



**Fórum Octávio Mangabeira
discute Transportes e
Armazenamento dentro da
Agenda Desenvolvimento
da Bahia**



Instituto Politécnico da Bahia

Politécnica

Ano 10 Edição Quadrimestral Abril de 2018 ISSN 1809 8169

26E



**Brasil:
Os Desafios do
Desenvolvimento e da
Sustentabilidade**

IPB: O quê - Como - Quando?

O IPB na complexidade dos seus muitos **Quês**, faz dele um sonho ímpar, a nada comparável.

Assim foi quando iniciamos a gestão em 2013, sonhar um IPB da Bahia, como é o IPT do Brasil. Um sonho sonhado juntos, de ambição evolutiva, a reestruturação que avançou. Hoje, o novo sonho: fazer do IPB um híbrido FGV com IPT.

O Quê Somos? O IPB Ancorado em modelos que ampliam nossas asas em voos na linha do horizonte - MUNDO.

Como um grande desafio: o processo de Engenheirar expertise comercial. Como as Empresas de TI, lições a aprender, (Amazon, Apple, MicroSoft). Ou cases de periferias, com alta notoriedade de saber, à cada esquina da crise versus empreendimentos simples, criativos e bem sucedidos. Ou, ainda, nas imensas possibilidades do Sistema CONFEA, obstruídas por atitudes provincianas, lamentavelmente na Bahia, em falta o capital inteligência dos engenheiros, se não viabilizam projetos desenvolvimentistas.

Não há mais espaço para cobrar/esperar dos Governos, realizações /investimentos /empregos tecnicista para engenheiros. O verbo é viabilizar. A ação é empresarial. À exemplo de soluções inovadoras, encontradas nas empresas ENCOL, CNO, PROMON entre outras.

Crise, o caminho das oportunidades, lições de **como** usar a estratégia adequada, de forma



Revista do Instituto Politécnico da Bahia
Fundado em 1896
Ano 10
Edição Quadrimestral
Abril de 2018
ISSN 1809 8169

26E

engenhosa, especialmente quando o rumo é a internacionalização, onde o céu é limite de atuação. É imperioso: pensar globalmente e agir localmente.

Quando a história é alicerce firme do presente, o IPB, a segunda instituição de engenharia mais antiga do Brasil, criou e manteve a Escola Politécnica por 40 anos, antes de integrar à UFBA, e a FEP, outra criação do IPB, é a Fundação mais antiga. Assim o IPB traçou e comandou os destinos da engenharia aplicada, antes da existência do CREA. Ações que dignificam o presente da engenharia baiana.

Em 2013, o processo de aceleração do IPB foi retomado com uma reforma estatutária, adequada às demandas da sociedade atual, no quadriênio de mandato Caiuby Costa. O corpo de associados era 58 participantes, agora somos 182 sócios ativos. Em 4 anos 213%, um modelo de participação voluntária, aplicando capital inteligência, em tempo e retorno de alta qualidade monetária.

Em 2015, instituído e viabilizado o Prêmio

Arlindo Fragoso, em parceria com o CREA, agregando e valorizando jovens criativos e empreendedores no território baiano.

Em 2016, a equipe gestão avançou, renovada e rejuvenescida, com expansão de geografia/mercado, ampliando as ciências da engenharia. Projetos em destaque Candiota, Global Energia, Quebra-mar CODEBA, Bahiagás, Petrobrás e outros. E a Agenda de Desenvolvimento, parceria com o CREA, reanimou a comunidade de engenharia da Bahia, com destaque midiático.

Em 2016/2017, a trilha da internacionalização teve partida com o Relatório da UNESCO, com foco na responsabilidade social da ENGENHARIA. Nas considerações do Relatório UNESCO a gestão do IPB se reposicionou de forma diferenciada no cenário baiano e nacional, em articulação internacional.

O IPB reconhecido por unanimidade na Plenária CONFEA, como Entidade Precursora do Sistema, impactou em novos Termos de Cooperação e Protocolo de Intenções assinados, são onze, atualmente: CREA (3), UFBA, UFOB, FEP, CPqD, FINLÂNDIA, SEPLAN, COOPERMONTE, JÓIA DA BARRA DO POJUCA.

Finalmente, **em 2017**, estabelece o Protocolo de Intenções com a SEPLAN, o IPB integra o Conselho de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado – CODES em conjunto de participação com as Entidades: UGT, CUT,

FETAG, FETRAF, FECBAHIA, CEJUVE, COMISSÃO DE TERREIROS, ADABA (artesãos), DIEESE, UPB, CREA, IPB, COFIC, FIEB, SINDUSCON, SINDIMIBA, SINDILEITE, CET (turismo), ABAF (floresta), UESC, UNEB e UFBA.

Enfim, nesta soma dos **Quês, Como e Quando**, Somos hoje esta Plataforma da Gestão para o biênio:

a)Gerenciar com pragmatismo a auto sustentabilidade do IPB – receita/infinita e custo/zero

b)Efetivar o IPB como sendo de Utilidade Pública do Sistema CONFEA

c)Distribuir resultados para quem aplica o Capital Inteligência

d)Consolidar grupos âncoras, de Campos Maduros de petróleo & gás, Recursos Hídricos/Saneamento, Eficiência Energética, Sistemas de Transportes, Polo Verde

e)Interiorizar a engenharia, como instrumento para melhoria do IDH e elevação de receita municipal

f)Continuar ampliando a geografia/mundo, em mercado do IPB – IEP, Finlândia, como partida.

O próximo biênio é o nosso desafio. Vamos voar na Engenharia Aeronáutica, com a saúde da Bioengenharia.

Somos uma Seleção com a qualidade de dois times, um a Diretoria Executiva e o outro, o Conselho Deliberativo/Fiscal. Em campo, para uma só vitória: fazer do IPB o campeão da Engenharia!

Lenaldo C. Almeida

REVISTA POLITÉCNICA**Fundador**

JOSÉ GÓES DE ARAÚJO

Coordenadora

CRISTINA DE ABREU SILVEIRA

Colaboradores

JURANDYR SANTOS NOGUEIRA
ANAILDE PEREIRA ALMEIDA
CRISTINA DE ABREU SILVEIRA

DIRETORIA DO IPB**Presidente**

LENALDO CÂNDIDO ALMEIDA

Vice-Presidente

ADEMIR FERREIRA DOS SANTOS

Diretor Administrativo

RAMILE DANIELE PINTO RAIMUNDO

Diretor Financeiro

DEOLINDO ZOCATELI

Diretor de Negócios Empresariais

PAULO EDUARDO SCOPPETA SAMAPAIO

Diretor de Programa e Projetos Governamentais

EDUARDO RAPPEL

Diretor de Tecnologia, Pesquisa e Capacitação

ISAAC QUINTINO FERREIRA

Assessorias da Presidência

ANAILDE PEREIRA ALMEIDA
ADEMARIO SPINOLA
HEYDE VIVEIROS MAIA
JOSÉ EDUARDO LIMA BARRETO

CONSELHO FISCAL

ANTONIO CLODOALDO DE ALMEIDA NETO
ERONILDES DOS SANTOS
LUIZ ANÍBAL OLIVEIRA

Suplentes

HEBERT OLIVEIRA
RAYMUNDO JOSÉ GARRIDO

CONSELHO DELIBERATIVO**Presidente**

CAIUBY ALVES DA COSTA

Vice-Presidente

GEORGE GURGEL DE OLIVEIRA

Secretário

ASTHON JOSÉ REIS D'ALCANTARA

Conselheiros

ADINOEL MOTTA MAIA
ALBERTO ELOY GOES DE ARAÚJO
ANA HELENA HILTNER DE ALMEIDA
CRISTINA DE ABREU SILVEIRA
EDGAR NUNES DE ALMEIDA
EMMANUELLE MARIMPIETRI

GETÚLIO LINS MARQUES
GEORGE GURGEL DE OLIVEIRA
ITAMAR BARRETO PAES
JOSE BAPTISTA DE OLIVEIRA JR.
SILVIO CARLOS GALLO SAMPAIO
SILVINO SILVA BASTOS

Membros Natos do Conselho Deliberativo

CAIUBY ALVES DA COSTA
CARLOS EMILIO DE MENEZES STRAUCH
ERUNDINO POUSADA PRESA
GUILHERME REQUIÃO RADEL
JOSÉ ROGÉRIO DA COSTA VARGENS
LUIS EDMUNDO PRADO DE CAMPOS
MAERBAL BITTENCOURT MARINHO
MAURÍCIO FRANCO MONTEIRO

CÂMARAS ESPECIALIZADAS**Câmara de Tecnologia e Desenvolvimento**

ALBERTO ELOY GÓES DE ARAUJO
ANA HELENA HILTNER DE ALMEIDA
CRISTINA DE ABREU SILVEIRA
JOSE BAPTISTA DE OLIVEIRA JR.
GETÚLIO LINS MARQUES
SILVINO JOSÉ SILVA BASTOS

Câmara de Planejamento Estratégico

ADINOELMOTTA MAIA
EDGAR NUNES DE ALMEIDA
GEORGE GURGEL
SILVIO CARLOS GALLO SAMPAIO

Câmara de Economia e Finanças

ASTHON JOSÉ REIS ALCANTARA
ITAMAR BARRETO PAES
EMMANUELE MARINPIETRI

CONSELHO EDITORIAL

ADEMAR NOGUEIRA NASCIMENTO
ANAILDE PEREIRA ALMEIDA
CRISTINA DE ABREU SILVEIRA
JOÃO AUGUSTO LIMA ROCHA
JURANDYR SANTOS NOGUEIRA
KLEBER FREIRE DA SILVA

REALIZAÇÃO

CASA DO VERSO

DIRETOR RESPONSÁVEL

ANTONIO PASTORI

PROGRAMAÇÃO VISUAL

ANTONIO PASTORI

EDIÇÃO

CRISTINA MASCARENHAS

JORNALISTA RESPONSÁVEL

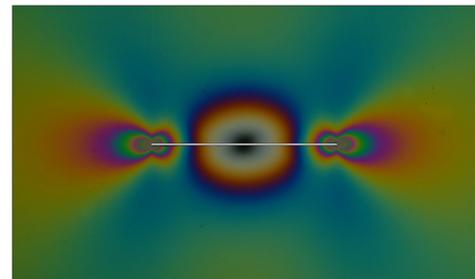
CRISTINA MASCARENHAS - MTB 1957

Os textos assinados e aqui publicados são de exclusiva responsabilidade de seus autores, podendo não representar a opinião do Conselho Editorial ou mesmo da Diretoria do IPB. A publicação das fotos e ilustrações desta edição são de responsabilidade da Casa do Verso com a devida publicação dos créditos dos seus autores.

02 Editorial

A evolução da Fotoelasticidade

*Cesare Gerson Fiorini
Alberto Borges Vieira Junior*



Síntese Ecologicamente Benigna do p-Mentano-3, 8-Diol a partir do Citronelal Presente no Óleo de Eucalyptus Citriodora

*L. B. Carvalho
A. M. de Carvalho
E. L. dos Santos*



24 Motores Elétricos e Eficiência Energética - Uma abordagem conceitual

Gilson Ferreira Lima



35 Informe Técnico: Índice de Desempenho da Manutenção - Um enfoque prático

Carlos Alberto de Gusmão



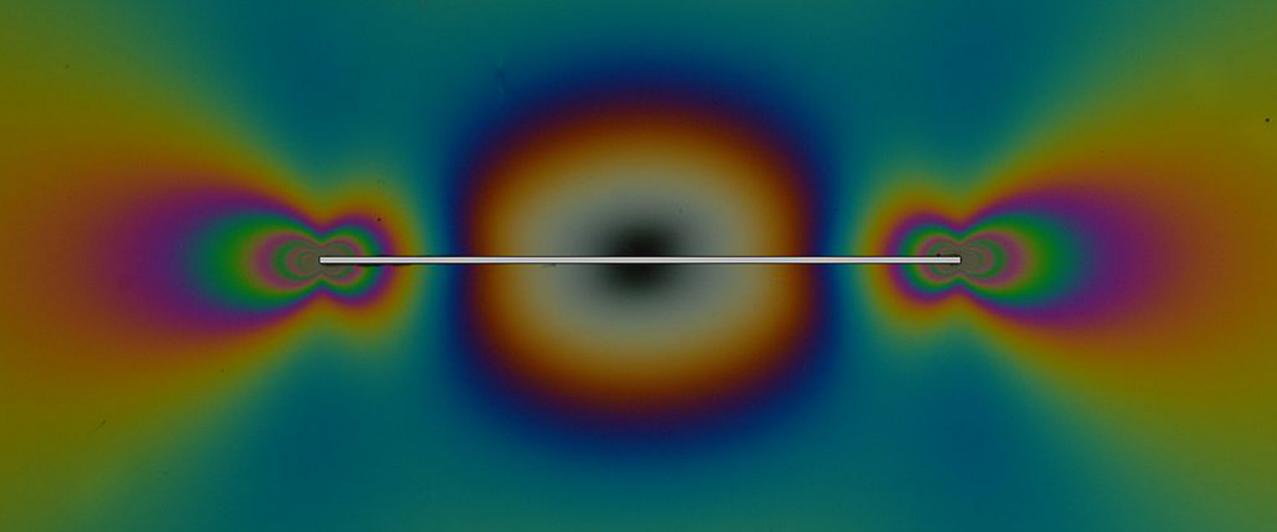
42 Especial: Brasil - Os Desafios do Desenvolvimento e da Sustentabilidade

George Gurgel de Oliveira



02 Notícias: Nova Diretoria IPB e Fórum Octávio Mangabeira





A Evolução da Fotoelasticidade

Cesare Gerson Fiorini

Alberto Borges Vieira Junior

Abstract: *This paper presents photoelasticity as a method used within structural integrity. Specifically treats about: beginning, stress analysis, fundamental principles, workings, measurements, didactic potencial. An example has been proposed and resolved. Finally, an overview has given about evolution regarding digital photoelasticity.*

Keywords: *structural integrity, photoelasticity, stress analysis, digital photostress*

Resumo: O presente artigo apresenta o método da fotoelasticidade, dentro da Integridade Estrutural, como técnica de ensaio mecânica. Aborda a origem, a análise de tensão, os princípios fundamentais, o funcionamento, as vantagens e o que se mede com essa técnica. Salienta-se o potencial didático. Enfim, é proposto um exemplo resolvido, além de se relatar a evolução da fotoelasticidade digital.

Palavras Chave: integridade estrutural, fotoelasticidade, análise de tensões, fotoelasticidade digital

Introdução

Hoje, é difícil imaginar uma sociedade em que não se possa contar com os 'produtos' das engenharias: navios, aviões, arranha-céus, carros, metrô, ar-condicionado, barragens, smartphones, internet, só para citar alguns entre os 'meios hodiernos' e mais comuns com os quais as pessoas estão acostumadas.

A esse respeito, a Integridade Estrutural compreende etapas como o pensar, projetar, produzir, provar e preservar as estruturas. O cuidado e o objetivo é de evitar que os elementos estruturais que constituem um equipamento, uma ferramenta ou uma estrutura mais complexa não apresentem falhas. As diversas condições de solitação que caracterizam os

Ainda de acordo com (CRUZ, 2013), uma das avaliações possíveis, dentro da Integridade Estrutural, é feita por meio da análise de tensões. Essa análise permite conhecer os níveis de tensões que atuam na estrutura. O conceito de tensão é de fato uma informação essencial para entender a confiabilidade no uso das estruturas. Essa grandeza é uma abstração física-matemática e para quem desconhece a tensão, ou não está familiarizado, é como se se tratasse de algo invisível ou incompreensível. Só se torna 'visível' e 'compreensível' quando os efeitos sobre as estruturas são prejudiciais: colapso, ruptura, falhas etc. Essas situações testemunham que os limites de resistência do material foram excedidos. Os impactos podem ser perdas econômicas, financeiras, de funcionalidade até o extremo caso das perdas de vidas humanas.

A Fotoelasticidade é uma técnica antiga dentro da Análise das Tensões. É um método experimental que visivelmente informa os níveis de tensão que atingem uma estrutura. Em função das recentes evoluções tecnológicas, a Fotoelasticidade “clássica” evoluiu em Fotoelasticidade Digital, assim como descrita posteriormente. Salienta-se também a importância didática dessa técnica na formação de novos engenheiros.

Análise de Tensões

Em termos de Análise de Tensões, para conferir e testar o grau de segurança das estruturas, utilizam-se pelo menos, uma dessas três análises: Análise Teórica, Análise Experimental e Análise Numérica. A solução teórica disponibiliza uma descrição usando uma lei física-matemática. A solução numérica, obtida por meio de modelagem computacional, depende do grau de detalhamento do modelo. Do outro lado, a análise experimental, quando viável, revela valores tangíveis e físicos de resistência e deformação.

