12)$$

E a matriz  $B$  é:

$$B = \begin{bmatrix} -\cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & \sin(\beta) & 0 \\ -\sin(\beta)/L & \cos(\beta)/L & 1 & \sin(\beta)/L & -\cos(\beta)/L & 0 \\ -\sin(\beta)/L & \cos(\beta)/L & 0 & \sin(\beta)/L & -\cos(\beta)/L & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

As expressões seguintes são utilizadas para calcular os valores do seno e cosseno do ângulo  $\beta$ , respectivamente:

$$\cos(\beta) = \frac{X_2 + u_2 - X_1 - u_1}{L} \quad (14)$$

$$\sin(\beta) = \frac{Y_2 + v_2 - Y_1 - v_1}{L} \quad (15)$$

O vetor de forças internas elementar ( $F_{el}$ ) é determinado por:

$$F_{el} = B^T [N \quad \bar{M}_1 \quad \bar{M}_2]^T \quad (16)$$

O problema básico da análise não linear é encontrar a configuração de equilíbrio de uma estrutura que está sob a ação de carregamentos. O sistema de equações não lineares a ser solucionado e que governa o equilíbrio estático de um pórtico com comportamento não linear geométrico é dado por (Maximiano et al., 2014):

$$g(u, \lambda) = F_{int}(u) - \lambda F_r \quad (17)$$

Na qual  $u$  é o vetor de deslocamentos nodais,  $g$  é o vetor de forças desequilibradas,  $F_{int}$  é o vetor global de forças internas e  $\lambda$  é o parâmetro de força responsável por escalonar o vetor de referência  $F_r$  de magnitude arbitrária.

A Equação (17) é um sistema de  $(n+1)$  incógnitas, sendo  $n$  componentes de deslocamento ( $u$ ) e um parâmetro de força ( $\lambda$ ), mas somente  $n$  equações. Dessa maneira, uma equação adicional de restrição é adicionada ao sistema (Souza et al., 2018):

$$c(u, \lambda) = 0 \quad (18)$$

A solução do sistema não linear dado pelas Equações (17) e (18) é obtida usando um esquema incremental e iterativo proposto neste trabalho por meio de uma adaptação do método de Weerakoon e Fernando (2000) com ordem de convergência cúbica ao problema estrutural. As equações iterativas são dadas por:

$$u^{(k+1)} = u^{(k)} - 2[K(u^{(k)} - \delta u^{(k)}) + K(u^{(k)})]^{-1} g(u^{(k)}) \quad (19)$$

$$\delta u^{(k)} = [K(u^{(k)})]^{-1} g(u^{(k)}) \quad (20)$$

Para todo  $k = 1, 2, \dots$

Nota-se que o superescrito  $k$  é usado para referenciar a iteração anterior e  $(k+1)$  a iteração corrente. O parâmetro de força total ( $\lambda^{(k+1)}$ ) é atualizado por:

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \delta\lambda^{(k)} \quad (21)$$

Na qual  $\delta\lambda^{(k)}$  é o subincremento de força, sendo avaliado segundo a técnica de Comprimento de Arco Linear (Riks,1972; Riks, 1979).

A distorção primária de uma ligação viga-coluna é a deformação rotacional,  $\theta$ , causada pelo momento de flexão  $M$  no plano. A deformação da conexão tem como efeito a desestabilização da do pórtico, visto que ocorrerá diminuição da rigidez efetiva dos membros conectados. Um aumento da inclinação do pórtico intensificará o efeito  $P-\Delta$  e, portanto, a sua estabilidade geral será afetada (Chen & Kishi, 1989). Assim, as características das ligações viga-coluna desempenham um papel muito importante no projeto estrutural. Para este fim, o comportamento da ligação deve ser adequadamente estimado ou previsto, bem como os métodos especificados para análise de projeto estabelecidos. Neste trabalho é utilizado o modelo linear para caracterizar o comportamento da ligação, que necessita apenas de um parâmetro para definir a rigidez da conexão. Em virtude de sua simplicidade, o modelo linear tem sido amplamente utilizado nos estágios iniciais de desenvolvimento de métodos de análise para articulações semirrígidas e na análise de vibração e bifurcação de pórticos semirrígidos. A função momento-rotação pode ser escrita como:

$$M = S_c \phi_c, \quad (22)$$

Na qual  $S_c$  é constante e igual ao valor da rigidez inicial da conexão, que pode ser obtida de forma experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considere um pórtico do tipo galpão duplo ilustrado na Figura 1a. Essa estrutura apresenta as seguintes propriedades físicas e geométricas:  $E = 2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ ,  $A = 400 \text{ cm}^2$  e  $I = 13333 \text{ cm}^4$  para as colunas externas, e  $E = 2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ ,  $A = 200 \text{ cm}^2$  e  $I = 6666 \text{ cm}^4$  para os demais elementos estruturais. Esse problema foi analisado numericamente por Von Paraski (2012). Na realização das análises foram considerados os seguintes parâmetros: comprimento de arco inicial  $\Delta l = 1,0$ ; número de iterações desejadas  $N_d = 4$ ; tolerância  $tol = 1,0$

$\times 10^{-8}$ ; número máximo de iterações  $k_{m\acute{a}x} = 100$ ; e incremento de força  $\Delta P = 1000$  N. Na discretização da estrutura foram considerados 55 elementos finitos de viga e 56 nós. Foram feitas as seguintes análises: (i) não linear geométrica (NLG) considerando três tipos de conexão entre as colunas e os suportes - rotulada, rígida e semirrígida ( $S_c = 1,0 \times 10^9$  Ncm/rad); e (ii) linear com conexão semirrígida. O algoritmo foi desenvolvido usando o *software* Matlab, versão 8.6 R2015b (Matlab, 2015). Os testes computacionais foram efetuados em um computador Core i7 com 8 GB de memória.

