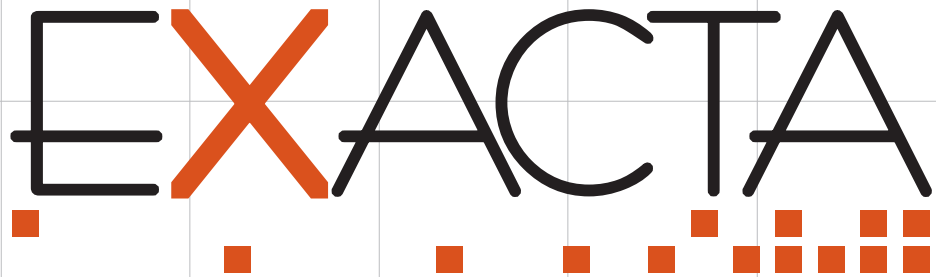


# EXACTA



Publicação científica de Ciências Exatas e da Terra,  
Engenharias, Arquitetura e Urbanismo

**UNINOVE**  
  
Universidade Nove de Julho  
[www.uninove.br](http://www.uninove.br)

ISSN da versão impressa: 1678-5428  
ISSN da versão online: 1983-9308

<i>Exacta</i>	São Paulo	v. 8	n. 2	p. 121-256	2010
---------------	-----------	------	------	------------	------

**EXACTA**exacta@uninove.br  
www.uninove.br/publicacoes**Endereço para correspondência:**Av. Francisco Matarazzo, 612,  
C. Água Branca, 05001-100,  
São Paulo – SP [Brasil]  
Fone: 55 (11) 3665-9353**Afiliada:****Abec**  
<http://www.abecbrasil.org.br/>**Bases indexadoras:****Redalyc**Red de Revistas Científicas  
de América Latina, El  
Caribe, Espanha y Portugal.  
<http://redalyc.uaemex.mx/>**Latindex**Sistema Regional  
de Información en Línea  
para Revistas Científicas  
de América Latina, el  
Caribe, España y Portugal.  
<http://www.latindex.unam.mx/>**UNINOVE**Universidade Nove de Julho  
[www.uninove.br](http://www.uninove.br)**Campus Vila Maria (VM)**  
R. Guaranésia, 425  
Vila Maria, São Paulo – SP**Campus Memorial (MM)**  
Av. Dr. Adolfo Pinto, 109  
Barra Funda, São Paulo – SP**Campus Vergueiro (VG)**  
R. Vergueiro, 235/249  
Liberdade, São Paulo – SP**Campus Santo Amaro (SA)**  
R. Amador Bueno, 389/491  
Santo Amaro, São Paulo – SP**Centro de Pós-Graduação (MM)**  
Av. Fco. Matarazzo, 612, C  
Água Branca, São Paulo – SP**Centro de Pós-Graduação (VG)**  
R. Vergueiro, 235/249  
Liberdade, São Paulo – SP

© 2010 – Universidade Nove de Julho (Uninove)

**Reitoria**

Eduardo Storópoli

**Pró-reitoria Acadêmica**

Maria Cristina B. Storópoli

**Pró-reitoria Administrativa**

Jean Anastase Tzortzis

**Pró-reitorias de campus**

Ariovaldo Folino Junior

Claudio Ramacciotti

Renato Rodrigues Sofia

Wilson Pereira Dourado

**Diretoria de Pesquisa**

João Carlos Ferrari Corrêa

**Diretoria do Departamento de Ciências Exatas**

Júlio César Dutra

**Coordenadoria do curso de Arquitetura e Urbanismo**

Rubens Antonio Reisig Moreira

**Coordenadora do curso de Desenho Industrial**

Heloisa Maria Domingues Neves

**Coordenadoria dos cursos de Engenharias**

João Alexandre Paschoalin Filho – Adjunto

João Bosco Santos Souza – Adjunto

**Coordenadoria do curso de Engenharia de Produção Mecânica**

Washington Humberto de Moura

Marcos Antonio Naldi – Adjunto

**Coordenadoria do curso de Engenharia e Tecnologia em Mecatrônica Industrial**

Carlos Antônio Berto Junior

**Coordenadoria do curso de Engenharia Elétrica e Tecnologia em Mecatrônica Industrial**

Marcelo Campos de Oliveira Gonçalves – Adjunto

**Coordenadoria do curso de Engenharia Elétrica e Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações**

Jan Novaes Recicar – Adjunto

**Diretoria dos cursos de Informática**

Marcos Alberto Bussab

**Coordenadorias dos cursos de Informática**

Claudinei Di Nuno

Cleber Vinícios Filippin

Hebert Bratefixe Alquimim

Marcus Vasconcelos de Castro

Nilson Salvetti

**Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

E96	Exacta. – Vol. 1 (2003) – . – São Paulo : Universidade Nove de Julho, 2003– v. ; 28 cm.
	Anual até 2007, Semestral em 2008 e trimes- tral em 2009 ISSN 1678-5428
	1. Ciências – Periódicos. I. Universidade Nove de Julho.
	CDD 505

A instituição ou qualquer dos organismos editoriais  
desta publicação não se responsabilizam pelas opiniões,  
idéias e conceitos emitidos nos textos,  
de inteira responsabilidade de seu(s) autor(es).

#### Conselho Editorial

Elias Basile Tambourgi – FEQ-Unicamp  
José Luiz Caruso Ronca – FAU-USP  
Moacyr Martucci Júnior – Poli-USP  
Nivaldo Lemos Coppini – Uninove  
Paulo Roberto do Lago Helene – Poli-USP  
Reinaldo Castro Souza – PUC/RJ

#### Comissão Editorial

Adriana Hélia Caseiro – Uninove  
Afonso José do Prado – Unesp  
André Felipe Henriques Librantz – Uninove (Editor Científico)  
Carlos Renato Rambo – UFSC  
Fabio Henrique Pereira – Uninove  
Laércio Gomes – USP  
Lilia Coronato Courrol – Unifesp; Cnen  
Jan Novaes Recicar – Uninove  
Salomon Mony Levy – Uninove  
Sarkis Sergio Kaloustian – Uninove

#### Diretoria de Pesquisa e Publicações

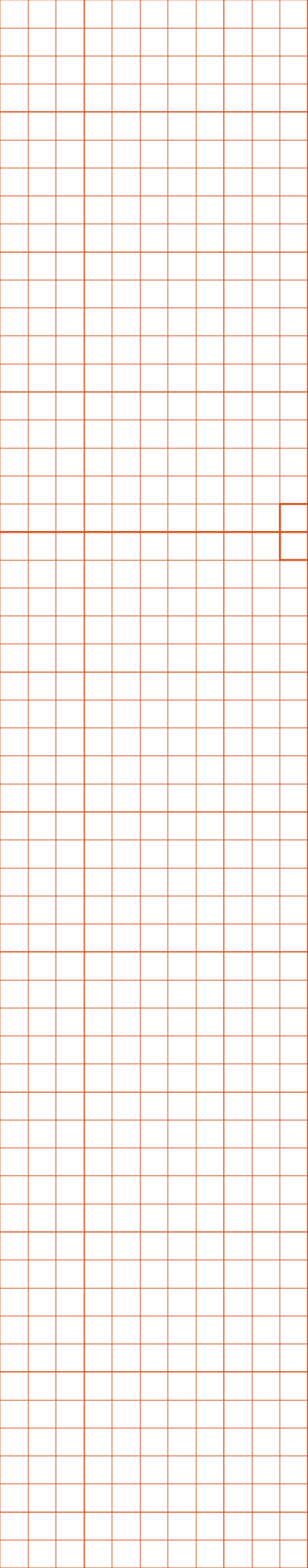
Assistente de produção editorial Maria Edileusa de Vasconcelos Negrette Garcia  
Projeto gráfico e diagramação João Ricardo Magalhães Oliveira

A revista *Exacta*, publicação científica semestral, de divulgação da produção de Ciências Exatas e da Terra, Engenharias e Arquitetura e Urbanismo, apoiada pelo Departamento de Ciências Exatas da Universidade Nove de Julho, tem como mote principal ser instrumento multidisciplinar de divulgação para a comunidade acadêmica, contribuindo, dessa maneira, para a inovação e conhecimento nas mais diversas áreas das Ciências Exatas.

*Exacta* é publicada tanto em meio impresso quanto eletrônico e está disponível no portal Uninove <http://www.uninove.br/publicacoes> e no Sistema Eletrônico de Editoração de Revistas (SEER) <http://www.uninove.br/revistaexacta>.

REPRODUÇÃO AUTORIZADA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Apoio e colaboração do Departamento de Ciências Exatas, da Uninove.



# Sumário / Contents

## Editorial / Editor's note

Editorial .....	129
André Felipe Henriques Librantz	

## Artigos / Articles

<b>Gestão Ambiental: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos na Engenharia de Produção apontando perspectivas de pesquisas futuras .....</b>	<b>133</b>
<i>Environmental management: a revision that classifies and analyzes the works on Production Engineering showing perspectives of future surveys</i>	
Eduardo Guilherme Satolo	

<b>Contribuições para a configuração de um sistema de medição de desempenho para incubadoras de empresas baseado no BSC.....</b>	<b>145</b>
<i>Contributions for setting up a system of performance measurement for business incubators based on the BSC</i>	

José Antonio Arantes Salles  
Luiz Orlando Iozzi

<b>Qualidade de serviços na manutenção de utilidades: uma análise de percepção dos clientes internos conduzida em uma empresa de manufatura .....</b>	<b>157</b>
<i>Service quality on utilities maintenance: an analysis of internal customers perception performed in a manufacturing company</i>	

Carlos Alberto Mitsuo Fujii  
Paulo Augusto Cauchick Miguel  
Felipe Araujo Calarge

<b>Degradação fotoquímica e reuso da água obtida de um efluente têxtil tratado via UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> .....</b>	<b>169</b>
<i>Photochemistry degradation and reuse of water obtained from a textile effluent treated by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV</i>	

Jorge Marcos Rosa  
Elesandro Antônio Baptista  
José Carlos Curvelo Santana

<b>Extração e caracterização de uma enzima proteolítica do curauá (Ananas Erectifolius).....</b>	<b>179</b>
<i>Extraction and characterization of a proteolytic enzyme from Ananas Erectifolius</i>	

Juliana Ferrari Ferreira  
Dalva Sbruzzi  
Kleber Vânio Gomes Barros  
Isaac Stringueta Machado  
Elias Basile Tambourgi

<b>Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em spray dryer rotativo.....</b>	<b>185</b>
<i>Feasibility study of biomass drying of green banana in spray dryer rotary</i>	

Ricardo Kenji Oi  
Elias Basile Tambourgi  
Deovaldo de Moraes Jr



<b>Partição da lipase de <i>Burkholderia cepacia</i> em sistema bifásico aquoso PEG 4000/fosfato .....</b>	<b>193</b>
<i>Lipase partitioning from Burkholderia cepacia by aqueous two phase system PEG4000/phosphate</i>	
Giovana da Silva Padilha Ranulfo Monte Alegre Elias Basile Tambourgi	
<b>Produção de biossurfactante por <i>Pseudomonas fluorescens</i> em caldo de abacaxi (<i>Ananas comosus</i>) com óleo de girassol pós-fritura e aplicação na remoção de derivado do petróleo .....</b>	<b>201</b>
<i>Biosurfactant production by Pseudomonas fluorescens in pineapple broth (Ananas comosus) with burned sunflower oil and application in removal of petrol derivative</i>	
Roberto Albuquerque Lima Rosileide Fontenele da Silva Andrade Luiz Queiroz Santos Galba Maria Campos Takaki	
<b>Estudo comparativo de modelos estatísticos para redução da viscosidade em mistura de biodieséis de mamona e soja, usando uma metodologia de superfície de resposta .....</b>	<b>211</b>
<i>Comparative study of statistical models for reduction of viscosity in blends of types of biodiesel of castor and soybean, using a methodology of surface reply</i>	
Fernanda Mansani Silva Gomes Danielle Barbosa Matos Bárbara Meirelle de O. Correia Gabriel Francisco da Silva Ana Eleonora Almeida Paixão	
<b>Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde.....</b>	<b>219</b>
<i>Processing and evaluation of the stability of the green banana flour</i>	
Joice C. Santos Gabriel F. Silva João A. B. Santos Antonio M. Oliveira Júnior	
<b>Low-loss image compression techniques for cutting tool images: a comparative study of compression quality measures .....</b>	<b>225</b>
<i>Técnicas de Compressão com Baixa Perda de Imagens de Ferramentas de Corte: um estudo comparativo de medidas de qualidade de compressão</i>	
Fabio Henrique Pereira Elesandro Baptista Nivaldo Lemos Coppini Rafael do Espírito Santo Ademir João de Oliveira	
<b>Algoritmos de busca aplicados na estimação de parâmetros em um modelo probabilístico de gestão de estoque.....</b>	<b>237</b>
<i>Search algorithms applied to parameters estimation in an inventory management probabilistic model</i>	
André Felipe Henriques Librantz Sidnei Alves de Araújo Wonder Alexandre Luz Alves Gisele Castro Fontanella Pileggi	

## **Instruções para os autores / Instructions for authors**

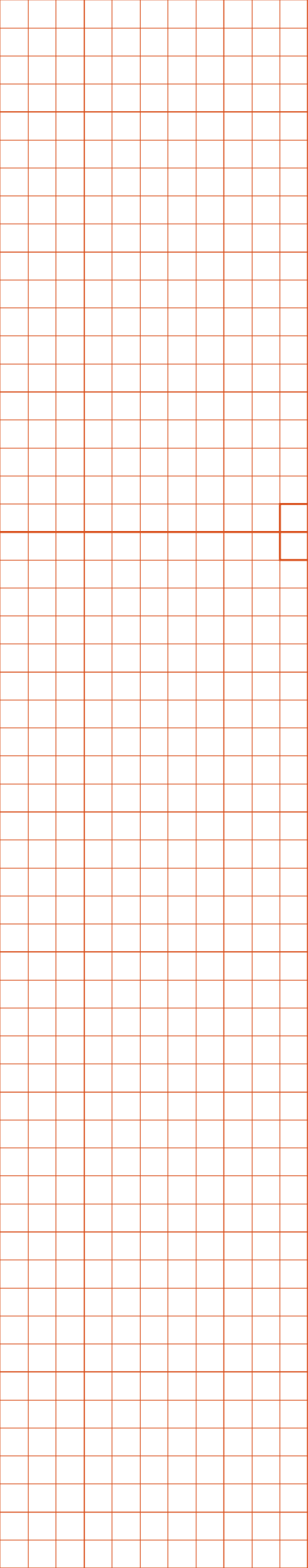
<b>Publique .....</b>	<b>251</b>
-----------------------	------------



# Editorial



Editor's note





# Editorial

Prezados leitores,

Apresentamos o segundo número do oitavo volume de *Exacta*, mantendo seu firme compromisso da sua linha editorial, objetivando a qualidade e o mérito dos trabalhos vinculados. Com vistas a tornar a publicação mais dinâmica, optou-se por adotar o formato com menos artigos, porém com uma periodicidade maior. Alinhada a essa estratégia, esse volume traz doze artigos de colaboradores de diversas instituições de ensino e pesquisa do País. Esses textos versam sobre assuntos das muitas especialidades que compõem as Ciências Exatas, com representação das diferentes engenharias e ciência da Computação, reforçando assim a vocação multidisciplinar da revista. Começamos com três contribuições da Engenharia de Produção. O primeiro deles aborda a Gestão Ambiental, que tem crescido em importância nos últimos anos, principalmente devido aos debates ocorridos a respeito da sustentabilidade e das mudanças climáticas ocorridas no planeta. Na sequência, apresentamos um artigo no qual é sugerida a utilização de uma adaptação do *Balanced Scorecard* - BSC como ferramenta de medição e avaliação de desempenho das incubadoras. Temos também um artigo que tem como proposta analisar as dimensões da qualidade dos serviços internos prestados por uma empresa subcontratada de serviços de manutenção de utilidades em uma empresa de manufatura na cidade de São Paulo. Temos também quatro contribuições da Engenharia Química. No primeiro deles é apresentada uma proposta de degradação fotoquímica e o reuso da água de um efluente têxtil em novos tingimentos a partir do tratamento com UV. Na sequência um artigo aborda extração e Caracterização de uma enzima proteolítica do curauá, uma planta fibrosa encontrada no Norte e Centro-oeste do Brasil, uma bromeliácea de características físico-químicas que lhe conferem grande potencial de utilização na indústria automobilística, como fonte de fibras. O terceiro artigo apresenta um



estudo de viabilidade de secagem da biomassa da banana verde em uma unidade piloto de spray dryer com atomizador rotativo. O trabalho seguinte propõe a purificação de lipases através do SBA PEG4000/sal fosfato. Temos também uma contribuição que apresenta a produção de biosurfactante por *P. fluorescens* em meio contendo caldo de abacaxi e óleo de girassol pós-fritura (5%) por 72 horas, a 150 rpm e 37°C. O biopolímero removeu 75,4% do óleo queimado do solo do semi-árido de Pernambuco, sugerindo alta eficiência nos processos de biorremediação. Na sequência, é apresentado um estudo comparativo de modelos estatísticos para redução da viscosidade em misturas de biodieseis (Mamona e Soja), usando uma metodologia de superfície de resposta – RSM, baseada em planejamentos fatoriais, com o objetivo de prever o melhor caminho para se obter um biodiesel com menor viscosidade. Outro texto tem como proposta o processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde durante noventa dias de armazenamento a temperatura ambiente (26°C) como opção no

aproveitamento do excedente de produção contribuindo com a minimização do desperdício. Há também um artigo, em língua inglesa, sobre um estudo comparativo de duas técnicas de compressão de imagens que combinadas com técnicas de inteligência artificial, podem ser usadas no desenvolvimento de uma ferramenta computacional de suporte à decisão na troca de ferramentas de corte. Ainda nessa linha é apresentado um artigo no qual algoritmos de busca heurística são aplicados na estimação de parâmetros em um problema particular de gestão de estoque.

Com a diversidade e o nível dos artigos apresentados, aliados à proposta de tornar a revista mais dinâmica, esperamos contribuir na divulgação dos resultados científicos, de forma isenta e imparcial, tendo como mote a credibilidade da revista.

Boa leitura a todos!

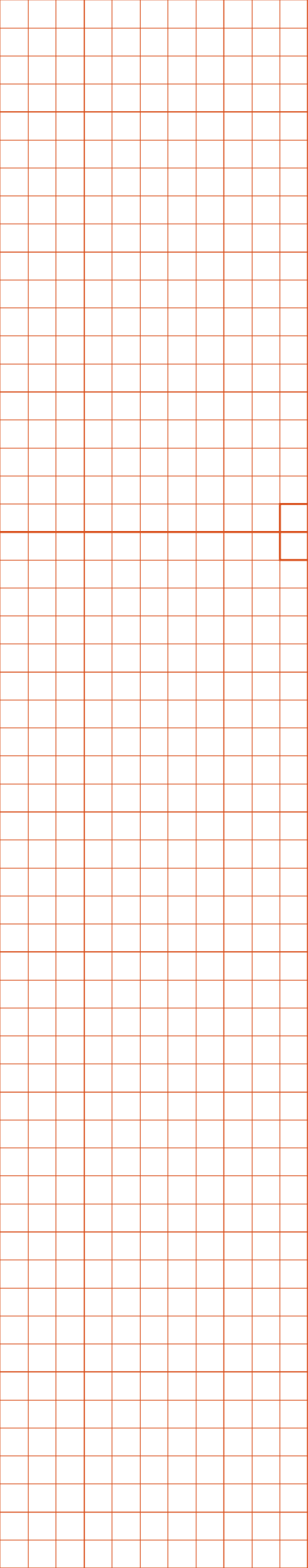
André Felipe Henriques Librantz  
Editor Científico



# Artigos



## Articles



# Gestão Ambiental: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos na Engenharia de Produção apontando perspectivas de pesquisas futuras

*Environmental management: a revision that classifies and analyzes the works on Production Engineering showing perspectives of future surveys*

Eduardo Guilherme Satolo  
Coordenador do Curso de Engenharia  
de Produção – Policamp.  
Campinas – SP [Brasil]  
engproducao@policamp.edu.br

A Gestão Ambiental caracteriza-se como a área da Engenharia de Produção que planeja, desenvolve e executa projetos que visam à preservação do meio ambiente. Nos últimos anos a importância desta área tem crescido principalmente devido aos debates ocorridos em torno do conceito de sustentabilidade e das mudanças climáticas ocorridas no planeta. Este artigo objetiva destacar a área de Gestão Ambiental e prover aos pesquisadores um mapa do atual estado da arte referente aos artigos publicados na área nos últimos cinco anos. Para atingir tal objetivo foi conduzido um levantamento bibliográfico, o qual permitiu, por meio da classificação dos artigos, verificar diversos aspectos tais como: subáreas pesquisadas, tipo de pesquisa, abrangência, foco da pesquisa e temas mais estudados.

**Palavras-chave:** Engenharia de Produção. Gestão Ambiental. Revisão de literatura.

Environmental Management is characterized as the area within Production Engineering which plans, develops and devises projects that seek the environmental protection. In recent years, its importance has grown, mainly due to the debates around the sustainability concept and climate changes happening throughout the globe. This article hopes to highlight the Environmental Management area and provide researchers with a map on the current state-of-the-art related to articles published over the last five years. For reaching this goal, a bibliographic survey was done, which allowed, by classifying the articles, to check several aspects like: sub-areas being surveyed, type of survey, scope, focus of survey and the most commonly researched themes.

**Key words:** Environmental Management. Literature review. Production Engineering.

## 1 Introdução

A Gestão Ambiental é a administração do exercício de atividades econômicas e sociais que utiliza de maneira racional os recursos naturais, renováveis ou não. A Gestão Ambiental deve visar o uso de práticas que garantam a conservação e preservação da biodiversidade, reciclagem das matérias-primas e a redução do impacto ambiental das atividades humanas sobre os recursos naturais. Fazem parte também do arcabouço de conhecimentos associados à Gestão Ambiental técnicas para a recuperação de áreas degradadas, técnicas de reflorestamento, métodos para a exploração sustentável de recursos naturais, e o estudo de riscos e impactos ambientais para a avaliação de novos empreendimentos ou ampliação de atividades produtivas (CARVALHO, ABRANCHES E URBANAVICIUS JÚNIOR, 2009).

Na Engenharia de Produção a Gestão Ambiental destaca-se como uma das grandes áreas de atuação, apresentando um crescimento de sua importância nos últimos anos, alavancado principalmente pela discussão dos aspectos envolvidos as mudanças climáticas. Dentro da Engenharia de Produção a Gestão Ambiental apresenta-se subdividida em três: Gestão de Recursos; Gestão Energética; e Gestão de Resíduos Industriais.

Dentro deste contexto, este artigo pretende realizar um levantamento bibliográfico sobre artigos publicados nos últimos anos (2004 a 2009), divulgados nos principais congressos e periódicos nacionais, com o intuito de mapear o atual estado da arte das pesquisas envolvendo a área de Gestão Ambiental no Brasil.

A partir de tal revisão propôs-se um sistema de classificação para a Gestão Ambiental baseada em três parâmetros: metodologia, abrangência, área de aplicação (baseado em Godinho Filho e Fernandes, 2004), a qual serviu para classificar e estruturar os artigos da revisão.

Como resultados, pretende-se obter um quadro dos estudos quantitativo das metodologias, abrangências, princípios e capacitadores utilizados nos trabalhos e um quadro qualitativo dos principais assuntos e objetivos alcançados por esses trabalhos. Com isso ao término do artigo deseja-se: servir de base para um maior conhecimento da literatura existente; destacar as subáreas que estão mais deficientes na Gestão Ambiental e propor sugestões de pesquisas futuras.

## 2 A Gestão Ambiental no contexto da Engenharia de Produção

A Gestão Ambiental (GA) é uma prática muito recente, que vem ganhando espaço nas instituições públicas e privadas. Por meio dela é possível a mobilização das organizações para se adequar à promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Seu objetivo é a busca de melhoria constante dos produtos, serviços e ambiente de trabalho, em toda organização, levando-se em conta o fator ambiental. Atualmente, começa a ser encarada como um assunto estratégico, pois além de estimular a qualidade ambiental também possibilita a redução de custos diretos (redução de desperdícios com água, energia e matérias-primas) e indiretos, como, por exemplo, indenizações por danos ambientais (MPF, 2009).

A definição de meio ambiente, segundo Barbieri (2004), pode ser entendida como:

o ambiente natural e o artificial, isto é o ambiente físico e o biológico originais e que foi alterado, destruído, e construído pelos humanos, como as áreas urbanas, industriais e rurais. Esses elementos condicionam a existência dos seres vivos, podendo-se

dizer, portanto, que o meio ambiente não é apenas o espaço onde os seres vivos existem ou podem existir, mas a própria condição para a existência de vida na Terra.

Ainda segundo o autor, o meio ambiente pode ser classificado em quatro tipos:

- Meio ambiente natural: abrange os recursos naturais, a flora, a fauna, ou seja, a natureza.
- Meio ambiente cultural: abrange a cultura das civilizações, incluindo áreas e monumentos tombados pelo patrimônio cultura da humanidade
- Meio ambiente artificial: relaciona-se a tudo o que não é natural, mas é inerente à vida humana, como construções, por exemplo.
- Meio ambiente do trabalho: diz respeito a tudo aquilo relacionado à vida no trabalho

O uso do meio ambiente para a produção de mercadorias ocorre por meio da exploração de vários tipos de meio ambiente, sobretudo da exploração dos recursos naturais. Entretanto, a grande maioria dos recursos naturais não é renovável, ou seja, esses são limitados, motivo pelo qual deve haver uma conservação do meio ambiente de forma a utilizar, mas não esgotar, os recursos naturais existentes e vitais para a sobrevivência da humanidade (SELIG, CAMPOS E LERIPIO, 2008).

Realizar a Gestão Ambiental diz respeito à forma de gerenciar o meio ou a organização de modo a não causar o impacto negativo sobre o ambiente sob sua influência. Ou seja, atualmente, pode-se dizer que gestão ambiental é um instrumento que pode proporcionar a sobrevivência e a diferenciação das organizações no mercado (SELIG, CAMPOS E LERIPIO, 2008).

Entre os principais objetivos da Gestão Ambiental podem ser citados: prover o aproveita-

mento da maior quantidade possível de resíduos pelo gerador ou por terceiros; prover a prevenção como forma de reduzir a poluição e diminuir custos de tratamento e destinação final; minimizar/eliminar custos de desperdícios, conformidade ambiental e racionalização da alocação de recursos; minimizar riscos de segurança legal, de segurança das informações e da identificação de vulnerabilidade (ALBERONI et al., 2002).

A expressão *gestão ambiental* é bastante abrangente. Esta é frequentemente usada para designar ações ambientais em determinados espaços geográficos, como, por exemplo: gestão ambiental de bacias hidrográficas, gestão ambiental de parques e reservas florestais, gestão de áreas de proteção ambiental, entre outros (SBEGHEN, 2007).

Na Engenharia de Produção estas ações apresentam-se divididas em três subáreas principais: gestão de recursos naturais, gestão energética e gestão de resíduos industriais; cada qual com sua importância e representatividade (ABEPRO, 2009).

A subárea Gestão de Recursos Naturais tem como objetivo administrar os recursos naturais de forma inteligente, de tal forma que se tenha progresso sem agredir o meio ambiente, buscando o desenvolvimento sustentável de uma organização. Em outras palavras é gerenciar os recursos oferecidos pela natureza para o desenvolvimento das empresas, indústrias, comércios, entidades, e outros, sem agredir o meio ambiente, desenvolvendo um modelo onde se gera valores capitais e valores ambientais (BENETT, ALMEIRA e CASTILHO, 2002).

Diante dessa perspectiva, faz-se necessário lembrar que os recursos naturais não são infinitos e, por isso, devem ser utilizados de forma econômica e racional, ou seja, a natureza deve ser consumida ou utilizada para atender às necessidades da presente geração e das que ainda virão. Contudo, é impossível desconhecer que o mundo entrou numa crise sem precedentes no que se refere ao estado

do meio ambiente e ao desequilíbrio causado pelo uso inadequado dos recursos naturais da biosfera (BENETT, ALMEIRA e CASTILHO, 2002).

A subárea Gestão de Resíduos Industriais aborda um dos principais impactantes do meio ambiente: os resíduos, que são representados por quaisquer restos e efluentes dos processos de produção, subprodutos não utilizáveis e os produtos da manufatura, propriamente ditos, no todo ou em partes, especialmente suas embalagens, quando se transformam em lixo urbano (ALBERONI et al., 2002).

Os resíduos são substâncias ou objetos que, de acordo com legislação nacional, são, deveriam ser ou que requeiram ser descartados. Os resíduos perigosos apresentam uma ou mais destas características: inflamabilidade, oxidação, envenenamento, infecção, corrosividade, ecotoxicidade e outros riscos definidos pela legislação nacional. Do ponto de vista legal, tanto no Brasil, quanto na Europa e EUA, o responsável pelo gerenciamento destes resíduos é o produtor, que tem a responsabilidade de adotar práticas de manejo que impeçam a contaminação do ambiente (ALBERONI et al., 2002).

A terceira subárea denominada Gestão Energética consiste em um conjunto de práticas, ferramentas e procedimentos para monitorizar, reduzir e compreender o consumo envolvido no sistema de gestão energética. Com isso, a Gestão Energética almeja o aumento de sua eficiência, minimizando o consumo específico de energia, sem que haja consequências negativas em termos da qualidade e quantidade dos produtos e da funcionalidade da empresa (CITEVE, 2009).

Por meio da redução dos consumos de energia e de uma melhor gestão, pode-se melhorar o conhecimento e o controle, a utilização de equipamentos, resposta a ações corretivas, eficiência energética e outros (CITEVE, 2009).

Por sua vez a Gestão Ambiental está essencialmente voltada para organizações, ou seja, companhias, corporações, firma, empresas ou instituições, e pode ser definida como sendo um conjunto de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que levam em conta a proteção do meio ambiente por meio da eliminação ou minimização de impactos e danos ambientais decorrentes do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de empreendimentos ou atividades, incluindo todas as fases do ciclo de vida de um produto (SOUZA e SILVA, 2008).

A sua gestão é aplicada sobre os meios (instrumentos, técnicas, programas, teorias), de modo a obter resultados (fins) que satisfaçam todas as partes interessadas das organizações, de forma que uma organização administre as relações entre suas atividades e o meio ambiente que as abriga, observadas as expectativas das partes interessadas.

### 3 Método de pesquisa

Para se alcançar o objetivo proposto nesta pesquisa, foram conduzidos estudos baseados no levantamento de fontes secundárias. Este tipo de levantamento tem como objetivo descobrir idéias e explicações possíveis para o fato ou fenômeno a ser investigado (MATTAR, 1996). A busca em fontes secundárias caracteriza-se como a terceira maior fonte de dados empregados em pesquisas (MOTWANI, KUMAR e ANTONY, 2004).

Miguel (2007) descreve que a primeira etapa consiste em definir um referencial conceitual-teórico, de forma a resultar em um mapeamento da literatura sobre o assunto. Segundo o autor, o referencial conceitual-teórico possibilita:

- Identificar lacunas onde a pesquisa pode ser justificada (em termos de relevância);



- Determinar os termos da literatura que serão verificados empiricamente – os construtos;
- Permitir delimitar as fronteiras do que será investigado;
- Proporcionar o suporte teórico para a pesquisa (fundamentos);
- Explicitar o grau de evolução (estado da arte) sobre o tema estudado;
- Familiarizar e conceituar o pesquisador sobre o assunto.

Neste trabalho, a construção do referencial conceitual-teórico (por meio das fontes secundárias) se deu pela condução de um levantamento bibliográfico. O levantamento consiste em estudos que analisam a produção bibliográfica em uma determinada área temática, dentro de um recorte de tempo, fornecendo uma visão geral ou um relatório do estado da arte sobre um tópico específico, evidenciando novas idéias, métodos, e sub-temas que possuem maior ou menor ênfase na literatura (NORONHA e FERREIRA, 2000). Para Gil (1999), este tipo de levantamento é importante pelo fato de cobrir uma gama ampla de fenômenos, os quais o pesquisador não poderia pesquisar diretamente. No entanto, caso os dados coletados não sejam muito bem processados ou possuam baixo nível de qualidade, podem comprometer a pesquisa.

Segundo a classificação apresentada por Noronha e Ferreira (2000) o levantamento bibliográfico realizado neste trabalho é caracterizado como uma revisão de propósito analítico e temporal, com função de atualização e tratamento crítico. As justificativas para esta classificação são apresentadas na Tabela 1.