A teoria formulada para descrever os comportamentos dos materiais baseia-se em experiên-

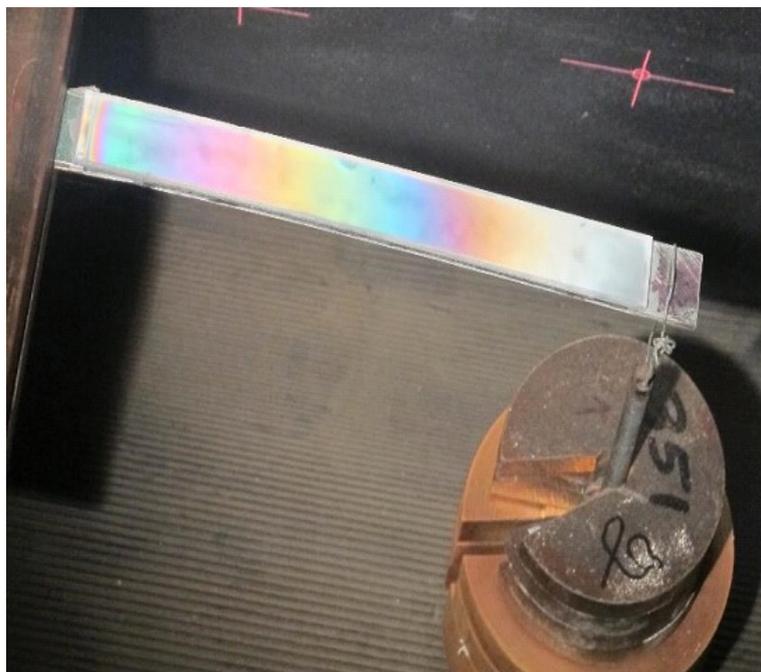


Foto: Autores

cias de laboratório além de ensaios efetuados em campo. A simplificação do modelo estrutural, quando lícita, em paralelo com a idealização mecânica e física, constitui uma técnica conveniente para definir e avisar, com antecedência, quais resultados são esperados e qual grau de confiabilidade é associado.

Existem dois tipos de ensaios: destrutivo e não destrutivo. A opção, entre um e outro tipo de ensaio, é tomada em função da finalidade e da disponibilidade do meio de realização. De preferência, opta-se para ensaios não destrutivos, chamados “END”. Esses tipos de ensaio acarretam um custo de execução menor e permitem a reutilização da peça.

Entre os END estão: Extensometria, Carregamento de Ponta, Líquido penetrante, Ultrassom, etc. Dentre outras técnicas, existem aquelas que pertencem à Fotomecânica, que é uma área da Mecânica que utiliza as propriedades das Ondas Eletromagnéticas, especialmente a Óptica. Esse campo supracitado inclui a Fotoelasticidade, Interferometria, Técnica do Raio X, Verniz Frágil, Técnica Moiré, Correlação de Imagem Digitais, Termografia etc.

Um breve histórico

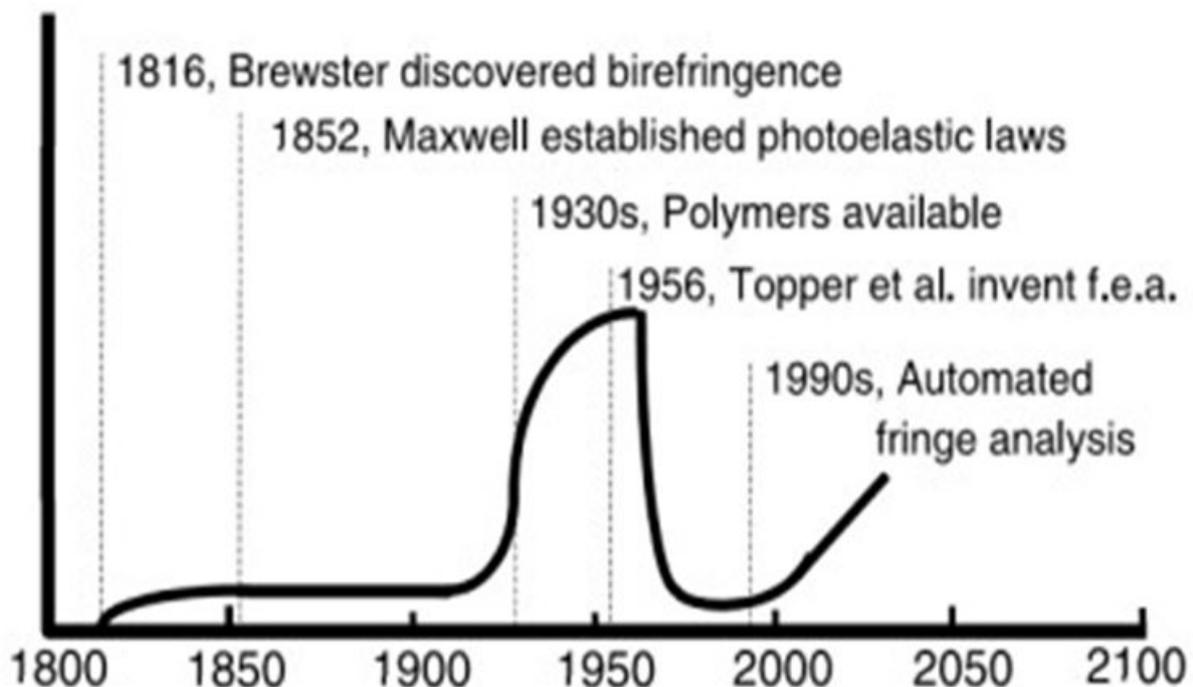
Na Edição nº 21-E desta Revista, o artigo “Um Prêmio Nobel de pai para filho e a celebração do centenário da cristalografia de raio X” relata o papel fundamental da cristalografia no nascimento da técnica do Raio X. Também a Fotoelasticidade deve a própria origem à ciência da cristalografia. Como citado em (KRISTTJANSSON, 2014), a união dos conhecimentos teóricos da cristalografia com a óptica colocaram os alicerces para a implantação da Técnica Fotoelástica. Segundo (CIRIOTTI, 2005) os primeiros relatos de observações sobre fenômenos de birrefringência, foram observados aproximadamente por Bartholin em espató de Islândia em 1669.

Seguindo com (KRISTTJANSSON, 2014), Brewster fez experimentos com luz polarizada em materiais que normalmente não são birrefringentes como o vidro, cera transparente, gelatina etc. e descobriu a birrefringência “acidental” em modelos de materiais que

estão sujeitos às pressões não hidrostáticas. Entre os pioneiros: Neuman, Mesnager, Wertheim e Maxwell deram contribuições. Neuman estudou os efeitos ópticos das tensões sobre peças de materiais birrefringentes. Wertheim descobriu que o efeito óptico é diretamente proporcional a intensidade do carregamento sobre o material. Mesnager utilizou essa técnica para estudos de Resistência dos Materiais. Enfim, Maxwell estabeleceu as leis da Fotoelasticidade, correlacionando os níveis de dupla refração com a diferença de tensões das duas componentes principais. Frocht, com diversos estudos, avançou bastante sobre essa técnica.

A popularidade da Fotoelasticidade sofreu uma queda no começo dos 1950 até o final do século. Mas desde a virada do novo milênio essa técnica vem sendo cada vez mais utilizada. Veja-se a figura a seguir.

Figura 1: Popularidade da Fotoelasticidade no tempo



Fonte: Patterson, 2002

O que se mede com a fotoelasticidade

Conforme (PAULA, 2005) as informações obtidas com o uso da fotoelasticidade são: as diferenças das tensões principais, as direções das tensões principais, as deformações dentro e fora do plano, os fatores de concentração de tensão. Os resultados podem ser avaliados em campo elástico e em campo plástico. Outra distinção é referente quanto ao tipo de mapeamento. Essa é uma técnica a 'campo inteiro' diferentemente da extensometria que fornece dados pontuais.

Princípio de Fundamental

Para entender o funcionamento da fotoelasticidade é preciso conhecer a teoria da luz. Salienta-se que, quando se refere à teoria da onda, existem dois tipos de óptica. A Geometria Óptica trata a natureza da luz como raio luminoso e explica fenômenos como: Reflexão, Refração, Lei de Snell etc. A Física Óptica descreve a luz com comportamento ondulatório envolvendo fenômenos como a Superposição das Ondas, Difração,

Interferência, Polarização, Lei de Malus e a Birrefringência.

A Birrefringência representa a principal propriedade física associada à fotoelasticidade. Esta manifesta-se como rifrangência dupla, no qual são originados dois raios refratos quando o raio original, previamente polarizado, passa por um meio chamado birrefringente assim como acontece com algumas pedras, plásticos e outros materiais. A Figura 2 mostra esse fenômeno.

As formulações que descrevem esse fenômeno são:

$$(1) \quad \Delta = \frac{2\pi h C}{\lambda} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$(2) \quad \sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N f_\sigma}{h}$$

$$(3) \quad N = \frac{\Delta}{2\pi}$$

$$(4) \quad f_\sigma = \frac{\lambda}{C}$$

Figura 2: Fenômeno da Birrefringência

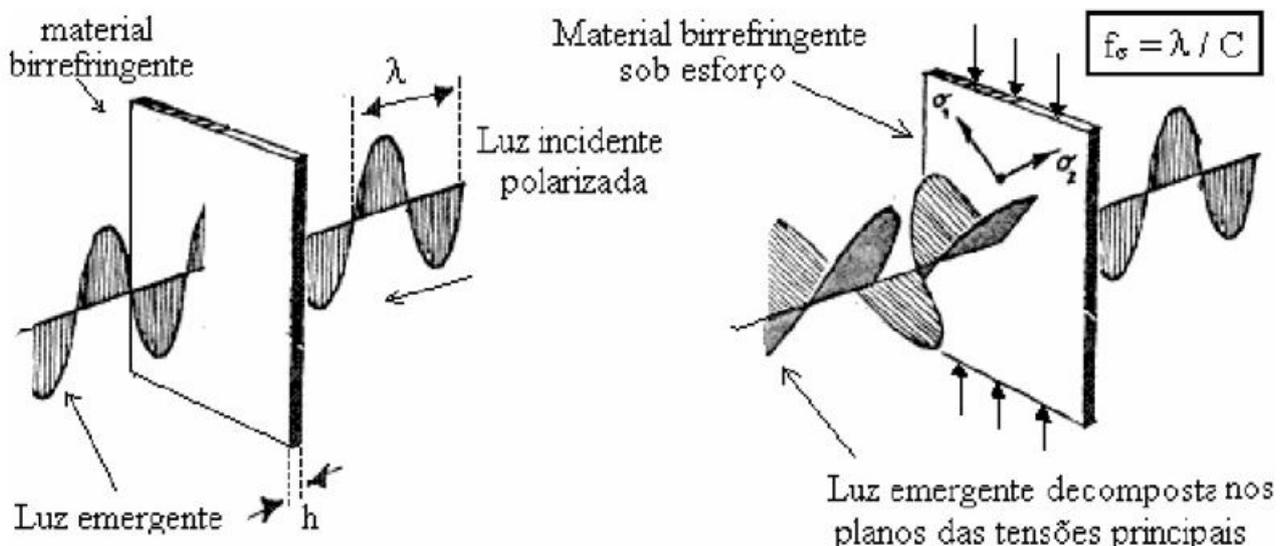
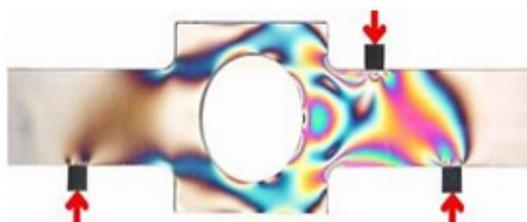


Foto: Suarez, 1997

Sendo que: $\sigma_1 - \sigma_2$ a diferença das tensões principais. h é a espessura do modelo no caso de fotoelasticidade de transmissão sendo que o raio atravessa o modelo. No caso de fotoelasticidade de reflexão, h é igual a duas vezes a camada que recobre o modelo sendo que o raio penetra a camada mas volta. λ coincide com o comprimento de onda. Δ é o retardo entre as ondas e corresponde com a diferença angular de fase entre as duas ondas principais. N é ordem de franja que da informação sobre o número de ciclos completos. Enquanto $f\sigma$ é a constante fotoelástica e C é coeficiente óptico-tensões.

A birrefringência é, porém, um fenômeno temporário. Só aparece quando o corpo está sujeito a carregamento ou apresenta tensões residuais; se o corpo estiver livre de carregamentos e sem tensões residuais, nenhuma franja vai surgir. A manifestação desse fenômeno implica o aparecimento de alternância de franjas na superfície do material fotoelástico, onde as franjas podem ser coloridas ou preto-branca dependendo se a fonte da luz é luz branca ou monocromática. A interpretação das alternâncias de franjas coloridas, dá uma informação referente ao nível de intensidade de diferença de tensões principais. Mostra-se, na figura a seguir, a ocorrência de franjas isocromáticas (referente às diferenças entre tensões principais) em um modelo sob carregamento

Figura 3: Franjas isocromáticas tempo

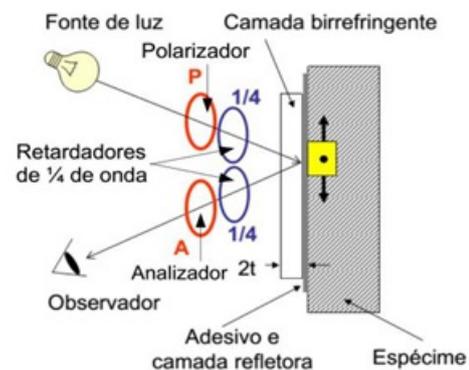


Fonte: Paula, 2005

Arranjo Experimental

Para utilizar esse método é necessário um arranjo experimental em que se emprega o Polariscópio de Reflexão, configurado como na figura seguinte. O Polariscópio tem várias partes: projetor de luz, filtro polarizador, retardador de um quarto de onda, outro retardador de um quarto de onda, analisador e uma videocâmara. Essa configuração é chamada de Polariscópio Circular, diferente do Polariscópio Plano, no qual são retirados os dois retardadores de um quarto de onda. Veja-se a figura a seguir:

Figura 4: Esquema Polariscópio Circular - Fotoelasticidade de Reflexão tempo



Fonte: Freire, J.L. 2015 (modificado)

Dentre outros conceitos estão as definições de franjas isocromáticas e franjas isoclínicas. As franjas isocromáticas, reconhecidas por serem constituídas por pontos com mesma cor, representam o lugar de pontos cuja intensidade de diferença das tensões principais é a mesma. As franjas isoclínicas são compostas por pontos cujas direções das tensões principais são as mesmas.

A ordem de franjas N representa uma determinada posição na sequência das franjas isocromáticas. Essa informação é fundamental para conseguir calcular a diferença de tensões principais. Assim como explica (SOLAGUREN, 2011), o valor N representa o

Vantagens

A fotoelasticidade permite o mapeamento de forma contínua e em campo inteiro da distribuição das tensões e das deformações nas estruturas. Pode ser usada em qualquer área da engenharia, medicina, indústria, sem restrição de aplicação, material etc. No caso da fotoelasticidade de reflexão, não se necessita reproduzir o corpo de prova, podendo-se utilizar o próprio elemento sujeito a ensaio, o que reduz tempos e custos da operação. Enfim, permite avaliar as respostas tensionais nas geometrias mais complexas e nas condições de carregamentos mais diversificadas.

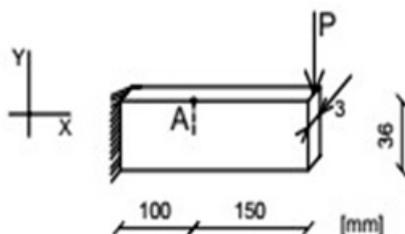
Potencial Didático

A possibilidade de visualizar a distribuição e intensidade das tensões e as relativas direções, destaca a fotoelasticidade por ser uma técnica experimental. A aplicação desse método consente aos estudantes mais novos de Engenharia entender fisicamente a distribuição das solicitações. Permite, portanto, assimilar mais rapidamente os conceitos teóricos de tensão, assim como o método numérico, que também facilita visualizar em cores diferentes os níveis de intensidade dos esforços. Mas o que acontece com a Fotoelasticidade não é uma simulação artificial, mas sim um fenômeno físico real que acontece com o aparecimento de cores diferentes na camada fotoelástica.

Exemplo

Para melhor entendimento dessa técnica, apresenta-se, na Figura, uma aplicação no caso da fotoelasticidade de transmissão bidimensional, por simplicidade.

Figura 5: Esquema Estrutural tempo



Fonte: VIEIRA Jr, 2014

Dada a barra prismática engastada de seção retangular com comprimento de 250mm, altura de 36mm e largura de 3mm e atuando um carregamento concentrado aplicado na extremidade livre. Sabe-se que o material usado é Policarbonato com Constante Fotoelástica $f_{\sigma} = 7,0N/mm$, Tensão limite de plasticidade $\sigma_p = 34,5MPa$, e com Módulo Elástico $E = 2,48GPa$. O Problema pede duas informações:

Qual a tensão σ_x no ponto A, onde foi identificada a franja isocromática $N = 4,5$?

$$(5) \quad \sigma_x - \sigma_y = \frac{Nf_{\sigma}}{h}$$

$$(6) \quad \sigma_x - \sigma_y = \frac{4,5 * 7,0N/mm}{3,0mm}$$

Mas $\sigma_y = 0$, que não existe força na direção transversal

$$(7) \quad \sigma_x = 10,5N/mm^2 = 10,5MPa$$

1) Qual a Força 'P' aplicada?

$$(8) \quad I = \frac{3 * 36^3}{12} = 11.66 \text{ mm}^4$$

$$(9) \quad \sigma = \frac{My}{I}$$

$$(10) \quad M = P * 150$$

$$(11) \quad 10,5 = \frac{(P * 150)18}{11.66} \quad \text{portanto } P = 45,4N$$

Fotoelasticidade Digital

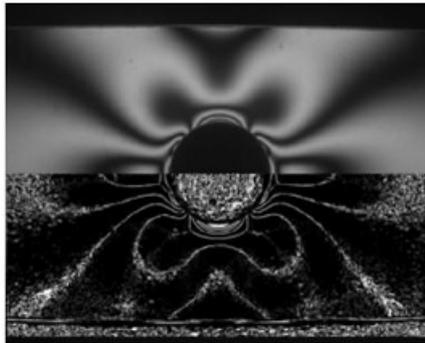
Seguindo com (SOLAGUREN, 2011) a Fotoelasticidade Digital nasce na década de 1980. Naquela época houve um avanço nas técnicas de digitalização das imagens. Também (PATTERSON, 2002) relata que no mesmo período surgiram novas técnicas de computação que tornaram o uso dessa técnica mais atraente. Também houve melhoria, seja no processo de aquisição de imagens, seja no processamento de imagens que

alavancaram a implementação da fotoelasticidade digital (SOLAGUREN, 2011)

Nos primeiros tempos, o cálculo dos valores das tensões com as técnicas fotoelásticas era feito manualmente. Requeria, portanto, um trabalho braçal numérico exaustivo e demorado. Atualmente, com as potencialidades dos computadores, a determinação dos valores é efetuada com o auxílio de programas comercializados ou com códigos escritos pessoalmente pelos próprios usuários.