Na Figura 1b são apresentadas as trajetórias de equilíbrio correspondentes ao deslocamento horizontal no nó 1 *versus* força P. As configurações deformadas para diferentes passos de força (NP = 15, 25, 35 e 42) da estrutura são mostradas na Figura 1c, obtidas da análise NLG e apoios semirrígidos. Os resultados numéricos (NP,  $k_{total}$ ,  $k_{m\acute{e}dio}$  e t) com os métodos de solução proposto, Newton-Raphson (NR) e Newton-Raphson Modificado (NRM) considerando a análise NLG e conexão semirrígida aparecem na Tabela 1.

Figura 1. Galpão duplo: (a) Esquema estrutural; (b) trajetórias de equilíbrio; e (c) configuração deformada para diferentes passos de força.

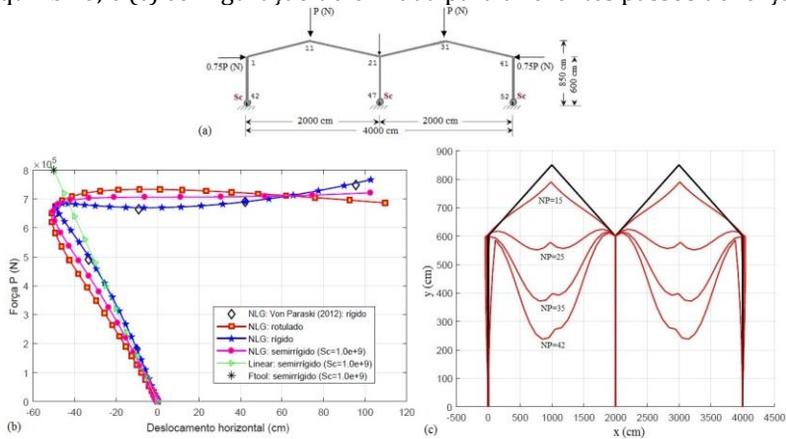


Tabela 1. Resultados numéricos

Método	NP	$k_{total}$	$k_{m\acute{e}dio}$	t (s)
Proposto	31	92	2,9677	0,899159
NR	49	167	3,4082	0,942123
NRM		Não convergiu		

Na Figura 1b, observa-se a boa concordância dos resultados aqui obtidos com os de Paraski (2012) quanto à análise NLG e ligação rígida, validando o programa desenvolvido em Matlab. Pode-se ver a influência da flexibilidade do suporte por meio dos caminhos de equilíbrio, alterando o comportamento global da estrutura. A consideração do efeito da não linearidade geométrica na análise provoca o surgimento de pontos críticos na trajetória.

A partir dos resultados numéricos na Tabela 1, constata-se o melhor desempenho computacional do método de solução proposto em comparação com o método clássico de NR quanto ao tempo de CPU. O custo da iteração com o método de Weerakoon e Fernando (2000) é mais caro visto que há resolução de um sistema de equações lineares a mais do que na iteração de NR (Equações 19 e 20); no entanto, esse custo é compensado com a diminuição da quantidade de passos de força e iterações acumuladas até a convergência para a solução do problema.

O método NRM apresentou problemas de convergência - a atualização da matriz de rigidez  $K$  ocorre somente no início do passo de força, mantendo-se constante ao longo do ciclo iterativo. Na simulação, esse método não conseguiu ultrapassar o primeiro ponto limite da trajetória. Pode-se alcançar a convergência alterando-se os parâmetros de entrada, como o comprimento de arco inicial  $\Delta l$ .

## CONCLUSÃO

O analista no projeto estrutural tem por objetivo conceber uma estrutura capaz de obedecer aos requisitos de resistência e deslocamentos para uma determinada combinação de carregamentos. Em geral, assume-se nas análises convencionais de pórticos que as conexões sejam completamente rígidas ou rotuladas. Entretanto as diferenças nos traçados das trajetórias de equilíbrio obtidas nas análises mostram que a consideração da semirrigidez nas conexões não pode ser desprezada, uma vez que afeta o comportamento global da estrutura.

A estabilidade de um sistema estrutural é perdida devido à existência de pontos singulares ou críticos no caminho de equilíbrio. Assim, para assegurar a estabilidade de estruturas esbeltas, deve-se incorporar na análise o efeito da não linearidade geométrica.