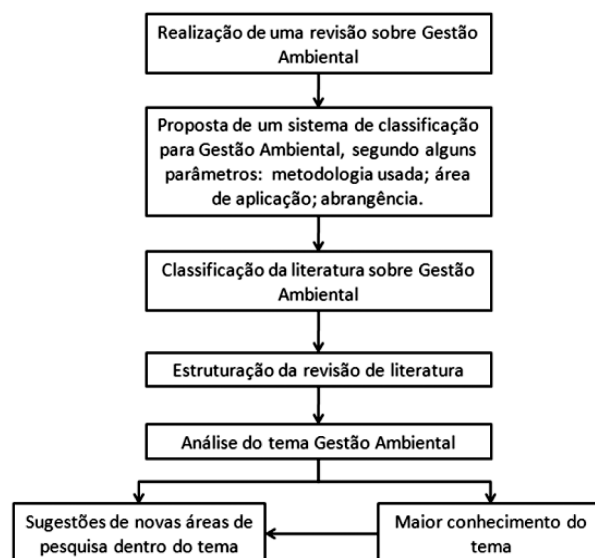
Com isso, a construção metodológica deste trabalho seguiu a proposta apresentada na Figura 1, tendo inicialmente sido realizado uma revisão conceitual sobre o tema Gestão Ambiental. A partir desta revisão foi elaborado um sistema de

**Tabela 1: Classificação do tipo de levantamento bibliográfico realizado na pesquisa**

Características	Classificação da revisão do trabalho	Justificativa
Quanto ao propósito	Análítica	Efetuada esporadicamente, sobre temas específicos, de modo que a somatória desses estudos possam fornecer a longo prazo um panorama geral do desenvolvimento de uma determinada área.
Quanto à abrangência	Temporal	O trabalho apresenta-se dentro de um período estipulado;
Quanto à função	De atualização	Verifica-se a literatura publicada recentemente, identificando informações correntes para o conhecimento, chamando a atenção para os trabalhos mais importantes coberto pelo assunto.
Quanto ao tratamento e Abordagem	Crítica	A seleção dos trabalhos foi realizada de maneira seletiva, emitindo-se julgamentos sobre este.

Fonte: Noronha e Ferreira, 2000.

classificação, o qual foi posteriormente associado aos artigos levantados. Por fim, esta classificação serviu como base para análise dos resultados.



**Figura 1: Estrutura metodológica do trabalho**

Fonte: Adaptado de Godinho Filho e Fernandes (2004).

### 3.1 O Sistema de classificação proposto

Nesta seção é apresentado o sistema de classificação propriamente dito. Esse sistema baseia-se em três categorias principais:

- A metodologia usada;
- A área de aplicação;
- A abrangência;

Para facilitar a classificação dos trabalhos, será realizada uma codificação para cada atributo que as categorias assumirem.

A primeira categoria do sistema de classificação proposto é a *metodologia* empregada no trabalho. Os procedimentos de pesquisa mais utilizados na área de Gestão da Produção podem ser discriminados em cinco classes: teórico-conceitual, experimental, pesquisa de avaliação (*survey*), estudo de caso e pesquisa-ação. Para este trabalho, no entanto será adotada a classificação de Godinho Filho e Fernandes (2004).

- Trabalhos teóricos (representado pela letra T) – dentro desta classe estão os trabalhos que utilizam metodologia científica baseada na teoria, ou seja, pesquisas do tipo teórico-conceitual, como discussões conceituais e revisões da literatura.
- Trabalhos práticos (representado pela letra P) – dentro desta classe estão todos os outros procedimentos de pesquisas do tipo experimental, *surveys*, estudos de caso e pesquisa-ação. Todas utilizam a prática para testar ou validar algum conceito determinado.

A segunda categoria do sistema de classificação é a *área de aplicação* enfatizada no artigo. Para este trabalho foi adotada a classificação de subáreas da Gestão Ambiental realizada pela Abepro,

já apresentada e explicada no item 2. Assim para este item serão divididos em três grandes classes: Gestão de Recursos Naturais (representada pela sigla RN); Gestão de Resíduos Industriais (representada pela sigla RI); e Gestão Energética (representada pela sigla GE).

A terceira categoria do sistema de classificação proposto é a *abrangência* do trabalho. Essa categoria refere-se basicamente ao nível da cadeia de suprimentos em que está focado o trabalho sobre Gestão Ambiental. A criação dessa categoria justifica-se pelo fato de a Gestão Ambiental poder ter seus conceitos aplicados em pontos focalizados dentro do chão de fábrica, assim como para toda a sua cadeia de suprimentos. Assim, quanto à abrangência, os trabalhos serão divididos em três grandes classes:

Foco no chão de fábrica (representado pelas letras CF) – refere-se aos trabalhos cujo foco principal é o estudo das práticas de gestão ambiental no chão de fábrica;

Foco em outras áreas da empresa (representado pelas letras OA) – refere-se aos trabalhos cujo foco principal é o estudo das práticas de gestão ambiental em outras áreas da organização (projeto, recursos humanos, contabilidade/custos, etc.).

Foco na cadeia de suprimentos (representado pelas letras CS) – referem-se a trabalhos cujo foco principal é as práticas de gestão ambiental relacionadas a clientes e fornecedores da empresa.

## 4 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento bibliográfico, os quais estão divididos em duas seções: a condução do próprio levantamento bibliográfico e a classificação dos artigos levantados.

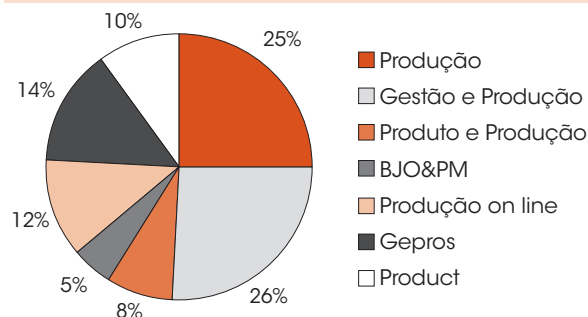
#### 4.1 Condução do levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi focado em periódicos nacionais da área de Engenharia de Produção indexados junto a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) e avaliados pela *Qualis* com nível igual ou superior a B4. Atualmente existem sete periódicos que se apresentam dentro destas características, que são: Produção, Gestão e Produção, Produto e Produção, *The Brazilian Journal of Operations and Production Management* (BJO&PM), Produção *on line*, Gepros e *Product*.

Como a análise dos artigos levantados se concentra em um determinado período de tempo, foi definido como tempo de análise os artigos publicados nos últimos seis anos, ou seja, entre os anos de 2004 a 2009. Neste período foi publicado pelos periódicos analisados um total de 822 artigos nas mais diversas áreas da Engenharia de Produção. A Figura 2 destaca a distribuição do número de artigos entre os periódicos analisados.

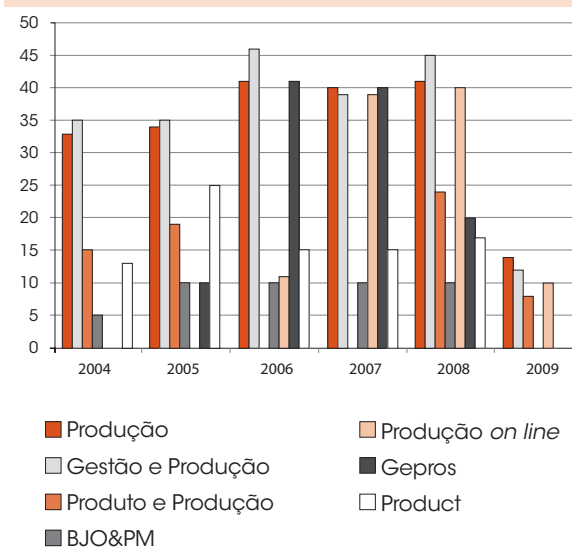
O levantamento e seleção dos artigos relativos que englobam o tema Gestão Ambiental permitiram destacar um total de 34 artigos. Estes periódicos representam 4,13% do número total de artigos publicados para o período de 2004 a 2009. Este aspecto destaca inicialmente o baixo número de artigos publicados na Engenharia de Produção que abordam aspectos relativos à Gestão Ambiental.

Com relação à evolução do número de artigos publicados por periódicos, verifica-se que estes se apresentam estabilizados, ou seja, não tem havido uma crescente no número de publicações nos últimos anos. O que ocorre para o ano de 2006, é a publicação de número especial do periódico Gestão e Produção voltado ao tema Gestão Ambiental, sendo este considerado um evento especial.



**Figura 2: Distribuição percentual de artigos publicados pelos periódicos analisados (período 2004 a 2009)**

Fonte: Os autores.



**Figura 3: Distribuição anual do número de artigos publicados pelos periódicos analisados**

Fonte: Os autores.

**Tabela 2: Relação entre periódicos e quantidade de artigos publicados em Gestão Ambiental**

Periódico	Ano						Total	% Artigos
	2004	2005	2006	2007	2008	2009		
Gepros		3		2	2		7	20,6%
BJO&PM		1					1	2,9%
Gestão e Produção			12	1	1	1	15	44,1%
Produção		1	1	1	2		5	14,7%
Produção on line			1				1	2,9%
Produto e Produção					1		1	2,9%
Gepros			1	1	2		4	11,8%
Product		3		2	2		7	20,6%

Fonte: Os autores.

## 4.2 Classificação dos artigos

Nesta seção foi estruturada a revisão bibliográfica sobre Gestão Ambiental, utilizando-se a classificação apresentada no método de pesquisa, ou seja, levando em consideração as três categorias definidas: método de pesquisa, área de aplicação e abrangência.

**Tabela 3: Classificação dos artigos de Gestão Ambiental levantados**

Autor	Metodologia	Área de aplicação	Abrangência
Galvão, Lima e Marques Júnior (2005)	P	RN	CS
Medeiros, Silva e Teixeira (2005)	P	RN	CF
Reda (2005)	P	RI	CF
Silva, Leite e Lazari (2005)	P	RI	CF
Silva, Silva e Manfrinato (2005)	T	RN	CF, CS
Avila e Paiva (2006)	P	RN	CS
Bispo e Cazarini (2006)	T	RN	OA
Calia e Guerrini (2006)	P	RN	CF
Cardoso e Gontijo (2006)	†	RN	CS
Chaves e Batalha (2006)	P	RN	CS
Dias (2006)	P	RN	CS
Dias e Teodósio (2006)	P	RN	CS
Ferro, Bonacelli e Assad (2006)	P	RN	CF
Gonçalves e Marins (2006)	P	RN	CS
Jabbour e Santos (2006)	T	RN	CF, CS
Luz, Sellitto e Gomes (2006)	P	RN	CF, CS
Raschiatore e Moreira (2006)	T	RN	CS
Silva e Brito (2006)	P	RI	CF
Sousa et al. (2006)	P	RN	CS
Tauchen e Brasndli (2006)	T	RN	CF, CS
Conceição e Mattos (2007)	P	RI	CF
Miguez; Mendonça e Valle (2007)	P	RI	CS
Hinz, Valentina e Franco (2007)	T	RN	CF, CS
Silva et al. (2007)	p	RI	CF
Zambrano e Martins (2007)	P	RN	CS
Adlmaier e Sellitto (2008)	P	RN	CS
Brandli et al. (2008)	P	RN	AO
Carmo et al. (2008)	T	RN	CS
Chaves (2008)	p	RN	CF
Pombo e Magrini (2008)	T	RN	CF, CS
Silva e Amaral (2008)	P	RN	AO
Silva Filho (2008)	T	RN	CF, CS
Garcia e Romeiro Filho (2008)	T	RN	ao
Aquino, Castilho Jr.e Pires (2009)	P	RS	CS

Fonte: Os autores.

## 5 Análise dos resultados do levantamento bibliográfico

A análise dos resultados do levantamento bibliográfico foi estruturada por meio de três seções: método de pesquisa, área de aplicação e abrangência da pesquisa.

### 5.1 Análise sobre método de pesquisa

A classificação dos artigos em função da sua abordagem metodológica permite verificar que 70,8% dos artigos desenvolvidos no período apresentam-se de cunho prático, e os estudos teóricos que buscam aprofundar a literatura existente concentram apenas 29,2% dos artigos levantados. Dos artigos práticos, 76,5% utiliza a abordagem de estudo de caso, 17,6% o método de *survey* e 5,9% a modelagem.

### 5.2 Análise sobre área de aplicação

Com relação às áreas de aplicação, os temas concentram-se em sua maioria (83,3%) na área de Gestão de Recursos Naturais. Nesta área existem desenvolvidos diversos temas como: o desenvolvimento de eco produtos, sustentabilidade organizacional, produção mais limpa, modelos de sistemas de gestão ambiental, ciclo de vida do produto e logística reversa.

Destes temas, os que apresentam mais comumente discutidos são logística reversa e desenvolvimento de eco-produtos, destacando-se com 17,2%, e 10,3%, respectivamente, dos artigos na área de Recursos Naturais.

Os outros trabalhos desenvolvidos (16,7%) estão inseridos dentro da área de Gestão de Resíduos Industriais. Nestes trabalhos focam-se principalmente os estudos da destinação dos resíduos industriais, com a exemplificação de casos práticos em empresas do ramo químico, da

construção civil e de empresa do ramo alimentício. São ainda apresentadas discussões teóricas sobre os benefícios econômicos e sociais para as organizações efetuarem o gerenciamento de seus resíduos industriais.

A área de Gestão Energética não apresenta para o período levantado nenhum trabalho publicado.

### 5.3. Análise sobre abrangência da pesquisa

A análise sobre a abrangência dos trabalhos publicados e a classificação elaborada é a que apresenta uma distribuição mais uniforme entre os temas. Os trabalhos desenvolvidos encontram-se distribuídos da seguinte maneira:

Foco na Cadeia de Suprimentos (CS) – 38,2% dos temas desenvolvidos. Estão nesta categoria estudos de logística reversa, custos ambientais, sustentabilidade, estudos de viabilidade de cadeias produtivas, entre outros.

Foco no Chão de Fábrica (CF) – 23,5% dos temas desenvolvidos. Concentram-se nesta categoria artigos que abordam a gestão dos resíduos industriais sejam estes sólidos ou químicos, riscos ambientais na área fabril, entre outros.

Foco no Chão de Fábrica e na Cadeia de Suprimentos (CF, CS) – 20,5% dos temas desenvolvidos. Englobam nesta área estudos que impactam não somente o chão de fábrica, mas também a cadeia com a qual a empresa esta envolvida. Os temas nesta área possuem como características principalmente os estudos teóricos que realizam uma análise detalhada dos fatores e impactos resultantes da aplicação dos conceitos nestes dois aspectos (fabril e cadeia).

Foco no Ambiente Organizacional (AO) – 17,6% dos temas desenvolvidos. Dois tipos de temas foram desenvolvidos basicamente nesta área: estudos de custos inerentes a atividades ambientais e o desenvolvimento de eco produtos.

## Conclusões

A área de Gestão Ambiental na Engenharia de Produção tende a aumentar sua importância nos próximos anos, principalmente pelo crescente discussão no que se refere a tópicos como sustentabilidade e mudança climáticas.

O que se nota é que em termos de publicação a área de Gestão Ambiental ainda concentra um baixo volume de publicações, representando aproximadamente 5% do total de artigos nos principais periódicos e congressos da Engenharia de Produção. Isso demonstra que essa área ainda não concentra um grande número de pesquisadores focados em estudar esses temas.

Quanto às áreas de aplicação, verifica-se que os trabalhos publicados concentram-se, em sua maioria, na área de Gestão de Recursos Naturais e em Gestão de Resíduos Industriais. A área de Gestão Energética, embora não apresente publicações no período levantado, tende nos próximos anos a aumentar sua importância, principalmente quando se tem a iminente discussão em torno de gestão de recursos organizacionais de maneira sustentável.

Por fim, o foco dos artigos apresenta-se bem distribuído, sendo que, na cadeia de suprimentos, destaca-se em relação aos demais. Verifica-se que há uma crescente principalmente no que diz respeito a trabalhos que abordam conjuntamente temas como o Chão de Fábrica e a Cadeia de Suprimentos.

Com relação a futuros temas de pesquisa na área de Gestão Ambiental, verifica-se que assuntos como sustentabilidade, *eco design*, gestão de resíduos, gestão energética e logística reversa, são fontes que necessitam ser mais bem exploradas e que apresentam um crescente interesse tanto pela sociedade civil como acadêmica.

## Referências

- ABEPRO. Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&cs=1&c=362>>. Acesso em: 14 abril 2009.
- ADLMAIER, D.; SELMITTO, M. A. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. *Produção*, v. 17, n. 2, p. 395-406, Maio/Ago. 2007.
- ALBERONI, V. G.; NEVES, M.; QUELHAS, O. L. G.; BARROS, A. B. Gestão de resíduos industriais como facilitador da gestão do conhecimento e da otimização do processo produtivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, *anais eletrônicos*, Curitiba, PR, 2002.
- AQUINO, I. F.; CASTILHO JR., A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, jan.-mar. 2009
- BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. São Paulo: saraiva, 2004.
- BENETT, C.; ALMEIDA, M.; CASTILHO, M. W. V. Gestão dos recursos naturais: Sítio São Brás, Município de Carlinda – MT. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 2, n. 1, 2002.
- BISPO, C. A. F.; CAZARINI, E. W. Avaliação qualitativa para consistente do processo de implantação de um Sistema de Gestão Ambiental. *Gestão e Produção*, v.13, n.1, p.117-127, jan.-abr. 2006.
- BRANDLI, E. N.; PANDOLFO, A.; GONZÁLEZ, M. A. S.; REINEHR, R.; GUIMARÃES, J.; BARBISAN, A. Diagnóstico preliminar dos custos ambientais de uma empresa do setor alimentício na unidade industrial de Passo Fundo – RS. GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 3, n. 2, p. 75-88, abr-jun/08.
- CALIA, R. C.; GUERRINI, F. M. Estrutura organizacional para a difusão da produção mais limpa: uma contribuição da metodologia Seis Sigma na constituição de redes intra-organizacionais. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.531-543, set.-dez. 2006.
- CARMO, B. T.; ALBERTIN, M. R.; DUTRA, N. G. S.; RODRIGUES, M. V. Análise da viabilidade tecnológica da cadeia produtiva do biodiesel no Estado do Ceará. GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 3, n. 2, p. 49-61, abr-jun/08.
- CARDOSO; C. L.; GONTIJO, L. A. The consumer and enterprise facing the ecoproduct – a brief comparative study. *Product: Management & Development*, v. 4, n. 2, p. 69 – 79, 2006
- CARVALHO, M. C.; ABRANCHES, R. S.; URBANAVICIUS JR., V. Responsabilidade socioambiental: uma obrigação de todos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 5, jul. 2009. Disponível em: <[http://www.vcneg.org/documentos/anais\\_cneg5/T8\\_0141\\_0773.pdf](http://www.vcneg.org/documentos/anais_cneg5/T8_0141_0773.pdf)>. Acesso: 4 set. 2009.
- CHAVES, G. L. D.; BATALHA, M. O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.423-434, set.-dez. 2006.
- CHAVES, L. I. Design for sustainability: a methodological approach for the introduction of environmental requirements in the furniture sector, *Product: Management & Development*, v. 6, n. 2, p. 167-172, dez. 2008.
- CITEVE. *Gestão energética na indústria têxtil*. Disponível em: <[www.citeve.pt/bin-cache/XPQC1DD5C30236DF7273C88ZKU.pdf](http://www.citeve.pt/bin-cache/XPQC1DD5C30236DF7273C88ZKU.pdf)>. Acesso em: 14 abril 2009.
- CONCEIÇÃO, F. F.; MATTOS, U. A. O. Gestão ambiental de resíduos químicos em unidade produtiva familiar de crisântemo em Nova Friburgo – RJ. GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 2, n. 3, p. 25-34, mai-jun. 2007.
- FERRO, A. F. P.; BONACELLI, M. B. M.; ASSAD, A. L. D. Oportunidades tecnológicas e estratégias concorrenciais de gestão ambiental: o uso sustentável da biodiversidade brasileira. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.489-501, set.-dez. 2006.
- GALVÃO, A. K. L.; LIMA, T. B. B. MARQUES JÚNIOR, S. Competitiveness: A Survey on Environmental Awareness in Shrimp Producers in the State of Rio Grande do Norte in Brazil. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 2, n. 2, 2005.
- GARCIA, J. C. C.; ROMEIRO FILHO, E. Ecodesign method for office furniture with emphasis on information gathering for product environmental improvement. *Product: Management & Development*, v. 6, n. 1, p. 39 – 45, jun. 2008.
- GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GILBERTO JESUS AVILA, G. J.; PAIVA, E. L. Processos operacionais e resultados de empresas brasileiras após a certificação ambiental ISO14001. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.475-487, set.-dez. 2006.
- GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisa futuras. *Gestão e Produção*, v.11, n.1, p.1-19, jan.-abr. 2004.

- GONÇALVES, M. E.; MARINS, F. A. S. Logística reversa numa empresa de laminação de vidros: um estudo de caso. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.397-410, set.-dez. 2006.
- HINZ, R. T. P. Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela avaliação do ciclo de vida. *Estudos Tecnológicos*, v. 2, n. 2, p. 91-98, jul/dez. 2006.
- LOPES, S.; DIAS, F.G. TEOSÓDIO, A. S. S. Estrutura da cadeia reversa: “caminhos” e “descaminhos” da embalagem PET. *Produção*, v. 16, n. 3, p. 429-441, Set./ Dez. 2006.
- LUZ, S. O. C.; SELLITTO, M. A.; GOMES, L. P. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automotiva. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.557-570, set.-dez. 2006.
- MAGRINI, A. POMBO, F. R. Panorama de aplicação da norma ISO 14001 no Brasil. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 1-10, jan.-abr. 2008.
- MATTAR, F. N. *Pesquisa de marketing*: edição compacta. São Paulo: Atlas, 1996.
- MEDEIROS, A. A.; SILVA, J. G.; TEIXEIRA, M. S. G. O processo de gestão ambiental em unidades de conservação da natureza: um estudo de caso no Parque Estadual Dunas de Natal. *GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 1, n. 3, p. 177 – 185, 2005.
- MIGUEL, P.A. (2007), “Recommendations for Conducting Case Study in Production Engineering”, *Produção*, Vol. 17, No. 1, pp. 216-229 (in Portuguese).
- MIGUEZ, E. C.; MENDONÇA, F. C.; VALLE, R. Impactos ambientais, sociais e financeiros de uma política reversa adotada por uma aplicante de televisão: um estudo de caso. *Produção on line*, vol. 7, n. 3, Nov. 2007.
- MOTWANI, J.; KUMAR, A.; ANTONY, J. A business process chance framework for examining the implementation of six sigma: a case study of Dow Chemicals. *TQM Magazine*, v. 16, n. 4, 2004. p. 273-283.
- MOZAR, P. J. S.; BRITO, J. Práticas de gestão de resíduos da construção civil: uma análise da inclusão social de carroceiros e cidadãos desempregados. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.545-556, set.-dez. 2006.
- MPF. *O que é Gestão Ambiental*. Disponível em: <<http://pga.pgr.mpf.gov.br/pga/gestao/que-e-ga/o-que-e-gestao-ambiental>>. Acesso em: 19 abril 2009.
- NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. S. P. *Revisões da Literatura*. In: CAMPELLO, B.S., CENDÓN, B. V. e KREMER, J. M. Fontes de Informação para Pesquisadores e Profissionais. Belo Horizonte: Ed. UFMG, p. 191-198, 2000.
- POSSAMAI, O.; VALENTINA, L. V. O. D. A model of evaluation of design for disassembly. *Product: Management & Development*, v. 5, n. 2, p. 133 – 139, dez. 2007.
- RASCHIATORE, R. A.; MOREIRA, D. A. Inovações na implementação do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.517-529, set.-dez. 2006.
- REDÁ, A. L. L. Modelagem matemática na gestão ambiental fluvial: simulação dos impactos no sistema receptor de efluentes, para orientar operação de tratamento de esgoto, sujeito a variações meteorológicas transitórias. *GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 1, n. 3 p. 155-170, 2005.
- SBEGHEN, R. T. Proposta de um sistema de gestão ambiental para empresas de diagnóstico por imagem. Santa Maria: UFSM, 2007, 95p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SELIG, P. M.; CAMPOS, L. M. S.; LERIPIO, A. A. *Gestão ambiental*. In: BATALHA, M.O. (org.) Introdução à engenharia de produção. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 249-272, 2008.
- SILVA, F. S.; LEITE, M. G. F.; LAZARI, T. A. Análise econômica, social e ambiental dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Município de Barra do Bugres – MT. *GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 1, n. 3, p. 171 – 176, 2005.
- SILVA, J. C. T.; SILVA, M. S. T.; MANFRINATO, J. W. S. Correlação entre gestão da tecnologia e gestão ambiental nas empresas. *Produção*, v. 15, n. 2, p. 198-220, Maio/Ago. 2005.
- SILVA FILHO, A. R. A. Sistema de gestão ambiental como estratégia empresarial no ramo hoteleiro. *Producao on line*, v. 8, n. 3, p. 1-21, 2008.
- SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. Análise de Custos Ambientais em Processos Industriais. *Produto & Produção*, v. 9, n. 2, p. 91-105, jun. 2008.
- SILVA, V. E.; MAFRA, S. C. T. ; MAFRA, C.; SOUZA, A. P. S. GOMES, E. C. Riscos ambientais em uma lavanderia de indústria de abate e processamento de carne. *GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 2, n. 3, p. 11-23, mai-jun 2007.
- SOUZA, M. A. B. Gerenciamento de aspectos e impactos ambientais em uma empresa fabricante de tubos, tubetes e coniais. *Produção on line*, v.6, n. 1, p. 1-26, 2006.
- SOUZA, I. P. S.; SILVA, M. C. Um manual de gestão ambiental para indústrias gráficas: conhecimento socioambiental produzido. *Gestão Industrial*, v. 4 n.1.p.116 – 130, 2008.



SYLMARA LOPES, S.; DIAS, F. G. Há vida após a morte: um (re)pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.463-474, set.-dez. 2006.

TAUCHEN, J. A; BRANDLI, L. L. Gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.503-515, set.-dez. 2006.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 295-309, maio-ago. 2007.

Recebido em 17 nov. 2009 / aprovado em 21 jun. 2010

**Para referenciar este texto**

SATOLO, E. G. Gestão Ambiental: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos na Engenharia de Produção apontando perspectivas de pesquisas futuras. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 133-144, 2010.



# Contribuições para a configuração de um sistema de medição de desempenho para incubadoras de empresas baseado no BSC

*Contributions for setting up a system of performance measurement for business incubators based on the BSC*

José Antonio Arantes Salles

Doutor em Administração de Empresas – EAESP/FGV  
São Paulo – SP [Brasil]  
salles@uninove.br

Luiz Orlando Iozzi

Mestre em Engenharia de Produção – Unimep  
São Paulo – SP [Brasil]  
loiozzi@bol.com.br

Incubadoras de empresas têm por finalidade propiciar uma forma mais eficiente e eficaz de sobreviver no mundo atual dos negócios. Em ambiente de negócios turbulento e dinâmico, as incubadoras devem ter reações rápidas, direcionando suas ações de forma a manter-se coerente com os seus objetivos estratégicos. Este artigo sugere a utilização de uma adaptação do Balanced Scorecard – BSC como ferramenta de medição e avaliação de desempenho das incubadoras, uma vez que tal ferramenta baseia-se na utilização de um conjunto de indicadores de desempenho, organizados e articulados logicamente, de forma a compatibilizar medidas que retratem a performance passada com o desempenho futuro, para atender a missão e os objetivos de longo prazo das incubadoras. A partir dessa conceituação é realizado um diagnóstico da gestão de incubadoras localizadas no estado de São Paulo, para o qual foram utilizados questionários e realizadas visitas. Considerando-se os questionários respondidos, notou-se que em maior ou menor número, existem indicadores que procuram dar sustentação ao processo de gestão dessas incubadoras, de acordo com as perspectivas do BSC. Porém, ficou evidenciado que em nenhum caso tais indicadores estão atrelados a um real e efetivo sistema de medição e avaliação de desempenho.

**Palavras-chave:** BSC. Incubadoras de empresas. Sistemas de medição de desempenho.

Incubators are designed to provide a more efficient and effective way to survive in today's business world. In turbulent and dynamic business environment, incubators should be quick to react by directing their actions in order to remain consistent with its strategic objectives. This article suggests the use of an adaptation of the Balanced Scorecard – BSC as a tool for measuring and evaluating performance of incubators, as this tool is based on the use of a set of performance indicators, organized and logically articulated in order to match measures that reflect past performance with future performance, aiming to meet mission and long-term goals of the incubators. From this concept is carried out a diagnosis of management of incubators in the state of Sao Paulo, for which were used questionnaires and carried out visits. Considering the answers of the questionnaires, it was noted that in higher or lower number, there are indicators which contribute in the management process of these incubators, in accordance with perspectives of BSC. However, it was evidenced that in none of cases that indicators are associated with a real and effective measuring and evaluating system of performance.

**Key words:** Business incubators. BSC. Performance measurement systems.

## 1 Introdução

As incubadoras de empresas são entidades sem fins lucrativos destinadas a amparar o estágio inicial de empresas nascentes, em determinadas áreas de negócios. Segundo Dornelas (2001), uma incubadora de empresas pode ser definida como um ambiente flexível e encorajador, no qual são oferecidas facilidades para o surgimento e o crescimento de novos empreendimentos. Além de assessoria na gestão técnica e empresarial da organização, a incubadora oferece a possibilidade de serviços compartilhados como laboratórios, telefone, internet, fax, telex, copiadoras, correio, luz, água, segurança, aluguel de área física e outros.

O principal objetivo de uma incubadora de empresas deve ser a produção de empresas de sucesso, em constante desenvolvimento, financeiramente viáveis e competitivas em seu mercado, mesmo após deixarem a incubadora, o que ocorre, geralmente, em um prazo de três a quatro anos.

Segundo Piekarski e Torkomian (2007), a primeira incubadora de empresas no Brasil foi criada em São Carlos – SP, em 1984. Desse período até os dias atuais, o número de incubadoras de empresas no país aumentou consideravelmente. Existem atualmente centenas de incubadoras de empresas. A principal justificativa para esse explosivo crescimento do número de incubadoras no país, nos últimos cinco anos, deve-se ao fato de os SEBRAE nacional e estadual terem financiado grande parte dessas incubadoras, com renovação anual dos convênios firmados.

As incubadoras de empresas, como regra geral, são ambientes híbridos onde a esfera empresarial, governamental e acadêmica encontram-se e interagem. Funcionam como agentes de fomento à interação universidade-empresa, como mecanismo de transferência de conhecimentos para a so-

cidade, e como ambientes de geração de produtos e serviços a partir dos conhecimentos e das práticas oriundas dessas esferas. Além disso, desempenham importante papel na região em que estão inseridas, como incentivadoras do desenvolvimento socioeconômico e cultural.

No Brasil, a maioria das incubadoras de empresas encaixa-se no perfil de organizações sem fins lucrativos, vinculada às instituições mantenedoras, e trabalha com recursos externos, em geral de natureza não reembolsável, para operar o programa de incubação proposto. Isso lhes confere outras particularidades, além daquelas relacionadas com a questão do ambiente e do propósito de uma incubadora de empresas. Uma incubadora de empresas geralmente conta com equipes enxutas, vive de projetos e tem sua gestão influenciada por uma série de *stakeholders*, que exercem papel fundamental na forma de atuação e avaliação dessas organizações.

Para Amato Neto (2007), os estímulos à formação e desenvolvimento das incubadoras provêm de diversas fontes, tais como instituições científicas de ensino e pesquisa, governos estaduais, prefeituras e entidades privadas como FIESP.

Todos esses aspectos contribuem para tornar a incubadora de empresas um ambiente especial, permeado de particularidades que destoam das organizações tradicionais, e sua gestão deve, em função disso, refletir suas peculiaridades. Para Leite (2006), as incubadoras de empresas, principalmente quando se destinarem ao desenvolvimento de produtos e serviços inovadores, devem prover um ambiente de risco moderado.

Um sistema de medição de desempenho voltado para incubadoras deve ter a capacidade de traduzir a missão e visão da organização em metas objetivas e explícitas a todos. Tal sistema deve permitir que o conjunto das partes envolvidas (*stakeholders* e empresas incubadas) possa definir critérios de ajustes e novas metas para organiza-

ção, dando ao controle da organização, eficiência e eficácia.

Este trabalho formula contribuições para um aperfeiçoamento da gestão dessas organizações a partir da utilização dos conceitos presentes no modelo do BSC e faz um diagnóstico acerca da gestão de incubadoras, a partir de um trabalho desenvolvido por Iozzi (2006). Neste trabalho foi realizado um levantamento por meio de questionários enviados às incubadoras localizadas no Estado de São Paulo.

## 2 O BSC aplicado à incubadora de empresas

O modelo do BSC desenvolvido por Kaplan e Norton (1997) é relativamente recente e sua utilização na gestão de incubadoras ainda tem um caráter pioneiro. A escolha por essa metodologia em detrimento das outras existentes reside no fato de ser o BSC uma metodologia flexível e adaptável e, principalmente, por atender de forma eficiente às exigências de um sistema de controle comportamental, conforme definido pela teoria moderna das organizações. Note-se, no entanto, que a despeito de sua ampla utilização nas mais diversificadas empresas, não há uma segurança de sucesso na sua implantação, em função de não estar alinhado às estratégias ou por problemas de cultura organizacional, dentre outros (BEBER BEBER; RIBEIRO; KLIEMANN NETO, 2006).

Herrero (2005) afirma que a gestão da estratégia baseada no BSC pode gerar valor superior para a grande quantidade de *stakeholders* envolvidos nas incubadoras.

O sistema de gestão deve procurar garantir o desempenho das atividades da empresa de tal forma que atinjam os objetivos estratégicos estabelecidos.

Kaplan e Norton (2001) observam que o *scorecard* capacita as organizações bem sucedidas a construir um novo tipo de sistema gerencial – concebido para gerenciar a estratégia. Neste sentido, o novo tipo de sistema gerencial, estabelecido com o BSC, pode passar a ser o fundamento de um sistema de gestão. Um exemplo desta possibilidade pode ser encontrado em Macedo, Barbosa e Cavalcante (2009).