Em (SOLAGUREN, 2011) o percurso para chegar à fotoelasticidade digital passou por várias etapas. As primeiras técnicas foram os métodos de compensação (como o do Tardy ou de Senarmont) usadas para determinar a ordem de franja fracionária. Em seguida,

Figura 6 a: Fringe-Sharpening



Fonte: Baek et al, 2013

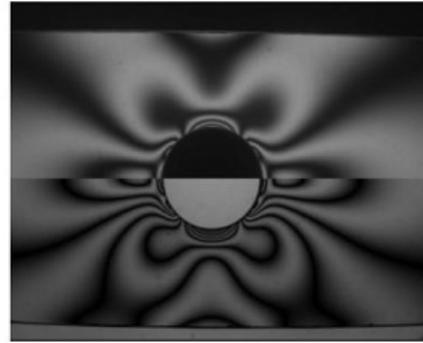
Sucessivamente, sempre de acordo com (SOLAGUREN, 2011) o evento da automação dos polariscópios levou a melhora na precisão da leitura e simplificação no ato da medição. Entre os métodos de automação que foram experimentados estão a rotação automática do analisador e continua rotação de alguns filtros do polariscópio. Ainda em (SOLAGUREN, 2011), com a chegada da digitalização das imagens, fala-se sobre as contribuições de Ramesh para a identificação de pontos que pertencem as mesmas franjas e a conseguinte atribuição de ordem de franja.

(SOLAGUREN, 2011) informa que essas

surgiu a técnica do “esqueleto das franjas” obtida com a introdução dentro dos polariscópios, de fotômetros, capazes de medir os pontos de menor intensidade de luz e portanto, adequado para definir melhor o mapa das franjas. Em (BAEK et al, 2013) outro progresso, na qualidade dos resultados, foi atingido quando conseguiu-se reduzir a espessura e o tamanho das franjas, por meio do Fringe-Sharpening ou chamada técnica de agudização das franjas assim como a técnica do Fringe Multiplication que consiste na multiplicação da ordem de franjas.

As Figuras a seguir mostram o efeito dessas duas técnicas em comparação com a imagem original colocadas na metade superior das duas imagens.

Figura 6 b: Fringe Multiplication



técnicas descritas anteriormente eram técnicas com soluções “pontuais”. Após essas, surgiram as chamadas técnicas whole-field, capazes de determinar para cada ponto analisado a ordem de franja e o ângulo da isoclínica.

Entre as demais técnicas de aquisição de dados referente às imagens, está aquela apresentada em (FREIRE, 2009) relativa ao Método RGB. O conceito cardeal, em que se baseia esse método, é associado a digitalização das três cores primárias: red (vermelho), green (verde), blue (azul) chamada com uma única sigla RGB. A combinação das três cores

permite a descrição de todo o espectro de cores visíveis. Através dessa técnica consegue-se definir a ordem de franja N entre 0 e 3. Mas nesse intervalo de ordem de franja há repetição das cores, portanto existe o risco de não identificar a correta ordem de franja. (RAMESH et al, 2013) para contornar esse risco, adota-se a reconstrução do modelo com a “técnica do puzzle”, que dá prioridade de resolução aos pixels mais próximos.

Outras técnicas a campo inteiro apresentadas em (PATTERSON, 2002) são chamadas Fourier Transform Analysis, Phase Shifting or Stepping que, traduzidas respectivamente, correspondem a Análise da Transformada de Fourier, Modulação ou Deslize de Fase. Com a Análise da Transformada de Fourier procura-se os ângulos das isoclínicas e o relativo retardo de onda trabalhando sobre o domínio da frequência, mas nesse caso, sempre segundo (PATTERSON, 2002), é preciso um elevado número de imagens (aproximadamente 90) para determinar o mapa das isoclínicas, onde é possível entender em quais direções se distribuem. Mesmo assim é necessário um processo de unwrapping (“abertura”) que serve para transformar a função periódica numa função contínua e associar portanto o nível correto de N .

O Grey-field Polariscope, por (PATTERSON, 2002) é uma técnica híbrida entre a Análise da Transformada de Fourier e o Phase-Stepping. O arranjo instrumental é constituído por um polariscópio circular, privado do segundo retardador de um quarto de onda. Essa técnica produz uma distribuição periódica das isoclínicas e da ordem do franjas da isocromáticas. Ambas precisam de uma operação de unwrapping, sendo que também esse dado é periódico, cujo valor varia entre 0 e π e necessita-se do correto valor como escreve (SOLAGUREN, 2011) por meio de operações de trigonometria inversa que transforma a função periódica em uma função contínua.

Referente ao Phase-Stepping, entende-se que a lógica de todas essas técnicas tem uma raiz comum. Uma ou mais variáveis estão sujeitas a “stepping” ou “shifting” ou seja, mudança descontínua, portanto discreta, da fase da luz produzida. Nessa condição, o distúrbio gerado pela rotação é menor em decorrência da automatização do giro. Sempre segundo (PATTERSON, 2002) da fase usa-se menos imagens quanto comparado ao Método de Fourier. Normalmente trabalha-se com luz monocromática. Essa técnica produz mapas periódicos das isoclínicas e das ordens de franjas isocromáticas.

Considerações Finais

Nesse artigo foi apresentada a Fotoelasticidade de Reflexão e a evolução em Fotoelasticidade Digital. O diferencial desse método é devido à visualização da distribuição das tensões, por meio das franjas isocromáticas e isoclínicas sobre o revestimento fotoelástico que recobre o corpo. Esse aspecto é significativo também para fim de ensino para os discentes de Engenharia. O próprio Timoshenko, pai da moderna Resistência dos Materiais, salientou as possibilidades desse método. Outra característica que destaca essa técnica é que pode ser aplicada diretamente sobre o corpo

original dispensando a reprodução de um modelo.

Hoje a Fotoelasticidade volta a ser procurada e utilizada cada vez mais como técnica experimental dentro da Integridade Estrutural. O tempo necessário para obter os resultados das tensões diminuiu. A aquisição e o processamento de imagens evoluíram. O processo de prototipagem ficou mais célere. Tudo isso contribuiu para ampliar ainda mais os campos de atuação da Fotoelasticidade dentro das engenharias, da medicina, odontologia etc.

E-mails de contato dos autores:

gerson.fiorini@gmail.com

abvieira@ufba.br

Referências

BAEK T.H et al, Image Processing Techniques for Fringe Analysis in Photoelasticity, Advanced Science and Technology Letters, Vol.37, pp5-8, <<http://dx.doi.org/10.14257/astl.2013.37.02>>

Acesso em 18/10/2014

CIRIOTTI, M.E. Micro (curiosità) Cristallo e Cristallografia: origini termini, 2005, pag.23-30, Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/258257050_CRISTALLO_ORIGINE_DEI_TERMINI_ED_ESPOSIZIONI_CORRELATE_-_PARTE_TERZA> Acesso em 18/10/2014

CRUZ, Julio Ricardo Barreto. Avaliação de componentes estruturais na engenharia: importância e aspecto multidisciplinar, Unifor Notícias, Numero 215, Fevereiro de 2012, Disponível em:

<http://uniformoticias.unifor.br/index.php?option=com_content&view=article&id=315&Itemid=31>

Acesso em 13/01/2016

FREIRE et al, Medição Automática de Franjas Isocromáticas usando a Fotoelasticidade RGB, Disponível em:

<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/AACAGG.pdf> Acesso em 6/06/2014

KRISTJANSSON, Léo. Historical notes on photoelasticity, a valuable technique in engineering research

Disponível em: <<http://www.raunvis.hi.is/~leo/pdf/Photoel2014.pdf>>. Acesso em 02/10/2014

MARTINS, Geraldo de Paula - Fotoelasticidade Primeiros Passos - Publicação CDTN-944/2005, Disponível em: <http://biblioteca.cdtm.br/cdtm/arpel/adobe/PUB_CDTN_944_Geraldo_PMartins.pdf>



Síntese Ecologicamente Benigna do p-Mentano-3,8-Diol a partir do Citronelal presente no óleo de Eucalyptus Citriodora

L. B. Carvalho

A. M. de Carvalho

E. L. dos Santos

Abstract: *This work reports on new synthetic methodologies for the preparation of useful fine chemicals, the cis- p-menthane-3,8-diol (PMD), a well-know repellent against mosquitoes, using acid catalysts. Citronellal, from Eucalyptus citriodora oil, were used as starting materials. High yields were achieved, around 60%, after short time for the conversions and cis-PMD selectivities (75%) were attained. These features make the methodology reported herein more advantageous with respect to those previously described and meet the requirements of the “Green Chemistry”.*

Keywords: *eucalyptus oil, citronellal, p-menthane-3,8-diol*

Resumo: Neste trabalho foram desenvolvidas rotas mais limpas para a síntese da p-mentano-3,8-diol (PMD) a partir do citronelal presente no óleo de Eucalyptus citriodora. O cis-PMD é um importante insumo para a Química Fina, utilizado como repelente para mosquitos. Das reações estudadas para a referida síntese, as que apresentaram resultados mais promissores foram as que utilizaram o ácido acético como catalisador. Estas reações apresentaram excelentes rendimentos, em torno de 60%, com alta seletividade para a cis-PMD, 75%. Considerando que o ácido acético possui toxicidade relativamente baixa, o mesmo pode ser classificado como reagente de baixo impacto ambiental em comparação ao convencionalmente utilizado, que é o ácido sulfúrico concentrado.

Introdução

O desenvolvimento de combustíveis, energia e produtos químicos a partir de recursos renováveis, como os gerados pela agricultura, pode contribuir para o desenvolvimento das áreas rurais e manutenção dos trabalhadores no campo, com a vantagem de serem biodegradáveis e geralmente não tóxicos. Os recursos renováveis podem ser usados para a síntese de uma variedade de produtos, inclusive de química fina [LENARDÃO, 2003].

Os óleos essenciais podem ser vistos como um exemplo desses recursos. São materiais voláteis, isolados por processos químicos ou físicos a partir de materiais vegetais. Estes constituintes voláteis, dependendo da espécie vegetal, podem ser extraídos de diversas partes da planta, como folhas, frutos, caule, casca, raiz e flores. Os métodos mais utilizados para extração são a destilação por arraste a vapor e a extração por fluidos supercríticos, nas quais, pequenas quantidades de materiais não voláteis podem também ser arrastadas, porém, se necessário estes componentes podem ser removidos por uma purificação posterior [ROZZI, 2002].

O monoterpeno, citronelal, é o principal constituinte do óleo de *Eucalyptus citriodora* (60 - 90%). quando isolado é um líquido incolor de odor refrescante, tendo inúmeras aplicações nas indústrias de fragrância, farmacêutica e cosmética, puro, associado ou como insumo na síntese de derivados de alto valor agregado. [SANTOS, 1999]. A maioria dos derivados do citronelal já são produzidos em escala comercial, utilizando ácidos minerais como catalisadores, em reações que nem sempre apresentam rendimento e/ou seletividade desejáveis.



Eucalyptus Citriodora

Assim, o desenvolvimento de tecnologias limpas tem sido incentivado por pressões sociais e políticas, com ênfase para o melhor aproveitamento de recursos renováveis e para a redução da poluição nas práticas industriais. O envolvimento da comunidade acadêmica na filosofia da “Química Verde” é desejável, para que com a divulgação de resultados consistentes, rotas de sínteses economicamente viáveis e ecologicamente corretas, o setor industrial seja incentivado a reavaliar seus processos [MONTEIRO e VELOSO, 2004].

Dessa forma, O presente trabalho almejou sintetizar o repelente de insetos, p-mentano-3,8-diol (PMD), a partir do citronelal, presente no óleo essencial de *Eucalyptus citriodora*, com a substituição do ácido sulfúrico, que é o catalisador tradicionalmente utilizado para esta síntese, por catalisadores menos nocivos, como o ácido acético, através de vias ecologicamente mais benignas.

Materiais e Métodos

Todos os reagentes e solventes empregados nesse trabalho foram adquiridos comercialmente e não houve necessidade de purificação prévia. O bissulfito de sódio, o ácido clorídrico, o ácido p-toluenossulfônico e o ácido acético foram adquiridos da VETEC, com pureza de 58,5%, 98%, 98,5%, 99,7%, respectivamente. O hexano 98,5%, o hidróxido de potássio 85%, o etanol 99,5% e o HPW (H3PW12O40.6H2O) foi adquirido da DINÂMICA, com pureza superior a 99%. O bicarbonato de sódio 99,5%, o cloreto de cálcio 98%, o cloridrato de hidroxilamina 99% e o bórax 99,5% foram obtidos da MERCK. O ácido sulfúrico foi adquirido da PROQUIMICOS com pureza de 98% e o dicloro metano, da ECIBRA. O óleo de Eucalyptus citriodora foi obtido da COMOLIMPA (Vitória da Conquista - BA) e o padrão da mistura de pulegóis, da Cebrarcom LTDA.

A rotaevaporação, quando necessária, foi feita em aparelho rotaevaporador IKA RV10. A análise cromatográfica em fase gasosa e a espectrometria de massas foram realizadas em aparelho GC/MS, Perkin Elmer, GC Clarus 680; MS Clarus 600 C, 70 eV; com coluna Elite - 5MS, espessura de filme 0,25µm e 0,25mm de diâmetro interno, com rampa de aquecimento variando de 10°C/min entre 50 e 200°C e com injetor e detector operando a 250°C. I

Inicialmente, o citronelal presente no referido óleo foi quantificado por cromatografia a gás acoplada a um espectrômetro de massas (CG/MS). Em seguida, a etapa de isolamento do citronelal compreendeu a formação do aduto desse aldeído com o bissulfito de sódio. Durante o procedimento, o excesso de SO₂ presente em 100 mL da solução aquosa a 40% de bissulfito de sódio, foi eliminado por uma corrente de N₂ e a solução foi resfriada abaixo

de 20°C. Depois, 10g do óleo bruto resfriado na mesma temperatura, foram lavados com 20 mL de bicarbonato de sódio 10% e adicionados à solução de bissulfito de sódio.

Depois de obtido, o aduto foi filtrado a vácuo e lavado com três porções de 10 mL de hexano e a secagem do sólido foi feita em dessecador. Finalmente, a recuperação do citronelal a partir do aduto bissulfídico foi efetuada por tratamento deste com uma solução aquosa a 30% de carbonato de sódio.

As reações de obtenção do p-mentano-3,8-diol foram realizadas pelas vias tradicionais, usando o ácido sulfúrico como catalisador [Yuasa,2000], e vias alternativas, com o ácido p-tolueno sulfônico, o ácido acético e o ácido fosfotungstico (HPW) para este fim. Todas as reações partiram de 5g do óleo de Eucalyptus citriodora e usaram como parâmetro 100 mL de solução aquosa dos referidos ácidos a temperatura de 25°C e o período de quatro horas. Em algumas reações, este tempo foi reduzido para uma hora.

Após o término do tempo estabelecido, transferiu-se o meio reacional para um funil de separação, extraíram-se os produtos com 15 mL de hexano, e depois lavou-se a camada orgânica com duas porções de 10 mL de solução aquosa de bicarbonato de sódio 10% e com duas porções de 10 mL de água destilada. Utilizou-se o cloreto de cálcio como agente dessecante e depois de filtrar, o solvente foi retirado em rotaevaporador. Finalmente, os produtos foram analisados por cromatografia em camada delgada e por cromatografia a gás acoplada a um espectrômetro de massas (CG/MS).

A tabela 1, abaixo, mostra a identificação das reações realizadas, o tempo reacional e a concentração dos catalisadores utilizados em cada rota.