A análise estrutural pode envolver modelos de estruturas em que a malha de elementos finitos pode conter muitos nós, 20 a 30 mil nós, segundo Perelmuter e Fialko (2005), além de elementos de vários tipos (barras, placas, cascas, etc.), havendo a necessidade de solucionar um sistema de equações não lineares muito grande. O esquema iterativo de análise proposto neste trabalho pode ser útil em simulações de

problemas de grande porte, visto que a resposta do problema pode ser alcançada com menos passos de força e iterações acumuladas, e com um menor o tempo de CPU, em comparação com o método tradicional de Newton-Raphson.

## **AGRADECIMENTOS**

À UTFPR pelo apoio para realização desta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS**

- Chen, W. F.; Kishi, N. Semirigid Steel Beam-to-Column Connections. *J. Struct. Eng.*, v.115, n.1, p.105-119, 1989.
- Crisfield, M. A. *Non-linear finite element analysis of solids and structures. Vol 1.* John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 1991.
- Matlab, versão 8.6.0 (R2015b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2015.
- Maximiano, D. P.; Silva, A. R. D.; Silveira, R. A. M. Iterative strategies associated with the normal flow technique on the nonlinear analysis of structural arches. *Revista Escola de Minas*, v.67, p.143-150, 2014.
- Perelmuter, A. V.; Fialko, S. Y. Problems of computational mechanics relate to finite-element analysis of structural constructions. 2005.
- Riks, E. The application of newtons method to the problem of elastic stability, *Journal of Applied Mechanics*, v.39, n.4, p.1060-1065, 1972.
- Riks, E. An incremental approach to the solution of snapping and buckling problems, *International Journal of Solids and Structures*, v.15, p.529-551, 1979.
- Santos, M. N.; Rocha, P. A. S.; Silva, A. R. D. D.; Silveira, R. A. D. M. Application of a nonlinear hybrid finite element in the structural steel modeling. *Rem: Revista Escola de Minas*, v.65, n.1, p.19-28, 2012.
- Souza, L. A. F.; Castelani, E. V.; Shirabayashi, W. V. I.; Aliano Filho, A.; Machado, R. D. Trusses Nonlinear Problems Solution with Numerical Methods of Cubic Convergence Order. *Trends in Applied and Computational Mathematics*, v.19, n.1, p.161-179, 2018.
- Von Paraski, N. Análise estática não linear de pórticos planos via Matlab. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, 2012.
- Weerakoon, S.; Fernando, T. G. I. A variant of Newton's method with accelerated third-order convergence. *Appl. Math. Lett.*, v.13, p.87-93, 2000.
- Yaw, L. L. 2D Corotational Beam Formulation. Engineering Dept. Walla University, personal web page, 2009.

## ***Uso de extratos botânicos para controle de praga no armazenamento de milho***

***João Henrique de Andrade Cabral***

***Juliana Ferreira da Silva Marinho***

***Beatriz de Araújo Tomaz***

***Bruno Adelino de Melo***

***Francisco de Assis Cardoso Almeida***

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente, o milho é o grão mais produzido no mundo, sendo responsável por 42% de todos os grãos gerados, seguido pelo trigo (30%), e arroz (18%), sendo os Estados Unidos, China, Brasil e Argentina os maiores produtores, representando 70% da produção mundial (CONAB, 2017).

O Brasil é o terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial de milho. Isso mostra a importância estratégica do país na oferta desse produto, tendo em vista o aumento do consumo mundial. Segundo os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, na sigla em inglês), o consumo mundial de milho aumentou 9,4% nos últimos cinco anos, enquanto a produção foi elevada para 3,2%.

A produção nacional de milho para 2017/2018, na primeira safra é de 24,74 milhões de toneladas, esta deverá ser 18,8% inferior à safra passada, resultado da redução de área e produtividade. Já para a segunda safra: redução de 6,6% na área (1,17 milhão de hectares), resulta numa estimativa de produção de 63,26 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Após a colheita, o armazenamento dessas sementes passa a ser etapa fundamental na manutenção de suas qualidades, evitando-se assim, perdas quantitativas e qualitativas. No Brasil, o armazenamento de milho é responsável por muitas perdas, devido a diversos fatores, dentre eles está o fato de que 60% da produção é estocada precariamente na forma de milho em espiga com palha, em estruturas muito rústicas, dificultando o controle dos insetos, onde cerca de 20% da produção é atacada pelos mesmos (Antunes et al., 2011). Outros fatores como o baixo conhecimento técnico do agricultor, dificulta a adoção de

novas tecnologias. O armazenamento de grãos é parte integrante do sistema de pré-processamento de produtos agrícolas, onde os grãos e sementes são submetidos a fatores físicos, químicos e biológicos, que podem interferir na sua conservação e qualidade (Almeida et al., 2005).

Uma das alternativas para minimizar esses problemas é a utilização de novos produtos com ação inseticidas, extraídos das plantas ricas em compostos bioativos de atividades inseticidas, fungicidas, repelentes, principalmente para atender o nicho dos consumidores de produtos orgânicos e dos agricultores que não dispõem de recursos para aquisição e uso de inseticidas sintéticos. O emprego de produtos químico no controle de pragas de grãos armazenados é muito utilizado por ser efetivo e de fácil manejo, porém, devido aos efeitos adversos que esses produtos podem causar ao meio ambiente e aos inimigos naturais, além de outros problemas como intoxicação de operadores, os resíduos excessivos e a resistência de insetos a inseticidas fazem com que o uso de tais produtos seja limitado (Almeida et al., 2005).