## 3 As perspectivas do BSC e as incubadoras

A avaliação do desempenho empresarial baseada apenas em indicadores contábeis e financeiros tem se mostrado insuficiente para as organizações. Christensen apud Dornelas (2003) reforça a importância de obtenção do desempenho nos processos, pois os processos organizacionais são os padrões de interação, coordenação, comunicação e tomada de decisão pelos quais as empresas transformam as entradas de recursos em produtos e serviços de maior valor.

O diferencial na avaliação a partir dessas quatro perspectivas básicas está justamente no fato de, no BSC, elas serem consideradas interdependentes e resultantes de relações de causa-efeito. Essas relações ocorrem não somente entre as perspectivas, mas também dentro das próprias perspectivas, evidenciando-lhes o desdobramento dos vários processos e a complexidade de toda a estrutura organizacional.

Essa metodologia tem sido empregada com maior frequência em instituições do setor privado, cujo foco dos resultados é o lucro. Entretanto, a metodologia também pode ser utilizada na administração de organizações sem fins lucrativos, como as incubadoras.

Segundo Kaplan e Norton (2001), a maioria das entidades não lucrativas enfrenta difícil-

dade com a arquitetura original do BSC, na qual a perspectiva financeira é colocada no topo da hierarquia.

De fato, essas organizações devem pensar na inserção de um objetivo abrangente no alto de seus *scorecards*, representando seu propósito de longo prazo: por exemplo, redução da pobreza e do analfabetismo ou melhoria do meio ambiente. Em seguida os objetivos do *scorecard* devem ser orientados para a consecução desses objetivos de alto nível. Sua inserção comunica com nitidez a missão de longo prazo da organização.

Gadelha e Mâsih (2007), em trabalho sob a criação de um sistema de gestão para incubadoras de empresas baseado no BSC, optaram pela criação de uma nova perspectiva, a Social, obtendo-se assim um BSC com cinco perspectivas, uma das possibilidades abertas por Kaplan e Norton (1997). Esta opção de criar novas perspectivas também foi adotada por outros autores tais como Santos e Medeiros (2008).

## 4 Estruturação de indicadores de desempenho para incubadoras

A Rede de Incubadoras, Pólos e Parques Tecnológicos do Rio de Janeiro – REINC publicou um modelo de gestão, baseado no modelo BSC, onde apresenta de uma forma estruturada um sistema de medição e avaliação de desempenho que possibilita uma gestão mais eficiente e eficaz do processo de incubação de empresas (REINC, 2001).

Uma incubadora de empresas apresenta dois tipos principais de processos. O primeiro é formado por um conjunto que influencia diretamente o processo principal da incubadora, que consiste na transformação de candidatos em empresas graduadas, através do período de residência.

A segunda categoria de processos é relativa às atividades de apoio e suporte, ou seja, são aqueles processos que não influenciam diretamente o processo principal das incubadoras, mas suportam toda a estrutura necessária à sua execução, tais como as atividades rotineiras e específicas de sistema de gestão.

A seguir são apresentados alguns indicadores nas diversas perspectivas do BSC, conforme a base do modelo proposto pela REINC (2001), e que foram utilizados na pesquisa de campo.

### 4.1 Indicadores sob a perspectiva financeira

Sob o aspecto financeiro, o BSC deve disponibilizar de forma compreensível para os membros da organização, os indicadores financeiros relevantes para o processo de execução da estratégia. No caso das incubadoras de empresas, mesmo não tendo como objetivo estratégico a geração de lucros, os objetivos financeiros devem ser definidos, medidos e controlados, pois podem ser uma questão de sobrevivência para a incubadora.

Exemplos de indicadores: financiamentos a fundo perdido/receitas totais; faturamento com outros serviços/receitas totais; taxa de inadimplência; taxas de serviços recebidas/receitas totais; taxas de serviços recebidas/custos operacionais; custos totais/despesas totais; total de investimentos/despesas totais; *royalties* recebidos/despesas totais; taxas sobre faturamento das empresas recebidas/receitas totais; porcentagem dos gastos totais subsidiados pela entidade gestora.

A determinação de quais indicadores é mais adequada à organização é realizada a partir da identificação das necessidades estratégicas, no momento específico do ciclo de vida em que se encontrar a empresa. Dentro de uma perspectiva de resultados financeiros a serem alcançados, o estabelecimento da seleção de indicadores desta

perspectiva culminará com a construção dos resultados financeiros esperados pelos *stakeholders*.

Como colocado anteriormente, uma só perspectiva não é suficiente para estabelecer os resultados integrais da corporação. As demais perspectivas devem estar vinculadas com os resultados financeiros, pois não pode ser escolhido um resultado financeiro que não seja derivado de todas as ações configuradas nas demais perspectivas.

#### 4.2 Indicadores sob a perspectiva dos clientes

Para a gestão da organização esta perspectiva é de importância significativa, uma vez que os clientes estabelecerão o resultado da organização. No caso de uma incubadora pode-se definir os clientes como a entidade gestora, as empresas que participam do processo de incubação e os órgãos de fomento. A captação de clientes, que mede, em termos absolutos ou relativos, a intensidade com que uma unidade de negócios atrai ou conquista novos clientes ou negócios, tem importância para esta mensuração.

Exemplos de indicadores: nível de satisfação das empresas; número de estágios gerados; número de projetos desenvolvidos em parceria; número de produtos gerados; número de patentes geradas; número de empresas geradas; taxas de mortalidade e de sucesso; taxa de crescimento das empresas; total de impostos gerados; número de empresas incubadas; número de funcionários; número de empregados qualificados; nível de satisfação dos clientes; nível de aprovação da comunidade a respeito do projeto incubadora.

A satisfação dos clientes é um índice que depende da realização de uma mensuração de opiniões externas à empresa que são geradas a partir de comportamentos internos das pessoas da organização. A conexão dos clientes com as outras perspectivas é necessária para a construção geral do resultado global do negócio.

#### 4.3 Indicadores sob a perspectiva dos processos internos da empresa

Para Davenport apud Rocha (2002), um processo é uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, e entradas e saídas claramente identificadas: uma estrutura para a ação. Para Simons (2000) esta perspectiva é essencial para a manutenção de um ciclo virtuoso na empresa. A inovação permite aportar diferenciais aos produtos ou serviços da empresa e, quando bem realizada, permite a agregação de valor ao produto ou serviço ofertado, possibilitando ganho e retornos financeiros, especialmente em longo prazo para a empresa. O processo de inovação permite que a empresa tenha a possibilidade de criar ganhos no futuro, ou seja, ajuda a garantir o resultado financeiro futuro, assegurando a continuidade do resultado presente.

Exemplos de indicadores: número de candidatos; planos de negócio apresentados; número de retiradas do edital; número de candidatos selecionados; número de projeto aprovados; tempo médio de residência; custo operacional incubadora/número de empregos gerados; custo operacional por empresa incubada.

Os processos internos vinculados às atividades administrativas podem ser considerados como parte da estratégia competitiva da empresa, que também se associa à proposta de valor, como indicado por Porter (1980), quando comenta que a estratégia competitiva é influenciada por fatores internos e externos à companhia.

Com o atual ajuste do foco da economia e das empresas para a necessidade de inovação e mudanças, amparadas pelo conhecimento organizacional, os processos, para serem melhorados, dependem da capacidade das pessoas que constituem a empresa. Assim, os processos internos passam a ser dependentes da outra perspectiva do BSC, que é a de aprendizado e crescimento.

#### 4.4 Indicadores sob a perspectiva de crescimento e inovação

Os indicadores voltados para esta perspectiva estão voltados à capacitação dos funcionários e aumento da capacidade das instalações. Para os funcionários, o grupo de medidas inclui sua satisfação, retenção e produtividade.

Exemplos de indicadores: qualificação da equipe da incubadora; total de investimentos em treinamento da equipe; gastos na aquisição de novos equipamentos e material permanente; porcentagem da receita utilizada na modernização ou ampliação das instalações; gastos para melhoria de processos e da gestão; nível de satisfação da equipe da incubadora; taxa de crescimento de investimentos em treinamento.

### 5 Pesquisa com incubadoras de empresas no estado de São Paulo

Neste item são apresentados os resultados de uma pesquisa de campo realizada em incubadoras localizadas no Estado de São Paulo. Foram enviados questionários para 47 incubadoras, localizadas em 45 cidades. Também foram feitas visitas a algumas incubadoras, para aprofundar o conhecimento sobre o tema.

A inclusão dos diversos tipos de incubadoras se justifica, pois todas têm o objetivo estratégico de fortalecimento das micro e pequenas empresas, logo se pressupõe que todas necessitam desenvolver indicadores de medição e avaliação de desempenho.

Os questionários incluíam os seguintes itens: carta de encaminhamento endereçada ao gerente da incubadora, solicitação de dados das incubadoras e questões acerca do sistema de avaliação de desempenho e de seus indicadores.

Dos 47 questionários enviados, 10 incubadoras retornaram os questionários preenchidos, dos

quais 9 foram recebidos por meio de correio eletrônico e apenas 01 por correio tradicional. Há que se ressaltar que em função do universo pesquisado ser pequeno e do número de retorno das incubadoras, as análises e conclusões que são apresentadas dizem respeito apenas às unidades pesquisadas, sem necessariamente constituir uma realidade para as demais incubadoras. Ressalte-se, no entanto, que o percentual de retorno, da ordem de 20%, encontra-se dentro da expectativa esperada.

O questionário foi montado a partir de um estudo inicial mais aprofundado realizado na incubadora de empresas de São Jose do Rio Preto. A proposta inicial do questionário foi apresentada a esta incubadora e foi discutida com o gerente em três entrevistas realizadas durante as visitas. Funcionou assim, portanto, como a aplicação de um teste-piloto.

### 6 Dados gerais sobre as incubadoras

Os quadros de 1 a 5 apresentam o número de incubadoras em função do tempo de existência das incubadoras, número de empresas incubadas na data da pesquisa, natureza da incubadora, número de funcionários e utilização de sistemas de medição de desempenho.

Idade em anos	Até 2	De 2 a 5	De 5 a 10	Acima de 10
Quantidade	01	07	02	00

**Quadro 1: Tempo de existência da incubadora**

Fonte: Os autores.

Empresas incubadas	Até 10	De 10 a 20	Acima de 20
Quantidade	06	03	01

**Quadro 2: Número de empresas incubadas**

Fonte: Os autores.

Natureza	Tradicional	Tecnológica	Mista	Outra
Quantidade	05	02	03	00

**Quadro 3: Natureza da incubadora**

Fonte: Os autores.

Funcionários	01	02	03	04
Quantidade	00	04	06	00

**Quadro 4: Número de funcionários**

Fonte: Os autores.

Medição de desempenho	Nenhum	SGE/SGI*	BSC**
Quantidade	03	04	03

**Quadro 5: Sistemas de medição e avaliação de desempenho**

\*Sistemas desenvolvidos pelo SEBRAE (SGE) e FIESP (SGI).

\*\*Em implantação.

Fonte: Os autores.

O tempo de existência das incubadoras é relativamente pequeno. Na sua maioria este tempo é de 2 a 5 anos, em função da implantação de incubadoras ser recente no Brasil.

A maioria das incubadoras pesquisadas apresenta uma capacidade máxima de incubação pequena, mas a quase totalidade das incubadoras está com aproximadamente 100% de ocupação, o que torna evidente a grande demanda existente.

A maioria das incubadoras apresenta natureza tradicional, sendo que as de natureza tecnológica apresentam diretores são oriundos de universidades.

O número de empregos gerados diretamente pelas incubadoras é pequeno, mas devem-se considerar os empregos diretos e indiretos gerados pelas empresas incubadas e graduadas.

Apenas três incubadoras fazem uso de algum tipo de sistema de medição e avaliação de desempenho semelhante ao método BSC no seu processo de gestão. Elas estão em fase de desenvolvimento e implantação. Outras quatro fazem uso do Sistema de Gestão Empresarial ou do Sistema de Gestão para Incubadoras. Estes sistemas visam prover o SEBRAE e a FIESP de alguns indicadores que lhes

são convenientes. Tais sistemas não têm a perspectiva de se constituírem em um sistema de gestão para a incubadora. As demais não mencionaram algum tipo de sistema de medição ou controle gerencial.

Os indicadores de desempenho utilizados pelas incubadoras foram agrupados por afinidade. Trata-se de uma consolidação de indicadores em função de sua natureza. Esses grupos constituem as variáveis apresentadas a seguir, nas diversas perspectivas do BSC.

## 6.1 Perspectiva financeira

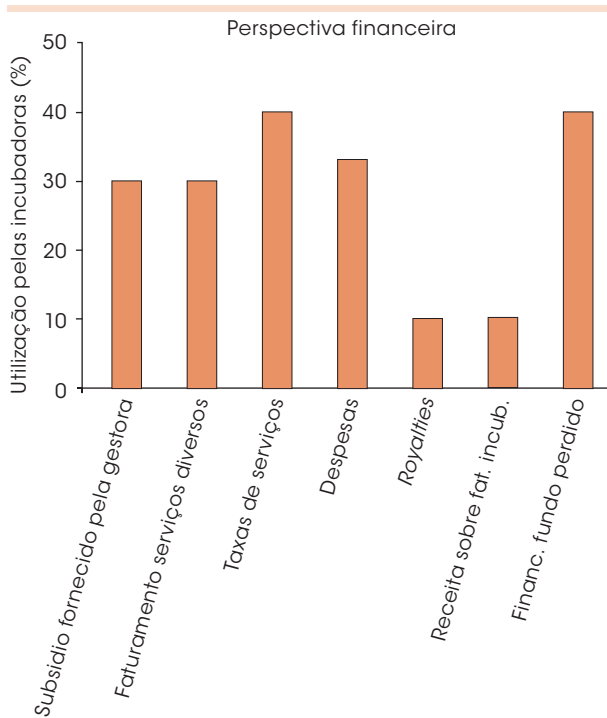
Mesmo no caso das incubadoras, os objetivos financeiros devem ser definidos, medidos e controlados, pois podem ser uma questão de sobrevivência para a incubadora. A determinação dos indicadores mais adequados é realizada com base na identificação das necessidades estratégicas, no momento específico do ciclo de vida em que se encontrar a empresa. O quadro 6 apresenta o conjunto de indicadores esperados para esta perspectiva.

Financiamentos a fundo perdido/receitas totais.
Faturamento com outros serviços/receitas totais.
Taxa de inadimplência.
Taxas de serviços recebidas/receitas totais.
Taxas de serviços recebidas/custos operacionais.
Custos totais/despesas totais.
Total de investimentos/despesas totais.
Royalties recebidos/despesas totais.
% sobre faturamento das incubadas/receitas totais.
% gastos totais subsidiados pela entidade gestora.

**Quadro 6: Indicadores para a perspectiva financeira**

Fonte: Os autores.

Pode ser percebido que as variáveis financiamento a fundo perdido, taxas de serviços e despesas são as que mais despertam o interesse das incubadoras, conforme destaca a Figura 1. O grau de importância dado a estas variáveis permite inferir a falta de autonomia financeira das incubadoras nos seus processos de gestão.



**Figura 1: Principais indicadores financeiros**

Fonte: Os autores.

## 6.2 Perspectiva de crescimento e inovação

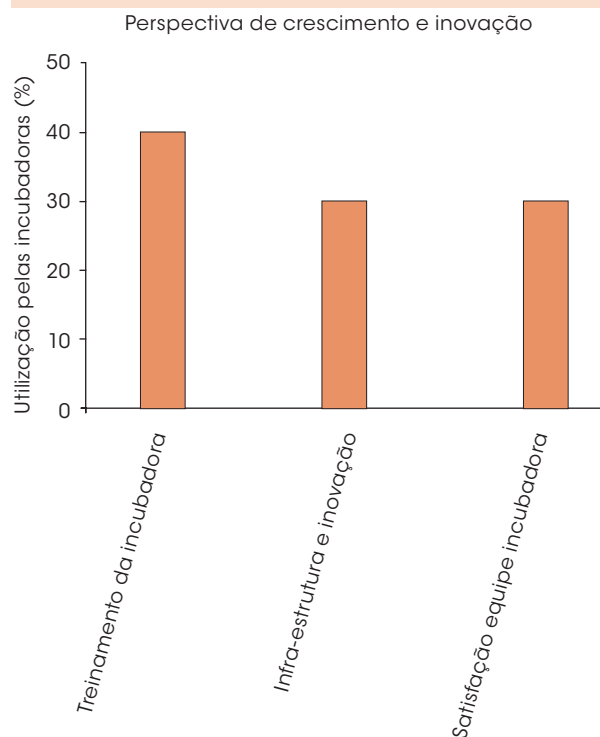
Esta perspectiva oferece a infraestrutura que possibilita a consecução de objetivos ambiciosos nas outras três perspectivas. O quadro a seguir apresenta o conjunto dos indicadores esperados para esta perspectiva.

Qualificação da equipe de gerenciamento da incubadora.
Total de investimentos em treinamento da equipe de gerenciamento.
Gastos na aquisição de novos equipamentos e material permanente.
% da receita utilizada na modernização ou ampliação das instalações.
Gastos para melhoria de processos e da gestão.
Nível de satisfação da equipe de gerenciamento da incubadora.
Taxa de crescimento de investimentos em treinamento (ano/ano anterior).
Taxa de gastos com equipamento e material permanente (ano/ano anterior).

**Quadro 7: Indicadores para perspectiva crescimento e inovação**

Fonte: Os autores.

Pelas respostas obtidas dos questionários, é relevante o interesse das incubadoras pela variável treinamento da incubadora, conforme destaca o gráfico mostrado na Figura 2 a seguir. Tal fato pode estar atrelado ao vínculo que a incubadora tem com o SEBRAE, que tem como uma de suas finalidades capacitar gestores de instituições de micro e pequeno porte.



**Figura 2: Principais indicadores de crescimento e inovação**

Fonte: Os autores.

## 6.3 Perspectiva dos clientes

Esta perspectiva é de importância muito significativa, uma vez que os clientes estabelecerão o resultado da organização. No caso de uma incubadora, tal perspectiva deve ser cuidadosamente estruturada, tendo em vista o grande número de agentes envolvidos no processo. O quadro colocado a seguir apresenta os indicadores de desempenho potencialmente utilizados pela incubadora para esta perspectiva.



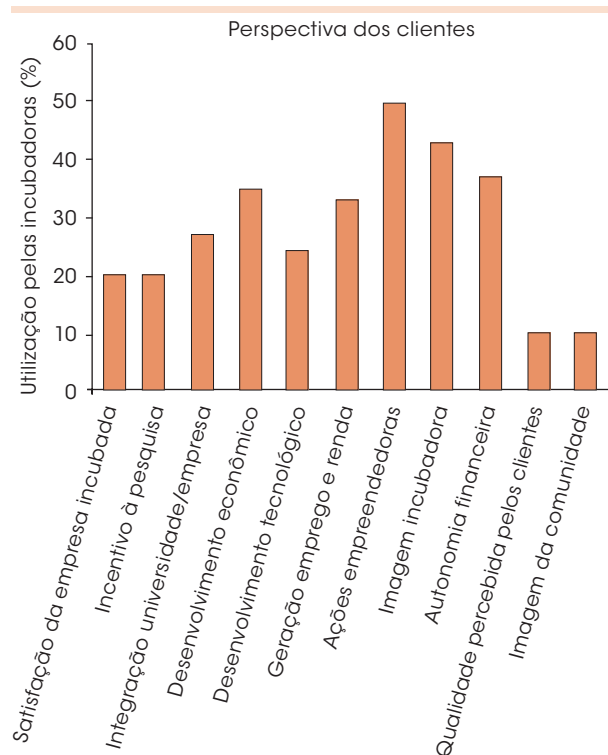
Nível de satisfação das empresas.
Nº de estágios gerados.
Nº de projetos desenvolvidos em parceria.
Frequência do uso de laboratórios e dependências da universidade.
Nº de projetos com universidade.
Índices de transferência tecnologia (contratos com a universidade).
Inovação de classe mundial.
Impacto de modernização das empresas.
Nº de produtos gerados.
Nº de patentes geradas.
Potencial de exportação das empresas.
Nº de empresas geradas.
Taxas de mortalidade e sucesso.
Taxa de crescimento das empresas.
Total de impostos gerados.
Total de faturamento das empresas.
Índice de crescimento de receita (ano/ano anterior).
Índice de crescimento de impostos (ano/ano anterior).
Nº de empresas incubadas ou graduadas.
Índice de crescimento de empresas incubadas/graduadas (ano/ano anterior).
Nº de funcionários empregados nas empresas incubadas.
Nº de empregados qualificados tecnicamente.
salários pagos pelas empresas incubadas.
Nº de ações (treinamentos, consultorias, feiras) voltadas para o empreendedorismo.
Nº de atendimentos a interessados.
Taxa de ocupação.
Qualidade e custo da infraestrutura material e administrativa.
Gastos com marketing da incubadora.
% dos custos totais cobertos por recursos próprios.
% dos gastos totais (custos + investimentos) cobertos por recursos próprios.
% dos custos operacionais cobertos pelas empresas incubadas.
Nível de satisfação dos clientes.
Nível de aprovação da comunidade a respeito do projeto incubadora.

**Quadro 8: Indicadores para a perspectiva dos clientes**

Fonte: Os autores.

Era esperado que nas respostas obtidas dos questionários às variáveis incentivo à cultura empreendedora, imagem da incubadora, desenvolvimento econômico, geração de emprego e renda e

autonomia financeira fossem as que mais despertassem o interesse das incubadoras, conforme destaca a Figura 3. Os indicadores de maior preocupação pelas incubadoras são aquelas que têm um cunho social, em função dos propósitos de criação das incubadoras. O elevado número de variáveis que compõem esta perspectiva pode ser justificado pelo grande número de *stakeholders*.



**Figura 3: Principais indicadores de atendimento aos clientes**

Fonte: Os autores.

### 6.4 Perspectiva dos processos internos

Foram dois os processos definidos no referencial teórico, para a gestão de uma incubadora. O primeiro formado por um conjunto que influencia diretamente no processo principal da incubadora e consiste na transformação de candidatos em empresas graduadas, através do período de residência. O segundo é relativo às atividades de apoio e suporte, ou seja, são aqueles processos que não influenciam

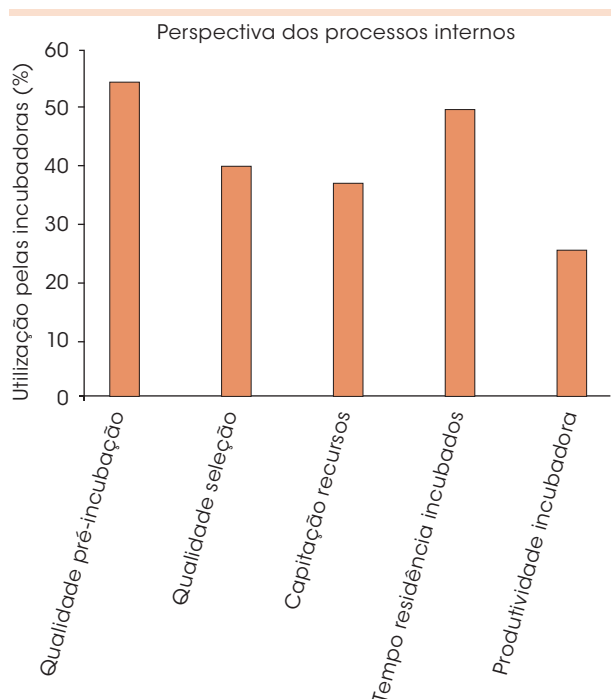
diretamente no processo principal das incubadoras, mas suportam toda a estrutura necessária à sua execução. O quadro apresenta a seguir o conjunto de indicadores para esta perspectiva.

Número de candidatos.
Planos de negócio apresentados.
Número de retiradas do edital.
Número de candidatos selecionados.
Total de recursos solicitados/aprovados.
Número de projeto preparados/aprovados.
Tempo médio de residência.
Custo operacional incubadora/número de empregos gerados.
Custo total anual/n.º produtos gerados.

**Quadro 9: Indicadores da perspectiva de processos internos**

Fonte: Os autores.

As variáveis qualidade de pré-incubação e tempo de residência dos incubados despontam como as de maior necessidade de controle por parte das incubadoras respondentes (Figura 4).



**Figura 4: Principais indicadores de processos internos**

Fonte: Os autores.

Dos indicadores identificados, alguns mostraram ocorrência em várias incubadoras respondentes, o que, de certa forma, permite inferir que tais indicadores são considerados relevantes no processo de gestão dessas organizações. Podemos citar na perspectiva financeira, o indicador financiamento a fundo perdido/receitas totais como um indicador a ser destacado. Outros indicadores bastante identificados na perspectiva de crescimento e inovação foram qualificação da equipe de gerenciamento da incubadora, total de investimentos em treinamento da equipe de gerenciamento e gastos para melhoria de processos e da gestão. O elevado grau de utilização desses indicadores permite supor a interferência, “aparentemente” positiva, do SEBRAE, que além de atuar como agente de fomento financeiro no projeto, também atua para o desenvolvimento e capacitação da equipe responsável pela gestão do projeto. Ainda como indicadores de destaque, podem ser citados, dentro da perspectiva dos clientes, os indicadores número de empresas incubadas ou graduadas e número de atendimentos a interessados. Tais indicadores demonstram a preocupação central de uma incubadora, que deve ser a produção de empresas de sucesso, em constante desenvolvimento, financeiramente viáveis e competitivas em seu mercado, mesmo após deixarem de ser incubadas. Focando a perspectiva de processos internos verifica-se a preocupação das incubadoras com o número de candidatos inscritos e os selecionados. Uma vez que a capacidade de oferta de vagas é pequena, exige-se uma triagem eficiente dos candidatos e dos projetos apresentados.

## 7 Conclusões

A medição de desempenho não é um evento, e sim um processo longo com impacto sobre

toda a organização, o qual exige que os executivos conheçam indicadores relativos ao ambiente e ao desempenho organizacional. Esses indicadores devem ser entendidos por toda a organização, de modo a criar uma maior sinergia em busca da eficiência e eficácia organizacional.

O BSC, a partir da revisão de literatura, bem como pela realidade observada nas incubadoras, mostra-se um bom ponto de partida para a construção de um sistema de gestão mais adequado, embora, como previsto na literatura, deva sofrer adaptações, principalmente em função dos objetivos sociais e da multiplicidade de *stakeholders* envolvidos.

Considerando-se os questionários respondidos, é notório que em todas as perspectivas propostas no BSC existem indicadores, em maior ou menor número, com vistas a dar sustentação ao processo de gestão dessas incubadoras. Porém, ficou evidenciado que em nenhum caso tais indicadores estão atrelados a um real e efetivo sistema de medição e avaliação de desempenho.

Embora não seja possível ser conclusivo acerca inferir sobre a validade do BSC como sistema de gestão de desempenho das incubadoras, uma vez que tal método não está totalmente implantado em nenhuma das incubadoras respondentes, constatou-se a utilização de grande parte dos indicadores propostos pela REINC.

Considerando os questionários respondidos e a tabulação dos dados sobre os medidores de desempenho, é destacável a observação de que todos os indicadores sugeridos são utilizados pelo universo da pesquisa, pois eram utilizados em pelo menos uma das incubadoras. Tal constatação vem corroborar com a importância, amplitude e a aplicabilidade que foi atribuída à estrutura de indicadores propostos, para uma gestão eficiente e eficaz de uma incubadora de empresas.

## Referências

AMATO NETO, J. As políticas industriais e tecnológicas e as pequenas e médias empresas: iniciativas na história recente da economia brasileira. *Revista Gestão Industrial*, v. 3, n. 1, p. 87-102, 2007.

BEBER, S. J. N.; RIBEIRO, J. L. D.; KLIEMANN NETO, F. J. Análise das causas do fracasso em implantações de BSC. *Produção on line*, v. 6, n. 2, 2006.

DORNELAS, JOSÉ C. A. *Empreendedorismo corporativo: como ser empreendedor, inovar e se diferenciar na sua empresa*. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

\_\_\_\_\_. *Empreendedorismo: transformado idéias em negócios*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

GADELHA, M. A.; MÂSIH, R. T. *Alinhamento estratégico em incubadoras de empresas: proposta de um sistema de gestão baseado no balanced scorecard*. Foz do Iguaçu, Anais XXVII ENEGEP, 2007.

HERRERO, E. *Balanced Scorecard e a gestão estratégica: uma abordagem prática*. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

IOZZI, L. O. *Utilização de indicadores de desempenho no processo de gestão das incubadoras de empresas do estado de São Paulo*. Santa Bárbara D'Oeste, Dissertação (Mestrado), Universidade Metodista de Piracicaba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção. 2006.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. *Estratégia em Ação: Balanced Scorecard*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

\_\_\_\_\_. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System. *Boston: Harvard Business Review on Measuring Corporate Performance*, Harvard Business School Press, 1998.

\_\_\_\_\_. *Organização orientada para a estratégia*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

LEITE, E. *Empreendedorismo, inovação e incubação de empresas – lei de inovação*. Recife, Bargaço, 2006.

MACEDO, M. A. S.; BARBOSA, A. C. T. A. M.; CAVALCANTE, G. T. Desempenho de agências bancárias no Brasil: aplicando análise envoltória de dados (DEA) a indicadores relacionados às perspectivas do BSC. *Revista Economia e Gestão*, v. 19, n. 19, pp. 65-84, jan/abril 2009.

PIEKARSKI, A. E. T.; TORKOMIAN, A. L. V. As novas empresas de base tecnológica em São Carlos e sua sinergia com o potencial acadêmico, tecnológico e inventivo. *Seminário Nacional da ANPROTEC*, Belo Horizonte, 2007.

PORTER, M. E. *Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústria e da concorrência*. Rio de Janeiro: Campus, 1980



REINC. *Modelo de gestão para incubadoras de empresas: uma estrutura de indicadores de desempenho*. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais Ltda, 2001.

ROCHA, A. C. B. *Configuração de um sistema de avaliação de desempenho alicerçado no BSC para uma indústria de confecções de porte médio*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

SANTOS, I. M.; MEDEIROS, D. D. Adição de uma nova perspectiva ao BSC para avaliar o SGQ em empresas de serviços certificadas com a norma ISO 9001:2000. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 2: p. 17-33, 2008

SIMONS, R. *Performance measurement & control systems for implementing strategy*. New Jersey, Prentice-Hall, 2000.

Recebido em 23 out. 2009 / aprovado em 11 jul. 2010

**Para referenciar este texto**

SALLES, J. A. A.; IOZZI, L. O. Contribuições para a configuração de um sistema de medição de desempenho para incubadoras de empresas baseado no BSC. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 145-156, 2010.

# Qualidade de serviços na manutenção de utilidades: uma análise de percepção dos clientes internos conduzida em uma empresa de manufatura

*Service quality on utilities maintenance: an analysis of internal customers perception performed in a manufacturing company*

Carlos Alberto Mitsuo Fujii

Mestrando do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – UNINOVE  
São Paulo, SP [Brasil]  
mitsuo@uninove.edu.br

Paulo Augusto Cauchick Miguel

Pós Doutorado em Engenharia de Produção, Livre Docente pela Escola Politécnica da USP e Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSC  
Florianópolis, SC [Brasil]  
cauchick@deps.ufsc.br

Felipe Araujo Calarge

Pós Doutorado em Engenharia de Produção, Professor do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Pesquisador do Departamento de Ciências Exatas – UNINOVE  
São Paulo, SP [Brasil]  
fcalarge@uninove.br

Este trabalho tem como proposta analisar as dimensões da qualidade dos serviços internos prestados por uma empresa subcontratada de serviços de manutenção de utilidades em uma empresa de manufatura na cidade de São Paulo. Foi conduzido um levantamento de campo, de natureza exploratória, por meio de uma coleta de dados utilizando um questionário com uma adaptação da escala SERVQUAL. Esta escala compara as expectativas dos clientes e sua percepção em relação a dimensões da qualidade (atributos) associadas à natureza dos serviços. Os dados foram estatisticamente analisados e a diferença entre expectativa e percepção dos clientes (gap ou lacuna) foi medida em relação a cada dimensão. A conclusão obtida foi que em uma das dimensões analisadas, o gap foi nulo (diferença igual a zero). Contudo, em todas as outras dimensões, o nível de qualidade ficou abaixo do esperado, o que demonstra que existem oportunidades de melhoria na qualidade dos serviços prestados pela empresa de manutenção.

**Palavras-chave:** Clientes internos. Qualidade em serviços. SERVQUAL.

The proposal of this work is to analyse the quality dimensions of internal services performed by a subcontracted utilities maintenance company in a manufacturing company at São Paulo city. A field research was performed, of exploratory nature, by using data collection with a questionnaire of an adapted SERVQUAL scale. This scale compares the customers expectations and their perceptions related to associated attributes of services nature. The data were statistically analysed and the difference between the expectation and perception, named as “gap”, was measured in each dimension. The conclusion indicates that in one of analysed items, the gap was zero (difference equals to zero). However, in all other dimensions, the quality level was below the expectation, what demonstrates that there are opportunities of improving on service quality performed by utilities maintenance company.