Tabela 1: Reações de obtenção do PMD a partir do citronelal

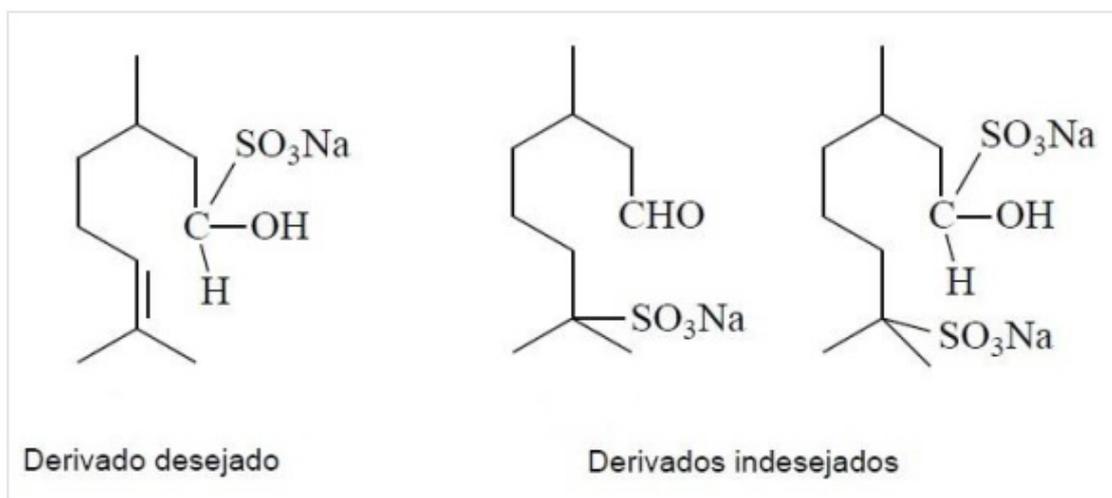
Identificação da reação	Catalisador	Concentração (%- m/v)	Tempo (h)
01	Ácido Sulfúrico	0,25	1
02	Ácido Sulfúrico	0,25	4
03	Ácido Sulfúrico	0,5	4
04	Ácido Sulfúrico	1	4
05	Ácido Sulfúrico	10	4
06	Ácido p-toluenossulfônico	0,1	4
07	Ácido p-toluenossulfônico	0,2	4
08	Ácido p-toluenossulfônico	0,2	1
09	Ácido p-toluenossulfônico	0,4	4
10	HPW	0,025	4
11	HPW	0,05	4
12	Ácido Acético	5	4
13	Ácido Acético	10	4
14	Ácido Acético	20	4
15	Ácido Acético	20	1

Resultados e Discussão

A quantidade de citronelal encontrada no óleo de eucalipto pela análise por CG/MS foi de 86%. Este óleo, apresentou, ainda, isopulegol (2,89%) e citronelol (6,71%). Composição compatível com a citada na literatura para o óleo desta espécie (DONALÍSIO, 1985).

No processo de isolamento, a reação do óleo de eucalipto com o bissulfito de sódio foi escolhida, pois o produto desta reação tem mais estabilidade para armazenamento e o citronelal é facilmente recuperado, quando necessário. Esta reação pode originar três produtos de adição, como mostra a figura 1.

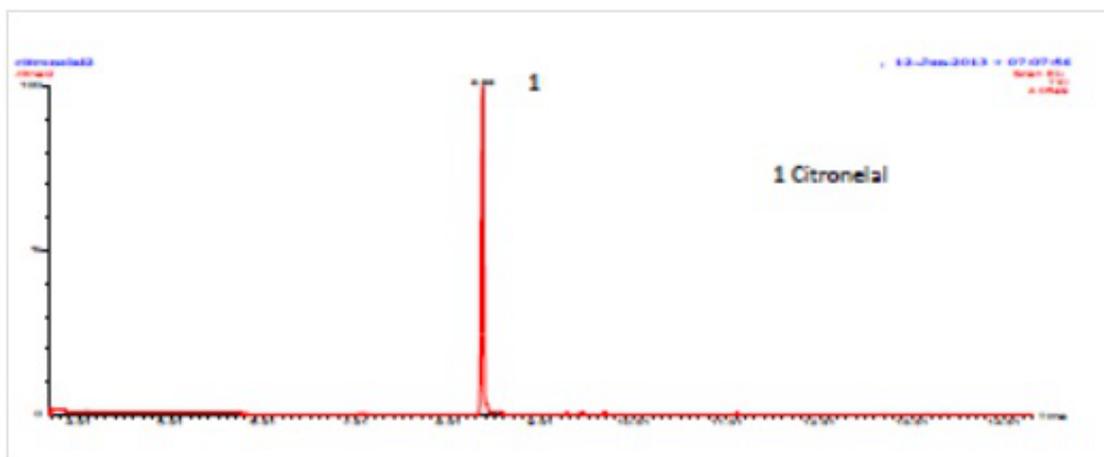
Figura 1: Produtos da adição do citronelal com bissulfito de sódio



O resfriamento abaixo de 20°C minimiza a formação dos produtos indesejáveis (4) e (5) e a lavagem com o bicarbonato de sódio elimina o ácido citrônico que, caso presente no óleo, pode reagir com o bissulfito. Além disso, adicionou-se 25 mL de etanol ao meio reacional com o objetivo de melhorar a interação entre as fases. A reação foi mantida sob agitação até que houvesse a formação do aduto, um sólido branco de aspecto pastoso e odor característico.

A primeira tentativa de isolamento apresentou problemas quanto à quantidade de óleo bruto utilizada, pois a adição de 10g do óleo de Eucalyptus Citriodora, como citado na literatura, não se mostrou suficiente para produzir o aduto [SANTOS, 1999]. Assim, foram acrescentadas gotas do óleo até que o aduto fosse obtido. Nesse procedimento não foi possível quantificar a massa de citronelal obtida, uma vez que não havia massa inicial do óleo definida.

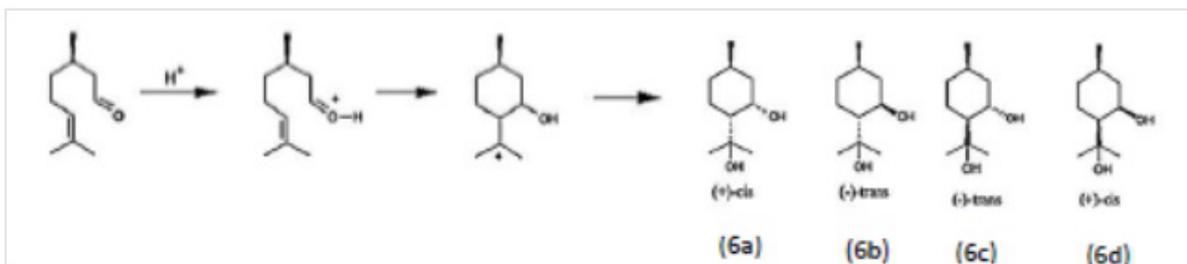
Figura 2: Cromatograma do citronelal isolado



Repetiu-se o experimento mantendo-se o controle da massa de óleo adicionada e obteve-se um rendimento em massa de 66% de citronelal isolado a partir do aduto bissulfídico com pureza de 95%, determinada por CG/MS. Esse é um excelente resultado para uma reação de extração quimicamente ativa que envolve várias etapas. A figura 2, acima, mostra o cromatograma do citronelal isolado. Sabe-se que o p-mentano-3,8-diol (6) é um importante insumo para a química fina que

possui alto valor comercial e é utilizado como repelente e inseticida, sendo o cis-p-mentano-3,8-diol (6a) o isômero mais ativo para essas aplicações. Esse diol pode ser obtido a partir do citronelal por meio de catálise ácida. Essa reação envolve, inicialmente, a ciclização do citronelal para isopulegol. Depois, o p-mentano-3,8-diol surge como produto da hidratação do isopulegol. Além disso, o PMD pode reagir com o citronelal remanescente no meio e formar acetais [CHENG, 2009].

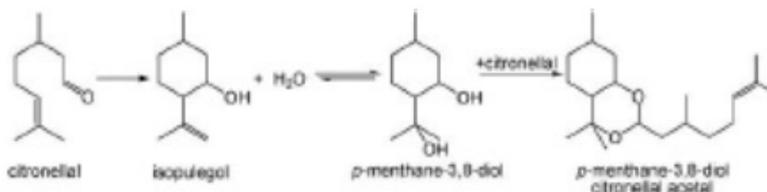
Figura 3: Formação dos isômeros do PMD a partir da ciclização do citronelal



Durante a reação de síntese do p-mentano-3,8-diol, a etapa de adição do óleo de eucalipto à solução ácida deve ser lenta, pois a alta

concentração de citronelal no meio favorece a formação de acetais pela reação deste monoterpeno presente no óleo com o PMD.

Figura 4: Formação de acetais a partir da reação do PMD com o citronelal



Assim, p-mentano-3,8-diol foi sintetizado com o auxílio de diferentes ácidos como catalisadores. Segundo a literatura, o HPW é o ácido mais forte dentre os utilizados [KOZHEVNIKOV,

2002]; seguido do ácido sulfúrico, p-toluenossulfônico e, por fim, o ácido acético. A tabela 2, abaixo, resume os resultados obtidos com a utilização do H₂SO₄ como catalisador.

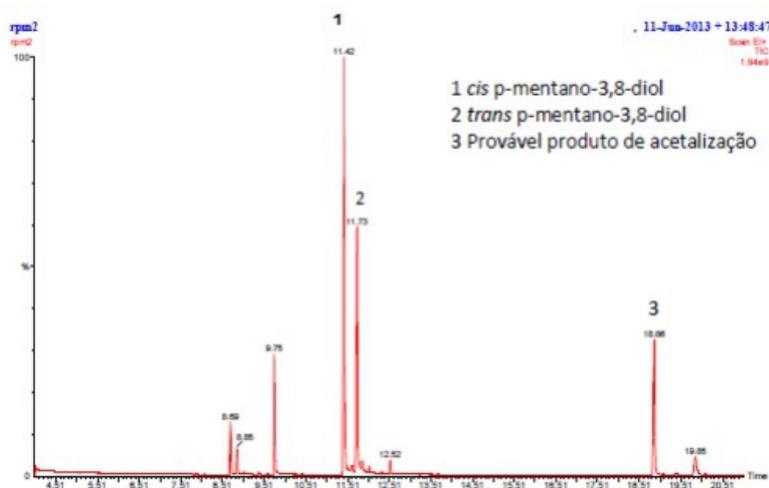
Tabela 2: Rendimento e seletividade na obtenção do PMD com ácido sulfúrico

Rota	Concentração (%)	Tempo (h)	Rendimento em PMD (%)	Seletividade para o isômero <i>cis</i> (%)
01	0,25	1	11,40	70
02	0,25	4	62,64	71
03	0,5	4	57,39	72
04	1	4	56,63	74
05	10	4	81,73	61

Os dados obtidos indicam que a melhor concentração, de ácido sulfúrico, entre as estudadas foi a de 10%. O tempo reacional não afeta a seletividade, mas é um fator significativo para o rendimento da reação. Quando houve diminuição no tempo da reação (1), com uma solução aquosa de H₂SO₄ 0,25%, o rendimento apresentou diminuiu acentuada-

mente. Além disso, os resultados sugerem que o aumento da concentração gera um aumento no rendimento. Essas informações estão coerentes com as encontradas na literatura para esse tipo de reação [LENARDÃO, 2007]. A figura 6 apresenta o cromatograma da reação (5), a que apresentou o melhor resultado com o uso do ácido sulfúrico como catalisador.

Figura 5: Cromatograma da reação (05), H₂SO₄, 10%



Como o H₂SO₄ já é utilizado, comercialmente, para esta reação e é um reagente bastante agressivo ao meio ambiente, outras rotas

foram testadas, com catalisadores menos nocivos. As tabelas seguintes mostram os resultados obtidos com outros ácidos:

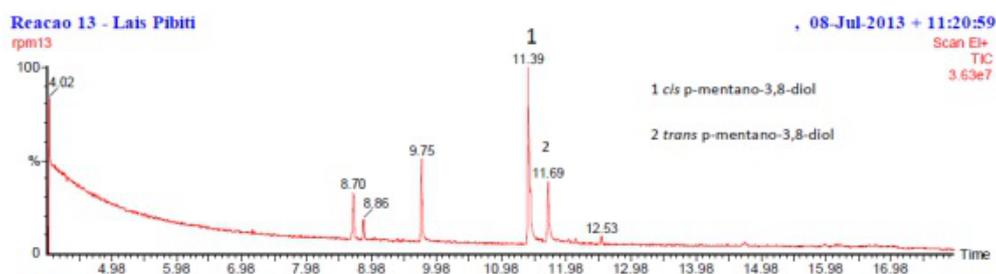
Rota	Concentração (%)	Tempo (h)	Rendimento em PMD (%)	Seletividade para o isômero <i>cis</i> (%)
06	0,1	4	68,57	71
07	0,2	4	64,37	70
08	0,2	1	17,67	78
09	0,4	4	63,81	68

De acordo com os dados obtidos, a reação utilizando 0,1% do ácido p-toluenossulfônico apresentou o melhor rendimento, com seletividade semelhante à reação tradicional com o ácido sulfúrico. Nota-se que o aumento na concentração do catalisador não influencia o rendimento da reação de maneira significativa. Além disso, a variação no tempo reacional foi significativa para essa reação. Em uma etapa seguinte deste trabalho, o tempo reacio-

nal será aumentado, para testar a possibilidade do aumento do rendimento.

O ácido p-toluenossulfônico (APTS) ainda não havia sido testado para esta reação, sendo uma substância menos agressiva que o ácido sulfúrico. Por estes motivos, os resultados obtidos com o APTS são bastante promissores. A figura 7 mostra o cromatograma da reação (6), a que apresentou o melhor resultado com o uso do APTS como catalisador.

Figura 6: Cromatograma da reação (06), C₇H₈O₃S.H₂O, 0,1g



O HPW é o mais forte dos ácidos utilizados. Este heteropoliácido possui diversas propriedades como baixa tendência à corrosão e alta

seletividade [Pizzio, 2001]. Dessa forma, resolveu-se utilizar esse reagente como catalisador da reação de obtenção do PMD.

Rota	Concentração (%)	Tempo (h)	Rendimento em PMD (%)	Seletividade para o isômero <i>cis</i> (%)		
	10		0,025	4	4,43	81
	11		0,05	4	13,04	42

Os resultados mostram um baixo rendimento para a reação catalisada com o HPW comparando com os resultados obtidos com o ácido sulfúrico e com o APTS. Assim, faz-se necessário novos estudos para explorar melhor essa rota, inclusive, com a variação da quantidade do catalisador, da temperatura e do tempo reacional. Além disso, esse catalisador possui um alto custo, fazendo com que o interesse em

utilizá-lo diminua à medida que bons resultados são alcançados com catalisadores mais baratos, como o ácido acético, por exemplo.

O ácido acético (CH_3COOH) é um ácido fraco, de baixa toxicidade e baixo custo. Devido a estas vantagens, resolveu-se utilizar este ácido como catalisador para reação em questão.

Tabela 5: Rendimento e seletividade na obtenção do PMD com ácido acético

Rota	Concentração (%)	Tempo (h)	Rendimento em PMD (%)	Seletividade para o isômero <i>cis</i> (%)
12	5	4	22,60	68
13	10	4	59,51	71
14	20	4	59,86	75
15	20	1	6,30	73

Os dados obtidos mostram que a melhor concentração do catalisador, entre as testadas, foi a de 10%, pois dobrando essa concentração o rendimento sofre alterações mínimas. Além disso, a seletividade encontra-se próxima à encontrada utilizando o método tradicio-

nal [YUASA,2000]. Semelhante às reações com outros catalisadores, o tempo de reação interfere, significativamente, no rendimento. A figura 8 apresenta o cromatograma da reação (13), a que apresentou o melhor resultado com o uso do ácido acético como catalisador.

Conclusão

As etapas de quantificação e isolamento do citronelal presente no óleo de Eucalyptus citriodora foram realizadas com sucesso. As reações de obtenção do p-mentano-3,8-diol utilizando catalisadores menos nocivos ao ambiente apresentaram resultados satisfatórios. Destas, as rotas com os ácidos acético e sulfúrico, 10% e com o ácido p-toluenossulfônico, 0,1%; apresentaram os melhores rendimentos e seletividades. As reações com HPW não apresentaram bons resultados, tornando-se necessários novos estudos para aperfeiçoar esta rota.

A variação no tempo reacional também se mostrou um fator importante na obtenção

do PMD, pois todas as reações que sofreram redução no tempo, apresentaram queda de rendimento.

De forma geral, o presente trabalho contribuiu para a otimização das metodologias de quantificação e isolamento do citronelal presente no óleo de Eucalyptus Citriodora e para a promoção de rotas alternativas que possam substituir o ácido mineral, H_2SO_4 , na obtenção de um importante insumo, que já é utilizado comercialmente como repelente de insetos, o p-mentanodiol, de forma economicamente mais viável e mais benigna para o meio ambiente.

E-mails de contato dos autores:

laiscarvalho@ifba.edu.br

nan452@hotmail.com

Referências

- [1] BIZZO, Humberto R.; Hovell, Ana Maria C.; Rezende, Claudia M. Óleos essenciais: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, v.32, p.588-594, 2009.
- [2] CHENG, Haiyang - Cyclization of Citronellal to p-menthane-3,8-diols in water and carbon dioxide, 2009.
- [3] DRAPEAU, Jeremy - Green synthesis of p-menthane-3,8-diol from Eucalyptus citriodora: Application for repellent products, 2011.
- [4] DONALÍSIO, M. G. R.; Pesquisas sobre plantas aromáticas. Anais do I Simpósio de Óleos Essenciais e Plantas Aromáticas, cap 3, p. 11, Fundação Cargill, São Paulo, 1985.
- [5] KOZHEVNIKOV, I. V. - Catalysis by Polyoxometalates. *Catalysis for fine chemical synthesis*, v.2. England: editor John Wiley Sons Ltd, 2002, 201p.
- [6] LENARDÃO, E. J. et al - "Green Chemistry" – Os 12 Princípios da Química Verde e Sua Inserção nas Atividades de Ensino e Pesquisa. *Quím. Nova*, v. 26, n. 1, p. 123 - 129, 2003.
- [7] LENARDÃO, E. J. et al - Citronellal as Key Compound in Organic Synthesis. *Tetrahedron*, v. 63, p. 6671-6712, 2007.
- [8] SANTOS, E. L. – Utilização de heteropolicompostos como catalisadores limpos para produção de insumos para química fina a partir da isatina e do citronelal. 2008. p. 103-132. Tese de Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- [9] YUASA, Yoshifumi; Tsuruta, Haruki; Yuasa, Yoko – A Practical and Efficient Synthesis of p-Menthane-3,8-diols, 2000.