Tendo em vista essa problemática com o presente trabalho se pretende combater e/ou controlar o *Sitophilus zeamais* com a utilização de extratos botânicos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologias e Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Campina Grande, Paraíba.

A criação do *Sitophilus zeamais* deu-se a partir de indivíduos coletados em grãos de milho infestados armazenados em depósitos de cereal no mercado central de Campina Grande, PB para comercialização. A multiplicação foi realizada depois da seleção, separação e identificação dos mesmos em microscópico, inoculando-os em uma massa de milho, previamente expurgada, dentro de recipiente de vidro com capacidade de 300 mL, tendo a boca vedada com tecido de voil para permitir a ventilação em seu interior. Posteriormente, foram levados a uma estufa incubadora com temperatura de 27°C e umidade relativa do ar de 95%.

As espécies vegetais de Laranja (*Citrus sinensis*) e Cravo-da-Índia (*Syzygium aromaticum*) foram adquiridos em casas especializadas em produtos naturais na cidade de Campina Grande, PB. Após a aquisição as mesmas foram transportadas ao laboratório, para limpeza e secagem em estufa a 40°C por 24h, sendo posteriormente moídas em um moinho de faca para a obtenção do extrato pó, e em seguida estes pós foram pesados, e armazenadas em embalagens metálicas.

O extrato hidroalcoólico foi obtido a partir do extrato em pó, depois de pesado em balança, foi umedecido com álcool etílico a 70% v v<sup>-1</sup> e, extração depois de 72 h, obedecendo rigorosamente todos os passos descritos na metodologia sugerida por Almeida et al. (2013).

#### Teste de mortalidade

Foram avaliados os extratos hidroalcoólicos de Laranja (*Citrus sinensis*) e Cravo-da-Índia (*Syzygium aromaticum*) nas doses de 1,0;1,5;2,0;2,5;3,0;3,5;4,0;4,5;5,0; 5,5 ml mais uma testemunha que não recebeu a aplicação dos extratos na forma de nebulização sobre *Sitophilus zeamais* com 10 dias de vida. Os tratamentos constaram de 4 repetições com 25 insetos cada, utilizando-se de um equipamento desenvolvido para esta finalidade, semelhante à torre de Potter. Após a aplicação, os potes foram fechados e aguardado um período 48 horas da aplicação para contagem dos insetos mortos, e avaliar o percentual de mortalidade.

Os dados obtidos foram avaliados com uso do software ASSISTAT versão 7.7 BETA (Silva & Azevedo, 2016), em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que os experimentos foram dispostos em esquema fatorial com 4 repetições e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos dos fatores e de sua interação, no presente estudo, quanto à mortalidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais*, segundo a análise de variância, foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados da análise de variância do teste de mortalidade do *Sitophilus zeamais* aos extratos de Laranja e Cravo-da-Índia depois de 48 h de sua aplicação pelo método do vapor – Torre de potter

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Extrato (E)	1	2868,01	2868,01	71,49**
Doses (D)	9	97846,11	10871,79	271,03**
Extrato x Dose	9	2812,11	312,45	7,78**
Tratamentos	19	103526,23	5448,74	135,83**
Resíduos	60	2406,75	40,11	
Total	79	105932,98		

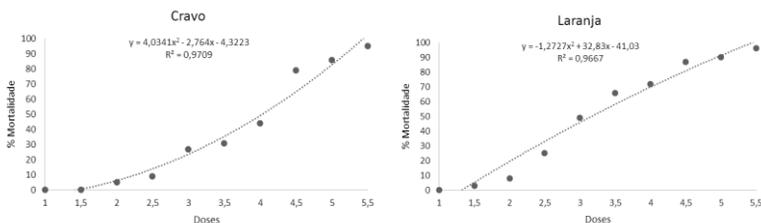
\*\* significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

O extrato de laranja, apresentou um maior efeito na mortalidade dos insetos, quando comparados ao extrato de Cravo-da-Índia, apresentando um efeito significativo da mortalidade a partir da dose de 3,5mL, apresentando uma mortalidade de 66%, enquanto que para a mesma dose, o extrato de Cravo-da-Índia, apresentou uma mortalidade de 31%. Para ambos os extratos, com o aumento da dose, houve maior efeito da mortalidade, sendo a dose de 5,5mL que apresentou o maior efeito de mortalidade de 95% para o Cravo-da-Índia e 96% para o de Laranja, não apresentando diferença estatística entre ambos (Figura 1).