**Key words:** Internal customers. Service quality. SERVQUAL.

## 1 Introdução

A participação do resultado dos serviços na economia nacional e mundial tem crescido expressivamente. Esse crescimento indica um aumento do desenvolvimento da sociedade contemporânea que demanda serviços tradicionais e também diferenciados. Na realidade, os serviços representam grande participação na economia brasileira. Dados do Anuário Estatístico, publicado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2009) demonstram que a participação (valor adicionado) do setor de serviços no PIB brasileiro está acima de 60% e mantém-se de forma consistente nos últimos anos.

Por outro lado, as organizações do meio industrial têm focado cada vez mais seus esforços em seus negócios principais (*core business*) e, dessa forma, as empresas têm contratado muitos serviços para a realização de atividades que podem ser consideradas secundárias, como é o caso da manutenção de utilidades. Este tipo de manutenção engloba atividades de manutenção da infraestrutura operacional de uma empresa, tal como edificações, redes elétrica e hidráulica, gases, ar comprimido, dados e voz, e iluminação. Com a participação crescente na economia, o setor de serviços tem experimentado um acirramento da concorrência e também aumento da exigência pelos clientes e conseqüentemente maior rigorosidade na avaliação de sua qualidade.

De acordo com Large e König (2009), as áreas internas de compras são normalmente avaliadas pela gestão de seus custos ou desempenho de seus fornecedores e, com isso, as abordagens de avaliação da qualidade em serviços não são comuns. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é, portanto, demonstrar uma análise exploratória na mensuração de serviços internos de manutenção em uma empresa de manufatura por meio da coleta de dados por um questionário estruturado como uma adaptação da escala SERVQUAL.

## 2 Referencial teórico em serviços

Os serviços têm características bem distintas em relação aos produtos. Diferentemente dos produtos, eles não podem ser precisamente controlados ou armazenados, e a detecção dos defeitos só ocorre durante a prestação do serviço. Com isso, a chance de ocorrer um problema e, conseqüentemente, a insatisfação do cliente aumenta significativamente. Portanto, a dificuldade de controle e também manutenção de um nível alto de qualidade é muito mais complexo no caso dos serviços. As características distintas dos serviços em relação aos produtos são mostradas na Tabela 1. Gronroos (1995) e Rocha et al. (2008) destacam a diferença entre a qualidade atribuída a um produto (bem físico) e a um serviço.

**Tabela 1: Diferenças entre Serviços e Bens Físico**

Bens físicos	Serviços
Tangível	Intangível
Homogêneo	Heterogêneo
Produção e distribuição separadas do consumo	Produção, distribuição e consumo são processos simultâneos
Uma coisa	Uma atividade ou processo
Valor principal produzido em fábricas	Valor principal produzido nas interações entre comprador e vendedor
Clientes não participam do processo de produção	Clientes participam da produção
Pode ser mantido em estoque	Não pode ser mantido em estoque
Transferência de propriedade	Não transfere propriedade

Fonte: Gronroos, 1995.

É importante destacar a distinção entre satisfação e qualidade, conforme colocado por Parasuraman et al. (1985), em que a qualidade tem aspecto global e é perceptível, ao passo que a satisfação está relacionada a um fato ou transação específica. A percepção da qualidade dos serviços tem características de abstração, ao invés

de atributos específicos, bem como o julgamento dos consumidores baseiam-se principalmente em critérios subjetivos (CHEN et al., 1994; TINOCO e RIBEIRO, 2008).

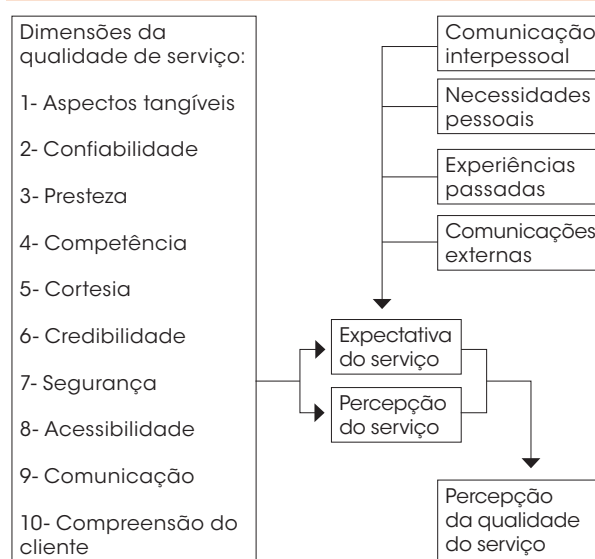
Outro aspecto importante nos serviços refere-se ao momento da verdade destacado por Albrecht (1992) e Machado et al. (2006), que pode ser definido como o momento no qual o cliente entra em contato com as atividades operacionais da empresa e assim forma sua impressão da realização dos serviços. Isso significa que o consumidor não avalia somente o resultado final da prestação de serviço, mas também como este resultado foi atingido. Para avaliar um serviço e desenvolver as percepções em relação à qualidade, existem dez dimensões da qualidade (YEH et al., 2007), conforme ilustram a Figura 1 e a Tabela 2.

**Tabela 2: Correspondência entre as dimensões do SERVQUAL e as dez dimensões originais para avaliar a qualidade de serviço**

	Tangibilidade	Confiabilidade	Presteza	Segurança	Empatia
Tangibilidade					
Confiabilidade					
Presteza					
Competência, Cortesia, Credibilidade, Segurança					
Acessibilidade, Comunicação, Compreensão do cliente					

Fonte: Miguel e Salomi, 2004.

A percepção da qualidade do serviço é o resultado da diferença entre a expectativa da qualidade do serviço e a percepção de desempenho dos serviços executados. A representação desta afirmação ficou conhecida como “modelo dos 5 gaps” (ZEITHAML et al., 1990). Segundo Salomi et al. (2005) e Large e König (2009), o gap 5 representa uma lacuna global do serviço, e por meio dela pode-se avaliar a qualidade do serviço prestado, como ilustra a Figura 2. Large e König (2009)



**Figura 1: Avaliação pelo cliente da qualidade de serviço**

Fonte: Zeithaml et al., 1990.

demonstram que o gap 5 pode ser calculado como a diferença entre a qualidade de serviço percebida e esperada. O modelo gap pode ser expresso na seguinte equação (PARASURAMAN et al., 1985):

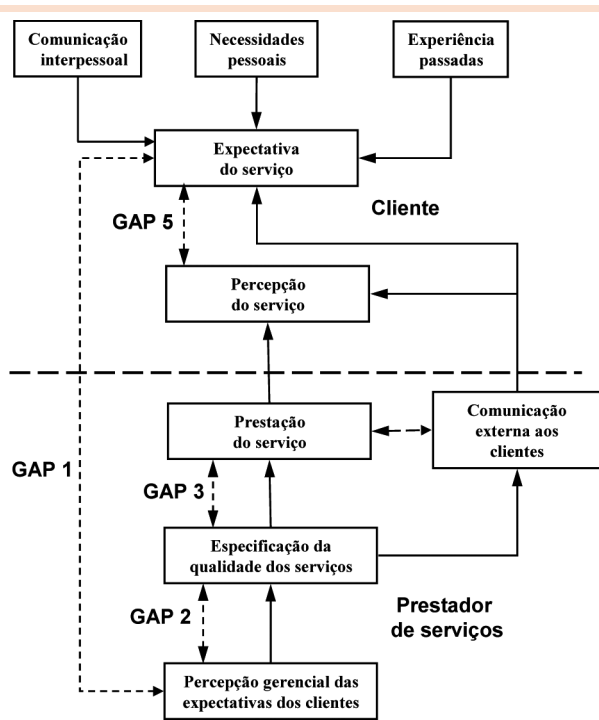
$$gap\ 5 = f(gap\ 1, gap\ 2, gap\ 3, gap\ 4)$$

(1)

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma mensuração da qualidade em serviços por meio da avaliação das dimensões da qualidade (Figura 1), utilizando o modelo gap (Figura 2 e equação 1). O trabalho destaca a seguir os métodos adotados para a consecução desses objetivos.

### 3 Métodos adotados

Como destacado anteriormente, o presente trabalho busca investigar a percepção da qualidade dos serviços internos prestados pela manutenção de utilidades em uma empresa de manufatura localizada na cidade de São Paulo. A coleta de dados é fundamentada em um instrumento do



**Figura 2: Modelo conceitual de Qualidade de Serviços**

Fonte: Zeithaml et al., 1990.

tipo questionário, que teve seu conteúdo adaptado a partir do instrumento SERVQUAL. Os questionários encontram-se nos Anexos A, B e C deste trabalho. A aplicação do questionário objetivou a coleta de dados em todas as áreas da empresa, cujo perfil é destacado a seguir. Trata-se de um trabalho de natureza exploratória.

### 3.1 Perfil da empresa

A empresa tem clientes nacionais e internacionais e é líder de mercado na maioria dos segmentos onde atua; possui unidades de diferentes portes espalhadas pelo Brasil, mas o foco da pesquisa refere-se à sua matriz, localizada na cidade de São Paulo, que tem cerca de 500 funcionários, com três unidades de negócio distintas. A empresa possui nesta planta quatro áreas produtivas específicas, um centro de distribuição e também conta com diversas áreas administrativas. Alguns processos importantes que se destacam nas áreas

produtivas são: usinagem de metais, tratamento térmico, processo químico de cobertura de superfície e retificação de superfícies, sendo que alguns operam em três turnos.

Os serviços de manutenção de utilidades são prestados por uma empresa subcontratada cujos funcionários têm um local específico nas instalações do cliente, para realizar trabalhos de manutenção e reparos que não podem ser realizados em campo, incluindo também o armazenamento de materiais de reposição. Existe uma equipe de 22 funcionários e um supervisor, e a gestão do contrato é realizada por um supervisor da empresa contratante. Os serviços de manutenção corretiva são executados em função da emissão de ordens de serviço emitidas pelos clientes internos, por meio de um sistema informatizado e as manutenções preventivas são executadas com base numa programação existente no banco de dados do sistema informatizado de gestão. Completando este quadro, existem também atividades de plantão, que basicamente são monitoramentos realizados com roteiro predefinido, de modo que a planta toda seja coberta, com o objetivo de garantir a continuidade das operações durante 24 horas por dia, 7 dias por semana. Os serviços corretivos requeridos por meio de ordens de serviço são aprovados pelo usuário, antes de sua conclusão oficial dentro do sistema informatizado. Em caso de discordância sobre a conclusão do serviço executado, o usuário tem o direito de reprová-lo e solicitar um retrabalho através da mesma ordem de serviço. Os tipos de serviço que fazem parte do escopo da manutenção de utilidades são os seguintes: elétrico, mecânico, predial, telefonia, ar condicionado, serralheria e pintura. Estes serviços não foram avaliados de modo estratificado, ou seja, separadamente, mas seu uso pelos clientes internos foi discriminado na coleta e análise dos dados.

A empresa subcontratada realiza esta prestação de serviços há vários anos, mas não havia



um processo estruturado de avaliação da satisfação dos clientes internos em relação aos serviços prestados pela manutenção de utilidades. No período em que foi desenvolvida a avaliação na empresa, o contexto da crise financeira mundial influenciou o ambiente em relação à necessidade de contenção de custos, busca de alternativas criativas para melhor desempenho da organização e, dessa forma, o questionamento e o senso crítico das pessoas envolvidas foi aguçado, possibilitando, inclusive, um contexto adequado para a realização da investigação.

Apesar de os serviços de manutenção de utilidades serem compostos de diversos tipos de atividades e realizados por profissionais com qualificações específicas, optou-se no presente trabalho por realizar uma avaliação do serviço prestado pela manutenção de utilidades como um todo, embora tenha sido desenvolvida no questionário uma questão específica sobre o tipo de serviço que o usuário utiliza.

### 3.2 Desenvolvimento do instrumento e coleta de dados

Os questionários utilizados constaram basicamente de afirmações objetivas e relativas aos fatores considerados determinantes da qualidade, ou seja, as dimensões da qualidade identificadas por Zeithaml et al. (1990).

Para a coleta de dados, foi utilizada a escala SERVQUAL, extensivamente citada na literatura. O instrumento avalia tanto a expectativa como a percepção dos clientes a respeito da qualidade de serviço, baseado em cinco dimensões da qualidade:

- a) confiabilidade – habilidade em prestar o serviço de forma confiável, precisa e consistente;
- b) presteza – disposição de prestar o serviço prontamente e auxiliar os clientes;

- c) segurança – conhecimento (competência) e cortesia dos funcionários e sua habilidade de transmitir confiança, segurança e credibilidade;
- d) empatia – fornecimento de atenção individualizada aos clientes, facilidade de contato (acesso) e comunicação;
- e) tangibilidade – aparência das instalações físicas, dos equipamentos, dos funcionários e dos materiais de comunicação.

A única exceção recaiu sobre a dimensão “tangibilidade”, cujas questões não foram consideradas na coleta de dados por não serem aplicáveis à natureza dos serviços prestados, ou seja, o cliente interno não tem acesso às instalações da manutenção de utilidades para que o serviço seja realizado naquele local. Na realidade ocorre justamente o contrário, os funcionários da manutenção se deslocam até o local onde se encontra o cliente interno para realizar o serviço necessário. As instalações funcionam como um local onde são feitas manutenções e reparos de itens que não podem ser trabalhados no campo, um local para armazenamento de itens de reposição, ferramentas de trabalho, e onde realizam o apontamento eletrônico dos serviços realizados. Logo não existe uma avaliação da parte física das instalações da manutenção pelos clientes internos em relação à sua percepção sobre a qualidade dos serviços.

O questionário, estruturado conforme sugerido por Tamashiro et al. (2006), foram distribuídos de forma não probabilística, e sem a necessidade de manter preservada a identidade do respondente. O instrumento de coleta de dados utilizado foi um questionário, o qual foi dividido em três partes. A primeira parte refere-se à coleta das expectativas dos clientes internos em relação aos serviços prestados pela manutenção de utilidades subcontratada. Na segunda parte do questionário objetiva-se a avaliação do desempenho da

manutenção. A terceira parte indaga sobre a importância das características da manutenção para o andamento adequado do trabalho no cliente, bem como o nível geral de satisfação pelos serviços prestados. Complementando esta terceira parte, foram obtidas informações sobre o tipo de serviço utilizado, frequência de uso, e observações, caso fosse aplicável.

O questionário considera sentenças afirmativas, as quais estão agrupadas pelas dimensões determinantes da qualidade: confiabilidade (afirmativas de 1 a 5); presteza (afirmativas de 6 a 9); segurança (afirmativas de 10 a 13); e empatia (afirmativas de 14 a 18). As respostas obtidas com o questionário são dadas em uma graduação de intensidade, estruturadas em uma escala Likert de 7 pontos, de (1) “discordo fortemente” a (7) “concordo fortemente”. As ponderações recebem um valor de (1) “totalmente sem importância” a (7) “muito importante”, e na avaliação da satisfação geral os valores variam de (1) “bastante insatisfeito” a (7) “bastante satisfeito”.

Considerou-se válido que os atributos da escala SERVQUAL eram comuns para todos os tipos de serviços desempenhados pela manutenção de utilidades. Cabral et al. (2007) sugerem que, no processo de desenvolvimento de um questionário baseado na escala SERVQUAL, deve ser realizado um pré-teste com um grupo pequeno de pessoas de baixa instrução para validar a interpretação do instrumento. No caso da empresa investigada, não havia problemas de nível cultural e, assim, com o objetivo de validar a escala utilizada, foi realizado um teste piloto de interpretação por três gestores da empresa-cliente com visões diversas dentro da organização, antes que o questionário fosse enviado aos clientes internos. A duração de preenchimento do questionário foi de aproximadamente 20 minutos. Neste pré-teste foram detectados alguns pontos que tiveram que ser revisados. Basicamente, a natureza da revisão consistiu em

correções de ortografia e semântica visando um aprimoramento na compreensão do conteúdo.

Adicionalmente, também foram calculados os coeficientes alfa de Cronbach para validar a o instrumento. Segundo essa avaliação, os valores do alfa de Cronbach variam entre 0 e 1 e, segundo Hair Jr. et al. (2006) e Chen et al. (2009), valores acima de 0,60 são considerados satisfatórios para uso do instrumento e demonstração de consistência. No caso, todas as três partes do questionário obtiveram valores calculados acima de 0,70, ou seja, para a parte das “expectativas”, o valor do alfa de Cronbach ficou em 0,8417; para a parte do “desempenho”, o valor do alfa de Cronbach teve o resultado de 0,9336, e para a terceira parte que consistia na avaliação da “importância” e “satisfação”, o valor calculado foi de 0,8809. Para esses cálculos utilizou-se o *software* Minitab 15®.

Conforme mostrado na Tabela 3, o universo de clientes internos que requerem serviços de manutenção de utilidades é de 75 usuários. Foi selecionada uma amostra de forma não probabilística, levando em conta os seguintes aspectos: usuários que utilizavam a maior parte ou totalidade dos serviços prestados, uso frequente dos serviços, participação de todos os níveis hierárquicos e usuários com visão crítica reconhecida. Portanto, foram escolhidos 38 respondentes, dos quais 32 respondentes retornaram suas opiniões (84% de retorno e 43% do universo) no mês de maio de 2009. Dos 32 respondentes, 14 pertencem às unidades de produção e o restante é oriundo das áreas de vendas, assistência técnica e administrativa.

Para os itens avaliados foram elaboradas tabelas apresentando as respectivas médias e com elas, por diferença, obtiveram-se os *gaps* (lacunas) entre as médias das expectativas e desempenho ( $G = E - D$ ). Para compilação, cálculo e análise dos dados foi utilizado o *software* MS Excel 2003®. Foram calculadas médias e desvios padrão para os fatores analisados.

**Tabela 3: Resumo da identificação e seleção do universo e as técnicas de coleta de dados**

Universo da pesquisa	Prestação de serviços de manutenção de utilidades
População	Clientes internos dos serviços de manutenção de utilidades
Elementos da pesquisa/respondentes	Clientes internos dos serviços de manutenção de utilidades: diretoria, gerência, supervisão, técnicos e <i>staff</i>
Unidade amostral	Usuários dos serviços de manutenção de todas as áreas de negócio dentro da empresa metalúrgica estudada e com representatividade em relação ao total de usuários, em função de importância, acessibilidade e conhecimento do trabalho desenvolvido pela manutenção
Abrangência	Serviços realizados em toda a planta da empresa metalúrgica estudada
Técnica de amostragem	Amostragem não probabilística intencional
Tamanho da amostra	32 respondentes (32 questionários) de um total de 75 usuários
Período de coleta dos dados	Maio de 2009
Forma de aplicação	Questionário

Fonte: adaptado de Tamashiro et al., 2006.

## 4 Resultados e discussão

Os resultados dos fatores analisados foram organizados, compilados e as médias foram calculadas para cada uma das dezoito dimensões avaliadas. Os resultados encontram-se na Tabela 4, ou seja, os valores médios de P (percepção ou desempenho dos serviços prestados atualmente), os valores médios de E (expectativa

em relação a um serviço excelente) e também os *gaps* de cada fator.

Pode-se verificar que os maiores *gaps* que valem ser destacados por ordem decrescente são:  $I_6$  (“funcionários da manutenção informam exatamente quando o serviço será executado”) com *gap* de 2,3 e  $I_{11}$  (“você se sente seguro em solicitar serviços à manutenção”) com 1,8;  $I_{17}$  (“os funcionários da manutenção têm o mesmo objetivo que o seu”) com 1,7. Na sequência, o destaque fica para os itens:  $I_1$  (“quando a manutenção promete fazer um serviço em certo tempo, ela faz”),  $I_4$  (“a manutenção entrega o serviço no tempo prometido”),  $I_5$  (“a manutenção insiste em registros sem erro”); os três itens com 1,6. Os itens  $I_3$  (“a manutenção faz o serviço certo da primeira vez”) e o  $I_{10}$  (“o comportamento dos funcionários da manutenção gera confiança, em relação ao serviço realizado”) ficaram com 1,5.

O item  $I_6$  (“informar exatamente quando o serviço será executado”) com 2,3 é relacionado à dimensão *presteza*. O segundo colocado,  $I_{11}$  (“há segurança em pedir os serviços para a manutenção de utilidades”), com 1,8, pertence à dimensão *segurança*. O terceiro item é o  $I_{17}$  (“os funcionários da manutenção têm o mesmo objetivo que o seu”) com 1,7, pertencente à dimensão *empatia*. Na sequência, o destaque fica para os itens  $I_1$  (“prometer o serviço em certo tempo e fazer”),  $I_4$  (“entregar o serviço prometido”) e  $I_5$  (“exigir registros sem erros”); todos os três últimos itens com 1,6 de *gap* e pertencentes

**Tabela 4: Médias das expectativas, rendimentos e *gaps* dos serviços**

	Itens de avaliação																	
	Confiabilidade					Presteza				Segurança				Empatia				
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$	$I_{10}$	$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$	$I_{17}$	$I_{18}$
P média	4,53	4,84	4,69	4,69	4,22	3,91	3,97	5,31	3,75	4,91	4,88	6,16	5,22	5,03	4,81	4,44	3,63	4,69
E média	6,13	6,19	6,16	6,28	5,84	6,19	5,16	6,34	4,31	6,38	6,72	6,16	5,94	5,22	5,19	5,34	5,34	6,00
(+/-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	=	-	-	-	-	-	-
GAP	1,6	1,3	1,5	1,6	1,6	2,3	1,2	1,0	0,6	1,5	1,8	0,0	0,7	0,2	0,4	0,9	1,7	1,3

Fonte: Os autores.

à dimensão confiabilidade. Finalmente, os itens com o mesmo valor de 1,5:  $I_3$  (“fazer o serviço certo da primeira vez”), relacionado à dimensão confiabilidade, e  $I_{10}$  (“comportamento dos funcionários geram confiança em relação ao serviço prestado”), associado à dimensão segurança. Portanto, os maiores *gaps* estão divididos entre todas as dimensões, mas, apesar de não serem os maiores, há uma concentração deles na dimensão confiabilidade.

Os outros itens avaliados,  $I_{19}$  a  $I_{22}$ , referem-se à avaliação da importância que o cliente atribui a quatro afirmações do questionário, as quais destacam os seguintes aspectos dos serviços da manutenção de utilidades: (1) “habilidade em executar um serviço correto e confiável”; (2) “desejo em ajudar os clientes internos e entregar um serviço rapidamente”; (3) “cortesia e conhecimento de seus funcionários e sua capacidade em transmitir segurança”; e (4) “cuidado e atenção individual que seus funcionários têm com os clientes internos”.

Os resultados da avaliação dos itens  $I_{19}$  a  $I_{22}$  são demonstrados na Tabela 5. Os valores médios dos quatro itens variam entre 5,5 e 5,9 na escala Likert de 1 a 7, o que demonstra que todos os itens foram considerados relevantes pelos clientes internos.

Já no caso do item  $I_{23}$  – “satisfação geral dos serviços prestados pela manutenção”, a pontuação teve uma média de 4,9, conforme mostra a Tabela 5, o que demonstra que há margem para a melhoria dos serviços.

**Tabela 5: Médias dos itens de importância e satisfação dos serviços**

	Itens de Avaliação				
	Importância				Satisfação
	$I_{19}$	$I_{20}$	$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$
$X_{\text{média}}$	5,9	5,8	5,8	5,5	4,9
Desvio	1,08	1,14	1,10	1,34	1,24

Fonte: Os autores.

Quando se considera a análise dos resultados por dimensão (confiabilidade, prestação, segurança e empatia), conclui-se que a dimensão que tem o maior *gap* é a confiabilidade seguida pela prestação. A dimensão confiabilidade foi considerada segundo a literatura (PARASURAMAN et al., 1988; LOVELOCK e WRIGHT, 2001; CABRAL et al., 2007) como a de maior importância para os clientes. Contudo, outros estudos realizados em vários setores públicos resultaram em diferentes resultados refletindo a natureza do serviço envolvido. Alguma adaptação da escala SERVQUAL pode ser desejável quando um tipo específico de serviço for avaliado (PARASURAMAN et al., 1988).

Na sequência seguem as dimensões segurança e empatia. Os valores estão destacados na Tabela 6, e pelo gráfico apresentado na Figura 3.

**Tabela 6: Médias dos valores das dimensões**

Dimensão	Expectativa	Percepção	GAP
Confiabilidade	6,10	4,54	-1,56
Presteza	5,55	4,19	-1,36
Segurança	6,30	5,26	-1,04
Empatia	5,39	4,49	-0,90

Fonte: Os autores.

Pode-se notar pela Figura 3 uma tendência dos *gaps* serem menores quanto mais se deslocam do extremo ligado à dimensão confiabilidade para o outro extremo da empatia. Pode-se verificar ainda que a dimensão empatia é a que tem a menor expectativa, em relação à natureza do serviço de manutenção, enquanto segurança, confiabilidade e prestação têm valores mais altos. Portanto, os resultados aparentemente indicam que a natureza do tipo de serviço prestado influencia diretamente na expectativa e consequentemente nos *gaps*, ou seja, um outro tipo de serviço poderia ter expectativas e *gaps* bem distintos.

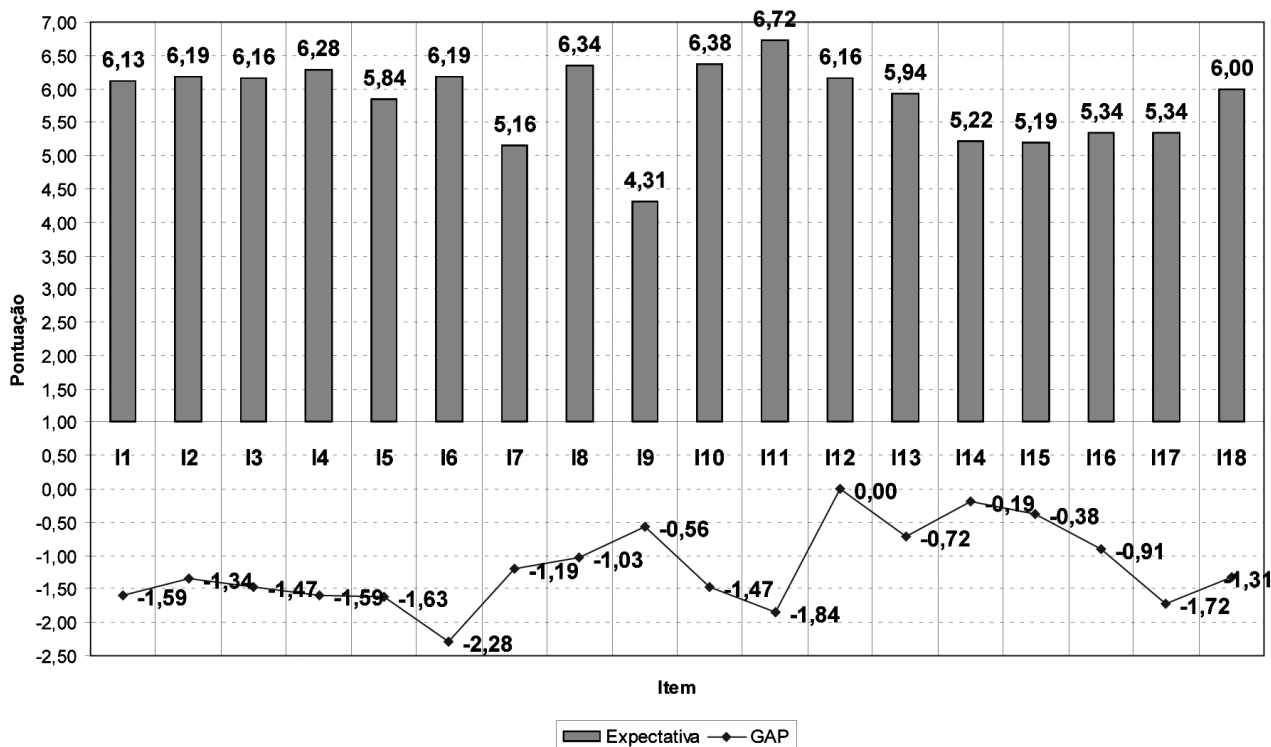


Figura 3: Gráfico das expectativas e gaps dos clientes internos

Fonte: Os autores.

## 5 Conclusões

No estudo da diferença entre expectativas e percepções dos clientes internos na empresa investigada (*gaps*), em relação aos serviços prestados pela manutenção, constatou-se que, entre dezoito fatores analisados, existem *gaps* em dezessete. Portanto, identificou-se que existem oportunidades para melhoria na prestação destes serviços.

Embora os *gaps* estejam distribuídos por dezoito entre as quatro dimensões analisadas (confiabilidade, presteza, segurança e empatia), quando o resultado foi compilado pela média dos valores por dimensões, a dimensão que se destaca é a confiabilidade.

Com relação à “importância” sobre quatro itens que os clientes internos foram questionados (19 a 22 do questionário), o resultado indicou que os clientes consideraram as características em re-

lação à prestação de serviços. A média de todos os quatro itens ficou entre 5,5 e 5,9, numa escala de 1 a 7.

Adicionalmente, conclui-se que o cliente interno dos serviços de manutenção de utilidades está com uma “satisfação geral” com o serviço prestado (item 23 do questionário), de 4,9 numa escala de 1 a 7, o que reforça a oportunidade de melhoria da qualidade do serviço prestado.

A partir deste levantamento exploratório, pode-se concluir que é muito importante o conhecimento das expectativas e percepções dos clientes internos em relação aos serviços prestados, como forma de melhorar a qualidade dos serviços prestados e conseqüentemente o nível de satisfação. A escala SERVQUAL apresentou-se como uma ferramenta adequada para a proposta do estudo em avaliar as dimensões da qualidade dos serviços in-

ternos da empresa de manutenção de utilidades na empresa de manufatura.

Como sugestão para trabalhos futuros neste tema, pode-se considerar a adaptação da escala SERVQUAL em relação a aspectos específicos do serviço, e também uso de outros tipos de ferramentas como é o caso da ferramenta SERVPERF, que avalia o desempenho da qualidade do serviço prestado.

## Referências

- ALBRECHT, K. *Serviços com Qualidade: a vantagem competitiva*. São Paulo: Makron Books, 1992.
- CABRAL, L. L.; MELO, R. M.; MEDEIROS, D. D. *Qualidade percebida dos serviços hospitalares: uma avaliação utilizando o método de fatores críticos de sucesso e a escala SERVQUAL*. SIMPOI, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- CHEN, I. J.; GUPTA, A.; ROM, W. A study of price and quality in service operations. *International Journal of Service Industry Management*, v. 5, n. 2, p. 23-33, 1994.
- CHEN, K. K.; CHANG, C. T.; LAI, C. S. Service quality gaps of business customers in the shipping industry. *Transportation Research Part E*, v.45, n.1, p. 222-237, 2009.
- GRONROOS, C. *Marketing, gerenciamento e serviços: a competição por serviços na hora da verdade*. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- HAIR Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. *Multivariate Data Analysis*. 6 ed. Prentice Hall, New Jersey: 2006.
- LARGE, R.O.; KÖNIG, T. A gap model of purchasing's internal service quality: Concept, case study and internal survey. *Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 15, n.1, p. 24-32, 2009.
- LOVELOCK, C. & WRIGHT, L. *Serviços: marketing e gestão*. São Paulo: Editora Saraiva, 2001.
- MACHADO, M. D.; QUEIROZ, T. R.; MARTINS, M. F. Mensuração da qualidade de serviço em empresas de fast food. *Revista Gestão & Produção*, v.13, n.2, p. 261-270, 2006.
- MIGUEL, P. A. C.; SALOMI, G. E. Uma revisão dos modelos para medição da qualidade em serviços. *Produção*, v.14, n.1, p. 12-30, 2004.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (2009). *Anuário Estatístico 2009*. Disponível em: < [http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1243007515.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1243007515.pdf) > Acesso em: 24 mai. 2009.
- PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V. A.; BERRY, L. L. A. A conceptual model of service quality and its implication for future research. *Journal of Marketing*, v. 49, n. 4, p. 41-50, 1985.
- PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V. A.; BERRY, L. L. A. SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality. *Journal of Retailing*, v. 64, n. 1, p. 12-40, 1988.
- ROCHA, J. R. V.; LIMA, M. A. M.; ROCHA, R. E. V. *Qualidade em atendimento na autarquia municipal de trânsito, serviços públicos e de cidadania de Fortaleza (AMC). Análise a luz do modelo SERVQUAL*. XVIII ENEGEP, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.
- SALOMI, G. G. E.; MIGUEL, P. A. C.; ABACKERLI, A. J. Servqual x Servperf: comparação entre instrumentos para avaliação da qualidade de serviços internos. *Revista Gestão & Produção*, v.12, n.2, p. 279-293, 2005.
- TAMASHIRO, H. R. S.; SILVEIRA, J. A. G.; ACEVEDO, C. R. *Avaliação do serviço de distribuição no setor farmacêutico: um estudo sob a ótica dos clientes*. XXVI ENEGEP, Fortaleza, CE, Brasil, 2006.
- TINOCO, M. A. C.; RIBEIRO, J. L. D. Estudo qualitativo dos principais atributos que determinam a percepção de qualidade e de preço dos consumidores de restaurantes a la carte. *Revista Gestão & Produção*, v.15, n.1, p. 73-87, 2008.
- YEH, T.M.; YANG, C. C.; LIN, W. T. Service quality and ERP implementation: A conceptual and empirical study of semiconductor-related industries in Taiwan. *Computer in Industry*, v. 58, p. 844-854, 2007.
- ZEITHAML, V. A.; PARASURAMAN, A.; BERRY, L. L. *Delivering Quality Service*. New York: The Free Press, 1990.