Motores Elétricos e Eficiência Energética: Um abordagem conceitual

Gilson Ferreira Lima

Resumo: Motores elétricos de Indução Trifásicos (MIT) são amplamente utilizados em instalações industriais de pequeno e grande portes; e seu uso intensivo tem como consequência a oneração da conta de energia elétrica com reflexos imediatos nos custos de produção. A aplicação de técnicas de eficiência energética na operação otimizada de tais máquinas exige a correta aplicação dos conceitos teóricos de funcionamento e operação dos MITs.

Palavras Chave: Motor de Indução; Motores - funcionamento; Eficiência Energética; Perdas no Motor; Potência do Motor.

Introdução

O motor elétrico é uma máquina destinada à transformação de energia elétrica disponibilizada pela Concessionária em energia mecânica para aplicação em processos industriais [1].

As máquinas de campo girante, como os motores elétricos de indução, por combinarem as vantagens de simplicidade construtiva, inexistência de comutador, robustez mecânica de construção, quando comparadas com máquinas de corrente contínua, apresentam as seguintes vantagens [2]:

- menores custos de manutenção;
- maiores potências limites;
- maiores velocidades;
- menor momento de inércia;
- menor relação peso / potência;
- maiores facilidades de proteção contra atmosferas explosivas na indústria;
- simplicidade de comando e acionamento.

Motores elétricos são os mais utilizados dentre os diversos tipos de motores disponíveis no meio industrial. São feitos para funcionarem com velocidade constante de rotação, que pode variar ligeiramente (por

breves períodos de tempo) com variações da carga mecânica aplicada ao seu eixo.

No entanto, MITs são construídos para terem a armadura ligada à uma fonte em corrente alternada de alimentação monofásica ou polifásica, com frequência e módulo estáveis (normalmente constantes).

São dotados de partida própria (torque ou conjugado de partida) e que tem seu ponto de funcionamento deslocado em proporção direta com a variabilidade do conjugado mecânico da carga e da amplitude e frequência da tensão de alimentação (VCA) na armadura (estator bobinado), posto que "a tensão aplicada ao rotor é uma tensão induzida de frequência e potencial variáveis, produzida como consequência da velocidade do rotor em relação à velocidade síncrona" [3].

A figura 1 auxilia na visualização das partes constituintes de um motor de indução. A vista

explodida permite a identificação do rotor como componente interno ao enrolamento estator e que está associado ao eixo da máquina.

O presente artigo objetiva apresentar as principais causas e consequências da operação de motores elétricos de indução fora de seu ponto ótimo de operação (rendimento máximo) e da necessidade de se buscar mitigar tais situações recorrendo-se à técnicas de eficiência energética de máquinas elétricas.

O Capítulo II versará sobre conceitos técnicos de funcionamento de um motor elétrico. No Capítulo III será abordada a contribuição da tecnologia na avaliação das principais grandezas elétricas e como se aplicará a gestão das perdas para tornar eficiente a operação dos MITs. Conceitos de eficiência energética em instalações elétricas serão apresentados.

Figura 1: Vista explodida do motor de indução trifásico.



Fonte: www.weg.net

Fonte [4]

Motor de Indução Trifásico

O motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: Estator e Rotor [5].

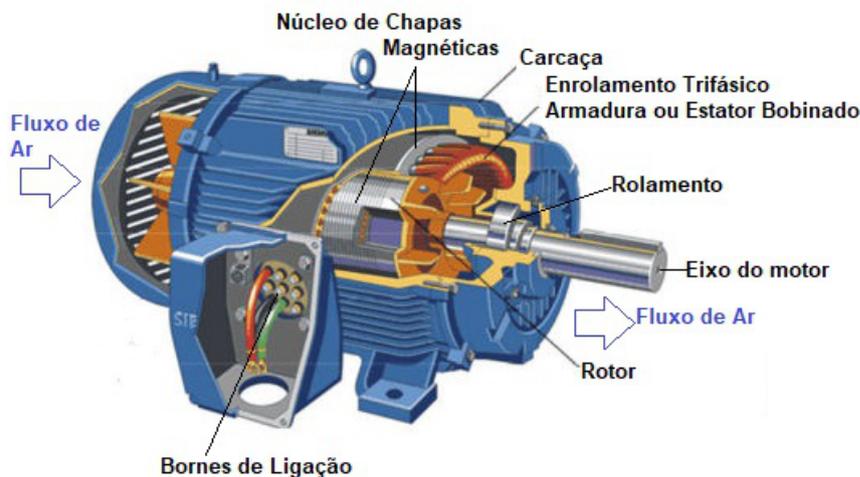
Os núcleos do estator e do rotor são formados de discos de chapa laminada (com espessura normal de 0,5 mm) isolados e fortemente prensados formando um pacote cilíndrico [6].

O estator é composto de três conjuntos iguais de bobinas, um para cada fase, formando um

sistema trifásico ligado à rede de alimentação.

A figura 2 nos auxilia na observação de que o rotor é envolvido e gira no entorno do enrolamento do estator, sem tocá-lo, no entanto. Sua alimentação é fruto da força eletromotriz induzida pelas correntes trifásicas estatóricas do motor. O estator constitui a parte fixa da máquina.

Figura 2: Partes componentes de um motor de indução.



Fonte: [6]

O rotor é formado por um sistema de enrolamentos também trifásico, fechado sobre si mesmo, isto é, suas fases são ligadas a um ponto comum, ou são curto-circuitadas através de uma resistência trifásica externa.

O enrolamento do rotor pode ser também constituído de um conjunto de barras não isoladas e interligadas por anéis de curto-circuito: é o enrolamento "de gaiola". Daí denominar-se ao motor assim constituído de "motor de gaiola" [5]. O rotor é a parte móvel da máquina.

O que caracteriza o motor de indução é que só o estator possui ligação à rede de alimentação. O rotor não possui alimentação externa e as correntes que por seus enrolamentos circulam, como foi acima descrito, são induzidas eletromagneticamente pelo estator, donde deriva a denominação de "motor de indução" [5].

O princípio de funcionamento do motor de indução assemelha-se muito ao funcionamento de um transformador elétrico, com o estator correspondendo ao primário e o

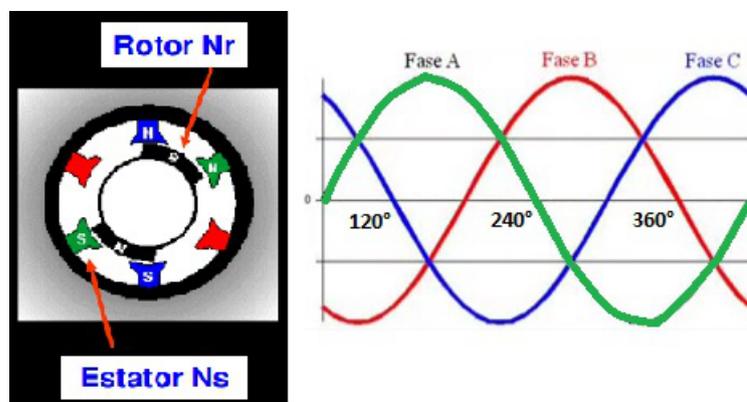
enrolamento do rotor correspondendo ao secundário do transformador. Pode-se ter acesso ao circuito rotórico por meio de três anéis e escovas [6]. A resistência do enrolamento rotórico tem muita influência na curva de torque (conjugado elétrico) de um motor de indução.

Conjugado é a medida do esforço necessário para girar um eixo. Assim, conjugado ou torque de partida é a força inicial de giro de

motor elétrico, disponível mecanicamente no eixo do mesmo.

Campo magnético girante e de amplitude constante é produzido pelos enrolamentos trifásicos do estator cujas correntes estão defasadas no tempo de 120 graus elétricos em cada fase [7]. O deslocamento no espaço do campo girante resultante corresponde em exatidão ao deslocamento fase-temporal da frequência da alimentação trifásica.

Figura 2: Campo girante produzidos por 3 pares de polos, com velocidade n_s , e respectivas tensões induzidas, deslocadas de 120°.



Fonte: Wikipedia- GNU

Os enrolamentos do estator podem ser construídos para produzir dois, quatro, seis ou mais polos de um campo rotativo, cuja velocidade (denominada de rotação síncrona, n_s em rotações por minutos) é relacionada com a frequência (f , em Hz) da rede e com o número de polos (P) ou pares de polos (p) do enrolamento pela fórmula [6]:

$$n_s = 120 \frac{f}{p} = 60 \frac{f}{2p} \text{ [rpm]} \quad (1)$$

A figura 3 mostra a disposição dos polos e respectivas tensões induzidas defasadas de 120° elétricos no rotor.

É devido ao escorregamento relativo entre as frequências das correntes estáticas e

rotóricas que, por interação entre seus respectivos campos magnéticos, é produzido o torque no motor de indução [7].

O campo rotativo induz tensões e, conseqüentemente, correntes no rotor. É pela interação entre campo magnético indutor e campo magnético induzido que aparece o torque mecânico, o que faz o motor girar [6].

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, o enrolamento rotor "é cortado" por linhas de força magnéticas do campo e, pelas Leis do Eletromagnetismo (Leis de Ampère, Faraday, e de forma especial a de Lenz) circularão nele correntes induzidas [5].

As correntes induzidas no rotor criarão seu próprio campo magnético, de polaridade

oposta à do campo girante. Como campos opostos se atraem e sendo o campo do estator (campo girante) rotativo, o rotor tende a acompanhar a rotação do campo girante estático.

Desenvolve-se então, no rotor, um conjugado motor que faz com que ele gire, acionando a carga. Quanto maior a carga, maior terá que ser o conjugado necessário para acioná-la. Para obter o conjugado necessário, terá que ser maior a diferença de velocidades para que as correntes induzidas e os campos produzidos sejam maiores.

Portanto, à medida que a carga aplicada ao eixo aumenta, reduz-se a velocidade de rotação do motor. Quando a carga do eixo motor é zero (motor funcionando em vazio) o rotor gira livremente, girando praticamente com sua rotação síncrona [5].

O rotor de um motor de indução, em carga, jamais gira com a rotação síncrona, pois se isto viesse a acontecer, a velocidade do rotor se igualaria à do campo indutor, anulando o efeito gerador de diferenças das frequências das correntes estáticas e rotóricas [6].

Sem o movimento relativo entre os dois campos magnéticos não haveria corrente induzida e, conseqüentemente, não haveria o torque. Esta diferença na velocidade dos dois campos é chamada de velocidade de escorregamento (ou rotação de escorregamento):

$$s = \frac{\text{veloc escorregamento}}{\text{veloc síncrona}} = \frac{\text{veloc síncrona} - \text{veloc motor}}{\text{veloc síncrona}} \quad (2)$$

Matematicamente, teremos:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (3)$$

Onde:

n_s = é a velocidade síncrona (em rpm) do campo girante produzido pelo estator;

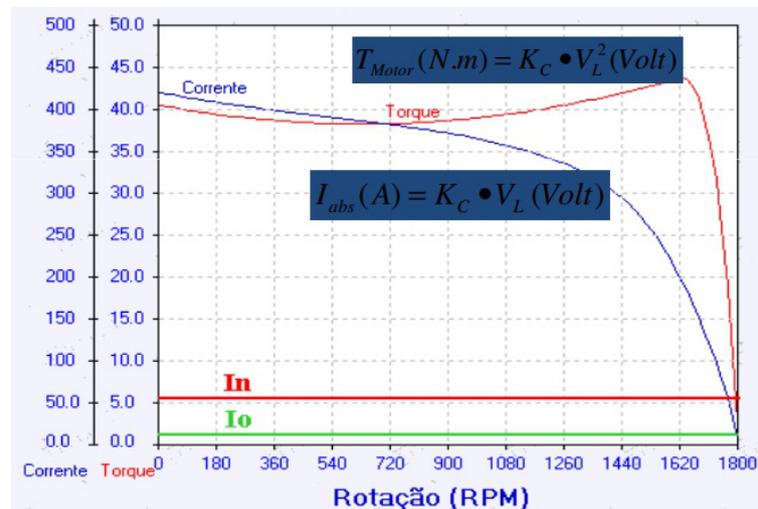
n_r = é a velocidade do rotor (em rpm).

O escorregamento é geralmente expresso como uma porcentagem da velocidade síncrona:

$$s(\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} * 100 \quad (4)$$

Ao ser ligado o motor, o rotor inicialmente parado, é acelerado até aproximadamente a velocidade síncrona e mantêm-se nesta rotação, se estiver vazio. Se em carga, ele apresentará uma velocidade ligeiramente inferior à velocidade síncrona, como foi anteriormente explicado.

Figura 4: Curvas Típicas de Corrente de partida e Conjugado em função da rotação de um Motor de Indução.



Fonte: [8]

I. À medida que a velocidade do motor aumenta desde o rotor parado (escorregamento de 100%), seu escorregamento diminuirá seu torque aumentará até aquele valor do escorregamento correspondente ao torque máximo desenvolvido [9].

Conforme a figura 4, o torque é máximo nas proximidades de ser atingida a velocidade da rotação nominal para a qual o motor foi fabricado (no caso mostrado, 1750 rpm), decaindo levemente para velocidades maiores que as nominais até seja nulo ao atingir-se a velocidade síncrona da máquina.

A velocidade relativa n'' entre o rotor (que estará com velocidade subsíncrona n) e a velocidade do campo girante n' é dada matematicamente por:

$$n'' = n' - n \quad (5)$$

Os motores de indução durante sua partida solicitam da rede de alimentação altas correntes de partida, que podem chegar de 6 a 10 vezes o valor de sua corrente nominal.

Como vemos na figura 4 este alto valor de corrente começa a decair para valores de corrente nominal (I_n) nas proximidades da velocidade nominal e chega a zero quando o eixo do rotor atinge a rotação na velocidade síncrona.

Na citada figura, está indicado que o torque, dado em [Nm], é proporcional a uma constante (K_c) multiplicada pelo valor da tensão de alimentação (V_L) elevada à segunda potência.

Considerando-se que o motor de indução opera inicialmente parado e em vazio, o torque de partida, segundo [10] será da forma:

$$T = K_t \phi I_r \cos \theta_r \quad (6)$$

Onde: K_t é uma constante de torque para o número de polos, o enrolamento, as unidades utilizadas, etc.

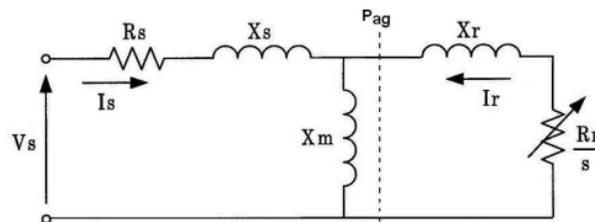
Φ é o fluxo produzido por cada polo unitário do campo magnético girante que concatena o condutor do rotor.

$I_r \cos \Phi_r$ é a componente da corrente do rotor em fase com Φ .

Estando o rotor inicialmente parado e sendo submetido ao campo girante de velocidade n'' , resultará em seus enrolamentos uma fem induzida (devido à variação do fluxo magnético em relação às espiras do rotor) que é proporcional a intensidade do fluxo e a velocidade do campo girante. Nas situações em que o escorregamento é diferente de 0 ou de 1, haverá fem induzida no secundário e, conseqüentemente haverá conversão eletromecânica com potência envolvida [1].

Assim, aplicando-se a modelagem das variáveis do motor de indução utilizada em [11], teremos a configuração do circuito clássico equivalente do motor indução apresentado na figura 5:

Figura 5: Circuito Clássico Equivalente de Regime Permanente do Motor de Indução.



Fonte: [11]

Que simplificada, após a resolução pelo modelo equivalente Thevenin para os terminais de entrada V_s , pode descrever o torque de partida em função da constante K_t que será precursora da constante K_c da figura 4 como [10]:

$$T_p = \frac{K_t V_L^2 R_r}{R_r^2 + X_{bl}^2} \quad (7)$$

1) ser reduzido pelo decréscimo da magnitude da tensão ou elevação da frequência;

2) mantido constante por uma variação proporcional da tensão e da frequência (V/f constante);

3) aumentado com a diminuição da frequência da tensão do estator.

Quando desejável, existem dois métodos para a variação de velocidade da rotação em máquinas de corrente alternada, como é o caso do MIT [2]:

1) Variação da velocidade através de variação do escorregamento, quando a frequência da rede de alimentação é constante;

2) Variação da velocidade através de tensão de alimentação (amplitude e frequência variáveis), quando o escorregamento, na medida do possível é mantido constante.

A potência mecânica, que é aquela que realiza trabalho no eixo do motor, é proporcional à velocidade de rotação e ao torque:

$$\text{Potência mecânica} \propto (\text{torque mecânico} * \text{velocidade de rotação}) \quad (9)$$

De forma mais abrangente, a potência mecânica do motor pode ser matematicamente expressa por [2]:

$$\text{Potência mecânica [W]} = \frac{1}{\pi} * v^3 * \sigma * k * n^{-2}, \quad (10)$$

v é a velocidade tangencial do eixo do motor em m/s;

é o valor médio da tração de giro em N/m;
K = 1/d = relação de comprimento para o diâmetro do eixo;

n é a velocidade de rotação expresso em rotações por segundo (rps).