O extrato de laranja, em doses menores, apresentou melhores resultados frente ao extrato de Cravo-da-Índia, fato que pode ser explicado à volatilidade do Eugenol (Mazzafera, 2003), substância principal encontrada no Cravo-da-Índia, responsável pelo efeito na mortalidade dos insetos. Parte desta substância pode ser perdida quando não acondicionada de forma adequada e no próprio processo de extração, pelo que explica nos estudos de Jairoce et al. (2016), o percentual encontrado de Eugenol, ter sido menor quando comparados a de outros trabalhos, pois além das condições da aquisição do material, a volatilidade é um fator muito importante a ser considerado, pois em muitas plantas são encontradas substâncias com potencial de atividade inseticida ou repelente, porém, estas substâncias são geralmente voláteis, perdendo o princípio ativo de interesse não atingir o inseto alvo.

Almeida et al. (2013), avaliando dois extratos sobre o gorgulho do milho, observaram que o extrato da planta completa de *M. charantia* mostrou-se superior ao de *C. baccatum*, (planta completa) nas doses de 2 e 4 mL e que o extrato de *C. baccatum* controlou 100% dos *S. zeamais* adultos quando utilizadas doses a partir de 6 mL.

Figura 1. Representação gráfica da eficiência (% mortalidade) de extratos hidroalcoólico de Laranja e Cravo-da-Índia aplicados no *Sitophilus zeamais* depois de 48 h de sua aplicação pelo método do vapor – Torre de potter.



Avaliando a mortalidade de *Z. subfasciatus* com extrato botânico, Silva et al. (2013) observaram que com o aumento das doses, assim como esse trabalho, maior é o efeito da mortalidade utilizando a técnica de mortalidade no vapor.

Utilizando-se da mesma técnica da mortalidade pelo método do vapor Silva et al. (2013), utilizando o extrato de canela e citronela, ambas ricas em óleos essenciais, o extrato de canela obteve maior percentual de mortalidade nas doses de 9 e 12ml (100%), enquanto que para o extrato de citronela na dose de 9ml houve efeito na mortalidade em 95,83% e na de 12ml em 98,33%, respectivamente.

O óleo de *C. sinensis* foi testado em pragas adultas do feijão Caupi *Callosobruchus maculatus* sendo tóxico na exposição de 24 h (LC50 = 269 µL/L). Os extratos de casca de *C. sinensis* mostraram atividade larvicida e ninficida frente a esse inseto (Moravvej & Abbar, 2008).

Devido a presença de compostos inseticidas, esses extratos botânicos podem ser de grande utilidade no controle do *Sitophilus zeamais* em sementes de milho armazenadas, principalmente em pequenas propriedades rurais, necessitando, portanto, de uma padronização nos processos de coleta, secagem vegetal, bem como a quantificação dos compostos bioativos, a fim de que os resultados obtidos possam ser reproduzidos e/ou comparados. Entretanto, para a recomendação de uso no tratamento de grãos de milho que se destina ao consumo humano e animal, há a necessidade de estudos complementares, visando oferecer ao usuário um produto eficiente e seguro do ponto de vista toxicológico.

## CONCLUSÃO

Mediante os resultados pode-se concluir que, ocorre maior mortalidade dos insetos com o aumento das doses dos extratos, onde os insetos foram controlados em 96% pelo extrato de Laranja e em 95% para o extrato de Cravo-da-Índia, sendo o tratamento com os extratos vegetais uma alternativa viável para manutenção da qualidade física e fisiológica das sementes de milho.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. de A. C.; Almeida, S. A. de; Santos, N. R. dos; Gomes, J. P. Araújo, M. E. R. Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*). Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.585-590, 2005.
- Almeida, F. A. C.; Silva; Melo, B. A. de; Gomes, J. P.; Silva, R. G. Extratos botânicos de *Mormodica Charantia* e *Capsicum baccatum* no controle do

gorgulho do milho. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.8, p.169-174, 2013.

Antunes, L. E.; Viebrantz, P. C.; Gottardi, R.; Dionello, R. G. Physicochemical characteristics of corn damaged by *Sitophilus zeamais* during storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.615-620, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, segundo levantamento, novembro 2017. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2017.

Jairoce, C. F.; Teixeira, C. M.; Nunes, C. F. P.; Nunes, A. M.; Pereira, C. M. P. de; Garcia, F. R. M. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.1, p.72-77, 2016.

Silva, F. A. S., Azevedo, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

Silva, J. F.; Melo, B. A.; Leite, D. T.; Almeida, F. D. A. C.; Pessoa, E. B. Dados biológicos de *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Coleoptera: Bruchidae) em dois genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.8, n.3, 2013.

Mazzafera, P. Efeito alelopático do extrato alcoólico do cravo-da-índia e eugenol. *Rev. Bras. Bot.*, v.26, n.2, p.231-238, 2003.

Moravvej, G. S. Abbar. Fumigant toxicity of citrus oils against cowpea seed beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, v.11, n.1, p.48-54, 2008.

## ***Utilização de antena de microfita em geometria fractal na detecção da perda de massa óssea***

***Luara Karolinny Machado de Olivera  
Jurgen Klinsmann Azevedo Nogueira  
Valdemir Praxedes da Silva Neto***

### **INTRODUÇÃO**

A osteoporose é um distúrbio ósseo que se refere à degradação de massa óssea e deterioração da arquitetura microscópica do esqueleto ósseo (Marieb et al., 2014). Em consequência, os ossos tornam-se fracos e mais propensos a fraturas. Quando a doença causa perda de 30 a 40% da massa, há geralmente ocorrência de fraturas nas vértebras, terço distal do rádio, fêmur, úmeros e pequenos ossos periféricos. Ocasionalmente dores agudas, deformidades esqueléticas como, acentuação da cifose dorsal, acentuação da lordose cervical e retificação da lordose lombar (Szejnfeld et al., 2011). Neste sentido, é de suma importância o diagnóstico precoce da perda de massa óssea.