Por favor, leia as 18 afirmações (expectativas) e marque um " X " no número que indicar seu grau de concordância, sob o ponto de vista do que seria um serviço excelente de manutenção de utilidades.

Não há respostas certas ou erradas. Estamos interessados no número que realmente reflete sua opinião (escala de 1 a 7).

Lembrando que número " 1 " - Discordo Fortemente e número " 7 " - Concordo Fortemente.

Item	Expectativa (E)	1	2	3	4	5	6	7
1	Quando uma excelente área de manutenção promete realizar um serviço em um certo tempo, ela o fará.							
2	Quando um setor da empresa tem um problema, uma área de manutenção excelente demonstrará interesse em resolvê-lo.							
3	Uma área de manutenção excelente faz o serviço certo na primeira vez.							
4	Excelentes áreas de manutenção entregam o serviço no tempo prometido.							
5	Excelentes áreas de manutenção insistem em registros sem erro.							
6	Funcionários de uma área de manutenção excelente informam exatamente quando o serviço será executado.							
7	Funcionários de uma área de manutenção excelente fornecem um serviço imediato							
8	Funcionários de uma área de manutenção excelente sempre estarão dispostos a ajudar os clientes internos.							
9	Funcionários de uma área de manutenção excelente nunca estarão ocupados em atender aos pedidos dos clientes internos.							
10	O comportamento dos funcionários de uma área de manutenção excelente dará confiança aos clientes internos.							
11	Os clientes internos se sentiriam seguros em solicitar serviços de uma área de manutenção excelente.							
12	Funcionários de uma área de manutenção excelente são sempre educados com os clientes internos.							
13	Os funcionários de uma área de manutenção excelente têm o conhecimento para responder às dúvidas dos clientes internos, a respeito dos serviços de manutenção.							
14	Funcionários de uma área de manutenção excelente dão atenção individual aos clientes internos.							
15	Uma área de manutenção excelente tem um horário conveniente a todos clientes internos.							
16	Os funcionários de uma área de manutenção excelente dão atenção especial aos clientes internos.							
17	Os funcionários de uma área de manutenção excelente têm os mesmos objetivos dos clientes internos.							
18	Os funcionários de uma área de manutenção excelente compreenderão as suas necessidades específicas.							

(1) Discordo Fortemente (7) Concordo Fortemente

### Anexo A: Questionário para obtenção das expectativas dos clientes internos

Por favor, leia as 18 afirmações (desempenho) e marque um " X " no número que indicar seu grau de concordância, sob o ponto de vista do desempenho do serviço de manutenção de utilidades prestado atualmente na empresa.

Não há respostas certas ou erradas. Estamos interessados no número que realmente reflete sua opinião (escala de 1 a 7).

Lembrando que número " 1 " - Discordo Fortemente e número " 7 " - Concordo Fortemente.

Item	Desempenho (D)	1	2	3	4	5	6	7
1	Quando a manutenção de utilidades promete fazer um serviço em um certo tempo, ela o faz.							
2	Quando você tem algum problema com instalações ou equipamentos, a manutenção de utilidades (SGE) demonstra o sincero interesse em resolvê-lo.							
3	A manutenção de utilidades faz o serviço certo da primeira vez.							
4	A manutenção de utilidades entrega o serviço no tempo prometido.							
5	A manutenção de utilidades insiste em registros sem erro.							
6	Funcionários da manutenção de utilidades informam exatamente quando o serviço será executado.							
7	Funcionários da manutenção de utilidades fornecem um serviço imediato a você.							
8	Funcionários da manutenção de utilidades estão sempre dispostos a ajudá-lo.							
9	Funcionários da manutenção de utilidades nunca estão muito ocupados em atender seus pedidos de serviço.							
10	O comportamento dos funcionários da manutenção de utilidades geram confiança em você, em relação ao serviço realizado.							
11	Você se sente seguro em solicitar serviços da manutenção de utilidades.							
12	Funcionários da manutenção de utilidades são sempre educados com você.							
13	Os funcionários da manutenção de utilidades têm o conhecimento para responder às suas dúvidas, a respeito dos serviços de manutenção.							
14	Funcionários da manutenção de utilidades dão atenção individual a você.							
15	A manutenção de utilidades tem horário conveniente para os clientes internos.							
16	A manutenção de utilidades tem funcionários que dão atenção especial a você.							
17	Os funcionários da manutenção de utilidades têm o mesmo objetivo que o seu.							
18	Os funcionários da manutenção de utilidades compreendem as suas necessidades específicas de serviço.							

(1) Discordo Fortemente (7) Concordo Fortemente

### Anexo B: Questionário para da percepção do desempenho dos clientes internos



Por favor, leia as afirmações (importância) e marque um " X " no número que representa quanto cada uma das características da manutenção de utilidades é importante para o bom andamento do seu trabalho.

Item	Importância (I)	1	2	3	4	5	6	7
19	A habilidade do serviço de manutenção de utilidades, em executar um serviço correto e confiável é ....							
20	O desejo em ajudar os clientes internos e entregar um serviço rapidamente é .....							
21	A cortesia e conhecimento dos funcionários da manutenção de utilidades, e sua capacidade em transmitir segurança é .....							
22	O cuidado e a atenção individual que os funcionários da manutenção de utilidades têm com os clientes internos é .....							

(1) Totalmente sem Importância (7) Muito Importante

Por favor, marque um " X " no número que indica seu nível de satisfação geral.

Item	Satisfação (S)	1	2	3	4	5	6	7
23	O seu nível geral de satisfação com o serviço prestado pela manutenção de utilidades na empresa é bem descrito por:							

(1) Bastante Insatisfeito (7) Bastante Satisfeito

Assinale um " X " na(s) opção(ões) mais adequada(s) à sua realidade em relação à utilização dos serviços prestados pela manutenção de utilidades.

24 - Com que frequência você utiliza os serviços da manutenção de utilidades ?

- semanal
- quinzenal
- mensal
- bimestral
- trimestral
- semestral

25 - Quais serviços você utiliza da manutenção de utilidades ?

- elétrica
- mecânica
- predial
- telefonia
- ar condicionado
- serralheria
- pintura

26 - OBSERVAÇÕES - Fique à vontade para registrar observações pertinentes, caso aplicável.


**Anexo C: Questionário para avaliação da importância e satisfação dos serviços**

Recebido em 16 nov. 2009 / aprovado em 25 maio 2010

**Para referenciar este texto**  
 FUJII, C. A. M.; MIGUEL, P. A. C.; CALARGE, F. A. Qualidade de serviços na manutenção de utilidades: uma análise de percepção dos clientes internos conduzida em uma empresa de manufatura. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 157-168, 2010.



# Degradação fotoquímica e reuso da água obtida de um efluente têxtil tratado via UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

*Photochemistry degradation and reuse of water obtained from a textile effluent treated by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV*

Jorge Marcos Rosa

Mestrando em Engenharia de Produção – Uninove  
São Paulo – SP [Brasil]  
jotarosa@hotmail.com

Elesandro Antônio Baptista

Professor de mestrado em Engenharia de Produção – Uninove  
São Paulo – SP [Brasil]  
elesandro@uninove.br

José Carlos Curvelo Santana

Professor de mestrado em Engenharia de Produção – Uninove  
São Paulo – SP [Brasil]  
jccurvelo@uninove.br

O objetivo do trabalho foi a degradação fotoquímica e o reuso da água de um efluente têxtil. Estudou-se a influência do pH na degradação fotoquímica do corante *C.I. Reativo Black 5* (RB5), nas faixas de pH 7, 9 e 11, catalisada por peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) na presença de ondas ultravioletas (UV). Após o tratamento, todas as conversões obtidas foram acima de  $\alpha = 0,96$ , na faixa de  $\lambda_{\text{máx}} = 580$  nm, em todos os valores de pH. Os efluentes foram reutilizados em tingimentos de mesma cor e posteriormente comparados com um tingimento efetuado com água bifiltrada. Foi observado e comprovado por meio de leitura espectrofotométrica e do cálculo dos desvios da cor (menor do que 1,0) que o efluente de tingimento com corante RB5 tratados com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV nas faixas de pH 7, 9 e 11 podem ser reutilizados em novos tingimentos.

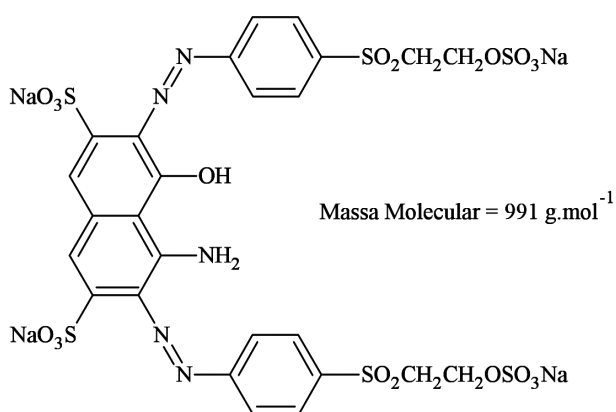
**Palavras-chave:** Corante. Degradação. Método fotoquímico. Peróxido de hidrogênio. Ultravioleta.

This work aimed to the degradation by photochemistry process and reuse of the water from textile effluent. The pH effect on the degradation of reactive black 5 dye was studied at pH 7, 9 and 11, catalyzed by hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on ultra-violet (UV) irradiation. After the treatment, all conversion obtained was up to  $\alpha = 0.96$ , on the dye degradation at  $\lambda_{\text{máx}} = 580$  nm for anyone pH used. The treated waters from textile effluents were reused in dyeing of one fabric as some color and its fabric was compared a standard of dyeing using bi-filtered water. It was observed and confirmed from results observed by spectrophotometers and color deviation (minor than 1.0) that the textile effluent with RB5 dye treated by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV at pH 7, 9, and 11 can be used in new dyeing.

**Key words:** Degradation. Dye. Hydrogen peroxide. Photochemistry method. Ultra-violet.

## Introdução

O objetivo deste trabalho é verificar os efeitos do pH (7, 9 e 11) na cinética da degradação fotoquímica de sistemas cromógenos do tipo vinilsulfônico (VS), usando a irradiação de ondas ultravioletas em presença de Peróxido de Hidrogênio. O sistema em estudo é o corante reativo *C.I. Reactive Black 5*, do tipo bi-homofuncional e grupo cromóforo azo, cuja estrutura química é apresentada na Figura 1.



**Figura 1: Estrutura do *C.I. Reactive Black 5***

Fonte: SOUZA & PERALTA-ZAMORA, 2005.

## Corantes

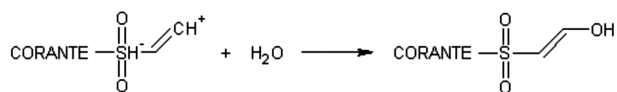
Os corantes reativos do tipo VS são utilizados principalmente para o tingimento de fibras celulósicas, exceto CA (Acetato de Celulose) e CT (Tri-acetato de Celulose). Pelo fato desses corantes reagirem não só com o substrato bem como com a água, acabam sendo um dos principais constituintes dos efluentes de tinturarias. Após o processo de coloração, o substrato passa por um processo de lavagem justamente para retirar o corante hidrolisado da superfície da fibra. O processo de coloração da celulose com esse tipo de corante é efetuado em presença de álcali e, por esse fato, o efluente gerado também possui pH alcalino. Os VS são corantes de relativa facilidade de aplicação,

pouca substantividade quando comparado aos demais tipos e sua reação com a fibra ocorre por adição nucleofílica em quatro etapas distintas, todas descritas em Shore (2002).

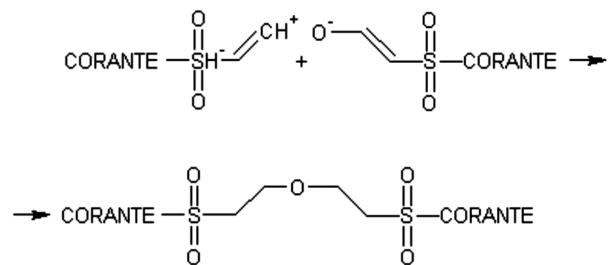
## Hidrólise

O corante também reage com a água, tornando-se ineficaz na coloração do substrato. Sua reação com a água, segundo Shore (2002), pode ocorrer de duas formas:

- a) O grupo VS reage com a água formando o grupo sulfoniletanol. Isso pode ser observado pela reação a seguir.



- b) Temperaturas entre 90 e 100°C e pH acima de 11,5 em presença de ânions carbonato ou hidróxido, condições encontradas no tratamento posterior ao tingimento, são condições para a formação do 2-hidróxietilsulfona, uma forma de dietiléter que pode chegar a 10% da massa inicial de corante utilizado. Veja o esquema da reação a seguir.

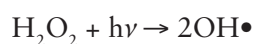


São essas duas formas que estarão presentes em maior quantidade nos efluentes. Entretanto, o objetivo do ataque fotoquímico é a destruição da coloração do sistema. O grupo cromóforo contido no corante em estudo é do tipo AZO (-N=N-) e, segundo Mota (1997), a decomposição desses grupos no esgoto pode resultar no carreamento de

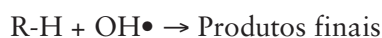
nitrogênio para os corpos d'água, proporcionando o fenômeno da eutrofização, com a proliferação excessiva de algas e de vegetação aquática.

### Processos Oxidativos Avançados – POA

Nos últimos anos, os POA têm sido muito pesquisados como forma alternativa para remoção de cor em efluentes. Podemos citar como exemplo Amorim, Leão & Moreira (2009), que fizeram um estudo comparativo entre cinco tipos de POA. Sobre o processo de fotocatalise homogênea UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o mesmo utilizado neste estudo, observaram que há a formação de radicais OH• pela fotólise do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Esses radicais possuem elevado poder oxidante, inferior apenas ao flúor, e atacam moléculas orgânicas pela abstração de um átomo de hidrogênio ou pela adição às duplas ligações. O mecanismo mais aceito para a degradação de um composto orgânico genérico (R) por radicais hidroxila pode ser representado de forma simplificada de acordo com as Equações 1 e 2 (Araujo & Yokoyama, 2006).



(reação 1)



(reação 2)

Alguns especialistas, como Hsueh et al. (2005) por exemplo, sugerem que os radicais hidroxila destroem as ligações dos grupos azo contidos nos corantes removendo a coloração dos efluentes, aliás, este tem sido um dos grupos mais pesquisado como por exemplo em Salgado et al. (2009); Amorim, Leão & Moreira (2009) e também em Vianna, Tôres & Azevedo (2009). Porém, há várias classes de corantes e, dentro de cada classe, vários tipos. Para se ter uma idéia da imensidão, somente dos corantes utilizados no tingimento de

fibras celulósicas podemos citar os Diretos, com três classes distintas e os Reativos, com sete classes subdivididas em monofuncional, bi-heterofuncional e bi-homofuncional, dos tipos halogeno-heterocíclicos e vinilsulfônico. Além destes dois corantes, para fibras celulósicas ainda existem os corantes Sulfurosos, À tina e Naftóis (Salem, 1999). Em termos de grupo cromóforo, além dos grupos Azo (que podem ser mono, di, tri ou poliazos), temos também os grupos Antraquinônicos, Trifenilmetanos, Azinas, Oxazinas, Nitros e Stilbenos dentre vários outros, todos descritos por Abrahart (1977).

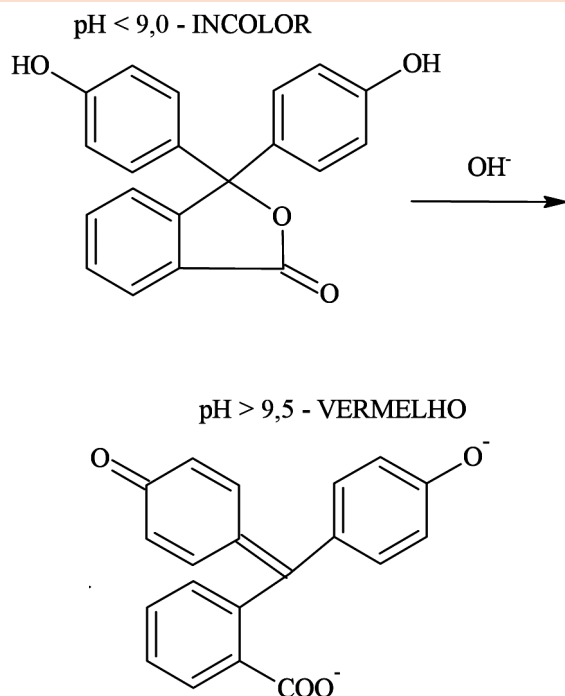
Em muitos estudos os grupos cromóforos são definidos como sendo os grupos responsáveis pela cor, entretanto, Zollinger (1991) postulou que os corantes podem ser definidos como sendo um sistema cromógeno contendo três principais grupos: os doadores de elétrons, NH<sub>2</sub>, OH, O<sup>-</sup>, os receptores de elétrons, NO<sub>2</sub>, COOH, e os cromóforos, grupos lineares ou cíclicos com duplas ligações conjugadas, responsáveis pela ressonância, e que todos, em dependência mútua, seriam responsáveis por tal coloração.

Este fenômeno pode ser observado em Mendham et al. (2002) no comportamento do 3-(4-hidroxifenil)-3-fenil-2-benzofurano-1(3H)-ona em determinadas condições de pH, conforme esquema ilustrado na Figura 2.

A presença do trifenilmetano por si só não atribui coloração ao sistema. Isto só ocorre quando há perda de água, acarretando no surgimento do íon ressonante.

Isto nos leva a concluir que alterações que provoquem a perda da coloração no sistema cromógeno não é necessariamente a alteração do grupo cromóforo.

Há um corante, o *Reactive Red 195*, que tem sido estudado, inclusive com mecanismos propostos para sua degradação (JIRASRIPONGPUN et al., 2007; SILVA et al., 2006), entretanto pouco



**Figura 2: Variação de cor por alteração de pH**

Fonte: MENDHAM et al., 2002.

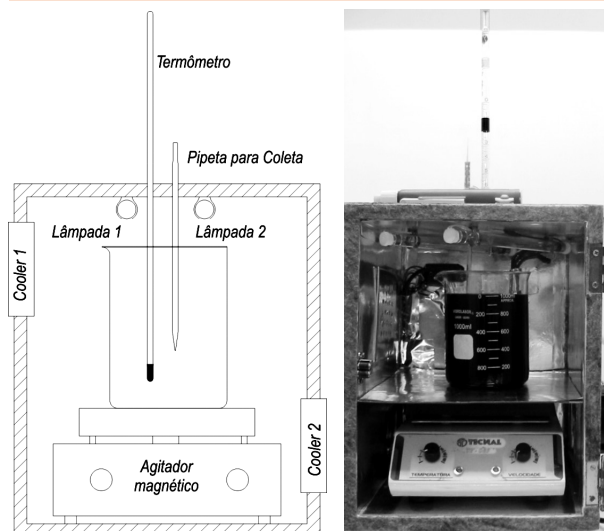
se sabe sobre a maioria dos outros corantes, como por exemplo onde acontece ao certo o ataque por radicais hidroxila ou onde esse ataque ocorre primeiro, se nos grupos cromóforos, nos grupos doadores ou nos grupos receptores de elétrons. É certo que toda a matéria orgânica seja convertida em CO<sub>2</sub> e água, mas, nos sistemas cromógenos, ainda não há estudos comprobatórios dissertando sobre como e onde esta conversão começa ou termina.

## Material e métodos

### Material

**Equipamentos:** balança analítica Gehaka AG 200; Reator tipo batelada, composto por duas lâmpadas UVC Philips 6W e agitador magnético (Figura 3); espectrofotômetro UV-VIS Datacolor SF-600 Plus; HT Alt-1 Mathis; pHmetro Quimis.

**Reagentes:** solução 1,0 mol.dm<sup>-3</sup> de ácido acético/acetato de sódio; solução 1,0 mol.dm<sup>-3</sup> de bicarbonato/carbonato de sódio; corante C.I.



**Figura 3: Esquema do reator fotoquímico**

Fonte: Os autores.

*Reactive Black 5*; cloreto e carbonato de sódio; tensoativo aniônico; dispersante a base de nitrobenzeno sulfonado; peróxido de hidrogênio 35%; hidróxido de sódio 50 °Bé; metassilicato de sódio; água bi-filtrada para o preparo das soluções.

Materiais diversos: tecido de ½ malha de algodão 100%, fio cardado 30/1 Ne.

### Métodos

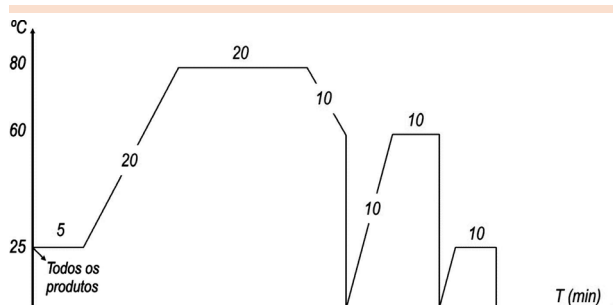
**Preparação do efluente:** com a finalidade de produzir um efluente de tingimento para posterior tratamento fotoquímico, realizou-se um tingimento com o corante reativo C.I. *Reactive Black 5* em tecido de malha de algodão 100% previamente alvejada. As receitas e etapas de todo o processo de tingimento são propostas pelo fabricante do corante, como segue abaixo. Utilizou-se uma massa do substrato de 15 g, para uma relação de banho de 1:10 em um volume de 150 cm<sup>3</sup>. As Figuras 4 a 6 mostram como ocorreram as adições dos reagentes para se preparar o efluente durante cada etapa citada a seguir:

#### • Receita do Tratamento Prévio

A – 1,0 g.dm<sup>-3</sup> de Tensoativo Não-Iônico

B – 1,0 g.dm<sup>-3</sup> de Metassilicato de Sódio

C – 3,0 cm<sup>3</sup>.dm<sup>-3</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
 D – 2,0 cm<sup>3</sup>.dm<sup>-3</sup> de NaOH 50° Bé

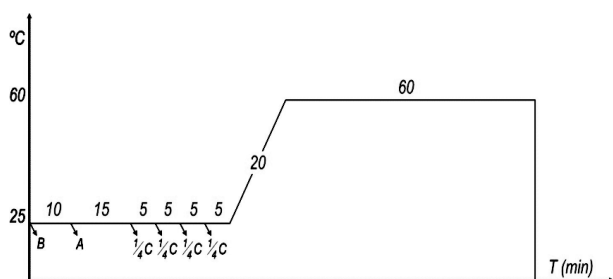


**Figura 4: Tratamento prévio**

Fonte: Os autores.

• *Receita do Tingimento*

A – 2% de C.I. Reactive Black 5  
 B – 40,0 g.dm<sup>-3</sup> de Cloreto de Sódio  
 C – 12,0 g.dm<sup>-3</sup> de Carbonato de Sódio

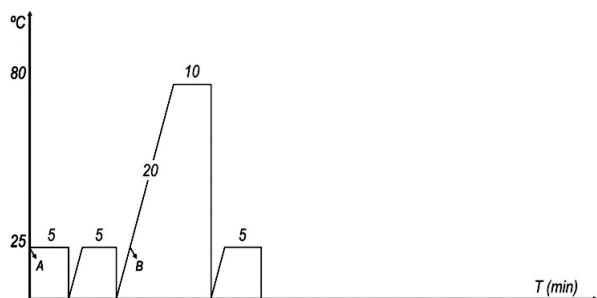


**Figura 5: Representação do tingimento**

Fonte: Os autores.

• *Receita do Tratamento Posterior*

A – 1,0 cm<sup>3</sup>.dm<sup>-3</sup> de Ácido Acético  
 B – 1,0 g.dm<sup>-3</sup> de Dispersante



**Figura 6: Representação do tingimento**

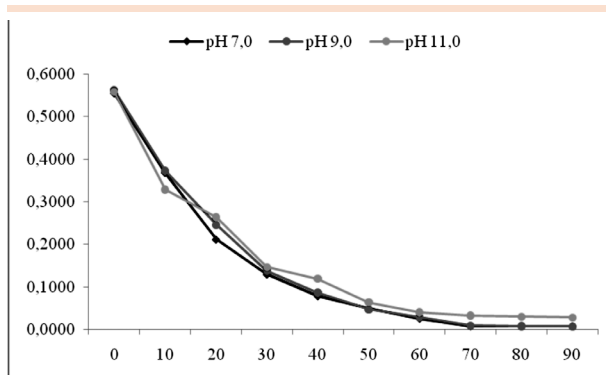
Fonte: Os autores.

**Tratamento fotoquímico do efluente:** O efluente gerado no processo de tingimento do tecido de algodão foi dividido em três amostras, A, B e C, contendo 1,0 litro cada. Os valores de pH foram corrigidos para 7,0 (Amostra A); 9,0 (Amostra B) e 11,0 (Amostra C). Em um estudo sobre degradação fotoassistida de dois corantes realizado por Salgado et al. (2009), utilizou-se 75,5 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sob irradiação UV, obtendo-se total descoloração dos corantes diluídos em água destilada. Entretanto, Araujo & Yokoyama (2006) já haviam demonstrado por meio de suas pesquisas que quando a quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> está em excesso, pode ocorrer uma reação paralela, que diminui a razão de degradação da matéria orgânica. Baseado nestas informações e no intuito de minimizar custos, optamos por utilizar a quantidade de 17,5 mMol.L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para, em seguida, tratar as alíquotas no reator durante 90 minutos, com coletas de 10 cm<sup>3</sup> efetuadas em intervalos de 15 minutos e posterior análise espectrofotométrica UV/VIS.

**Análise dos efluentes:** Foram utilizados os espectros de absorção na região do visível, em comprimento de onda de máxima absorção dos corantes ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ), para determinação da porcentagem de eficiência na descoloração do efluente. A leitura dos dados foi efetuada no espectrofotômetro Datacolor SF-600 Plus, utilizando-se cubetas de acrílico de 1,0 cm de caminho ótico. O comprimento de onda empregado para neste trabalho e para todos os cálculos foi o de 580 nm. Para determinar a influência do pH, foram feitas leituras das absorbâncias inicial ( $Abs_0$ ) e final ( $Abs_f$ ) das três amostras, adotando  $\lambda_{m\acute{a}x} = 580$  nm.

## Resultados e discussões

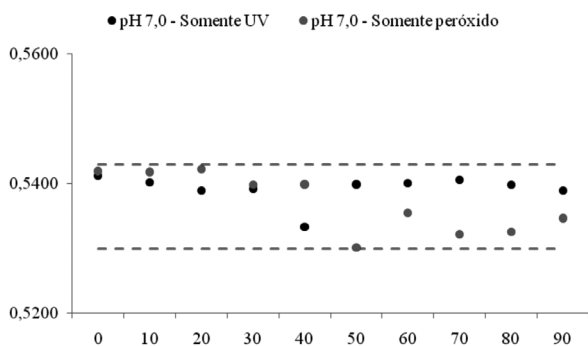
**Fotodecomposição do corante:** A Figura 7 mostra os gráficos de decomposição ( $Abs/t$ ) obtidos para os experimentos realizados nos valores de pH de 7, 9 e 11, respectivamente.



**Figura 7: Decomposição do efluente em pH 7,0; pH 9,0 e pH 11,0**

Fonte: Os autores.

Percebe-se que a intensidade da absorbância da luz diminui com o tempo de exposição à radiação UV em presença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, no reator utilizado para a decomposição fotoquímica. Ao final do processo, a absorbância na faixa de  $\lambda_{\text{máx}}=580$  nm é reduzida a valores insignificantes, o que não ocorre quando expomos o efluente somente ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ou à radiação UV, de forma independente e demonstrada na Figura 8. Isso demonstra que a combinação dos processos surte um efeito bastante significativo na degradação do efluente.



**Figura 8: Exposição do efluente em pH 7,0 ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (escarlate) e à Radiação (preto)**

Fonte: Os autores.

Modelagem da cinética: Segundo Atkins (1988), a cinética envolvida na redução de compostos orgânicos em soluções aquosas pode ser de primeira ordem ou ordem zero, dependendo de

sua concentração (C). Se há linearidade do gráfico C em função do tempo, então a cinética é de ordem zero. Na cinética de primeira ordem, o logaritmo natural da concentração dos reagentes deve diminuir linearmente com o tempo.

Como não houve linearidade da absorbância (Abs) em relação ao tempo de exposição (t), fato observado na Figura 7, foi considerada a modelagem de uma cinética de ordem 1. Para uma absorbância média de  $5,59 \times 10^{-1}$  em  $\lambda_{\text{máx}}=580$  nm estimou-se a concentração de corante [RB5], por meio de comparação espectrofotométrica, em  $9,28 \times 10^{-5}$  mol.L<sup>-1</sup>.

Portanto, para ordem 1, teríamos:

$$\frac{d[\text{RB5}]}{dt} = -k [\text{RB5}] \quad \text{onde } k = \text{min}^{-1}$$

(1)

Integrando, obtém-se:

$$\int_{[\text{RB5}]_0}^{[\text{RB5}]_f} \frac{d[\text{RB5}]}{[\text{RB5}]} = -kdt \Rightarrow$$

$$\ln[\text{RB5}] = \ln[\text{RB5}]_0 - kt \Rightarrow$$

$$[\text{RB5}] = [\text{RB5}]_0 + e^{-kt}$$

(2)

Para cálculo do erro experimental foi utilizada a Equação 2:

$$\epsilon_{[\text{RB5}]_0} = \left| \frac{([\text{RB5}]_{\text{Calc}} - [\text{RB5}]_{\text{Exp}})}{[\text{RB5}]_{\text{Real}}} \right|$$

(3)

Para as conversões obtidas nas três faixas de pH:

$$\alpha_{\text{Abs}} = \frac{\text{Abs}_0 - \text{Abs}_f}{\text{Abs}_0}$$

(4)

Nas Figuras 9 a 11 os gráficos de  $\ln [RB5]$  versus  $t$ , os quais retratam o comportamento obtido experimentalmente nas três faixas de pH, nas quais se pode verificar que houve um comportamento de uma reação de primeira ordem nos três ensaios realizados. Os pontos representam a parte experimental e a reta representa a linha de tendência (calculado).

A Tabela 1 apresenta os valores de conversão, as equações de cinética das reações, os valores de  $R^2$  para as equações e o erro experimental.

Com base nos dados obtidos pelas medições fotométricas das amostras para os três ensaios analisados (pH 7, 9 e 11), chegaram-se aos resultados da eficiência do processo de tratamento fotoquímicos dos efluentes.

Considerando-se que o objetivo do trabalho foi a obtenção da água de reuso, para utilização em novos processos e, aliando-se este objetivo com o fato do pH 7 ser utilizado como pH inicial da maioria dos processos de beneficiamentos, fica comprovado que o melhor tratamento foi obtido na faixa de pH 7,0.

Este fato também pode ser observado na Figura 11, que mostra uma comparação visual feita entre o efluente bruto e as alíquotas tratadas pelo método UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Pelos resultados obtidos no processo, não se nota efeito significativo do pH sobre os valores de conversão.

### Reuso da Água

A cor TP 181346, do “Caderno Inspirações e Tendências para Design de Moda” (SENAI, 2008), foi selecionada para ser desenvolvida em quatro

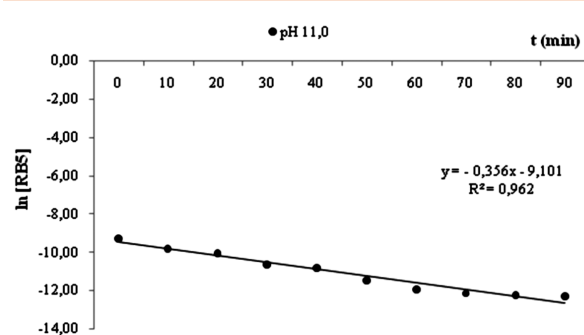


Figura 11:  $\ln[RB5]$  versus  $t$ , em pH 11,0

Fonte: Os autores.

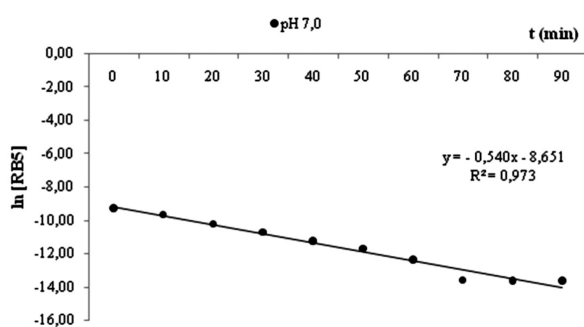


Figura 9:  $\ln[RB5]$  versus  $t$ , em pH 7,0

Fonte: Os autores.

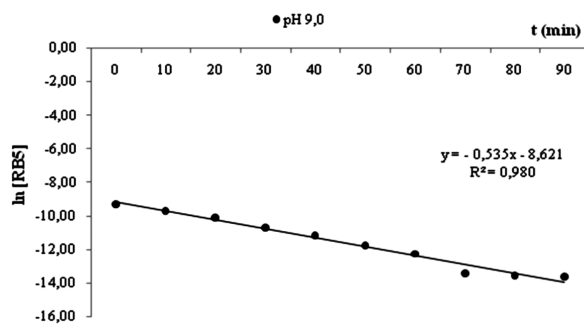


Figura 10:  $\ln[RB5]$  versus  $t$ , em pH 9,0

Fonte: Os autores.