Normalmente as cargas industriais acopladas aos eixos do motor de indução não exigem apenas altas potências para velocidades normais, exigindo também altas velocidades para potências médias e pequenas [2]. Neste aspecto, máquinas de campos girantes alimentadas por conversores tiristorizados podem alcançar velocidades de até 90.000 rotações por minuto.

No que diz respeito às perdas de potência, em um MIT podemos classificá-las em três categorias [6]:

1) Perdas magnéticas: são também denominadas de perdas no ferro. As perdas magnéticas ocorrem nas lâminas de ferro do estator e do rotor devido ao efeito de histerese e às correntes induzidas [12];

2) Perdas por Efeito Joule: são também denominadas de perdas no cobre. As perdas por Efeito Joule ocorrem sobre as resistências ôhmicas próprias dos enrolamentos do estator e do rotor (Ri2);

3) Perdas mecânicas: que ocorrem devido à fricção dos rolamentos, ventilação e perdas pela oposição à passagem do ar [12].

Eficiência Energética e o Motor

Em uma forma conceitual mais simples, eficiência ocorre quando se consegue fazer mais com uso de menos recurso.

Eficiência energética em instalações elétricas industriais consiste em estabelecer procedimentos operacionais para os equipamentos elétricos de uma instalação, de forma que sejam reduzidas as perdas e o

desperdício de consumo de energia elétrica, de forma que a produção de iguais quantidades de produtos reflita uma redução no consumo de energia; quando confrontadas com situações outras, caso as medidas tomadas não fossem executadas.

"Estima-se que o mercado mundial de motores elétricos de todos os tipos seja da ordem de uma dezena de bilhões de dólares

por ano. No campo dos acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica por motores elétricos. Isso significa que, admitindo-se um rendimento médio da ordem de 80% do universo de motores em aplicações industriais, cerca de 15% da energia elétrica industrial transforma-se em perdas em motores" [13].

Fato ainda pouco aplicado por muitos profissionais da Engenharia Elétrica, o controle do torque desenvolvido pelo motor de indução pode aumentar a eficiência energética; principalmente, em bombas centrífugas e ventiladores, em que o torque da carga é proporcional ao quadrado da velocidade e a potência elétrica utilizada, ao cubo da velocidade.

Como há na indústria uma cultura de não se dimensionar a potência elétrica do motor às necessidades da carga acoplada, não muito raro são encontrados motores sobre dimensionados em funcionamento.

A consequência disto é que o consumo de energia aumenta em virtude do baixo fator de potência ($\cos\Phi$), há aumento excessivo de aquecimento nos fios condutores de eletricidade devido altas correntes requeridas, aumentam as perdas mecânicas pelo baixo rendimento da ventilação frente ao maior aquecimento nos enrolamentos, etc.

Quanto maiores as perdas, menor é o rendimento. À medida que se aplica carga no eixo do motor, temos um aumento no seu rendimento e quanto mais próximo da carga nominal, maior é o rendimento do motor.

Muitos motores de baixa potência operando em rotações diversas daquelas para as quais foram fabricados e com torque fornecido aquém do que poderiam operar nas suas velocidades nominais e com baixos fatores de potência nem sempre são bens gerenciados e em seu conjunto, oneram sobremaneira o custo industrial de produção.

Aumentar a eficiência energética do uso de motores de indução requer que, em suas partidas, sejam empregados dispositivos variadores eletrônicos da tensão de alimentação (em amplitude) e da frequência entregues aos enrolamentos estatóricos, em substituição ao tradicional método de partida direta de motor. Evitar que valores de corrente de partida cheguem até a 10 vezes do valor da corrente nominal reduz consideravelmente a potência solicitada da Concessionária de energia e reduz o peso da conta de energia ao final de mês.

Para o caso de ventiladores empregados em processos de arrefecimento de equipamentos industriais, prover eficiência energética consiste em agregar, via automação, inteligência de controle de temperatura que leve em conta a sazonalidade de variação climática em que este processo se encontra, controlando o torque entregue pelo motor às pás do ventilador. Períodos mais frios poderiam requerer um menor consumo de potência elétrica, que poderiam ser máximos apenas em pleno verão.

Por outro lado, em relação à tarifação pela demanda, uma boa estratégia de eficiência energética é o adequado escalonamento da quantidade de unidades operando e do número simultâneo de partida de motores em suas diversas potências nominais.

Conforme foi afirmado no Capítulo 2, variações frequentes de valores eficazes e em frequência da rede de alimentação industrial contribuem para que, ao menos momentaneamente, outro motor venha a operar em uma faixa de rotação em que seu desempenho não esteja satisfatório. Para estes casos, prover eficiência energética consistirá em prover-se um acompanhamento em tempo integral das suas condições operativas.

Preditivamente o monitoramento de grandezas elétricas associadas ao funcionamento do motor de indução contribui para alertar sobre os momentos em que tais situações não desejadas se configurem, além de contribuir para que as

equipes envolvidas com a manutenção possam ter mais informações que levem a uma melhor confiabilidade e maior tempo de disponibilidade do equipamento monitorado.

Se a frequência da rede elétrica é confiável e é

mantida o máximo possível dentro de seus valores nominais, o motor deve ser capaz de funcionar satisfatoriamente quando alimentado com tensões até 10 % acima ou abaixo de sua tensão nominal [5]. A Tabela 1 indica as consequências das variações na tensão eficaz:

Tabela 1: Efeito aproximado da variação de tensão no funcionamento do motor

Desempenho do motor	Tensão abaixo 10% do valor nominal	Tensão acima 10% do valor nominal	Tensão acima 20% do valor nominal
Conjugado de partida e conjugado máximo	Diminui em 19%	Aumenta em 21%	Aumenta em 44%
Corrente de partida	Diminui entre 10 a 12%	Aumenta de 10 a 12%	Aumenta em 25%
Corrente de plena carga	Aumenta em 11%	Diminui em 7%	Diminui em 11%
Escorregamento	Aumenta em 23%	Diminui em 17%	Diminui em 30%
Velocidade de rotação	Diminui em 1,5%	Aumenta em 1,0%	Aumenta em 1,5%
Rendimento	Diminui em 2%	Aumenta em 1,0%	Há um pequeno aumento
Fator de potência (Cos Φ)	Aumenta em 1,0%	Diminui em 3%	Diminui 5 a 15%
Temperatura	Aumenta 6°C	Diminui em 3°C	Diminui 5°C
Grau do ruído magnético sem carga	Ligeira diminuição	Ligeiro aumento	Aumento perceptível

Fonte: [5]

Pelas normas vigentes o motor deve funcionar satisfatoriamente com frequências com até 5% acima ou abaixo de sua frequência nominal [5]. A frequência da rede define (pela fórmula 1) a velocidade de rotação do motor e tem por efeito alterar o escorregamento entre o campo girante e o campo induzido no rotor.

Variações de velocidade de rotação do motor em esteiras e elevadores podem trazer efeitos desagradáveis para os produtos transportados e

passageiros em deslocamento. Num ambiente industrial de produção, como em motores de máquinas de controle numérico (CNC) a manutenção da rotação adequada para a atividade a ser executada é de fundamental importância para a qualidade final da atividade que está sendo desenvolvida.

Se houver, ao mesmo tempo, variação de tensão e da frequência, tal variação não deve vir a ser maior que 10%, somando-se os percentuais de variação de cada componente.

Conclusões

Buscou-se no presente Artigo enfatizar os principais conceitos da teoria de funcionamento do motor trifásico de indução e como estas máquinas podem contribuir para melhoria dos processos operacionais de uma indústria, agregando eficiência energética ao consumo de energia das instalações, por meio de ações que implementam a diminuição de perdas e desperdícios.

A implementação de estratégias de eficiência energética a ser empregada deve ser fruto de um estudo cuidadoso dos fatores que estão influenciando o funcionamento do equipamento elétrico ao qual seja otimizar ou

tornar mais eficiente seu consumo energético.

Diferentes estratégias podem levar a diferentes resultados, sendo preferível adotar-se aquelas cuja implementação possa traduzir-se em melhores resultados com menores custos de investimentos.

No caso específico de motores de indução, seu monitoramento em tempo real pode levar a uma política gerenciável das suas condições técnicas e operacionais que mesmo satisfazendo a uma visão de eficiência energética, ainda trará, por acréscimo, melhorias nas atividades de manutenção deste equipamento.

E-mails de contato dos autores:
gilson.lima@ifba.edu.br

Referências

- [1] Apostila Técnica - "Motores Elétricos: Guia de Especificação", WEG Motores Limitada, Código 50032749, Jaraguá do Sul, SC, NOV/2016 . Autor não Identificado.
- [2] Informativo Técnico Volume X, "Controle e Regulação de Acionamentos Elétricos em Corrente Alternada", Setor de Divulgação Tecnológica SIEMENS SA, São Paulo, JAN/1978, Tradução de Eng. Jocélio Souza de Sá.
- [3] Kosow, Irving I, "Máquinas Elétricas e Transformadores", pg 295, 9ª Edição, Editora Globo, São Paulo. Tradução Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antônio Pinto Soares.
- [4] <http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos/Industriais/W21-Multimontagem-IR2>, item Manuais Técnicos, acesso em 21/12/2017.
- [5] Manual de Motores Elétricos, Catálogo 511.11/1089 PE, 11ª Edição, WEG Motores Ltda, Jaraguá do Sul, SC, 1999. Autor não Identificado.
- [6] Falcone, Áureo Gilberto - "Motores de Indução: Manutenção e Instalação", LVBA Comunicação, São Paulo, 1995.
- [7] Kosow, Irving I, idem, pg 297, 9ª Edição, Editora Globo, São Paulo. Tradução Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antônio Pinto Soares.
- [8] Apresentação "Equipamentos Estáticos e Dinâmicos", Centro de Treinamento PETROCENTRER, Prof. L. C. Simeí, disponível em https://lcsimeí.files.wordpress.com/2012/08/equipamentos-estaticos-e-dinamicos_simeí4.pdf, acesso em 27/12/2017.
- [9] Kosow, Irving I, idem, pg 310, 9ª Edição, Editora Globo, São Paulo. Tradução Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antônio Pinto Soares.
- [10] Kosow, Irving I, idem, pg 305, 9ª Edição, Editora Globo, São Paulo. Tradução Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antônio Pinto Soares.
- [11] Vega, Jorge Leônidas Lafitte, "Avaliação das condições de segurança de tensão na presença de motores de indução e capacitores chaveáveis", Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio, Orientador: Ricardo Bernardo Prada. – Rio de Janeiro. PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005. Disponível em https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/6349/6349_4.PDF, acesso em 18/01/2018.
- [12] Franchi, Clailton Moro, "Acionamentos Elétricos", pg 74, 4ª Edição, Editora Êrica, São Paulo, 2008.
- [13] Franchi, Clailton Moro, idem, pgs 17-18, 4ª Edição, Editora Êrica, São Paulo, 2008.



Índices de Desempenho da Manutenção: Um enfoque prático

Carlos Alberto Gusmão

O início de todo processo de melhoramento, seja a nível do indivíduo ou das organizações, exige, como primeira etapa, que se adquira consciência da própria realidade e, posteriormente, que se definam os objetivos a alcançar e meios para tanto. Entretanto, uma vez iniciado o processo, é necessário que monitoremos o progresso alcançado, através da observação e comparação, ao longo do tempo, de parâmetros que definam claramente o grau de qualidade do nosso desempenho, constatando, sem subjetivismo, se estamos em posição melhor que a inicial ou não.

No que se refere à atividade da manutenção em uma empresa industrial, a necessidade desse procedimento já foi há muito reconhecida, e uma variedade relativamente grande de índices tem sido sugerida para monitorar o seu desempenho, com resultados nem sempre consistentes.

Na verdade, a quantidade de índices divulgados pela bibliografia especializada chega a confundir um pouco o profissional

recém-iniciado na área de Manutenção, ou mesmo aquele já com alguma vivência, que desejem aplicá-los para julgar, com consciência, o resultado das mudanças que se introduzam, e evidenciá-lo de forma simples frente à alta administração.

Este trabalho visa destacar e comentar aqueles poucos índices que, conforme a nossa experiência (e sem minimizar a importância de outros), julgamos vitais para proporcionar, ao profissional de Manutenção, o instrumento simples e efetivo que ele busca para acompanhar o processo de melhoramento que desenvolva nesta área.

A Manutenção sempre foi atividade de extrema importância, particularmente nas indústrias cuja produção depende de processo contínuo em que a disponibilidade dos equipamentos é vital. Adquirindo papel relevante nas três últimas décadas e, mais recentemente, no contexto mais amplo de atividades que se tem denominado “Gestão de Ativos” (Normas ISO 55000, 55001, 55002), é natural que a medida de seu desempenho deva ser objeto de atenção.

O Objetivo da Manutenção e a Seleção dos seus Índices de Desempenho

É evidente que, na seleção dos poucos índices que retratem de forma mais eficaz o desempenho da manutenção, seja essencial ter em mente o conceito moderno desta atividade, vinculando-o especialmente aos seus objetivos, ou seja, àquilo que dela se espera.

Dentre as diversas formas de se conceituar a Manutenção, a que se nos afigura mais atual, simples, e ao mesmo tempo abrangente, é a que a define como “o conjunto de atividades direcionadas para garantir, ao menor custo possível, a máxima

disponibilidade do equipamento para a produção, na sua máxima capacidade:

- ● prevenindo a ocorrência de falhas, e
- ● identificando e sanando as causas do desempenho deficiente dos equipamentos”.

Deste conceito já se podem extrair, pois, os três aspectos importantes a serem necessariamente retratados pelos índices que selecionemos, a saber:

- 1º -A confiabilidade operacional
- 2º -O custo da manutenção
- 3º -A capacidade produtiva

A Confiabilidade Operacional

Este é um aspecto diretamente afetado pela eficácia da Manutenção, que deve ser capaz de assegurar a máxima disponibilidade para a produção mediante, é lógico, a menor taxa de intervenções possível no processo produtivo.

Como, para minimizar o tempo e custo destas intervenções, é necessário que elas sejam, antes de mais nada e tanto quanto possível, planejadas, parece-nos importante, para avaliar o desempenho da Manutenção, dividir suas intervenções em pelo menos dois grupos, atribuindo um índice representativo a cada um deles:

Grupo 1: Intervenções Programáveis/Planejáveis

São as intervenções realizadas sistematicamente, a intervalos fixos de tempo, independentemente da condição do equipamento, e portanto passíveis de programação/planejamento com grande antecedência (Manutenção Preventiva

Sistemática), bem como aquelas determinadas pelo monitoramento preditivo do equipamento, capaz de propiciar – entre a detecção do defeito e a ocorrência estimada da falha – o tempo hábil para uma adequada programação/planejamento da intervenção (Manutenção Preventiva por Condição, ou “Preditiva”).

Grupo 2: Intervenções Não Programáveis/Não Planejáveis *(também chamadas, em muitas organizações, de “Acidentais” ou simplesmente “Corretivas”)*

São as intervenções de caráter aleatório, realizadas em resposta a falhas consumadas ou iminentes do equipamento, e portanto sempre em regime de urgência, que não propicia o tempo hábil para a adequada programação/planejamento da intervenção.

Para exprimir os índices capazes de avaliar as interferências dos dois grupos de intervenções acima definidos, necessitamos caracterizar e levantar os seguintes tempos:

HO - Horas de operação produtiva no período sob avaliação

HC - Horas de parada para intervenções não programáveis/não planejáveis (Manutenção “Corretiva”)

HP - Horas de parada para intervenções programáveis / planejáveis (Manutenção “Preventiva Sistemática” ou “Preventiva por Monitoramento de Condição - Preditiva”)

Assim teremos os seguintes índices:

a) Índice de Interferência de Manutenção Não - Programável / Não - Planejável (“Corretiva”)

$$IMC = \frac{HC}{HC+HP+HO} \times 100$$

b) Índice de Interferência de Manutenção Programável/Planejável (“Preventiva”)

$$IMP = \frac{HP}{HP+HC+HO} \times 100$$

Como recurso complementar para melhor caracterizar o desempenho da Manutenção no aspecto “Confiabilidade Operacional” recomendamos utilizar também um “Índice de Confiabilidade Operacional” calculado como segue:

$$ICO = \frac{HO}{HO+HP+HC} \times 100$$

É conveniente ressaltar que o denominador das fórmulas acima indicadas evita a simples utilização das Horas-Calendarário Corridas do período sob avaliação, considerando apenas as somas das Horas Efetivas de Operação Produtiva e de Paradas para Manutenção no período. Este critério possibilita uma avaliação mais fiel no desempenho da Manutenção de plantas que não tenham sido solicitadas em tempo integral no período sob avaliação, bem como possibilita a comparação do desempenho entre plantas que não tenham sido solicitadas em regimes idênticos de produção.

A fim de que os índices anteriormente definidos, expressem com fidelidade a real confiabilidade de uma planta, é necessário que o pessoal de operação e manutenção envolvido na coleta e registro dos dados para calculá-los, tenha em mente certos critérios importantes que mencionamos a seguir:

1) Conceito de “Parada”

Deve ser considerada como “parada” qualquer interrupção total ou redução substancial da produção (exemplo: se uma planta reduzir de 50% a sua capacidade de produção, para a manutenção de um de dois compressores que operam em paralelo, este tempo deve ser computado como “parada”).

2) Classificação das Paradas para Manutenção

Para Manutenção Corretiva (HC) – toda intervenção devido a uma falha consumada ou iminente, para a qual não há tempo hábil para programá-la / planejá-la adequadamente, quanto ao momento, recursos, qualidade e custo de execução.