Em razão da inviabilidade econômico-financeira existente no Brasil, deve-se buscar novas tecnologias que venham auxiliar o diagnóstico precoce da perda de massa óssea, através da implementação de equipamentos com baixo custo de desenvolvimento e fácil manuseio, a fim de prevenir a osteoporose. Reduzindo assim os gastos com internações por fratura (Cruz, 2013).

Este trabalho tem como proposta utilizar as geometrias fractais de Koch e Minkovski para miniaturizar as antenas de microfita que serão utilizadas na avaliação do comportamento de ondas eletromagnéticas refletidas e refratadas no tecido ósseo analisado de forma a quantificar a atenuação do sinal emitido.

Uma antena é definida por Kraus (1983) como uma estrutura formada por uma região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço, ou vice-versa. Essa estrutura opera no modo radiação ou recepção de ondas de rádio.

As antenas de microfita são alimentadas por uma linha de microfita condutora de ondas eletromagnéticas que permitem a construção de projetos mais compactos (Sadiku, 2012). Esse dispositivo

consiste de duas placas condutoras paralelas, separadas por um substrato dielétrico. A placa superior é denominada de elemento irradiante (patch) e a outra nomeada de plano de terra. O patch metálico pode ter diferentes configurações, tais como retângulos, triângulos, círculos e diferentes tipos de geometrias fractais. A geometria fractal iniciasse com um elemento gerador, posteriormente o ocorre a reprodução reduzida desse elemento, ou seja, esta forma geométrica é gerada recursivamente e apresenta dimensões fracionárias. A antena com geometria fractal consegue preencher o espaço de forma a miniaturizar elementos clássicos de antenas, como dipolos e quadros, e superar algumas das limitações de antenas de pequenas dimensões, como a largura de banda limitada (Balanis, 2009).

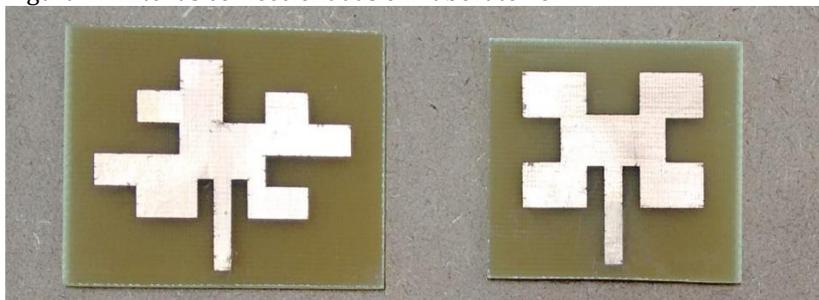
## **MATERIAL E MÉTODOS**

A aquisição dos sinais foi realizada por meio de dois pares de antenas com as geometrias fractais de Koch e Minkowski. Essas curvas fractais possuem propriedades de auto similaridade, que correspondem ao caráter multibanda das antenas projetadas e características de preenchimento do espaço, que é responsável pela miniaturização das dimensões (Oliveira et al., 2010). Ambos os pares foram alimentados por uma linha de microfita com impedância característica de  $50\Omega$  para o fractal de Koch e  $52\Omega$  para o fractal de Minkowski.

O elemento gerador utilizado consiste de uma antena tipo patch retangular de 31mm de largura e 20,5mm de comprimento para gerar a curva de Koch e de 28,2mm de largura e de 18,8mm de comprimento para gerar a curva de Minkowski, ambos para interação  $k=1$ . Posteriormente diversas simulações foram realizadas no software comercial Ansoft *HFSS™*.

Após as simulações as antenas foram confeccionadas com a microfita de face de cobre e substrato de fibra de vidro (FR4), com permissividade elétrica de 4,4, tangente de perdas igual a 0,002 e espessura de 1,57mm. Em seguida, colou-se o adesivo em vinil com as dimensões das curvas de Koch e Minkowski e submeteu-se as estruturas ao percloreto de sódio a fim de corroer o cobre, deixando com a presença desse metal apenas o patch e o plano de terra. Foram confeccionadas duas antenas para cada tipo de fractal, totalizando quatro estruturas. A Figura 1 mostra a esquerda a antena com fractal de Minkowski e a direita com fractal de Koch.

Figura 1. Antenas confeccionadas em laboratório.



Para a realização do experimento da perda de massa óssea, optou-se pela utilização de ossos bovinos, com o intuito de se aproximar das condições de anomalia do corpo humano. Submeteu-se uma amostra de osso bovino a descaracterização por meio de perfurações com furadeira. A amostra A1 corresponde ao osso de massa original, A2 indica o osso com massa alterada e A3 representa o osso com uma maior perda de massa óssea. Este processo de descaracterização é ilustrado na Figura 2. As características físicas como massa e volume foram determinadas em laboratório, para fins de caracterização das amostras dos ossos. O volume foi determinado de acordo com o princípio de Arquimedes, tal princípio afirma que quando um corpo está imerso em um fluido o volume desse corpo é igual ao volume do fluido deslocado pelo corpo. A massa foi quantificada utilizando uma balança de precisão.