Tabela 1: Resultados dos tratamentos

pH	Equação 1	R <sup>2</sup>	k (min <sup>-1</sup> )	[RB5] <sub>Calc</sub>	[RB5] <sub>Exp</sub>	€	α <sub>[RB5]</sub>
7	$\ln[RB5] = -8,6513 - 0,5409.t$	0,97	0,54	$1,75 \times 10^{-4}$	$9,28 \times 10^{-5}$	0,88	0,99
9	$\ln[RB5] = -8,6212 - 0,5352.t$	0,98	0,53	$1,80 \times 10^{-4}$	$9,28 \times 10^{-5}$	0,94	0,99
11	$\ln[RB5] = -9,1017 - 0,3564.t$	0,96	0,35	$1,11 \times 10^{-4}$	$9,28 \times 10^{-5}$	0,20	0,95

Fonte: Os autores.



Efluente Bruto      Efluente pH 11,0      Efluente pH 9,0      Efluente pH 7,0

**Figura 12: Comparação entre o efluente bruto e as alíquotas tratadas com pelo processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Fonte: Os autores.

tingimentos. Em um deles foi utilizado água bifiltrada e nos outros três, os efluentes tratados. O processo está descrito em Marcos Rosa (2008) e o tingimento efetuado com água bifiltrada (AB) foi classificado como padrão. Os desvios com relação à cor de uma amostra padrão estão representados na Tabela 2. Estes foram obtidos por meio da Equação de Adams-Nickerson, dada pela equação 5, e descrita em Lozano (1978) e.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \tag{5}$$

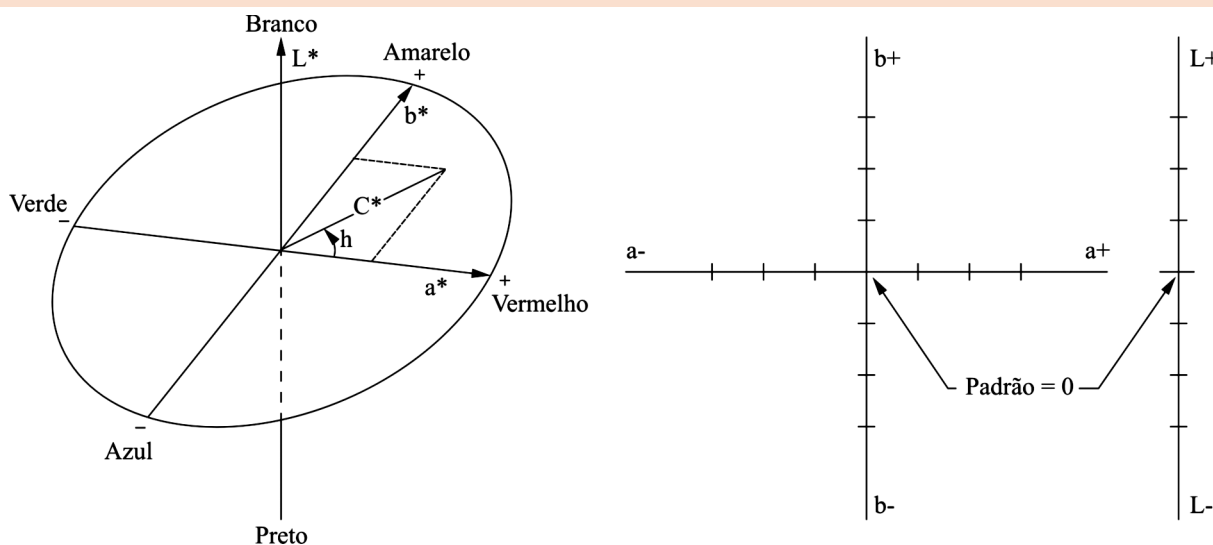
Onde:  $\Delta E$  = desvio total da cor;  $\Delta L$  = desvio no eixo “L”;  $\Delta a$  = desvio no eixo “a” e  $\Delta b$  = desvio no eixo “b”. Os eixos “L”, “a” e “b” fazem parte do Sistema CIELab, definidos pela International Commission of Illumination (CIE) como sendo o eixo “L” para a Luminosidade, o eixo “a” para variações de tonalidade entre o Verde e o Vermelho, e o eixo “b”, para variações de tonalidade entre o Amarelo e o Azul. O gráfico CIELab está demonstrado na Figura 13, em 3D (todos os eixos juntos) e também em 2D (separados os eixos “L” e “a/b”).

Os resultados para os desvios dos tingimentos efetuados com as amostras de efluentes tratadas com luz ultravioleta estão na Tabela 2. Quanto mais próximos de zero estiverem os valores (Padrão = 0), menor a diferença de cor entre eles e o padrão que, neste caso, é o tingimento realizado com água bifiltrada.

**Tabela 2: Desvios dos tingimentos**

Valores dos desvios	
$\Delta E_{AB/pH\ 7,0}$	0,16
$\Delta E_{AB/pH\ 9,0}$	0,51
$\Delta E_{AB/pH\ 11,0}$	0,68

Fonte: Os autores.



**Figura 13: Sistema CIELab**

Fonte: Adaptado de ZOLLINGER, 1991.



## Conclusão

Os resultados mostraram que para todos os valores de pH utilizado neste trabalho, a conversão da decomposição do corante na faixa de  $\lambda_{\max}=580$ , via fotocatalise com  $H_2O_2$  na presença de luz UV foi de  $\alpha > 0,95$  em todos os ensaios, demonstrando que o pH não interfere nessa faixa. Os três efluentes obtidos após tratamento foram utilizados como água de reuso para tingimento em cores escuras, atendendo aos padrões de qualidade exigidos pela indústria, conforme pode se observar pelos valores dos desvios  $\Delta E_{AB/pH\ 7,0} = 0,16$ ;  $\Delta E_{AB/pH\ 9,0} = 0,51$  e  $\Delta E_{AB/pH\ 11,0} = 0,68$ ; perfeitamente aceitáveis dentro dos padrões exigidos no mercado atual, que é de  $\Delta E = 1,0$ .

O efluente tratado em pH 7, por não necessitar de correção de pH para se utilizado como água de reuso, e por ter rendimento de processo equiparado aos melhores resultados obtidos foi considerado como a melhor condição para uso no processo de fotodecomposição do corante *C.I. Reactive Black 5*.

Entretanto, é importante frisar que ainda há várias etapas a serem desenvolvidas, pois este é somente o estudo de um determinado corante, de uma determinada classe e tipo, em algodão 100% e sob determinadas condições.

## Agradecimentos:

Os autores agradecem à FAP/UNINOVE pelo suporte financeiro.

## Referências

ABRAHART, E. N. *Dyes and Their Intermediates*. 2<sup>nd</sup> Edition, Edward Arnold Publishers Ltd, Hill Street, London, 265 p., 1977.

ARAUJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com  $H_2O_2$ /UV. *Química Nova*, vol. 29, n° 1, 11-14, 2006.

AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. F. P. M. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 14, n° 4, Rio de Janeiro, dezembro, 2009.

ATKINS, P.W. *Physical Chemistry*. 3<sup>rd</sup> Edition, Oxford, 857 p., 1988.

IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2<sup>nd</sup> ed. (the Gold Book). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford. XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. ISBN 0-9678550-9-8, 1997.

HSUEH, C. L. et al. Degradation of azo dyes using low iron concentration of Fenton and Fenton-like system. *Chemosphere*, v. 58, n. 10, p. 1409-1414, 2005.

JIRASRIPONGPUN, K.; NASANIT, R.; NIRUNTASOOK, J.; CHOTIKASATIAN, B. "Decolorization and degradation of Reactive Red 195". *Thammasat International Journal of Science and Technology*, vol. 12, n. 4, p. 6-11, 2007.

LOZANO, R. D. *El color y su medición*. Editorial Américalee S.R.L., Buenos Aires, 639 p., 1978.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C. & BARNES, J. D. *Vogel – Análise Química Quantitativa*. Ltc Editora, 6<sup>a</sup> Ed., 462p., Rio de Janeiro, 2002.

MOTA, S. *Introdução à engenharia ambiental*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental, 1997.

MARCOS ROSA, J. Reativo ou Tina? Vantagens e Desvantagens no tingimento de algodão 100% acondicionados em bobinas cruzada. In: *Proceedings of XIX Congresso Latinoamericano de Química y Textil*, Santiago, Chile, out/2008.

SALEM, V. *Curso de Tingimento*. São Paulo, Golden Química, 1999.

SALGADO, B. C. B. et al. "Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H2O2)". In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 14, Rio de Janeiro, março, 2009.

SDC – Society of Dyers and Colourists, AATCC – American Association of Textile Chemists and Colorists. *Colour Index*, Manchester, UK, 1971.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. *Caderno Inspirações e Tendências para Design de Moda*, Editora do SENAI, São Paulo – SP, 2008.

SHORE, J. *Colorants and Auxiliaries*. v.1: Colorants, 2<sup>nd</sup> Edition, SDC, Manchester, UK, 2002.



SILVA, C. G.; WANG, W.; FARIA, J. L. Photocatalytic and photochemical degradation of mono-, di- and tri-azo dyes in aqueous solution under UV irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 181, n. 2-3, p. 314-324, 2006.

SOUZA, C. L. R.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio. *Química Nova*, vol.28, nº2, São Paulo, Abr, 2005.

VIANNA, V. B.; TÔRRES, A. R.; AZEVEDO, E. B. Degradação de corantes ácidos por processos oxidativos avançados usando um reator com disco rotatório de baixa velocidade. *Química Nova*, vol. 31, nº 6, São Paulo, 2008.

ZOLLINGER, Z. *Color Chemistry: Syntheses, Properties and Applications on Organic Dyes and Pigments*. 2<sup>nd</sup> Edition, New York, VCH Publishers, Inc, 1991.

Recebido em 6 nov. 2009 / aprovado em 22 jun. 2010

**Para referenciar este texto**

ROSA, J. M.; BAPTISTA, E. A.; SANTANA, J. C. C. Degradação fotoquímica e reuso da água obtida de um efluente têxtil tratado via UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 169-178, 2010.

# Extração e caracterização de uma enzima proteolítica do curauá (*Ananas Erectifolius*)

*Extraction and characterization of a proteolytic enzyme from Ananas Erectifolius*

Juliana Ferrari Ferreira

Mestre em Engenharia Química – Depto. de Engenharia de Sistemas Químicos, Faculdade de Engenharia Química – Unicamp. Campinas, SP [Brasil]  
jferrarif@hotmail.com

Dalva Sbruzzi

Mestre em Engenharia Química - Depto. de Engenharia de Sistemas Químicos, Faculdade de Engenharia Química – Unicamp. Campinas, SP [Brasil]  
dalvasbruzzi@gmail.com

Kleber Vânio Gomes Barros

Mestre em Engenharia Química - Depto. de Engenharia de Sistemas Químicos, Faculdade de Engenharia Química – Unicamp. Campinas, SP [Brasil]  
klebervanio\_gomesbarros@yahoo.com.br

Isaac Stringueta Machado

Doutor em Engenharia Química - Depto de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu – Unesp. Botucatu, SP [Brasil]  
isaac@fca.unesp.br

Elias Basile Tambourgi

Doutor em Engenharia Química - Depto. de Engenharia de Sistemas Químicos – Unicamp. Campinas, SP [Brasil]  
eliasam@feq.unicamp.br

O curauá (*Ananas erectifolius*) é uma planta fibrosa encontrada no Norte e Centro-Oeste do Brasil, uma bromeliácea de características físico-químicas que lhe conferem grande potencial de utilização na indústria automobilística, como fonte de fibras. Como toda planta da família Bromeliaceae contém níveis significativos da enzima bromelina, de alto valor comercial e com ampla aplicação também na indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética. Neste trabalho, foram realizados testes experimentais de extração da enzima proteolítica do curauá sob diferentes condições de pH e temperatura, medindo-se a atividade enzimática para cada um dos ensaios, utilizando-se o reativo de Biureto e determinando-se a temperatura e pH ótimos de sua utilização, ou seja, valores em que a atividade enzimática da enzima é máxima, com o objetivo de otimizar as condições de uso do resíduo para posterior purificação. Foram utilizadas as duas variedades comercialmente encontradas (branca e roxa). Os resultados mostraram que o curauá possui enzimas com atividade proteolítica, sendo o pH ótimo 8,5 para as duas variedades e temperaturas ótimas de 30 °C para a espécie branca, e 10 °C, 20 °C e 35 °C, para a roxa.

**Palavras-chave:** *Ananas erectifolius*. Atividade enzimática. Bromelina. Caracterização. pH. Temperatura.

*Ananas erectifolius* (curauá) is a fibrous vegetable that can be found in North and Central West regions of Brazil. It is a bromeliaceae family plant which physico-chemical features provides great potential in the automobilistic industry as a source of fibers. As commonly described in other bromeliaceae species, it contains significant levels of bromelain, of high commercial value and wide range of applications in food, pharmaceutical and cosmetics industry. In this paper, experimental tests were performed to evaluate the extraction of the proteolytic enzymes of the *Ananas erectifolius* under different pH and temperature conditions to determine in which ones the enzymatic activity would be the maximum for later purification of the bromelain. The two commercially available curauá varieties (white and purple) were used in the experiments and the results showed the same optimal pH of 8.5 for both varieties and different temperatures of 30°C for the white one, and 10°C, 20°C and 35°C for the purple one.

**Key words:** *Ananas erectifolius*. Bromelain. Characterization. Enzymatic activity. Temperature. pH. Enzyme.

## 1 Introdução

Nos últimos anos, a procura por produtos naturais tem crescido em todo o mundo. A preocupação com o meio ambiente tornou-se obrigatória para a funcionalidade de algumas indústrias. O escopo dos setores industriais é a utilização de recursos naturais renováveis, que representem fonte alternativa de grande potencial econômico (OLIVEIRA et al., 2008).

O uso de matérias-primas naturais vem sendo objeto de diversos estudos e pesquisas, por seu potencial na substituição de derivados petroquímicos. As fibras vegetais são úteis na indústria automobilística, para o revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões, e na construção civil (MOTHÉ; ARAÚJO, 2004). Ainda, o soro resultante do processamento das folhas pode servir como adubo orgânico.

Entre as espécies da Região Amazônica com potencial para produção de fibras, destaca-se o curauá ou *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & F. Leal. No Brasil e no exterior, a fibra dessa planta é submetida à frequentes pesquisas, as quais vêm apresentando resultados significativos, o que torna essa espécie a mais promissora entre as produzidas na Amazônia brasileira (OLIVEIRA et al., 2008).

O emprego de fibras naturais para a produção de compósitos poliméricos contribui para evitar problemas de poluição ambiental, já que sua utilização muitas vezes substitui materiais sintéticos baseados no petróleo. Para atender à crescente demanda, é necessário viabilizar o cultivo de plantas fibrosas por meio da maximização de todas as suas propriedades.

Como toda planta da família *Bromeliaceae*, o curauá apresenta como constituinte a enzima bromelina que possui alto valor comercial e ampla aplicação na indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética. A bromelina é uma en-

zima proteolítica da classe das hidrolases. As proteases são hidrolases capazes de romper a ligação peptídica das proteínas e peptídeos. A especificidade das proteases é ampla e classificada de acordo com a constituição de seu sítio ativo em três grupos principais: serina protease, ácido aspártico protease e cisteína protease, sendo a bromelina enquadrada nesse último grupo (PIRES; LEÃO, 2008).

A bromelina tem diversos usos, todos baseados em sua atividade proteolítica. A sua importância econômica está relacionada com a produção de fármacos e a utilização na indústria alimentícia (na clarificação de cervejas, na fabricação de queijos, no amaciamento de carnes, no preparo de alimentos infantis e dietéticos, entre outros), no tratamento de distúrbios, digestivos, feridas e inflamações, preparo de colágenos hidrolisados, nas indústrias têxteis, para amaciamento de fibras e também na produção de detergentes (BALDINI et al., 1993).

A atividade de uma enzima pode ser determinada com base na velocidade de conversão de um reagente adequado (substrato) e está estritamente vinculada aos agentes desnaturantes, pelo fato de sua função catalítica depender da conformação na qual a enzima se apresenta (RIEGEL, 2003). A temperatura, por exemplo, é um dos agentes críticos sobre a atividade das enzimas. Quando se eleva a temperatura, a atividade aumenta, todavia, o processo de desnaturação cresce, em decorrência da ação do calor (HALPERN, 1997).

O pH é outro parâmetro que exerce grande influência na manutenção da atividade enzimática. O efeito desse fator se dá devido às alterações no estado de ionização dos componentes do sistema, em consequência da variação da concentração de  $[H^+]$  (RICARDO; TEIXEIRA, 1993).

Machado et al. (2007) analisaram a atividade enzimática da bromelina em plantas de curauá (folha e fruto) por meio da hidrólise enzimática da

caseína a 1,2% (p/v) pH 7,5 a 35 °C, durante dez minutos, seguindo-se de precipitação do substrato não hidrolisado com solução de ácido tricloroacético (TCA). Os resultados obtidos aproximaram-se daqueles observados por Baldini et al. (1993) e César et al. (1999) ao pesquisarem o fruto do abacaxi, matéria-prima comumente utilizada na obtenção comercial da bromelina.

Assim, neste trabalho, objetivou-se extrair e quantificar a atividade enzimática em diversas condições de pH e temperatura, para assim, obter as melhores condições de utilização da enzima para posterior purificação, utilizando o reativo de Biureto.

## 2 Materiais e métodos

Os equipamentos utilizados foram: balança eletrônica Marte, modelo AL 200; um multiprocessador Arno; pHmetro *Analyser* pH 300; banho termostatizado FANEM; modelo 100, micropipetas automáticas; espectrofotômetro UV/VIS *Spectronic* 21D.

### 2.1 Métodos

As folhas do curauá foram coletadas no campo, na fazenda experimental – São Manoel, Botucatu (SP). Chegando ao laboratório foram lavadas com água destilada, secadas em papel toalha e armazenadas em sacos plásticos, sob refrigeração, até sua utilização. É importante ressaltar que a utilização das folhas foi feita em, no máximo, 30 dias após sua colheita e armazenamento. Depois disso, a atividade enzimática diminui bruscamente, tornando inviável a utilização da enzima.

### 2.2 Preparo das amostras

Foram pesadas, na proporção 1:2 (v/m), solução tampão e folhas de curauá das variedades

branca e roxa. Em seguida, as folhas foram trituradas em um multiprocessador de alta eficiência e filtradas em tela de náilon para retirada de fibras e particulados presentes no extrato.

### 2.3 Preparo do reativo de biureto

Dissolveu-se 1,5 g de sulfato de cobre pentahidratado e 6,0 g de tartarato duplo de sódio e potássio em 500 mL de água destilada, posteriormente foram adicionados 300 mL de solução de hidróxido de sódio a 10% em constante agitação. A solução final foi avolumada para 1 litro. (ZANCAN, 2005).

### 2.4 Determinação da atividade da bromelina

Para determinação da atividade da bromelina, utilizou-se o reativo de Biureto e uma solução a 5 g.L<sup>-1</sup> de BSA (Albumina de Soro Bovino). O método baseia-se na reação do reativo do Biureto, que é constituído de uma mistura de cobre e hidróxido de sódio com um complexante que estabiliza o cobre em solução. O cobre, em meio alcalino, reage com proteínas formando um complexo quadrado planar com a ligação peptídica. As leituras foram feitas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 540 nm. Calculou-se a atividade enzimática segundo Ferreira (2007).

### 2.5 Preparo das soluções tampão

Foram preparadas as soluções tampão com pH 4,5 a 9,5, variando de 1 a 1, a partir de soluções de fosfato de potássio mono e dibásico a 15% (m/m), seguindo a metodologia descrita por Morita e Assumpção (1995). Para isso, prepararam-se soluções padrão de fosfato de potássio monobásico (solução A) e fosfato de potássio bibásico (solução B). Misturou-se em um béquer, contendo um eletrodo de cloreto de prata, para medir o pH do meio, até atingir o pH desejado.

## 2.6 Determinação da temperatura ótima

Com o pH fixado em 8,5, foram realizados ensaios em batelada para medir a atividade enzimática e quantidade de proteínas totais em amostras a diversas temperaturas, como segue.

Em vários tubos foram colocados 5 mL de solução de BSA 5 g.L<sup>-1</sup> em diferentes temperaturas. Essa solução foi deixada durante dez minutos para estabilizar a temperatura no biorreitor. As temperaturas foram: 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C e 50 °C. Os tubos foram devidamente numerados e cuidadosamente mantidos na temperatura desejada.

Com o pH fixado e com as variações de temperatura de cada amostra do extrato do curauá branco e roxo, foi medida a atividade enzimática e a quantidade de proteínas totais, de acordo com a metodologia descrita por Baldini et al. (1993).

## 2.7 Determinação do pH ótimo

Com a temperatura fixada em 37 °C foi possível também, pelas análises de atividade enzimática e proteínas totais, determinar o pH ótimo da enzima, de acordo com o procedimento descrito a seguir.

Foram adicionadas ao extrato do curauá soluções tampão para que se obtivessem os pHs desejados, que foram: 4,5; 5,5; 6,5; 7,5; 8,5; e 9,5.

Com isso, o mesmo procedimento adotado para a retirada das amostras para análise no caso da determinação da temperatura ótima foi seguido para o pH ótimo.

## 3 Resultados e discussões

As enzimas possuem um pH ótimo, sendo a distribuição das cargas ideal para a catálise; acima desse pH ótimo a atividade enzimática diminui,

visto que a enzima começa a perder sua função até tornar-se inativa.

Esses dados são de extrema importância na estratégia de purificação da enzima bromelina e sua aplicação industrial, evitando a perda de atividade pelo uso de faixas de pH agressivos às enzimas e a redução na eficiência do método empregado (SANTANA, 2006).

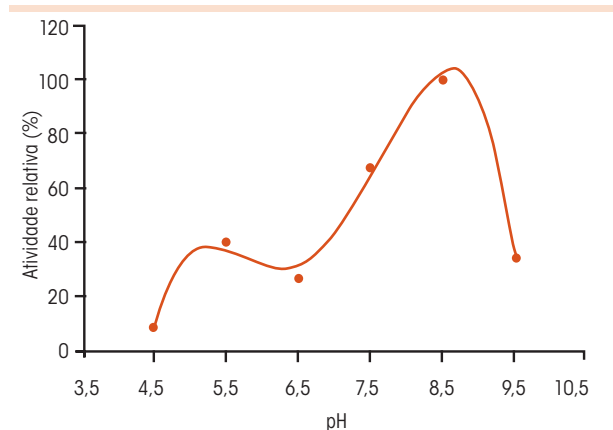
As Figuras 1 e 2 mostram o efeito do pH sobre a atividade da bromelina da folha do curauá nas variedades branco e roxo. Os resultados observados evidenciam que a atividade foi afetada na faixa de pH estudado. Observou-se que a máxima atividade ocorreu no pH 8,5 tanto para o curauá branco como para o roxo; indicando que esse é o pH ótimo para a bromelina das folhas de curauá. Entretanto, um pico de menor intensidade foi observado no pH 5,5, sugerindo que pode haver mais do que uma protease nas folhas de curauá.

Ferreira (2007), Ko et al. (1990), Rasheedi et al. (2003) e Rowan et al. (1990) encontraram maior atividade no pH 7,0 para a bromelina da casca e talo do abacaxi.

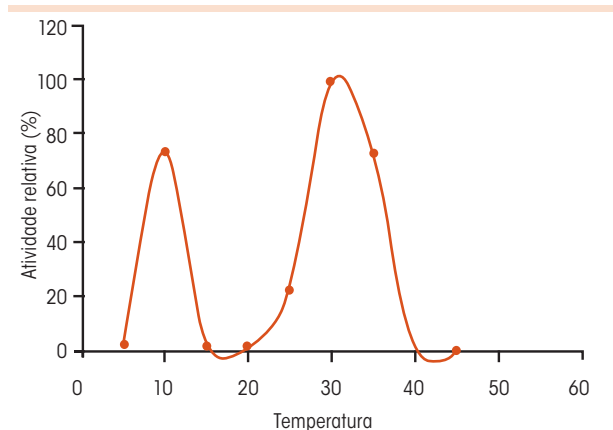
Na Figura 3, descreve-se o perfil da atividade da bromelina das folhas de curauá branco, em diferentes temperaturas. A atividade máxima foi observada em 30 °C. Outro pico foi observado em 10 °C.

A Figura 4 mostra o perfil da atividade da bromelina das folhas de curauá roxo, em diferentes temperaturas. Para essa variedade, os resultados mostraram três picos em que a atividade foi máxima (10 °C, 20 °C e 35 °C). A presença de dois ou mais picos decorrente da atividade elevada, corrobora os resultados do efeito do pH na atividade da enzima que indicava a presença de outras proteases nas folhas de curauá.

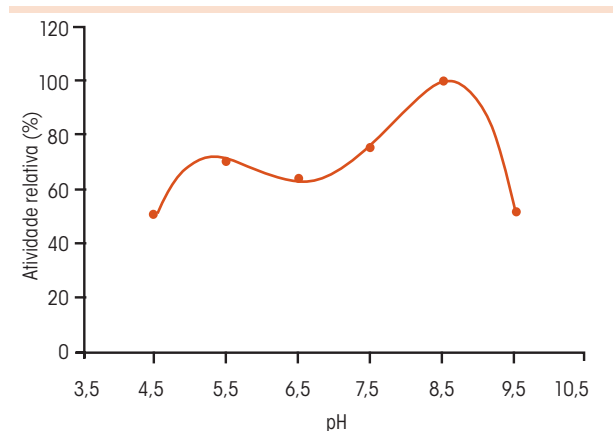
Rowan et al. (1990) caracterizaram a bromelina do talo do abacaxi, que apresentou atividade máxima a 60 °C. Ko et al. (1990) encontraram temperatura ótima de 62,5 °C. Khan et al. (2003)



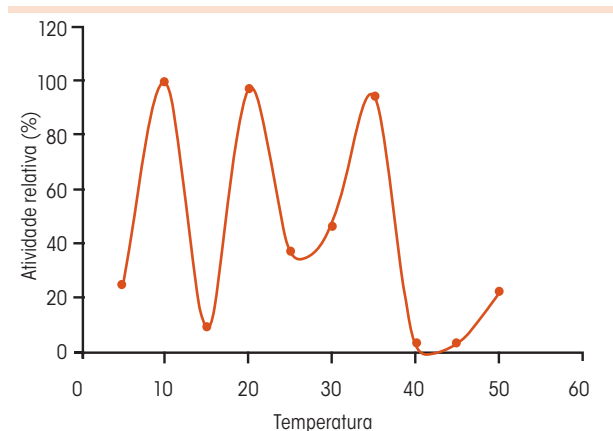
**Figura 1: Efeito do pH sobre a atividade proteolítica da bromelina do curauá branco**  
 Fonte: os autores.



**Figura 3: Efeito da temperatura sobre a atividade proteolítica da bromelina do curauá branco**  
 Fonte: os autores.



**Figura 2: Efeito do pH sobre a atividade proteolítica da bromelina do curauá roxo**  
 Fonte: os autores.



**Figura 4: Efeito da temperatura sobre a atividade proteolítica da bromelina do curauá roxo**  
 Fonte: os autores.

e Rasheedi et al. (2003) também caracterizaram a bromelina do talo e encontraram temperatura ótima de 37 °C. Ferreira (2007) observou que a faixa ideal de temperatura na caracterização da bromelina da casca e talo do abacaxi é entre 30 °C e 40 °C.

## 4 Conclusões

Na etapa de caracterização da enzima, determinaram-se o pH e a temperatura ótimos para sua utilização, fatores esses importantes na estra-

tégia de purificação da enzima bromelina, evitando a perda de atividade pelo uso de faixas de pH e temperatura agressivos às enzimas e a redução na eficiência do método empregado. Observou-se que o valor do pH ótimo da bromelina foi 8,5, em que ela apresentou o máximo de atividade. Na determinação da temperatura ótima de utilização da enzima, o valor observado foi 30 °C para a espécie de curauá branco, e três temperaturas ótimas foram observadas para o curauá roxo: 10 °C, 20 °C e 35°C.

A utilização da folha de curauá pela indústria poderia ser maximizada, extraindo-se não

apenas a fibra da planta, como ocorre atualmente, mas também enzimas proteolíticas de alto valor econômico, que são descartadas, diminuindo assim, o impacto ambiental e o desperdício de fontes interessantes para a indústria farmacêutica.

## Referências

- BALDINI, V. L. S.; IADEROZA, M.; FERREIRA, E. A. H.; SALES, A. M.; RAETTA, I. S.; GIACOMELLI, E. J. *Ocorrência da bromelina e cultivares do abacaxizeiro*. Colet. Ital, v. 23, n. 1, p. 44-55, 1993.
- CÉSAR, A. C. W.; SILVA, R.; LUCARINI, A. C. *Recuperação das enzimas proteolíticas presentes nas casca e talo do abacaxi*, p. 47-54, São Carlos, 1999.
- FERREIRA, J. F. *Caracterização e purificação da enzima bromelina em sistema de duas fases aquosas PEG/Fosfato*. Dissertação (mestrado)–UNICAMP, Campinas, 2007.
- HALPERN, M. J. *Bioquímica*. 1. ed. Lisboa: Lidel Edições Técnicas, 1997.
- KHAN, R. H.; RASHEEDI, S.; HAQ, S. K.; J. BIOSCI. *Effect of pH, Temperature and alcohols on the stability of glycosylated and deglycosylated stem bromelain enzymes*, 28, p. 709-714, 2003.
- KO, Y. H.; KANG, Y. J. *Isolation and partial characterization of proteolytic enzymes from stems of pineapples cultivated in Cheju Island*, Nonmunjip-Cheju Taehakkyo, Chayon Wahakpyon, 31, p. 137-142, 1990.
- MACHADO, I. S.; BERTOZZO, F.; MICHELINI, J.; CANTANHEDE, I. S. L.; SORIANO, L. *Avaliação da atividade da enzima bromelina em resíduo agroindustrial de curauá (*Ananas Erectifolius* L. B. Smith)*. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v. 13, p. 1817 – 1820, 2007.
- MORITA, T; ASSUMPCÃO, R. M. V. (Eds.). *Manual de Soluções, Reagentes e Solventes. Padronização – Preparação – Purificação*. 2. ed., 9ª reimpressão, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP, 1995, p. 276.
- MOTHÉ, C. G.; ARAUJO, C. R. *Thermal and mechanical characterization of polyurethane composites with curaua fibers*. *Polímeros*, v. 14, p. 274-278, 2004.
- OLIVEIRA, E. C. P.; LAMEIRA, O. A.; SOUSA, F. I. B.; SILVA, R. J. F. *Estrutura foliar de curauá em diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 43, n. 2, p. 163-169, 2008.
- PIRES, J. S. C.; LEÃO, A. L. *Avaliação de príncípios ativos em culturas fibrosas*. *16º SIICUSP – Simpósio Internacional de Iniciação Científica*, 2008.
- RASHEEDI, S.; HAQ, S. K.; KHAN, R. H. *Guanidine hydrochloride denaturation of glycosylated and deglycosylated stem bromelain*. *Biochemistry*, v. 68, p. 1097-1100, 2003.
- RICARDO, C. P.; TEIXEIRA, A. *Enzimas*. Lisboa, Portugal: Ed. Plátano, 1993.
- RIEGEL, R. E. *Bioquímica*. 3. ed. São Leopoldo: Edunisinos, 2003.
- ROWAN, A. D.; BUTTLE, D. J.; Barrett, A. J. *The cysteine proteinases of the pineapple plant*. *Biochemical Journal*, v. 266, n. 3, p. 869-875, 1990.
- SANTANA J. C. C. *Caracterização e recuperação das enzimas e – amilases por sistema de adsorção em leito expandido*. Tese (doutorado)–UNICAMP, Campinas, 2006.
- ZANCAN, G. T. (Org). *Bioquímica – aulas práticas*, 6. ed. Curitiba: UFPR, 2005.

Recebido em 16 nov. 2009 / aprovado em 28 jun. 2010

### Para referenciar este texto

FERREIRA, J. F. et al. Extração e caracterização de uma enzima proteolítica do curauá (*Ananas Erectifolius*). *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 179-184, 2010.



# Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* rotativo

*Feasibility study of biomass drying of green banana in spray dryer rotary*

Ricardo Kenji Oi

Doutorando em Engenharia Química – UNICAMP  
Engenheiro do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE  
Coordenador e professor de cursos de Pós-Graduação LS de Engenharia de Produção e de Engenharia de Estruturas Navais para Petróleo e Gás – Unisanta  
Santos – SP [Brasil]  
ricardo.oi@unisanta.br

Elias Basile Tambourgi

Doutor em Engenharia Química – UNICAMP  
Professor adjunto no Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos (DESQ) e da Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP  
Campinas – SP [Brasil]  
eliastam@feq.unicamp.br

Deovaldo de Moraes Jr

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP  
Professor doutor e coordenador do Laboratório de Operações Unitárias – Unisanta  
Santos – SP [Brasil]  
deovaldo@unisanta.br

O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnica de secagem da biomassa da banana verde em uma unidade piloto de *spray dryer* com atomizador rotativo. A biomassa da banana verde é um componente que pode ser utilizado industrialmente em uma grande variedade de alimentos, apresentando propriedades funcionais, sobretudo pela presença do amido resistente. As variáveis selecionadas no procedimento experimental foram concentração da biomassa da banana verde, vazão de alimentação e rotação do atomizador. Como respostas foram obtidas a massa e a umidade relativa do produto seco. Três níveis foram utilizados nas variáveis selecionadas, o que correspondeu à realização de 27 ensaios. Nos ensaios no qual foram obtidos os menores valores de umidade relativa, as quantidades de massa também foram as mais baixas, enquanto nos ensaios em que se encontraram as maiores quantidades de massa os teores de umidade relativa situaram-se entre os mais elevados. Tendo em vista a aplicação industrial, cujo objetivo é o baixo nível de umidade e a maior produção do produto, o ensaio 22 foi o mais adequado, sendo encontrados 11 % de umidade e 4,33 g de massa.