Para Manutenção Preventiva (HP) – toda intervenção em que a decisão de fazê-la é tomada com antecedência suficiente para possibilitar programá-la / planejá-la adequadamente, quanto ao momento, recursos, qualidade e custo de execução.

3) Os tempos de “parada” para os dois tipos de manutenção acima referida, devem ser computados mesmo quando coincidirem com outros motivos de parada (falta de energia, suficiência de estoque, falta de matéria-prima). Desta forma, as necessidades de manutenção da planta serão sempre evidenciadas, e não ocultadas por eventos circunstanciais que nada têm a ver com a eficácia da manutenção.

4) As intervenções cuja execução for simultânea, coincidindo total ou parcialmente, não devem ter os tempos de execução somados.

Nas intervenções com execução simultânea sempre deve ser evidenciado o tempo de manutenção corretiva. Assim, por exemplo, se a planta parou para execução de uma Corretiva que durou 4 horas (8 às 12), e simultaneamente se aproveitou para

executar uma Preventiva que durou 9 horas (8 as 17) o registro deverá ser o seguinte :

- Tempo de parada para Corretiva: 4 horas
- Tempo de parada para Preventiva: 5 horas (9 - 4 = 5)

O aproveitamento de paradas para um determinado serviço, para a execução simultânea de outros, é boa prática de gerenciamento, e portanto não deve penalizar os índices de interferência de manutenção, o que ocorreria se os 2 tempos fossem simplesmente somados.

5) Tempos de intervenção em equipamentos que possuem stand-by (equipamento reserva), e que, portanto, não acarretem interrupção/redução de produção, não devem ser computados.

O Custo da Manutenção

Este é um aspecto que não pode ser analisado isoladamente, mas que junto com a confiabilidade operacional certamente refletirá, a médio prazo, a eficácia da sistemática de Manutenção praticada.

Existe, na bibliografia a respeito, uma variedade grande de índices envolvendo o custo da Manutenção, relacionando-o a uma série de outros custos ou valores pertinentes a vida da empresa. Entretanto, como a Manutenção de equipamentos, sistemas ou instalações estará sempre intimamente relacionada a seu porte, complexidade, sofisticação e, conseqüentemente, valor, somos de opinião que o índice mais adequado para avaliar o aspecto “Custo da Manutenção” seja aquele definido pela seguinte expressão:

$$ICM = \frac{CM}{CR} \times 100$$

ICM: Índice de Custo da Manutenção

CM: Custo da Manutenção no período sob análise

CR: Custo de Reposição do Equipamento, Sistema, Instalação ou Planta sob análise

Outro fator que contribui para preferirmos este índice é o fato de periodicamente serem divulgados, por revistas de circulação internacional, relatórios sobre a evolução dos custos da Manutenção em que este índice é utilizado, permitindo-nos um “benchmarking” com operações de Manutenção reconhecidas como padrão internacional (“World Class Maintenance”).

A capacidade produtiva

Este é um aspecto que, sem dúvida, deve ser considerado na avaliação do desempenho da Manutenção, pois se um equipamento, sistema ou instalação não desenvolve sua plena capacidade, isto tanto pode ocorrer por problemas imputáveis à qualidade da Manutenção praticada quanto por outras causas, como insuficiência no suprimento de matéria-prima para o processo ou variações atípicas na qualidade da mesma (fatores certamente independentes da qualidade da Manutenção). Este pode ser o caso, por exemplo, de unidades que produzem CO₂ processando gás impuro gerado como subproduto de outros processos.

Pode-se, portanto, definir um índice referente

à capacidade produtiva e considerá-lo em conjunto com a avaliação dos demais índices, porém levando em conta as limitações comentadas acima. Este índice pode ser expresso como se segue:

$$ICP = \frac{CPR}{CPN} \times 100$$

ICP: Índice de capacidade produtiva
CPR: Capacidade Produtiva Realizada no período sob análise
CPN: Capacidade Produtiva Nominal no período sob análise

O Período de Avaliação

Tradicionalmente somos levados a avaliar o desempenho a cada ano, geralmente coincidente com o exercício fiscal da empresa. Este período de avaliação é pertinente apenas quando, no espaço de um ano, se cumpre todo o ciclo normal de serviços preventivos de Manutenção da planta sob análise. Entretanto, com o aumento da confiabilidade dos equipamentos e sistemas, e o aprimoramento da própria sistemática de Manutenção, os períodos de operação das plantas entre as paradas gerais para Manutenção tem-se ampliado para dois e até três anos (chegando, em certos casos, a ultrapassar este prazo).

Considerando esta tendência, diríamos que o período de avaliação deve variar de acordo com a realidade de cada instalação, situando-se normalmente de dois a três anos. É evidente que, embora se referindo a períodos longos como os citados, os índices podem e devem ser avaliados a cada mês, sempre, entretanto, referindo-se aos últimos 12, 24 ou 36 meses, conforme o período de avaliação considerado. Desta maneira pode-se monitorar, mês a mês, a evolução do desempenho da Manutenção no intervalo de tempo adotado como o mais adequado para cada instalação.

Os índices como medida do desempenho

Partindo de uma planta com perfil de Manutenção essencialmente “corretiva” (não programável / não planejável), a aplicação de um programa eficaz de Manutenção Preventiva, a

princípio baseada em intervenções sistemáticas (intervenções planejadas a intervalos pré-fixados), traria como resultado a seguinte evolução dos índices anteriormente definidos:

Na fase inicial

- O IMC deve cair
- O IMP deve subir
- O ICO deve permanecer estável ou mesmo cair um pouco, em função de uma sobrecarga temporária de intervenções preventivas, necessárias para reverter o regime de forma permanente.
- O ICM pode subir, em função do aumento de despesas para “passar a limpo” os equipamentos e corrigir problemas crônicos durante as intervenções preventivas.

Em fase posterior

- O IMC deve continuar a cair, estabilizando-se, afinal, em níveis mais aceitáveis
- O IMP deve estabilizar-se
- O ICM deve cair, estabilizando-se em níveis mais aceitáveis

Como evolução natural do estágio definido acima, ou mesmo em seguimento às revisões necessárias e “revamps” dos equipamentos críticos da planta, a aplicação de um programa eficaz de inspeção preditiva (ou monitoramento de condição) a estes equipamentos, tenderia a transformar o regime de manutenção dos

mesmos de preventiva sistemática para preventiva por condição, refletindo-se esta situação nos índices conforme se segue:

- O IMC deve cair
- O IMP deve cair, em função do fato de que as intervenções, além de continuarem programáveis / planejáveis, passam a ser feitas somente quando os parâmetros monitorados indicam a existência de um defeito e a perspectiva de falha do equipamento
- O ICO deve subir
- O ICM deve cair, em função da redução das intervenções, tanto não-programáveis / não-planejáveis (“corretivas”) quanto programáveis / planejáveis (preventivas)

Ao longo dos anos, temos vivenciado vários exemplos de como os índices em questão retratam, com fidelidade, a evolução do panorama de Manutenção de uma planta. No quadro a seguir retratamos um desses exemplos, que consideramos clássico, referente a uma unidade de produção de CO₂ a partir da combustão de óleo pesado, que pertencia à Liquid Carbonic e operava próximo a Recife-Pernambuco.

ANO	IMNP	IMP	ICO	ICM
1	0.4%	11,9%	86,9%	4,3%
2	0.1%	14,9%	84,7%	3,0%
3	0.0%	7,8%	92,2%	2,3%

Esta era uma planta já antiga, e que encerrou sua atividade pouco tempo depois, devido à entrada em operação de uma nova unidade na Região, com tecnologia mais avançada e menor custo de produção. A planta já aplicava um programa de Manutenção preventiva sistemática anteriormente ao período tabelado acima, porém iniciara, um ano antes,

um programa de monitoramento preditivo dos equipamentos críticos para a produção. Os resultados mostrados no quadro indicam claramente os efeitos e o acerto da sistemática adotada, pela redução, no terceiro ano, de todos os índices de interferência e custos da Manutenção, e pelo aumento do índice de confiabilidade operacional.

Considerações Finais

Todo procedimento de controle implica custos para sua execução e análise de seus resultados, sendo regra elementar que nenhum controle deve custar mais do que a economia que ele proporciona.

O controle do desempenho da Manutenção é, como dissemos na introdução deste trabalho, essencial para evidenciar o acerto ou necessidade de correção de rumos da sistemática adotada nessa atividade. Porém deve ser o mais simples e objetivo possível, mediante a determinação e análise dos poucos índices que realmente nos digam se a Manutenção está ou não, afinal, cumprindo eficazmente as suas finalidades e, o que é importante também, aumentando sua eficácia ao longo do tempo.

Conforme nossa experiência, os índices definidos anteriormente cumprem este objetivo, e tanto podem ser aplicados ao conjunto de uma planta quanto a cada um dos equipamentos ou sistemas críticos da mesma, auxiliando também, neste caso, a tomada de decisão sobre a substituição eventual de equipamentos que apresentarem, de forma persistente, elevados valores de IMC e IMP.

A determinação e análise desses índices é tanto mais simples e factível quando inseridas no contexto de um sistema informatizado de Manutenção, existindo hoje, no mercado, um razoável número de sistemas capazes de aceitar o registro dos dados e a sistemática de cálculo necessárias para tanto.

Sobre o Autor

- *O engenheiro Carlos Alberto de Gusmão foi Gerente de Engenharia de Manutenção & Projetos da Liquid Carbonic, e Gerente de Apoio Operacional CO2 da White Martins (Praxair), perfazendo 35 anos de atividade em ambas as empresas. Ao retirar-se da White Martins integrava o Grupo de Confiabilidade Global de sua empresa controladora, a Praxair Inc. dos EUA. Exerce hoje atividade de consultoria em Engenharia de Manutenção e Construção Industrial.*

Contato: carlosdegusmao@gmail.com



Brasil: Os Desafios do Desenvolvimento e da Sustentabilidade

George Gurgel de Oliveira

A dinâmica das relações entre a sociedade e a natureza muda qualitativamente a partir da revolução industrial. As máquinas incorporadas aos processos produtivos modificam exponencialmente a escala de produção e o consumo, colocando-se objetivamente a necessidade de ampliação dos mercados, além do Estado Nacional.

Desencadeou-se um processo de mundialização das relações políticas, econômicas e sociais, transformando o modelo de ser e agir da humanidade nas suas relações entre si e com a própria natureza, impactando na história, como nunca antes, os ecossistemas e a biodiversidade do planeta, colocando em risco a sobrevivência da própria humanidade.

Desde então, construiu-se uma lógica de produção e consumo que historicamente e atualmente mostrou-se insustentável. Colocase a necessidade de construir uma outra perspectiva de desenvolvimento, ampliando as formas e os conteúdos da democracia, a partir de novas relações políticas, econômicas e sociais.

Continua moderno e contemporâneo o desafio de melhor realizar a distribuição da riqueza

material produzida pelos que trabalham, incorporando os ganhos proporcionados pela C&T&I, a favor do bem-estar e da felicidade humana, mantendo e valorizando a diversidade cultural e espiritual, afirmando os direitos e deveres individuais e coletivos, preservando os ecossistemas planetários.

Estas questões estruturais devem ser enfrentadas para a construção desta outra perspectiva de desenvolvimento e de sustentabilidade, necessárias para a sobrevivência de toda a humanidade.

Vamos fazer esta travessia? Ou queremos nos autodestruir, destruindo os ecossistemas do planeta, com o atual modelo de desenvolvimento, responsável pela destruição da vida, da própria humanidade, tanto nos períodos de guerras quanto nos de paz, excluindo bilhões de pessoas das conquistas sociais modernas? Quantos planetas serão destruídos com o complexo industrial militar existente? O domínio da energia nuclear e a construção de bombas atômicas são para repetir a insensatez de Hiroshima e Nagasaki? Até quando vamos nos agredir e à própria natureza? Quais os compromissos com as gerações atuais e futuras? Trata-se de dilemas a ser enfrentados pela humanidade.

O imperativo das mudanças

Quais são os agentes políticos, econômicos, sociais e ambientais que serão responsáveis por estas mudanças para superar esta realidade?

Até os anos de 1960 o conceito de desenvolvimento, o funcionamento do mercado e da sociedade em geral não incorporavam a questão ambiental como uma variável do processo de desenvolvimento, do cotidiano das pessoas, da vida em sociedade. A concepção era de planeta infinito. O crescimento econômico era sinônimo de desenvolvimento.

Assim, a preocupação com a questão ambiental a nível mundial, como uma das variáveis do processo de desenvolvimento, é muito recente na história da humanidade.

Atualmente, as principais economias mundiais, concentradas no G20, particularmente os Estados Unidos, a China e a Rússia, consomem mais da metade dos recursos naturais do planeta. Esses grupos de países têm uma responsabilidade maior na perspectiva de mudança desta realidade. As ações a ser implementadas a partir da Agenda 21(ECO-92), particularmente em relação às mudanças climáticas, continuam sendo adiadas com danos irreversíveis aos ecossistemas planetários, com reflexos econômicos e sociais negativos na vida de milhões de pessoas, em todos os continentes. A dinâmica de funcionamento do sistema capitalista, do capital produtivo e financeiro, o funcionamento dos organismos multilaterais, da própria ONU, como também o funcionamento do FMI e do Banco Mundial, entre outros, não sinalizam de maneira efetiva para as mudanças necessárias apontadas nas conferências mundiais da ONU desde 1972, referendadas pelos governos, maioria da comunidade científica e as organizações da sociedade civil.

A primeira conferência mundial da ONU sobre o meio ambiente foi em Estocolmo, em 1972, quando se construiu, a partir de então, o conceito de ecodesenvolvimento. Desde então,

ficou evidente a necessidade de considerar as variáveis econômicas, sociais e ambientais nos processos de desenvolvimento, em qualquer escala territorial, tanto a nível mundial, quanto a nível nacional e local.

Iniciou-se um processo de tomada de consciência e de discussão das questões ambientais, em função dos graves problemas decorridos dos desenvolvimentos industrial e urbano, da concentração de populações e indústrias, ampliando o nível de poluição das águas, da atmosfera e dos solos, impactando, cada vez mais, os ecossistemas do planeta.

Posteriormente, aconteceram as conferências do Rio de Janeiro, em 1992, a de Joanesburgo, na África do Sul, em 2002, e, novamente, no Rio de Janeiro, em 2012, a Rio+20. Desde então, avançou-se pouco em termos globais, em relação às demandas ambientais em discussão: a maioria dos problemas não foram enfrentados e as soluções continuam sendo adiadas.

A conferência do Rio, em 1992, foi realizada com grandes expectativas e havia um otimismo por parte da maioria dos participantes. Em 2012, na última conferência mundial, RIO+20, o cenário era de frustração em relação ao que foi planejado em 1992, principalmente em relação às metas da Agenda 21 e às medidas que deveriam ser tomadas para minimizar os efeitos das mudanças climáticas, que vem causando danos irreversíveis aos ecossistemas planetários, impactando populações em regiões litorâneas com o aumento do nível do mar em todo o planeta.

Por outro lado, constata-se, de maneira positiva, a ampliação da consciência mundial, dos movimentos políticos e sociais e de uma participação cada vez mais ampla da comunidade científica, os quais clamam para que se trate, com a urgência devida, as questões ligadas à degradação dos ecossistemas, das mudanças climáticas e das relacionadas com a exclusão social, como também a necessidade de uma nova economia,

de baixo consumo de carbono, variáveis a serem consideradas na perspectiva de outro tipo de desenvolvimento, que se quer sustentável.

Ainda há que observar, no cenário atual, os impactos econômicos, sociais e ambientais causados pelas guerras regionais, os conflitos étnicos e religiosos, assim como a migração de milhares de pessoas do continente africano e asiático para a Europa e as migrações internas no continente americano, apontando para realidades econômica, social e ambiental insustentáveis.

Assim, em um contexto de crises econômicas recorrentes do capitalismo, desde a década de 1980, e as recentes nos Estados Unidos, em 2008 e a situação econômica e social desfavorável da Comunidade Europeia, ficam a desejar os avanços na perspectiva deste desenvolvimento e desta sustentabilidade.

As decisões tomadas desde Estocolmo e as implementadas atualmente a nível global são sempre parciais e, muitas vezes adiadas, a favor do desenvolvimento e da sustentabilidade.

Constata-se ao contrário, desde os anos de 1980, o avanço de políticas econômicas conservadoras. A prevalência do capital financeiro em relação ao capital produtivo vem vulnerabilizando as conquistas do Estado de Bem-Estar Social, colocando populações e



Conferência Rio +20 realizado em Janeiro de 2012

países da Europa, a exemplo da Irlanda, Portugal, Espanha e a Grécia, em situação de graves retrocessos políticos, econômicos e sociais.

A situação é mais grave na Ásia, África e América. Estas realidades são muito distintas do que foi e está sendo proposto nos relatórios e agendas das Conferências da ONU, desde a primeira conferência mundial sobre o meio ambiente até à última, que aconteceu no Rio de Janeiro, em 2012, a chamada RIO+20. A conjuntura atual é desfavorável para a implementação destas Agendas.

A realidade brasileira

Em relação à realidade brasileira, os desafios históricos continuam atuais, agregando-se novos desafios para a construção de uma sociedade democrática, com uma outra perspectiva de desenvolvimento, que se quer sustentável.

A superação das desigualdades sociais, a construção de uma nova economia de baixo carbono, a preservação do meio ambiente, dos valores culturais e espirituais construídos ao

longo da história da sociedade brasileira, são caminhos a serem perseguidos para a construção de uma outra perspectiva de desenvolvimento para o Brasil.