Figura 2. Descaracterização da amostra.



Após a confecção das antenas, as amostras foram submetidas a radiação de micro-ondas na frequência de ressonância de 2,5 GHz, a fim

de quantificar os diferentes níveis de atenuação. Realizou-se o experimento com o auxílio do Analisador de rede Agilent – E5071C ENA, o esquema é mostrado na Figura 3.

Figura 3. Experimento da perda de massa óssea.



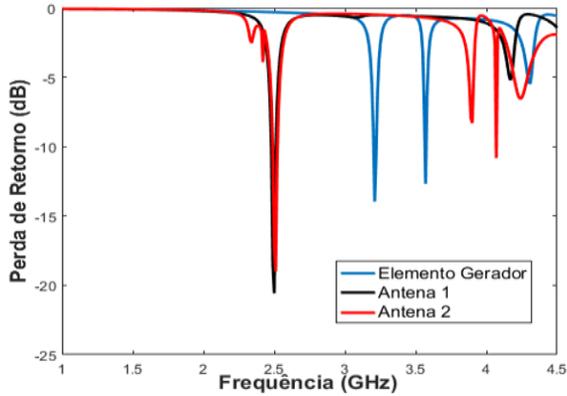
Como o diagrama de radiação das antenas de microfita é diretivo, as antenas foram posicionadas em paralelo e entre elas foram inseridas as amostras de teste. A onda eletromagnética emitida pela antena emissora, localizada à esquerda, será recepcionada pela antena receptora que está localizada à direita. O osso servirá como um obstáculo entre a emissão e a recepção do sinal. Dessa forma foi possível quantificar a atenuação do sinal emitido.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta a comparação entre os resultados do elemento gerador, que foi utilizado para aplicação das curvas fractais para fins de miniaturização das antenas, com os resultados dos fractais de Koch e Minkowski simulados no *HFSS™*.

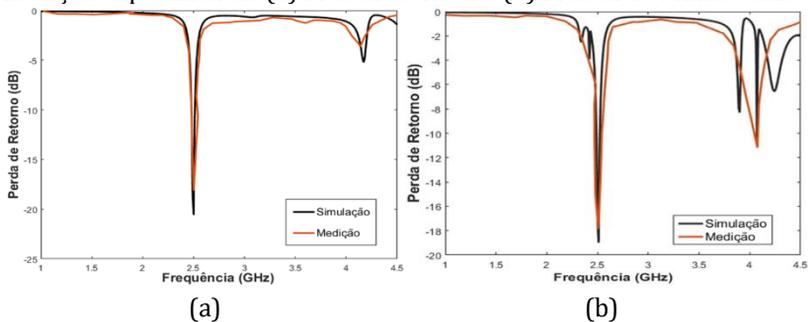
Tanto para o caso da antena 1 (considerando a curva de Koch) e antena 2 (curva de Minkowisk), a antena operou em uma frequência de 2,5GHz, exatamente. Isto representou um fator de compressão em frequência de aproximadamente 24,2%. Se considerar manter a frequência constante, esse fator de compressão poderia ser elevado para as dimensões físicas da antena, garantindo a miniaturização.

Figura 4. Comparativo da perda de retorno das estruturas simuladas no HFSS<sup>TM</sup>.



As antenas propostas neste trabalho foram caracterizadas experimentalmente. Para a antena com fractal de Koch a frequência de ressonância medida foi 2,5GHz com uma perda de retorno de -17dB e uma largura de banda medida de 65 MHz (Figura 5a). Considerando a antena de microfita com fractal de Minkowski a frequência de ressonância medida foi de 2,5 GHz com uma perda de retorno de -18dB e uma largura de banda medida de 72MHz (Figura 5b).

Figura 5. Comparativo dos resultados obtidos na simulação e na medição experimental: (a) Fractal de Koch e (b) Fractal de Minkowski.



Analisando esses resultados pode-se afirmar que ambos os fractais apresentaram capacidade de miniaturização. No entanto, a antena com fractal de Minkowski apresentou característica multibanda já que nos resultados verificou-se a presença de várias regiões de

ressonância. Essas características possibilitam confeccionar antenas bem menores do que as que seriam construídas com uma geometria retangular.

Os resultados da atenuação no experimento de perda de massa óssea para a antena com o fractal de Koch (antena 1) e para a antena com fractal de Minkowski (antena 2) estão descritos nas Tabela 1.