**Palavras-chave:** Alimento funcional. Biomassa da banana verde. Secagem. *Spray dryer*.

This paper presents a technical feasibility study for drying the biomass of green bananas at a pilot plant *spray dryer* with rotary atomizer. The biomass of the green banana is a component that can be used industrially in a wide variety of foods, with functional properties, especially the presence of resistant starch. The variables selected in the experimental procedure were the biomass concentration of green banana, feed flow rate and rotation of the atomizer. Responses were obtained as the mass and relative humidity of the dried product. Three levels were used in selected variables, which corresponded to the completion of 27 experiments. In experiments in which they obtained the lowest values of relative humidity, the amounts of mass were also the lowest, while in experiments where they met the higher amounts of the levels of relative humidity ranged from the highest. Considering the industrial application, whose purpose is the low humidity and increased production of the product, test 22 was the most appropriate, and found 11% moisture and 4.33 g in mass.

**Key words:** Biomass of green banana. Drying. Functional food. *Spray dryer*.

## 1 Introdução

Os alimentos funcionais são aqueles que além da função original de nutrição, também se destinam à manutenção geral da saúde e/ou redução do risco de doenças. O mercado mundial deste segmento movimentou cerca de US\$ 80 bilhões, em 2007, enquanto que no Brasil estes produtos respondem a aproximadamente US\$ 647 milhões. De acordo com a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), o alimento ou ingrediente que contenha propriedades funcionais, além de atuar em funções nutricionais básicas, deverá desencadear efeitos benéficos à saúde, além de ser seguro para o consumo sem supervisão médica.

Dentro dessa categoria de alimentos, a biomassa da banana verde surge com uma opção para ser utilizada em substituição aos espessantes tradicionais como trigo, soja, fécula de mandioca e amido de milho, em doces ou salgados, melhorando o valor nutricional e assumindo o sabor da preparação. Esta biomassa é obtida através do processo de cocção e extrusão da banana verde, em até três dias após a coleta, tendo em vista manter suas propriedades funcionais.

De acordo com Zandonadi (2009), o amido resistente é um dos principais componentes da banana verde, que pode conter de 55 a 93% dos sólidos totais, e de aproximadamente 14,5% das fibras. Quando há amadurecimento da banana, esse amido resistente é convertido em açúcares, em sua maioria glicose, frutose e sacarose, dos quais 99,5 % são fisiologicamente disponíveis, conforme explica Fasolin et al. apud Zandonadi (2009).

O amido resistente pertence ao grupo de carboidratos complexos, no qual estão incluídos o amido e os polissacarídeos não-amido (como as fibras), os quais possuem diferenças em suas estruturas químicas e em alguns de seus efeitos fisiológicos, segundo Zandonadi (2009). As fibras alimentares são polissacarídeos hidrossolúveis

diferentes do amido, que se caracterizam pela resistência à hidrólise por meio de enzimas digestivas, porém, sua fermentação no trato intestinal favorece o desenvolvimento de ácidos graxos de cadeia curta, como explica Ordonez et al. apud Zandonadi (2009).

Diversas pesquisas foram publicadas sobre as propriedades da banana verde, revelando efeitos benéficos significativos sobre alguns males como câncer colorretal, diarreia, índice glicêmico, resposta insulínica, dislipidemias, doenças cardiovasculares e doença celíaca, essa última abordada por Zandonadi (2009).

A biomassa da banana verde é obtida na forma pastosa, tendo umidade de 70% ao final do processo. Uma alternativa é a secagem deste produto, que permite reduzir o peso e aumentar o *self-life*, características que agregam valor e favorecem o seu transporte, condições fundamentais para a exportação.

Na operação de secagem são empregados secadores industriais conforme as características da substância a ser seca e a qualidade do produto final. Os equipamentos industriais são desenvolvidos a partir de algumas condições de secagem como estática, dinâmica, fluidizada e diluída. Existem diversos tipos de secadores disponíveis, de acordo com Perry e Green (1997), a escolha de um determinado tipo também é ditada pela natureza do produto que vai ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado e pelo fator econômico.

Masters (1985) afirma que a secagem na condição diluída pode ser através da atomização, sendo definida como um processo de divisão do líquido em milhões de micro gotas formando um spray, sendo que 1 m<sup>3</sup> de líquido forma aproximadamente 2 x 10<sup>12</sup> gotas com diâmetro aproximado de 100 µm.

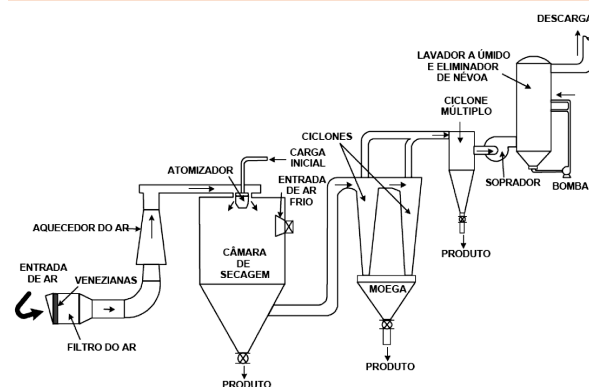
No conceito de atomização, surge o secador *spray dryer*, que é, em muitos casos, a melhor op-

ção em operações industriais de secagem devido à sua flexibilidade. Esta técnica permite receber fluidos bombeáveis na entrada da alimentação do material até o final do processo produzindo, com temperaturas que não degradem o produto, grânulos secos com pouca variação de dimensões e umidade (MASTERS, 1985).

Os secadores pulverizadores do tipo *spray dryer* são amplamente utilizados na secagem industrial de diversos produtos, incluindo os alimentícios. Para Foust et al. (1982), as propriedades físico-químicas dos produtos obtidos através desses equipamentos são preservadas.

De acordo com Figura 1 a qual se refere a uma instalação do tipo *spray dryer* é apresentado um sistema de secagem por *spray dryer* onde o ar penetra pelo topo da câmara de secagem, sendo injetado através de um filtro e de um aquecedor, e flui em corrente paralela com as gotículas a serem secas, que se formam num bocal pulverizador ou num atomizador de disco rotatório. À medida que as gotículas caem, a água se evapora no gás quente, e deixa o material sólido constitutivo da partícula. Os grânulos maiores caem até o fundo da câmara e os grânulos menores são arrastados pelo gás até os ciclones separadores. Os grânulos muito finos passam pelo soprador e entram num sistema de lavagem a úmido. A suspensão, ou a solução que se obtém neste depurador de gás, pode retornar à carga inicial e ser recirculada. Segundo Foust et al. (1982), são possíveis variações neste sistema, usualmente definidas pelas propriedades da carga e pelas características desejadas do produto.

A câmara de secagem pode operar em contracorrente com o fluxo de ar e o fluxo do produto, ou então ter uma configuração paralela de fluxos. O ar secundário pode entrar na câmara de secagem pelo topo, ou pode ser injetado em diversos pontos.



**Figura 1: Desenho esquemático de uma instalação de secagem do tipo *spray dryer***

Fonte: Foust et al., 1982.

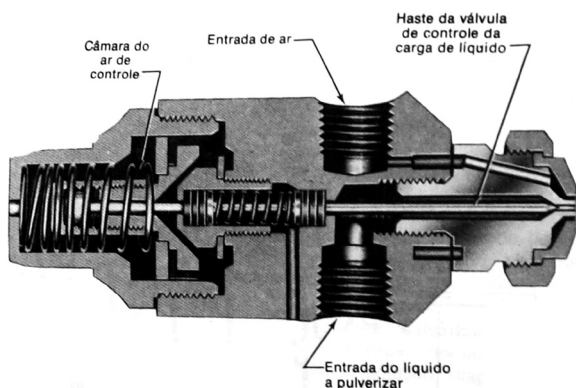
O elemento central do processo de secagem por *spray drying* é a câmara de secagem, nela a solução inicial é atomizada e entra em contato com fluxo de ar quente, resultando em uma evaporação de aproximadamente 95% de água constituinte da gotícula do produto. Bete (2009) explica que a função da câmara de secagem é fornecer o tempo de residência do contato entre o ar e os grânulos para a obtenção do produto seco desejado.

Perry e Chilton (1980) afirmam que as propriedades dos materiais secos nos pulverizadores estão sujeitas as consideráveis variações, dependendo da direção do escoamento do gás e da sua temperatura, da uniformidade da atomização, do teor de sólidos da alimentação, da temperatura da alimentação e do grau de aeração da alimentação. As características do produto que têm, em geral, os maiores interesses são: tamanho da partícula; densidade do material a granel (densidade aparente); presença de poeira; e umidade, conforme Perry e Chilton (1980).

Os atomizadores cumprem um papel importante no processo de secagem. Existem três tipos de atomizadores utilizados comercialmente em secadores *spray dryer*: bocais atomizadores a dois fluidos (Figura 2); bocais a pressão (Figura 3); e disco rotativo (Figura 4). A utilização desses de-

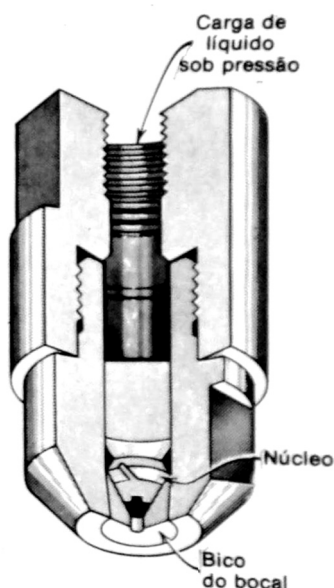
pende das características operacionais do material a ser seco.

Em geral, o bocal a dois fluidos produz gotas menores que o bocal a pressão, apesar desse último propiciar maior taxa de produção. O disco rotativo é recomendado para líquidos de difícil passagem pelo bocal. Para a pasta de banana, Masters (1985) recomenda o emprego de atomizador rotativo.



**Figura 2: Vista em corte da secção longitudinal de bocal a dois fluidos**

Fonte: Foust et al., 1982.



**Figura 3: Vista em corte da secção longitudinal de bocal a pressão**

Fonte: Foust et al., 1982.



**Figura 4: Fotografia mostrando um atomizador rotativo**

Fonte: Niro, 2008.

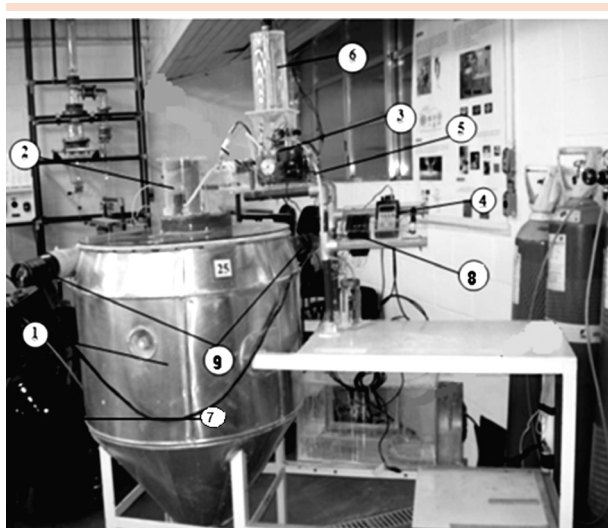
Neste contexto este trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* com atomizador rotativo através de ensaios em uma unidade piloto. As variáveis utilizadas foram a rotação do atomizador, a concentração da alimentação e a vazão do produto. As respostas foram a umidade relativa e a massa do produto seco.

## 2 Materiais e métodos

A unidade piloto do secador tipo *Spray Dryer* utilizada no ensaio (Figura 5) foi construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília (UNISANTA). Consiste de uma câmara de secagem com capacidade para 0,2 m<sup>3</sup> e um disco atomizador rotativo de 0,03 m de diâmetro para a pulverização do produto.

O esquema da unidade experimental ilustrado na Figura 5 está descrito a seguir:

1) Câmara de secagem; 2) Turbina com o disco rotativo na base do eixo vertical; 3) Bomba peristáltica; 4) Indicador de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido; 5) Mangueiras de silico-



**Figura 5: Fotografia mostrando a unidade piloto de *spray dryer* do Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília**

Fonte: Os autores.

ne para o transporte da solução; 6) Tanque de alimentação da solução com impulsor axial; 7) Compressor; 8) Sistema de controle da vazão e da temperatura do ar; 9) Aquecedor de ar.

As três variáveis utilizadas no experimento (rotação do atomizador, concentração da alimentação e vazão de alimentação) foram testadas em três níveis cada uma, totalizando 27 ensaios ( $n = 3^3$ ). A rotação do atomizador foi ensaiada em 18000, 20000 e 23000 rpm. A concentração da alimentação (massa de biomassa / massa de água) foi testada em 15, 20 e 25%. A vazão de alimentação foi variada em 0,05, 0,10 e 0,15 mL/s. Esses valores estão ilustrados na Tabela 1.

A seguir estão descritos os procedimentos experimentais:

Pesou-se 100g da biomassa da banana verde, em uma balança digital de precisão centesimal;

Triturou-se a biomassa da banana verde em um triturador de uso doméstico para reduzir o tamanho das fibras;

Filtrou-se a biomassa batida em uma peneira de uso laboratorial com abertura de 0,074 mm

para retirar as fibras não passantes, visando evitar a obstrução dos dutos e bocais do secador;

Adicionou-se água à pasta de banana verde para se obter as concentrações desejadas de 15%, 20% e 25% (% de massa de pasta de banana) conforme o ensaio. A adição de água teve por objetivo evitar a obstrução dos dutos;

Após acionamento dos dois aquecedores de ar, a temperatura da câmara foi ajustada para 140 °C e mantida, por 15 minutos antes de iniciar o experimento;

Fixou-se a vazão de alimentação em 0,05 mL/s (menor permitida pela bomba peristáltica), 0,10 mL/s e 0,15 mL/s (máxima para não obstruir o duto);

Controlou-se a abertura da válvula de entrada de ar da turbina para obter uma das rotações do atomizador desejadas: 18.000 rpm, 20.000 rpm e 23.000 rpm (máxima fornecida pela turbina). Durante os ensaios foi verificada a rotação do atomizador através de um tacômetro digital, para garantir o controle das rotações;

Coletou-se o produto seco por 15 minutos e mediu-se a vazão do ar na entrada dos secadores.

**Tabela 1: Variáveis de processo estudadas na secagem da biomassa da banana verde**

	Variáveis	Valores
Variáveis controladas	Concentração da solução	15 %
		20 %
		25 %
	Rotação da turbina	18000 rpm
		20000 rpm
		23000 rpm
Vazão de alimentação do produto	0,05 mL/s	
	0,10 mL/s	
	0,15 mL/s	
Variáveis fixadas	Vazão de entrada de ar	0,013 kg/s
	Temperatura da câmara	140 °C

Fonte: Os autores.

### 3 Resultados e discussão

A Tabela 2 mostra os 27 ensaios realizados, sendo C a concentração de entrada, r a rotação do disco rotativo, Q a vazão da solução, m a massa obtida e U a umidade do produto.

De acordo com os resultados, a amostra com menor umidade relativa (8,0 %) foi obtida no ensaio 17, sendo: concentração 20 %; rotação 23.000 rpm; e vazão de alimentação 0,10 mL/min. Já em relação à massa, o ensaio 27 registrou o maior valor (14,31 g), sendo: concentração 25 %; rotação 23.000 rpm; vazão de alimentação 0,15 mL/min.

Embora a umidade relativa encontrada no ensaio 17 foi a de menor valor, a massa do produto apresentou apenas 1,25 g. Por sua vez, no ensaio em a massa correspondeu o maior valor, a umidade relativa registrada foi uma das maiores dos ensaios (32,90 %).

A Tabela 2 foi dividida em três partes iguais, a umidade relativa foi classificada em ordem crescente e a massa em ordem decrescente, dando origem à Tabela 3.

Conforme a Tabela 3, a terça parte com os menores valores de umidade relativa apresentou em relação às variáveis controladas os seguintes valores:

- Concentração (%): 15 (66,66 %); 20 (33,33 %); 25 (0 %);
- Rotação (rpm): 18.000 (22,22 %); 20.000 (44,44 %); 23.000 (33,33 %); e
- Vazão (mL/min): 0,05 (66,66 %); 0,10 (33,33 %); 0,15 (0 %)

Através dessa análise, conclui-se que as variáveis com maiores influências na umidade relativa foram a concentração e a vazão, respectivamente, 15 % e 0,05 mL/min.

De acordo com a Tabela 3, o terço com os maiores valores de massa registrou os seguintes valores em relação às variáveis controladas:

**Tabela 2: Resultados dos ensaios realizados na unidade piloto**

Ensaio número	C (%)	r (rpm)	Q (mL/s)	m (g)	U (%)
01	15	18000	0,05	2,05	13,20
02	20	18000	0,10	3,91	48,50
03	25	18000	0,10	3,87	63,40
04	15	20000	0,05	0,57	09,40
05	20	20000	0,10	1,86	30,50
06	25	20000	0,15	2,47	28,50
07	15	23000	0,05	1,43	26,50
08	20	23000	0,10	2,60	24,72
09	25	23000	0,15	3,20	31,40
10	15	18000	0,05	2,12	24,50
11	20	18000	0,10	2,75	34,00
12	25	18000	0,10	4,01	35,5
13	15	20000	0,05	0,92	10,40
14	20	20000	0,10	1,55	18,20
15	25	20000	0,15	2,28	27,50
16	15	23000	0,05	1,41	36,80
17	20	23000	0,10	1,25	08,00
18	25	23000	0,15	1,85	25,50
19	15	18000	0,05	3,03	28,12
20	20	18000	0,10	3,83	35,60
21	25	18000	0,10	4,73	40,00
22	15	20000	0,05	4,33	11,00
23	20	20000	0,10	8,11	35,50
24	25	20000	0,15	10,44	41,90
25	15	23000	0,05	3,03	11,10
26	20	23000	0,10	6,98	30,70
27	25	23000	0,15	14,31	32,90

Fonte: Os autores.

- Concentração (%): 15 (11,11 %); 20 (44,44 %); 25 (44,44 %)
- Rotação (rpm): 18.000 (44,44 %); 20.000 (33,33 %); 23.000 (22,23 %)
- Vazão (mL/min): 0,05 (11,11 %); 0,10 (66,66 %); 0,15 (22,22 %)

A partir dessa análise, conclui-se que as variáveis com maiores influências na umidade relativa foram, novamente, a concentração e a vazão, respectivamente, 20 % e 25 % e 0,10 mL/min. Em ambas as análises, a variação da rotação não representou em diferenças significativas nos valores de umidade relativa e massa.

**Tabela 3: Menores umidades relativas e maiores massas**

Ensaio	C (%)	r (rpm)	Q (ml/s)	U (%)
17	20	23000	0,1	8,0
4	15	20000	0,05	9,4
13	15	20000	0,05	10,4
22	15	20000	0,05	11,0
25	15	23000	0,05	11,1
1	15	18000	0,05	13,2
14	20	20000	0,1	18,2
10	15	18000	0,05	24,5
8	20	23000	0,1	24,7

Ensaio	C (%)	r (rpm)	Q (ml/s)	m (g)
27	25	23000	0,15	14,31
24	25	20000	0,15	10,44
23	20	20000	0,1	8,11
26	20	23000	0,1	6,98
21	25	18000	0,1	4,73
22	15	20000	0,05	4,33
12	25	18000	0,1	4,01
2	20	18000	0,1	3,91
20	20	18000	0,1	3,83

Fonte: Os autores.

## 4 Conclusão

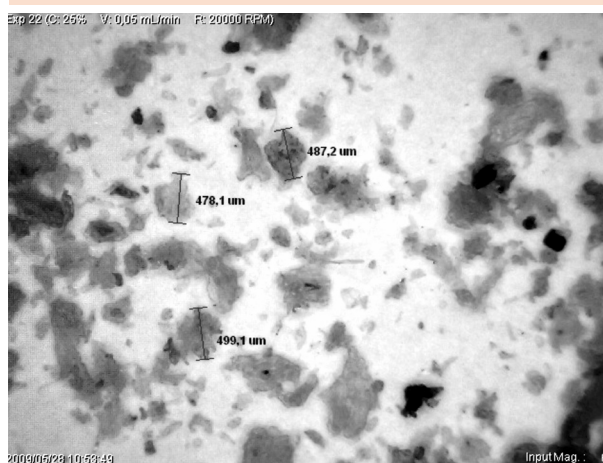
Os ensaios em que se obtiveram os menores valores de umidade relativa apresentaram as menores massas. Por sua vez, os ensaios em que se encontram os maiores valores de massa, a umidade relativa registrou-se nos maiores patamares. Cabe ressaltar que na aplicação industrial o objetivo é a obtenção de um produto com baixa umidade relativa, entretanto, não se pode desconsiderar a questão da produção.

Na Tabela 3, dentre a terça parte com as menores umidades relativas, o ensaio 22 foi aquele que apresentou a maior quantidade de massa (4,33 g), sendo que a umidade relativa registrou apenas 11,0 %. A partir desse ensaio, foi realizada uma análise microscópica, sendo que o tamanho dos grânulos não excedeu 500  $\mu\text{m}$ , como pode ser observado na Figura 6.

A partir dos 27 ensaios realizados na unidade piloto de *spray dryer* rotativo, concluiu-se que a secagem da biomassa da banana verde é viável tecnicamente, sendo que o ensaio 22 foi o mais adequado em termos de umidade relativa e de massa.

## Referências

- BETE Fog Nozzle, Inc. *Spray dry manual*. Disponível em: <http://www.bete.com>. Acesso em: 08/09/2009.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. *Princípios das Operações Unitárias*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.
- MASTERS, K. *Spray Drying Handbook*. 4th. ed. London: George Godwin, 1985.



**Figura 6: Micrografia de grânulos da biomassa da banana verde seca em *spray dryer* (ampliado em 50 vezes)**

Fonte: Os autores.

NIRO, Inc. *Spray Drying*. Disponível em: <http://www.niroinc.com>. Acesso em: 08/08/2008.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. *Manual de Engenharia Química*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1980.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

ZANDONADI, Renata R. *Massa de banana verde: uma alternativa para exclusão do glúten*. 2009. 74f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde), Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília – UnB, Brasília.

Recebido em 17 dez. 2009 / aprovado em 27 jul. 2010

### Para referenciar este texto

OI, R. K.; TAMBOURGI, E. B.; MORAES JR, D. de. Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* rotativo. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2010.





# Partição da lipase de *Burkholderia cepacia* em sistema bifásico aquoso PEG 4000/fosfato

*Lipase partitioning from Burkholderia cepacia by aqueous two phase system PEG4000/phosphate*

Giovana da Silva Padilha

Doutora em Engenharia Química  
Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos e  
Informática – Unicamp

Campinas – SP [Brasil]

giovana\_padilha@yahoo.com.br

Ranulfo Monte Alegre

Doutor em Engenharia de Alimentos  
Departamento de Engenharia de Alimentos – Unicamp  
Campinas – SP [Brasil]  
ranulfo@fea.unicamp.br

Elias Basile Tambourgi

Doutor em Engenharia Química  
Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos e  
Informática – Unicamp  
Campinas – SP [Brasil]  
eliastam@feq.unicamp.br

Este trabalho teve como objetivo mostrar como purificar a lipase de *Burkholderia cepacia* com o uso do sistema bifásico aquoso (SBA) PEG4000/fosfato. Esse sistema é baseado no equilíbrio do polietileno glicol e sal fosfato. Um planejamento fatorial  $2^2$  foi usado para avaliar o efeito do pH (6, 7 e 8) e linhas de amarração (concentração de equilíbrio entre o PEG e sal fosfato) no coeficiente de partição. O volume total do sistema foi de 7 mL. A lipase foi obtida a partir de meio com óleo de soja por fermentação usando a cepa de *Burkholderia cepacia*. A combinação dos melhores dados otimizados de coeficiente de partição apresentou o SBA PEG 4000/fosfato a pH 8 como o melhor sistema a ser utilizado na purificação da lipase.

**Palavras-chave:** *Burkholderia cepacia*. Lipase. Sistema bifásico aquoso.

This work aimed to show how to purify the lipase from *Burkholderia cepacia* by PEG 4000/phosphate aqueous two phase system (ATPS). This system is based on the equilibrium of the polyethylene glycol (PEG) and phosphate salts. A factorial design  $2^2$  was used to evaluate the effect of pH (6, 7 and 8) and tie lines (PEG and phosphate salt equilibrium concentrations) on the partition coefficient. Total volume systems were of about 7 mL. Lipase was obtained from medium containing soy oil by fermentation using *Burkholderia cepacia* yeast. The combination of the best data optimized partition presented pH 8 of ATPS PEG 4000/phosphate as the best system for being utilized in the purification of lipase.

**Key words:** Aqueous two phase system. *Burkholderia cepacia*. Lipase.

## 1 Introdução

Técnicas de isolamento e purificação de biomoléculas têm apresentado acentuado crescimento nos últimos anos. Métodos convencionais muitas vezes não são adequados para separar produtos de origem biológica, por isso novos sistemas de separação estão sendo estudados e desenvolvidos. Uma das técnicas que possuem bom rendimento na separação da biomolécula, sem interferir em sua atividade e com boa viabilidade econômica, é a partição em sistemas bifásicos aquosos (SBA) de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos (PESSOA e KILIKIAN, 2005; DIAMOND e HSU, 1992). Os SBAs podem ser formados por soluções aquosas de dois polímeros hidrofílicos ou por soluções aquosas de um polímero e um sal. Entre os sistemas bifásicos aquosos mais estudados em partição aquosa, destaca-se o formado por PEG/dextrana, que apresenta, no entanto, o grande inconveniente do elevado custo da dextrana. Para combater a falta de competitividade econômica dos SBAs constituídos por PEG e dextrana tem-se recorrido aos SBAs PEG/sal. Sistemas formados por PEG e sal são empregados por apresentarem rápida separação de fases, baixo custo e elevada seletividade na separação de moléculas com base na solubilidade (PESSOA e KILIKIAN, 2005; ALBERTSSON, 1971). Embora existam diversos sais que formem duas fases com o PEG, o sal fosfato de potássio é utilizado por apresentar alto coeficiente de partição de biomoléculas em relação a outros sais, tais como o NaCl e o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, além de ser uma boa alternativa de baixo custo aos processos convencionais (PEG/dextrana) (ALBERTSSON, 1971).

Os SBAs polímero/polímero ou polímero/sal oferecem ambientes físico-químicos apropriados para as biomoléculas, apresentando baixas diferenças de potencial, tensão superficial em torno de 10<sup>-7</sup> N/m, contendo 80 a 90% em massa de água em suas fases (DIAMOND e HSU, 1992). Entre as

diversas biomoléculas a serem particionadas por SBA, encontram-se as lipases.

As lipases (triglicerol acil-hidrolases E.C. 3.1.1.3) são enzimas que hidrolisam ligações ésteres de triacilgliceróis. Em razão do desenvolvimento de tecnologias baseadas no uso destas enzimas para a síntese de novos compostos, a tecnologia das lipases está em constante expansão. A aplicação das lipases tem sido cada vez mais promissora no processamento de formulações de detergentes, modificações de óleos e gorduras, nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos e laticínios. Também podem ser usadas na catálise de algumas reações de interesterificação, como alcoólise e acidólise, e como catalisadoras nas reações de esterificação e transesterificação (PENCREAC'H e BARRATI, 1996; SHARMA et al., 2002; SINGH e BANERJEE, 2007).

As lipases são encontradas em diversos organismos, incluindo animais, plantas, fungos e bactérias. Dentre os microrganismos produtores de lipase, destacam-se fungos dos gêneros *Rhizopus*, *Aspergillus* e *Mucor*, bactérias do gênero *Pseudomonas* (*Burkholderia*) e leveduras do gênero *Candida* (KORDEL et al., 1991). O rápido crescimento celular, em relação aos fungos, é uma das vantagens das fontes bacterianas como produtoras destas enzimas, além de serem consideradas de alto potencial biotecnológico em razão da estabilidade em elevadas temperaturas e em solventes orgânicos. Dependendo da fonte, as lipases podem ter massa molecular variando entre 20 a 75 kDa, atividade ótima em pH na faixa entre 6 a 8 e em temperaturas entre 30 e 40°C (BEISSON et al., 2000; BORGSTRÖM e BROCKMAN, 1984; KORDEL et al., 1991; PASTORE et al., 2003).

Pastore e colaboradores (2003) obtiveram lipases de *Rizopus sp* após fermentação em meio contendo azeite de oliva. Depois, estas enzimas foram purificadas usando fracionamento com sulfato de amônio e cromatografia em resina

SEPHADEX, o fator de purificação ficou próximo de 5 e a recuperação da atividade ficou abaixo dos 3%. Sharma e colaboradores (2002) purificaram uma lipase de *Bacillus sp.* A purificação se deu em cinco etapas: centrifugação, precipitação com sulfato de amônio, diálise, cromatografia de troca iônica e filtração em gel. Após a última etapa alcançou-se um fator de purificação acima de 200, embora a recuperação da atividade enzimática tenha sido inferior aos 20%. Outras técnicas empregadas na purificação de lipases são citadas por Saxena e colaboradores (2003), como, por exemplo: dois processos usados para obtê-las de *C. viscosum* por meio do uso de micelas reversas de AOT/iso-octano tendo uma recuperação da atividade em 91% e fator de purificação de 4,3; e outro com o emprego de cromatografia usando Amberlite CG e Shefadex com recuperação da atividade de 2,8% e fator de purificação de 23; ou ainda de *B. Streamthermofilus* por cromatografia com CM-Sefarose e DEAE-Sefarose, obtendo uma recuperação da atividade enzimática de 62,2% e fator de purificação de 11,6. Padilha e colaboradores (2009) purificaram a lipase de *Pseudomonas cepacia* usando cromatografia de troca iônica por adsorção em leito expandido. Para o grau de expansão 1,5 vezes a altura do leito fixo, os autores recuperaram a atividade enzimática em 102,45%, com fator de purificação próximo a 80.

Neste trabalho foi feito estudo de otimização de purificação da lipase, a partir de planejamento fatorial, utilizando o pH e o comprimento da linha de amarração como fatores que influenciam no coeficiente de partição no sistema bifásico aquoso (SBA) PEG 4000/fosfato. Embora diversas técnicas sejam empregadas na purificação dessas enzimas, dados acerca de etapas de recuperação da lipase de *Burkholderia cepacia* usando sistemas bifásicos aquosos PEG/fosfato de potássio ainda não foram encontrados na literatura.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Materiais

**Microrganismo:** Foi utilizada a cepa de *Burkholderia cepacia*, obtida da Fundação André Tosello, mantida em tubos de ensaio a 4°C, no ágar nutriente.

**Reagentes:** todos os reagentes utilizados foram de grau de pureza analítico. Acetona, álcool etílico, fosfato monobásico de sódio, fosfato dibásico de sódio, fosfato monobásico de potássio, fosfato dibásico de potássio, hidróxido de sódio, sulfato de magnésio e o polietileno glicol com massa molecular de 1500 foram adquiridos pela Synth (Diadema, SP). A goma arábica, ágar-ágar, extrato de levedura e peptona bacteriológica foram obtidos da Oxoid (Londres, UK). Foram obtidos no comércio local os óleos de soja (Liza) e azeite de oliva (Gallo) com acidez máxima declarada pelos fabricantes de 0,3% e 0,5%, respectivamente. A albumina de soro bovino (BSA) com 98% de grau de pureza foi adquirida da Sigma (EUA).

### 2.2 Métodos

**Preparo do inóculo e sistema fermentativo:** O inóculo foi transferido dos tubos de ensaio para Erlenmeyers de 125 mL contendo extrato de levedura (3g/L), peptona (3g/L),  $K_2PO_4$  (4g/L) e  $MgSO_4$  (0,2g/L) e 3% (v/v) de óleo de soja. A adaptação do microrganismo foi realizada durante 48h a 30°C e 150 rpm. Após adaptação do microrganismo, o inóculo foi transferido para biorreator tipo Bioflo III (com volume útil de 5000mL contendo 3000mL de meio). O ar foi fornecido por compressor, esterilizado por filtro de lã de vidro e a vazão foi controlada por meio de rotâmetros. O meio de cultivo estudado por Castiglioni e Monte Alegre (2007) apresentou as mesmas concentrações preparadas para o inóculo, porém com 6% (v/v) de óleo de soja para induzir a produção da lipase. A fermentação foi conduzida a 30°C,

pH 7, aeração de 1,5vvm e agitação de 150rpm durante 96h.