Somos uma sociedade com uma das maiores exclusões social e concentração de riquezas do planeta. Nossa população é de um pouco mais de 200 milhões de pessoas, com menos de 200 mil pessoas proprietárias da metade da riqueza nacional.

Como mudar essa realidade?

Desde o início da colonização, Portugal já percebia o potencial das riquezas brasileiras. Então, o pau brasil foi um símbolo desta riqueza natural, explorado de maneira monopolista durante o período colonial. Este modelo extrativista e de exploração dos recursos naturais, com os seus diversos ciclos econômicos e o próprio processo de industrialização determinaram o modelo de desenvolvimento brasileiro, histórico e atual.

Os conflitos econômicos, sociais e ambientais gerados por este tipo de desenvolvimento permanecem como resultado das relações predatórias e desiguais entre os diversos atores políticos, econômicos e sociais que, historicamente e na atualidade, determinam o funcionamento do Estado, do mercado e da sociedade em geral e as relações estabelecidas do Brasil com sua própria sociedade e com o mundo.

Os custos econômicos, sociais e ambientais deste modelo são alarmantes. Nos últimos anos, ampliou-se o nível de degradação da Amazônia, dos cerrados e do pantanal. Em relação a Mata Atlântica, apesar de apenas 8% da mata original estar preservada, deve-se registrar os resultados positivos obtidos com o seu reflorestamento; nos últimos anos. Infelizmente, em relação a todos os outros biomas, o nível de devastação tem aumentado de maneira preocupante.

A partir dos anos 1950, com a consolidação da nossa matriz energética (biomassa, hidráulica, petróleo, gás, nuclear), de complexos parques industriais e a ampliação das fronteiras agrícola e pecuária, tem-se ampliado a escala de poluição do ar, do solo e da água, colocando o desafio de preservação do meio ambiente como uma questão nacional – do Estado, do mercado e de toda a sociedade.

O processo de urbanização acelerada, a partir dos anos 70, agravou as questões relacionadas à segurança pública, mobilidade, saneamento básico, moradia, educação e saúde, chamando a atenção para os graves problemas a serem

enfrentados, historicamente adiados, pela sociedade brasileira.

Assim, o Brasil fez uma modernização conservadora. Avançou tecnologicamente em algumas áreas, a exemplo da indústria de petróleo e gás, álcoolquímica, aviação, armas e equipamentos militares, agricultura e pecuária.

Por outro lado, como no período colonial, continua exportador de recursos naturais e produtos de baixo valor agregado em larga escala: minérios de ferro, produtos agropecuários, alumínio, papel e celulose, soja e carnes, com consumo gigantesco de água e energia em seus processos produtivos.

Portanto, fica evidente a dependência-subordinação da economia brasileira às principais economias mundiais como fornecedora de matérias-primas, água, energia e produtos manufaturados. A economia continua muito dependente do valor das commodities, com uma vulnerabilidade muito grande em relação ao mercado mundial. Nos últimos anos, agravou-se esta situação, com a diminuição do setor industrial na participação do PIB brasileiro.

Neste cenário internacional de ameaças e oportunidades, o Brasil pela sua dimensão territorial, pelas riquezas naturais, base técnica e científica que construiu nos últimos anos, aliado ao ativismo da sociedade civil, nas ruas e nas redes, tem jogado um papel relevante na discussão de uma outra perspectiva de desenvolvimento, que se quer sustentável desde a RIO+92.

O Brasil tem jogado um papel positivo neste processo. Coloca-se a necessidade de um diálogo permanente entre as forças políticas, econômicas e sociais nacionais e internacionais, no sentido de uma nova configuração das organizações multilaterais, incorporando, efetivamente, o caráter de urgência destas mudanças, a ser realizadas na ONU, no FMI, no Banco Mundial, na OMC, na



OIT, no Mercosul, entre outros, para se trabalhar políticas de cooperação internacional de maneira integrada, que avancem para o desenvolvimento e a sustentabilidade mundial e regional.

Nos últimos anos, a sociedade brasileira tem se manifestado nas ruas e nas redes sociais de uma maneira muito clara, querendo reformas e um outro tipo de representação política. Vive-se, na conjuntura atual, a sociedade do terror. A realidade do Rio de Janeiro é um sintoma da nossa tragédia. A população quer resultados efetivos para a vida cotidiana, marcada por precárias condições econômicas, sociais e ambientais. Urgências que não podem mais ser postergadas.

Deve-se aproveitar a atual crise no Brasil para avançar nas reformas tão necessárias, apostando em um novo pacto político, econômico e social, que ajude a avançar a democracia brasileira rumo a este futuro desejado.

Como viabilizar uma outra perspectiva de desenvolvimento para o Brasil, que seja sustentável?

A implementação da Agenda 21 brasileira, compromisso do Brasil com a ONU, desde a ECO-92, ficou a desejar por muitas razões. Fundamentalmente, porque os compromissos desta Agenda não são obrigatórios, mas sim

declaratórios. Assim, nem a ONU, nem as organizações multilaterais, nem os governos nacionais se sentem obrigados a implementar estas agendas propostas. Faltam as condições materiais, já que os investimentos, principalmente financeiros, não estão disponíveis. Esta é uma questão determinante. Em geral, os avanços são reativos, já que decorrem da pressão da sociedade em relação a determinados programas e projetos internacionais/governamentais, ou quando acontecem tragédias com grandes impactos sociais e ambientais, com reflexos negativos na qualidade de vida das populações, o que vem acontecendo no Brasil e em várias regiões do mundo, cotidianamente.

No caso brasileiro, cujo processo de construção da Agenda 21 se prolongou por dez anos e foi entregue oficialmente à ONU em 2012 na Conferência de Joanesburgo, não houve e não há uma estratégia de implementação a nível nacional, de uma maneira integrada entre os entes da Federação e a sociedade em geral. Os compromissos assumidos pelo governo brasileiro com a ONU e com a própria sociedade não estão em pauta e muito menos incorporados no processo de construção e implementação das políticas públicas brasileiras. Falta sintonia, diálogo permanente, consenso entre os diversos atores políticos, econômicos e sociais para a implementação desta Agenda, numa descontinuidade política e administrativa preocupante, como acontece, via de regra, com a administração pública brasileira em geral.

Desde 1970, avançou-se no Brasil a consciência sobre a questão ambiental e as suas relações econômicas e sociais. No entanto, ainda não se incorporaram estas questões nos processos de construção das políticas públicas, tanto a nível federal, como estadual e na maioria dos municípios brasileiros, que não consideram a variável ambiental como um valor estratégico para o desenvolvimento.

A Constituição de 1988 declara, no capítulo VI, que todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, sendo responsabilidade do poder público e da sociedade o dever de defender e

preservar para as atuais e futuras gerações.

A partir de então, consolidou-se a Política Nacional de Meio Ambiente, que tem como maior objetivo a preservação e a recuperação da qualidade ambiental do Brasil, criando as condições para o desenvolvimento econômico e social, protegendo a vida. Ainda há que destacar a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), responsável pela execução desta política e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), responsável por sua implementação.

Assim, nos últimos trinta anos de redemocratização, foram criadas as condições para a construção de políticas públicas que incorporam, de maneira transversal, as questões econômicas, sociais e ambientais, fundamentos para a construção de uma outra perspectiva de desenvolvimento que se quer sustentável.

No entanto, a realidade é muito mais complexa. No Brasil, desde os anos 1970, os grandes programas e projetos de infraestrutura construídos, desde o regime militar e que continuam atualmente, não incorporam a questão ambiental como um valor estratégico. Via de regra, criam maneiras e artifícios para o não cumprimento da legislação, acarretando, muitas vezes, em graves acidentes e impactos sociais e ambientais. O mais recente acidente ambiental de Mariana, no estado de Minas Gerais, considerado como o maior na área de mineração do planeta, é uma demonstração deste comportamento.

A questão da água, dos rios e dos aquíferos deve ter uma atenção especial. O Amazonas e o São Francisco, entre outros, clamam por políticas de gestão de bacia adequadas, fundamentais para o desenvolvimento e a sustentabilidade econômica, social e ambiental, regional e nacional.

Evidencia-se, portanto, a distância entre os avanços institucionais e a realidade.

A identificação das contradições e dos conflitos econômicos e sociais do atual modelo de desenvolvimento brasileiro são desafios para a construção de uma outra perspectiva de desenvolvimento, através de um pacto político

e social a ser realizado entre o Estado, o mercado e a sociedade civil, com a participação ativa da cidadania.

Em relação às mudanças climáticas, desde a década de 1990, com a assinatura do Protocolo de Kyoto, em 1997, a questão das emissões de gases de efeito estufa tornou-se uma questão pública, uma preocupação de toda a sociedade, discutida desde os fóruns internacionais, a exemplo da ONU, passando pelos fóruns nacionais e regionais.

Evidencia-se uma forte relação entre o efeito estufa, mudanças climáticas e as opções de desenvolvimento de cada sociedade.

A matriz energética mundial, que sustentou e sustenta o atual modelo de desenvolvimento, baseado em combustíveis fósseis, é insustentável. A política de preços, a diminuição das reservas dos combustíveis fósseis e o desenvolvimento de novas tecnologias na área de energia e do uso da água, criam as condições para a viabilização das chamadas energias renováveis (biomassa, eólica, solar e hidráulica). Estas energias renováveis, cumprem, cada vez mais, um papel de destaque na matriz energética brasileira e mundial.

Em uma perspectiva otimista, compartilhada por mais de 196 países que ofereceram contribuições nacionais para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, o Acordo de Paris, adotado pela ONU na Convenção do Clima em 2015, estabelece como objetivo em 2100, o limite de 2° C para o aumento médio global de temperatura, relativamente aos níveis pré-industriais, e recomenda esforços para que este limite não ultrapasse 1,5° C.

A este otimismo da Conferência de Paris, pode-se contrapor o diagnóstico pessimista de outro relatório da própria ONU, realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, para a Conferência RIO+20, em 2012, no Rio de Janeiro. O relatório, de maneira conclusiva, observa que a pressão das atividades humanas no planeta, acumuladas desde a industrialização até os dias atuais, são responsáveis por danos ambientais, muitas vezes irreversíveis aos ecossistemas planetários.

Naturalmente, a questão não é de ser mais ou menos otimista. O problema é a realidade. No caso do Brasil, quais são as ações governamentais, empresariais e da sociedade civil em curso e as que devem ser pactuadas no sentido de reverter esta realidade desfavorável rumo a esta sustentabilidade?

Uma boa parte da sociedade brasileira vive em condições de extrema pobreza, excluída da vida política, econômica e social. Neste contexto, deve-se trabalhar as sinergias entre as políticas públicas, particularmente as voltadas para as áreas de água, saúde, saneamento, energia e as de mitigação de gases de efeito estufa, em sintonia com as políticas de desenvolvimento e sustentabilidade regional e nacional, com ênfase na indústria, agricultura e C&T&I.

Portanto, discutir a questão dos efeitos das mudanças climáticas no Brasil, em particular, como também as questões relacionadas ao desenvolvimento e à sustentabilidade, de maneira geral, é ter uma visão crítica em relação à realidade econômica, social e ambiental, na perspectiva de construir alternativas a favor deste desenvolvimento e sustentabilidade almejados.

Finalmente, devemos trabalhar o desenvolvimento e a sustentabilidade no Brasil em função das suas potencialidades:

biodiversidade, território, riquezas minerais, água, energia solar e eólica em sintonia com o desenvolvimento científico e tecnológico. Os limites impostos à economia baseada em carbono colocam o Brasil em uma situação de destaque, em relação à questão ambiental, com vantagens comparativas, na perspectiva de uma nova economia, a caminho de um outro desenvolvimento e da sustentabilidade desejada pela maioria da sociedade brasileira.

A superação deste modelo de desenvolvimento desafia a construção de novas relações políticas, econômicas e sociais entre os diversos atores do Estado, do mercado e da sociedade civil. O processo de conscientização e crítica do modelo de desenvolvimento atual cria as condições políticas, econômicas e sociais para a construção desta outra perspectiva de desenvolvimento com sustentabilidade.

Assim, há que se compreender e trabalhar os conflitos ambientais como parte integrante da história da humanidade em suas relações com a natureza, procurando entender os conflitos e contradições da sociedade atual, buscando soluções, sobretudo identificando as diferenças e os reais interesses entre os diversos atores sociais em questão, criando os fundamentos de novas relações políticas, econômicas e sociais para a sociedade futura, que se almeja sustentável.

Sobre o Autor



- *Dr. George Gurgel é membro do Conselho Deliberativo do IPB - Instituto Politécnico da Bahia, professor da Universidade Federal da Bahia e da Cátedra da UNESCO-Sustentabilidade. É graduado em Engenharia de Petróleo e Gás Natural e em Jornalismo, com mestrado na mesma área e doutorado na área interdisciplinar de Energia. Desde 1982 desenvolve atividades de ensino e pesquisa na UFBA e em outras universidades e organizações não governamentais (ONGs) no Brasil e no exterior. Participou na elaboração e coordenação de Programas e Projetos de governos no âmbito federal, estadual e municipal e possui experiência na área política e gestão nas áreas de energia, meio ambiente e cooperação internacional.*



Nova Diretoria do IPB e Fórum Octávio Mangabeira

Instituto Politécnico da Bahia tem nova Diretoria e novos Conselheiros

Em Assembleia Geral do IPB realizada em 30 de novembro de 2017 foram eleitos os membros do Conselho Fiscal e do Conselho Deliberativo para o período 2018-2019.

O novo Conselho Fiscal ficou assim constituído: Titulares: Eronildes dos Santos; Antônio Clodoaldo de Almeida Neto; Luiz Aníbal de Oliveira Santos. Suplentes: Herbert Oliveira e Raymundo José Garrido.

O novo Conselho Deliberativo elegeu a sua mesa diretora: Presidente: Caiuby Alves da Costa; Vice-Presidente: Adailton de Oliveira Gomes; Secretário: Asthon José d'Alcântara, que, tomando posse imediata, elegeu a Diretoria do IPB para o período:

PRESIDENTE: LENALDO CANDIDO DE ALMEIDA
VICE-PRESIDENTE: ADEMIR FERREIRA DOS SANTOS
DIRETORA ADMINISTRATIVA: RAMILLE DANIELE PINTO RAIMUNDO
DIRETOR FINANCEIRO: DEOLINDO ZOCATELI
DIRETOR DE NEGÓCIOS EMPRESARIAIS: PAULO EDUARDO SCOPPETTA SAMPAIO
DIRETOR DE PROGRAMAS E PROJETOS GOVERNAMENTAIS: EDUARDO RAPPEL
DIRETOR DE TECNOLOGIA, PESQUISA E CAPACITAÇÃO: ISAAC QUINTINO FERREIRA

Em 25 de Janeiro de 2018, às 19:00h a nova diretoria do IPB foi empossada em cerimônia realizada no Espaço Cultural Arlindo Fragoso - Escola Politécnica da UFBA - conduzida pelo presidente do Conselho Deliberativo e contou com a presença de autoridades

Fórum Octávio Mangabeira discute Transportes e Armazenamento dentro da Agenda Desenvolvimento da Bahia

Em 8 de março deste ano foi realizado o FÓRUM OCTAVIO MANGABEIRA dentro da programação da AGENDA DE DESENVOLVIMENTO BAHIA 2018, uma parceria IPB/CREA-BA com apoio da APUB, do SENGE, da ESCOLA POLITÉCNICA e da FEP. O tema do encontro foi TRANSPORTES, ARMAZENAMENTO E DESENVOLVIMENTO.

O evento foi coordenado pelo engenheiro e professor SÉRGIO FARIA e contou com presenças do mundo empresarial e da academia, tendo como palestra de abertura: PAPEL DA LOGÍSTICA NA ECONOMIA proferida pelo DIRETOR EXECUTIVO da ABOL (Associação Brasileira de Operadores Logísticos). O evento, bastante concorrido, teve a



coordenação das apresentações à cargo de Silvano Silva Bastos pela manhã e de George Gurgel pela tarde. Compareceram ao evento cerca de 150 pessoas.

Programação do Evento

Manhã

PALESTRA DE ABERTURA: O Papel da Logística na Economia

Palestrante: César Meireles, Diretor Executivo da ABOL (Associação Brasileira de Operadores Logísticos)

PAINEL 1: Atividade Portuária na Baía de Todos os Santos: cases de sucesso

Coordenação/Moderação: Sérgio Faria, EPUFBA

Demir Lourenço Jr., o case Tecon – Terminal de Contêineres do Porto de Salvador

Jorge Pessoa, o case Terminal Portuário Cotegipe

Representante da Ford, o case Terminal Portuário Miguel de Oliveira (Ford)

Cesar Meirelles

PAINEL 2: no Comércio Armazenagem Exterior

Coordenação/Moderação: Fernando Matos, Inspetor Chefe da Alfândega no Porto de Salvador ou

Luciano Maciel, Inspetor Adjunto na Alfândega no Porto de Salvador

Representante do Teca (Terminal de Carga Aérea);

Demir Lourenço Jr (Terminal de Contêineres do Porto de Salvador);

Representante da CNE (Clia da Columbia Nordeste);

Tarde

PAINEL 3: A Ferrovia na Bahia

Coordenação/Moderação: Marcos Cavalcanti, Secretário de Infraestrutura do Estado da Bahia

Marcos Galindo, Coordenador do Conselho de Infraestrutura da Fieb (Federação das Indústrias do Estado da Bahia);

Adary Oliveira, Presidente da Associação Comercial da Bahia