Tabela 1. Atenuação de uma mesma amostra descaracterizada

<b>Tipo</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Atenuação (Antena 1)</b>	<b>Atenuação (Antena 2)</b>
Amostra A1	58,7018	30	- 40,18 dB	- 57, 11 dB
Amostra A2	52,6019	28	-39,26 dB	- 37,81dB
Amostra A3	48,8829	27	- 33,64 dB	- 30,57 dB

Considerando a antena 1, de acordo com a Tabela 1, verificou-se que a amostra A1 que corresponde ao osso saudável apresenta atenuação maior que as amostras A2 e A3 alteradas com o processo de perfuração. Analisando a antena 2, para critério de comprovação verificou-se que a amostra de maior massa óssea apresenta uma atenuação maior que as amostras alteradas. Diante dos resultados apresentados pode-se observar que a medida que a massa óssea é reduzida a atenuação é menor, o que indica que o método proposto também pode ser empregado para avaliar a evolução da doença em um dado paciente. Portanto quanto menor a massa óssea maior será a energia na antena receptora. Estes resultados comprovam a capacidade do método proposto de avaliar a perda de massa óssea através da utilização de antenas de microfita com a geometria fractal de Koch e Minkowski.

## **CONCLUSÃO**

O método proposto para auxiliar no diagnóstico precoce da perda de massa óssea foi o desenvolvimento de antenas de microfita com geometria fractal para avaliar o nível de massa no tecido ósseo através da atenuação de ondas eletromagnéticas refletidas. As antenas com geometria fractal possuem capacidade de miniaturização e caráter multibanda, devido a isso foi possível reduzir os custos com a fabricação do protótipo. Através da análise dos resultados verificou-se a relação direta entre a atenuação do sinal emitido e o nível de perda de massa óssea, dessa forma foi possível comprovar a eficácia das antenas miniaturizadas com os fractais de Koch e Minkowski.

Com base nesses resultados conclui-se que as antenas de microfita em geometria fractal com frequência de ressonância de 2,5GHz podem ser usadas para desenvolver exames preventivos de baixo custo a fim de prevenir a osteoporose e reduzir os gastos com internações por fraturas. O baixo custo desse método possibilitará uma maior aplicação em regiões com alto índice de inviabilidade econômico financeira existente.

## **REFERÊNCIAS**

- Balanis, C. A. Teoria de Antenas – Análise e Síntese. Ed.3. v.1 e 2, Rio de Janeiro, 2009.
- Kraus, J. D. Antenas. Tradução de Paulo Antônio Marioto. Rio de Janeiro, 1983.
- Marieb, E. N.; Wilhelm, P. B.; Mallatt, J. Anatomia Humana. Ed.7. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.
- Oliveira, E. E. C. de; D’Assunção, A. G.; Martins, R. A; Oliveira, J. B. L. Antenas de microfita utilizando a curva de fractal de Minkowski. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 5, 2010, Maceió, Anais...Maceió, 2010.
- Sadiku, M. N. O. Elementos do Eletromagnetismo. Ed.3. São Paulo, 2004.
- Souza Cruz, A. Medição da densidade óssea através de ondas eletromagnéticas e classificação por MVS. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- Szejnfeld, V. L.; Marcelo, M. P. Epidemiologia da Osteoporose no Brasil. Revista Paulista de Reumatologia, v.10, p.9-20, 2011.

## **Curriculum dos Organizadores**

**Gisele Herbst Vazquez:** Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela USP/Piracicaba (1986), mestrado em Agronomia (Fitotecnia) pela mesma instituição (1995) e doutorado em Agronomia (Produção e Tecnologia de Sementes) pela UNESP/Jaboticabal (2005). Foi professora do curso de graduação em Agronomia (disciplina Produção e Tecnologia de Sementes) da UNESP/Ilha Solteira e da UNESP/Jaboticabal. É professora da Universidade Brasil/Fernandópolis, onde ministra disciplinas de graduação em Agronomia nas áreas de Sementes, Paisagismo e Agricultura desde 1998. Atua como docente titular no programa de pós-graduação em Ciências Ambientais nível mestrado da Universidade Brasil/Fernandópolis e na coordenação do curso de especialização lato sensu Cultura da Cana-de-Açúcar: Produção e Tecnologia. É a responsável pelo Laboratório de Análise de Sementes e pela coordenação do Laboratório Central da Universidade Brasil. Em 2007, passou a integrar o Banco de Avaliadores do INEP-BASIS. Conselheira titular do CREA/SP desde 2012. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fitotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: produção e tecnologia de sementes, manejo de culturas anuais e de cana-de-açúcar, paisagismo, arborização urbana e meio ambiente.

**Laerte Marques da Silva:** Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça; Mestre em Agronomia (Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Doutor em Agronomia (Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é professor do Departamento de Eng. Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe, responsável das disciplinas Agricultura II: feijão, amendoim e soja; Agricultura III: Algodão, café, mandioca e fumo; Oleaginosas: Mamona, pinhão manso, canola.

**Paulo Roberto Megna Francisco:** Pós-Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Agrícola pela UFCG. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

Sistema

**CONFEA**  
Conselho Federal de Engenharia  
e Agronomia



**CREA**  
Conselhos Regionais de Engenharia  
e Agronomia



**MUTUA**  
CASA DE ASSISTÊNCIA DOS PROFISSIONAIS DO CREA

Colégio de  
**Presidentes**

**CDEN** Colégio de  
**Entidades Nacionais**

Coordenadorias Nacionais de  
**Câmaras Especializadas**



978-85-60307-39-5