**Obtenção do extrato enzimático:** Após as 96h de fermentação, o meio foi coletado e centrifugado em temperatura ambiente durante 10min a 2683g. Os sobrenadantes foram utilizados como extrato enzimático, uma vez que a *Burkholderia cepacia* produz lipase extracelular (Kordel et al., 1991).

**Determinação do teor de proteínas:** Para determinação da concentração de proteínas no extrato enzimático foi usada a metodologia descrita por Bradford (1976), tendo como padrão a albumina de soro bovino.

**Obtenção do coeficiente de partição da lipase:** Visando a redução da quantidade de experimentos a serem realizados e uma melhor avaliação dos resultados obtidos, foi utilizado um planejamento fatorial  $2^2$  com pontos centrais, no qual foram investigados a influência do pH (6, 7 e 8) e do comprimento da linha de amarração (concentrações do equilíbrio PEG/fosfato) sobre o coeficiente de partição da lipase. Cada fator foi variado em três níveis para o planejamento pelo método do ponto central (+1, 0, -1), com triplicata nos pontos centrais, totalizando 7 ensaios. Para cada ensaio, os pontos das linhas de amarração (Padilha et al., 2007) foram reproduzidos em tubos graduados com volume total do sistema de 7 mL. A estes tubos foi adicionado o extrato fermentado que continha a lipase. Assim que o equilíbrio difusivo foi atingido (entre 12 e 24 horas), coletou-se 1 mL de amostra de cada fase. A determinação da atividade e da concentração de proteínas totais nas fases inferior e superior foi determinada segundo a metodologia descrita por Macedo e colaboradores (1997) e por meio do método de Bradford (1976), respectivamente. A distribuição da biomolécula entre as fases do SBA foi caracterizada pelo coeficiente de partição (K), conforme a Equação 1.

$$K = \frac{C_s}{C_i} \quad (1)$$

Onde:  $C_s$  e  $C_i$  são as concentrações de equilíbrio nas fases superior e inferior, respectivamente.

Pela metodologia de análise de variância ANOVA, segundo Barros Neto e colaboradores (1995), foram analisadas a significância do modelo, o ajuste de dados, o cálculo das médias quadráticas, os erros puros de cada estimativa de parâmetro, a correlação múltipla e as porcentagens de variáveis explicáveis para a partição da lipase. Modelos com os valores de K na forma logarítmica também foram testados.

### 3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta o resultado do planejamento fatorial  $2^2$  com os valores do coeficiente de partição (K) da atividade enzimática e proteína da lipase de *Burkholderia cepacia*.

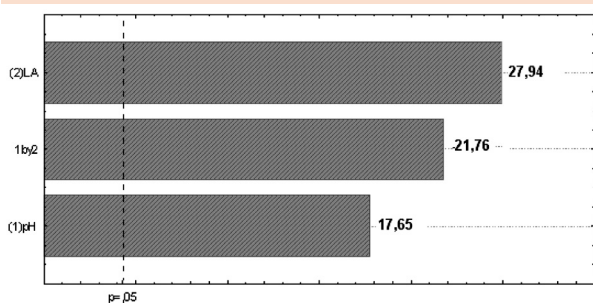
**Tabela 1: Resultados de partição (K) da lipase de *Burkholderia cepacia* por SBA PEG4000/fosfato**

Ensaio	$x_1$	$x_2$	pH	LA	$K_{atividade}$	$K_{proteína}$
1	-1	-1	6	1	0,050	0,020
2	1	-1	8	1	0,375	0,151
3	-1	1	6	3	0,541	0,007
4	1	1	8	3	0,441	0,191
5	0	0	7	2	0,194	0,025
6	0	0	7	2	0,180	0,031
7	0	0	7	2	0,176	0,034

Fonte: Os autores.

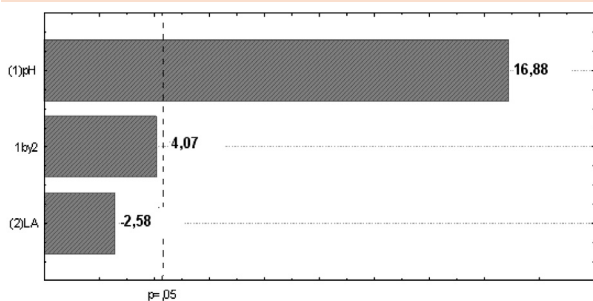
Para analisar as variáveis independentes, utilizou-se do diagrama de Pareto, que representa os efeitos estimados, em ordem decrescente de magnitude, das variáveis pH e comprimento da linha de amarração (LA) e suas interações das respostas linearizadas de atividade enzimática (Figura 1) e proteína (Figura 2) da lipase de *Burkholderia*

*cepacia*. Foram considerados significativos os termos cujos valores de *t* calculado (representado pelas barras horizontais no gráfico de Pareto) apresentam-se superiores ao valor de *t* tabelado = 4,30 (representado pela linha tracejada vertical do gráfico), para distribuição de Student, a 95% de confiança. Analisando a Figura 1, os fatores pH e comprimento da linha de amarração, bem como a interação entre eles são estatisticamente significativos, onde observa-se que o pH e LA apresentaram efeitos positivos, ou seja, usando os maiores níveis é possível aumentar o coeficiente de partição. Entretanto, na Figura 2 o comprimento da linha de amarração não foi fator significativo para a partição da proteína da lipase de *Burkholderia cepacia*, mas o pH apresentou efeito positivo no coeficiente de partição.



**Figura 1: Estimativa dos efeitos por meio do gráfico de Pareto - variável resposta do coeficiente de partição (*K*) da atividade enzimática da lipase de *Burkholderia cepacia***

Fonte: Os autores.



**Figura 2: Estimativa dos efeitos por meio do gráfico de Pareto - variável resposta do coeficiente de partição (*K*) da proteína da lipase de *Burkholderia cepacia***

Fonte: Os autores.

As influências do pH e comprimento da linha de amarração sobre o coeficiente de partição da atividade enzimática e proteína da lipase de *Burkholderia cepacia* foram verificadas por meio da análise de variância (ANOVA) (Tabela 2). Com esses dados pode-se obter a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste *F* para o planejamento estudado. A análise de variância (ANOVA) mostrou que o modelo ajustado para a proteína foi significativo, satisfazendo o critério sugerido por Barros Neto e colaboradores (1995), visto que a razão  $MQ_R/MQ_r$  (*F* calculado) foi maior que o valor tabelado de  $F_{0,95;3,3}$  (9,28) e a razão  $MQ_{faj}/MQ_{ep}$  foi menor do que o valor de  $F_{0,95;1,2}$  (18,51). No entanto, ao analisar o modelo para a atividade enzimática, notou-se que a razão  $MQ_{faj}/MQ_{ep}$  não foi significativa (*F* calculado superior ao *F* tabelado), embora o valor da razão  $MQ_R/MQ_r$  foi de 17,43. Comparado com  $F_{0,95;3,3} = 9,28$ , este valor indica uma regressão significativa e também útil para fins preditivos. Em ambos os casos, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,9460 e 0,9578, indicando que o modelo explicou aproximadamente 96% da variação dos dados observados da atividade da enzima e proteína, respectivamente. Nesse caso, o modelo pode ser utilizado para descrever o comportamento do coeficiente de partição (*K*) sobre a influência do pH e da linha de amarração na recuperação da lipase de *Burkholderia cepacia* em SBA PEG 4000/fosfato.

Os modelos codificados propostos para representar a linearização da partição da atividade enzimática e proteína da lipase foram ajustados por meio de regressão em função dos fatores pH e comprimento da linha de amarração (LA), conforme as Equações 2 e 3. Os modelos mostraram uma dependência linear dos coeficientes de partição para o pH e o comprimento da linha de amarração do SBA PEG 4000/fosfato, conforme descrito pelo modelo de Albertsson (1971).

**Tabela 2: Resultados da ANOVA para a variável partição da enzima e proteína da lipase de *Burkholderia cepacia***

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	R2
<b>Partição da atividade da lipase de <i>Burkholderia cepacia</i></b>						
Regressão	3,66	3	1,22	17,43	9,28	94,60
Resíduo	0,21	3	0,07	-	-	
Falta de ajuste	0,20	1	0,20	20,00	18,51	
Erro Puro	0,01	2	0,01	-	-	
Total	3,87	6	-	-	-	
<b>Partição da proteína da lipase de <i>Burkholderia cepacia</i></b>						
Regressão	7,67	3	2,57	23,36	9,28	95,78
Resíduo	0,34	3	0,11	-	-	
Falta de ajuste	0,29	1	0,29	9,67	18,51	
Erro Puro	0,05	2	0,03	-	-	
Total	8,01	6	-	-	-	

Fonte: os autores

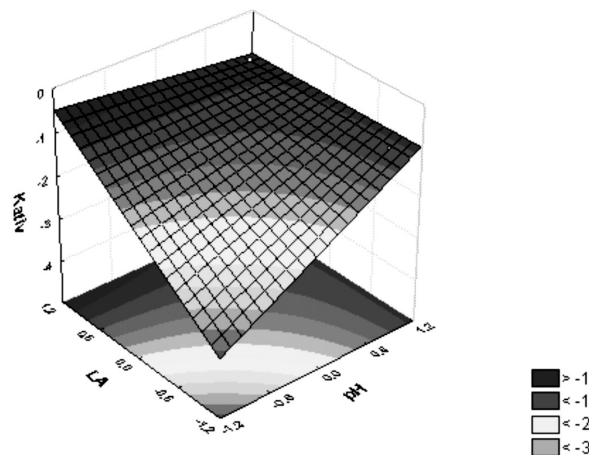
$$\ln K_{ativ} = 1,50 + 0,45 \cdot pH + 0,63 \cdot LA - 0,55 \cdot pH \cdot LA$$

(2)

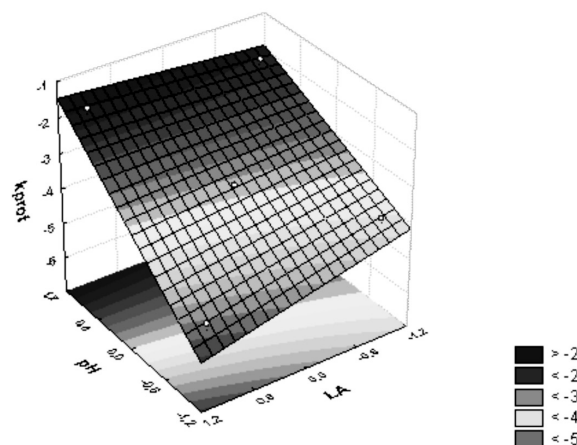
$$\ln K_{ativ} = -3,28 + 1,33 \cdot pH - 0,20 \cdot LA - 0,32 \cdot pH \cdot LA$$

(3)

Por meio do software STATISTICA versão 8.0 foi possível gerar as superfícies-resposta da partição da atividade enzimática (Figura 3) e proteína (Figura 4) da lipase de *Burkholderia cepacia* por SBA PEG 4000/fosfato. Na Figura 1 observa-se que maiores valores de  $K$  foram obtidos quando os valores de pH e o comprimento da linha de amarração foram aumentados, ou seja, a melhor condição de partição dessas enzimas é no pH 8 e na última linha de amarração. Na Figura 2, os maiores valores de  $K$  foram obtidos quando também se aumentaram os valores de pH, mas não houve uma dependência do comprimento da linha de amarração, pois se mantiver o pH em sua região de máximo não será observada uma maior variação da partição ao deslocarmos da região de maiores valores para a de menores valores da linha de amarração.

**Figura 3: Superfície-resposta na avaliação do pH e comprimento da linha de amarração (LA) no coeficiente de partição da atividade enzimática ( $K_{ativ}$ ) da lipase de *Burkholderia cepacia***

Fonte: Os autores.

**Figura 4: Superfície-resposta na avaliação do pH e comprimento da linha de amarração (LA) no coeficiente de partição da proteína ( $K_{prot}$ ) da lipase de *Burkholderia cepacia***

Fonte: Os autores.

## Conclusões

Por meio da otimização das respostas do coeficiente de partição da lipase de *Burkholderia cepacia* em SBA PEG 4000/fosfato foi possível verificar a influência do pH e da linha de amar-

ração. A otimização RSM apresentou um modelo com as respostas linearizadas da atividade enzimática e proteína que indicou a região de maiores pHs como sendo aquela onde se obtém os valores máximos do coeficiente de partição ( $K$ ). Os resultados indicaram que o melhor sistema a ser utilizado na recuperação da lipase é a última linha de amarração do SBA PEG 4000/fosfato a pH 8.

## Referências

- ALBERTSSON, P. A. *Partition of cell particles and macromolecules*, New York: Ed. John Wiley & Sons, 1971.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Planejamento e otimização de experimentos*, Campinas: Editora da Unicamp, 1995.
- BEISSON, F.; TISS, A.; RIVIÈRE, C.; VERGER, R. Methods for lipase detection and assay: a critical review. *European Journal Lipid Science Technology*, p. 133-153, 2000.
- BORGSTRÖM, B.; BROCKMAN, H. *Lipases*, New York: Ed. Elsevier, 1984.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, p. 248-254, 1976.
- CASTIGLIONI, G. L.; MONTE-ALEGRE, R. Produção simultânea de lipase e bioemulsificante por *Pseudomonas cepacia*. In: *6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*, Campinas – SP, 2007.
- DIAMOND, A. D.; HSU, J. T. Aqueous two phase systems for biomolecule separation. *Advances in Biochemistry Engineering*, v. 47, p. 89-135, 1992.
- KORDEL, M.; HOFMANN, B.; SCHOMBURG, D.; SCHMID, R. Extracellular lipase of *Pseudomonas sp* strain ATCC 21808: purification, characterization, crystallization and preliminary X-ray diffraction data. *Journal of Bacteriology*, v. 177, p. 4836-4841, 1991.
- MACEDO, G. A.; PARK, Y. K.; PASTORE, G. M. Partial purification and characterization of an extracellular lipase from a newly isolated strain of *Geotrichum sp.* *Journal Brazilian Society for Microbiology*, v. 28, p. 90-95, 1997.
- PADILHA, G. S.; FERREIRA, J. F.; ALEGRE, R. M.; TAMBOURGI, E. B. Diagrama de fases para utilização em sistema bifásico aquoso com diferentes massas molares de PEG e pHs. *Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros*, Campina Grande – PB, 2007.
- PADILHA, G. S.; CURVELO-SANTANA, J. C.; ALEGRE, M. R.; TAMBOURGI, E. B. Expanded bed adsorption of an alkaline lipase from *Pseudomonas cepacia*. *Journal of Chromatography B*, v. 877, p. 521-526, 2009.
- PASTORE, G. M.; COSTA, V. S. R.; KOBLITZ, M. G. B. Purificação parcial e caracterização bioquímica de lipase extracelular produzida por nova linhagem de *Rhizopus sp.* *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, p. 135-140, 2003.
- PENCREAC'H, G.; BARRATI, J. C. Hydrolysis of p-nitrophenyl palmitate in n-heptane by the *Pseudomonas cepacia* lipase: a simple test for the determination of lipase activity in organic media. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 18, p. 417-422, 1996.
- PESSOA JR., A.; KILIKIAN, B. V. *Purificação de produtos biotecnológicos*, Barueri: Ed. Manole, 2005.
- SAXENA, R. K.; SHEORAN, A.; GIRI, B.; DAVIDSON, W. S. Purification strategies for microbial lipases. *Journal of Microbiological Methods*, v. 52, p. 1-18, 2003.
- SHARMA, R.; SONI, S. K.; VOHRA, R. M.; GUPTA, L. K.; GUPTAS, J.K. Purification and characterisation of a thermostable alkaline lipase from a thermophilic *Bacillus sp.* RSJ-1. *Process Biochemistry*, v. 37, p. 1075-1084, 2002.
- SINGH, S.; BANERJEE, U.C. Purification and characterization of trans-3-(4-methoxyphenyl) glycidic acid methyl ester hydrolyzing lipase from *Pseudomonas aeruginosa*. *Process Biochemistry*, v. 42, p. 1063-1068, 2007.

Recebido em 7 jan. 2010 / aprovado em 20 ago. 2010

### Para referenciar este texto

PADILHA, G. da S.; ALEGRE, R. M.; TAMBOURG, E. B. Partição da lipase de *Burkholderia cepacia* em sistema bifásico aquoso PEG 4000/fosfato. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 193-199, 2010.





# Produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* em caldo de abacaxi (*Ananas comosus*) com óleo de girassol pós-fritura e aplicação na remoção de derivado do petróleo

*Biosurfactant production by Pseudomonas fluorescens in pineapple broth (Ananas comosus) with burned sunflower oil and application in removal of petrol derivative*

Roberto Albuquerque Lima

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais – Unicap  
Recife – PE [Brasil]  
roberto\_biologia@hotmail.com

Rosileide Fontenele da Silva Andrade

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais – Unicap  
Recife – PE [Brasil]  
rosileide\_fontenele@yahoo.com.br

Luiz Queiroz Santos

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais – Unicap  
Recife – PE [Brasil]  
lqdsantos@hotmail.com

Galba Maria Campos Takaki

Professor, doutor em Microbiologia – Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Católica de Pernambuco – Unicap  
takaki@unicap.br

Neste trabalho são apresentados resultados referentes à produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* em meio contendo caldo de abacaxi, suplementado com óleo de girassol pós-fritura (5 e 10%) por 72 horas, a 150 rpm e 37°C. Ao final da fermentação observou-se que o biossurfactante produzido em ambas as concentrações de óleo de girassol (5 e 10%) foram capazes de reduzir a tensão superficial da água de 72,0 mN/m para 27,5 mN/m. Os índices de emulsificação dos biossurfactantes produzidos corresponderam a 61,54 e 50,00%, respectivamente, para 5 e 10% de suplementação com óleo de girassol (*in natura*), contudo, valores inferiores foram observados com n-hexadecano. Os resultados mais promissores foram observados para o biopolímero obtido com a suplementação de 5%, observando-se uma remoção de 75,4% do óleo queimado proveniente de processo de queima em motor contaminando o solo do semiárido de Pernambuco sugerindo alta eficiência e possível emprego nos processos de biorremediação.

**Palavras-chave:** Biossurfactante. Caldo de abacaxi. Óleo de girassol. *Pseudomonas fluorescens*.

In this study, biosurfactant production by *Pseudomonas fluorescens* in media containing pineapple juice, supplemented with burned sunflower oil (5:10%) for 72 hours at 150 rpm and 37° C are reported. At the end of fermentation, it was observed that the biosurfactant produced in both concentrations of sunflower oil (5 and 10%) were able to reduce the surface tension of water from 72.0 mN/m to 27.5 mN/m. The emulsification index of the biosurfactant produced corresponded to 61.54 and 50.00%, respectively, for 5 and 10% using sunflower oil (*in natura*), but lower values with n-hexadecane were observed. The most promising results were observed for biopolymer obtained with supplementation of 5%, noting a 75.4% removal of burned oil of burning process from motor contaminating the soil from the semiarid region of Pernambuco suggesting higher efficiency and possible use in bioremediation processes.

**Key words:** Biosurfactant. Pineapple broth. *Pseudomonas fluorescens*. Sunflower oil.

## 1 Introdução

O gênero *Pseudomonas* pertence à ordem Pseudomonadales, família Pseudomonadaceae, sendo um gênero bastante importante do ponto de vista clínico e ambiental (ANZAI et al., 2000). É uma bactéria em forma de bastonetes Gram-negativo isolados ou em cadeias curtas, móveis possuindo um ou vários flagelos polares monotríquios, são aeróbios facultativos e em alguns casos crescem anaerobicamente, quando usam o nitrato como acceptor de elétrons (HOLT, et al., 1994).

A *Pseudomonas fluorescens* está envolvida na conservação do ambiente, onde a degradação de compostos xenobióticos depende do metabolismo do carbono. A diversidade metabólica dá a esta bactéria uma grande habilidade de adaptação a vários ambientes, tais como solo e rizosfera (LATOURE, LEMANCEUA, 1997).

A poluição causada por hidrocarbonetos constitui séria preocupação ambiental e de saúde, merecendo maior investimento em tecnologias compatíveis para sua remediação. Os maiores problemas são os danos ambientais causados por derrames acidentais e descarga de petróleo ou de resíduos oleosos intencionalmente descartados (LAI et al., 2009).

Atualmente, as soluções mais frequentemente utilizadas para resolver problemas de derramamento de óleo compreendem a utilização de substâncias químicas dispersantes, coagulantes ou uso de redes de contenção de óleo. Contudo, essas práticas além de não serem muito eficientes, são de alto custo. Uma alternativa atraente é a biorremediação, que consiste na utilização de microrganismos, ou de seus produtos, capazes de degradar o petróleo e seus derivados. Geralmente, os microrganismos atacam os poluentes com o auxílio de biossurfactantes, por eles produzidos (ROCHA et al., 2006).

Os biossurfactantes são biomoléculas produzidas por microrganismos como bactérias e fungos com diversas aplicações industriais, particularmen-

te, atuando como umectantes, surfactantes, cosméticos, em preparações terapêuticas, no controle da poluição ambiental e na redução da tensão superficial (MULLIGAN, 2004). Estes compostos possuem vantagens especiais sobre surfactantes químicos, como baixa toxicidade, biodegradabilidade, produção a partir de substratos renováveis, capacidade de modificação estrutural por meio de engenharia genética ou técnicas bioquímicas e apresentam estabilidade química e térmica (valores extremos de pH e temperatura). Outra vantagem sobre a utilização dos biossurfactantes reside no fato de serem compostos que não são derivados de petróleo (SARUBBO et al., 2006; RUFINO et al., 2007).

Dentre os biossurfactantes, destacam-se os raminolipídeos, formados por uma ou duas moléculas de raminose, ligadas a uma ou duas moléculas de ácido  $\beta$ -hidroxidecanóico (DESAI, BANAT, 1997). Os raminolipídeos produzidos por *Pseudomonas* sp. possuem a capacidade de reduzir a tensão interfacial contra n-hexadecano para 1 mN/m e a tensão superficial da água para 25 a 30 mN/m, usando concentrações entre 10 e 200 mg.L<sup>-1</sup> (LANG, WAGNER, 1993). Além de reduzirem a tensão superficial, estabilizam emulsões e são geralmente atóxicos e biodegradáveis (BANAT et al., 2000).

A ampla aplicação de biossurfactantes em biorremediação é limitada pelo seu alto custo de produção. Do ponto de vista econômico, os biossurfactantes ainda não são capazes de competir com os surfactantes químicos em função, principalmente, de seu alto custo de produção, associado a processos ineficientes de recuperação e purificação (FOX, BALA, 2000; ROCHA et al., 2006). Contudo, o uso de substratos alternativos como resíduos agroindustriais, pode contribuir favoravelmente para a redução de custos, uma vez que o meio de cultivo representa aproximadamente 50 % do valor do produto final (MAKKAR; CAMEOTRA, 2000).

Todavia, o principal problema na utilização de resíduos em processos biotecnológicos está rela-

cionado à seleção de substrato, de modo que contenha um balanço correto de nutrientes, permitindo o desenvolvimento celular, como também, a produção de insumo de grande interesse (NITSCHKE; PASTORE, 2002).

Entre os substratos, os óleos vegetais extraídos de sementes de várias plantas por meio de processamentos industriais são refinados sem perder a cor, sabor, e odor originais (JORGE et al., 2005). Assim, a crescente utilização de óleos comestíveis para preparação de produtos fritos tem levado a um controle mais rigoroso dos óleos de fritura, uma vez que óleos e gorduras aquecidos e altamente oxidados podem apresentar substâncias potencialmente tóxicas. Entre os principais riscos à saúde envolvidos no consumo dessas substâncias pode-se citar a predisposição à arteriosclerose e a ação mutagênica ou carcinogênica (SANIBAL; FILHO, 2002).

Durante o processo de fritura, óleos e gorduras estão expostos à ação da umidade proveniente do alimento responsável pela alteração hidrolítica; o oxigênio do ar entra na massa de óleo por meio da superfície do recipiente possibilitando a alteração oxidativa e a elevada temperatura em que ocorre a operação, por volta de 180 °C, que provoca alteração térmica. Estes fatores contribuem para reduzir a qualidade do óleo e modificar sua estrutura, principalmente a composição em ácidos graxos, o que permite observar diferenças entre o grau de insaturação, indicando que o óleo de girassol contém maior concentração de ácidos graxos insaturados (89%).

A partir da composição de ácidos graxos, observaram-se diferenças entre o grau de insaturação dos óleos, indicando que o óleo de girassol contém maior concentração de ácidos graxos insaturados, apresentando 89% (JORGE et al., 2005) (Tabela 1).

O problema econômico da produção de biosurfactante pode ser significativamente reduzido por meio do uso de fontes alternativas de nutrientes, facilmente disponíveis e de baixo custo. Assim, o ananás (abacaxi), nome utilizado tanto

**Tabela 1: Características físicas e químicas orgânicas do óleo de girassol**

Parâmetros físicos e químicos	Óleo de girassol
Ácidos graxos livres (% em conteúdo de ácido oléico)	0,13
Índice de peróxidos (mcq/kg)	0,99
Índice de refração (40°C)	1,4679
Compostos polares totais (%)	3,10
<b>Composição em ácidos graxos (conteúdo em %)</b>	
Ácido Palmítico (C16:0)	6,66
Ácido Esteárico (C18:0)	4,32
Ácido Oléico (C18:n9)	21,09
Ácido Linoléico (C18:2n6)	67,78
Ácido Linolênico (C18:3n3)	0,15

Fonte: JORGE et al., 2005.

para a fruta como para a planta, pertence à família Bromeliaceae e gênero *Ananas* Mill. Esse gênero está vastamente distribuído nas regiões tropicais por intermédio da espécie *Ananas comosus*. O fruto é normalmente cilíndrico ou ligeiramente cônico, constituído por 100 a 200 pequenas bagas ou frutinhos fundidos entre si sobre o eixo central ou coração (GIACOMELLI; PY, 1981).

O abacaxi serve como matéria-prima para uma série de produtos, como geléias e compotas. Entretanto, nenhum desses recebe tanto destaque como o suco, alvo de grande número de trabalhos publicados, inclusive na literatura internacional. O fruto do abacaxizeiro destaca-se pelo alto valor energético, em razão de sua alta composição em açúcares, pela presença de sais minerais (cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio, cobre e iodo) e de vitaminas (C, A, B1, B2 e Niacina); contudo, o teor protéico e de gordura são inferiores a 0,5% (FRANCO, 1989).

No entanto, o fruto apresenta alto conteúdo em bromelina, a qual auxilia o processo de digestão. Trata-se da mistura de enzimas proteolíticas que em meio ácido, alcalino ou neutro, transforma as matérias albuminóides em proteoses ou peptona. A bromelina é encontrada no suco da fruta ou no talo da planta, ocorrendo em maior concentração no cilindro central do abacaxi (MEDINA, 1987). A bromelina tem diversos usos, todos baseados em sua

atividade proteolítica, como nas indústrias alimentícias e farmacêuticas. Pode-se mencionar sua utilização no amaciamento de carnes, na clarificação de cervejas, na fabricação de queijos, no preparo de alimentos infantis e dietéticos, no pré-tratamento de soja, no tratamento do couro, na indústria têxtil, no tratamento da lã e da seda, no tratamento de distúrbios digestivos, feridas e inflamações, preparo de colágeno hidrolisado etc. Esta enzima pode ser extraída de todas as partes do abacaxi, talos, coroa, polpa e folhas (CÉSAR, 2005) (Tabela 2).

**Tabela 2: Aminoácidos presentes na bromelina**

Aminoácidos	Polpa (mg/100g de amostra)
Asparagina	2,588
Glutamina	2,410
Serina	1,025
Glicina	869
Treonina	836
Alanina	1085
Arginina	905
Tirosina	938
Cisteína	727
Valina	909
Triptofano	604
Fenilalanina	720
Isoleucina	772
Leucina	1,068
Lisina	1,515
Prolina	1,456

Fonte: FREIMAN; SRUR, 1999.

As frutas e seus produtos são em geral alimentos ácidos, ou que podem ser acidificados para melhor conservação. A maior parte da microbiota contaminante reside na parte externa das frutas. O interior é praticamente estéril se não houver ruptura de continuidade por lesões na casca (ROSA; CARVALHO, 2000).

O objetivo do trabalho foi investigar a produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* em meio natural de baixo custo a partir da utilização do caldo de abacaxi e óleo de girassol pós-fritura como substrato, como também avaliar a eficiência do biopolímero na remoção do óleo queimado de motor em solo do semiárido de Pernambuco.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Materiais

**Microrganismo:** A linhagem de *Pseudomonas fluorescens* UCP (1514) foi obtida do banco de cultura Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais (NPCIAMB) da Universidade Católica de Pernambuco, a qual é cadastrada no World Federation Culture Collection-WFCC. A linhagem foi mantida em ágar nutritivo [(p/v) peptonona 5g, extrato de carne 3g, cloreto de sódio 1g, ágar 15g, água destilada 1000 mL], temperatura de 5°C, sendo repicada a cada 3 meses, para obtenção de cultura jovem.

**Matéria-prima:** O abacaxi (*Ananas comosus*) utilizado para o meio natural na produção de biossurfactante foi adquirido comercialmente. Primeiramente, retirou-se do abacaxi a coroa e a casca, em seguida foi obtido por liquidificação do pseudofruto [100 g/L água destilada] o caldo, em processador de alimentos. Subsequentemente, o caldo foi filtrado em papel de filtro com poros de 25 µm e diluído na proporção de 1:10 e esterilizados em autoclave a 121°C por 20 minutos.

**Substratos:** O substrato utilizado foi o óleo de girassol comercial, oriundo do descarte de estabelecimento comercial, utilizado em 10 processos de fritura.

### 2.2 Métodos

**Preparação do pré-inóculo:** A *Pseudomonas fluorescens* foi repicada em placas de Petri contendo o meio Ágar Nutritivo incubada a temperatura de 37°C por 24 horas a fim de se obter uma cultura jovem. Células de *Pseudomonas fluorescens* UCP (1514) foram transferidas para Erlenmeyer com 250 mL de capacidade contendo 50 mL de Caldo Nutritivo, mantidos sob agitação orbital de 150 rpm, a temperatura de 37 °C por um período de 24 horas correspondendo, ao final, a 10<sup>-8</sup> UFC/mL.

Produção de Biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens*: A produção de biossurfactante por *P. fluorescens* foi realizada em frascos de Erlenmeyer com 500 mL de capacidade contendo 150 mL do meio natural (suco de abacaxi), com ajustado para pH 6,0 com uma solução 1N de NaOH, posteriormente adicionado de 7,5 mL e 10,0 mL de óleo de girassol pós-fritura, correspondendo a 5% e 10%, respectivamente. Os frascos foram esterilizados em autoclave, em vapor fluente por 15 minutos, resfriados e adicionados de 7,5 mL do pré-inóculo (5%), crescidos em caldo nutriente na concentração de  $10^7$  UFC/mL. Os frascos foram mantidos sob agitação orbital de 150 rpm, por 72 horas, à temperatura de 37 °C. Após esse período, o líquido metabólico livre células foi obtido por centrifugação a 10.000 g, por 20 minutos, seguido de filtração em membrana Millipore de 0.22µm. Em seguida, o líquido metabólico foi submetido à determinação do pH, índice de emulsificação, tensão superficial e o crescimento foi avaliado pela técnica de *pour plate*.

Crescimento celular: O crescimento celular foi avaliado pela técnica de *pour plate*, a partir de alíquotas de 0,1 mL, diluídas a  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$ , incorporadas ao meio Agar Nutriente. Em seguida, as placas foram incubadas em estufa a 37 °C, durante 48 horas para realização da contagem das colônias viáveis. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônias (UFC/mL).

## 2.3 Métodos Analíticos

Determinação do índice emulsificação: A determinação do índice de emulsificação foi realizada utilizando o líquido metabólico livre de células após 72 horas de fermentação, segundo o método de Cooper e Goldenberg (1987). Cerca de 2,0 mL do líquido metabólico livre de células a 1,0 mL de óleo de girassol *in natura* e do n-hexadecano em tubos graduados. A mistura foi agitada em vórtex por dois minutos na velocidade máxima. Os

tubos foram deixados em repouso por 24 horas e o índice de emulsificação foi calculado através da equação: índice da emulsão (%) $E_{24} = He \times 100 / Ht$ , onde He = altura da emulsão; Ht = altura total do líquido. O resultado obtido foi expresso em percentual.

Determinação da tensão superficial: A determinação da tensão superficial do líquido metabólico livre de células contendo o biossurfactante foi medida em tensiômetro automático (modelo Sigma 70-KSV Ltd., Finland) utilizando-se o anel de DU NUOY por meio de sua imersão no líquido, registrando-se a força requerida para puxá-lo por meio da interface ar-líquido, de acordo com Kuykina et al. (2001), expresso em mN/m em relação à tensão superficial da água.

Determinação do pH do meio de cultivo: O pH do meio de produção fermentado foi determinado utilizando-se um potenciômetro da marca Orion, modelo 310.

Aplicação do biossurfactante em solo do semiárido (PE) na remoção do óleo queimado de motor: Realizou-se o teste de biorremoção utilizando o biossurfactante presente no líquido metabólico livre de células, da melhor condição, em solo coletado do semiárido de Pernambuco (Tabela 3, composição do solo), contaminado com óleo queimado de motor de acordo com a metodologia de Nitschke e Pastore (2002).

**Tabela 3: Caracterizações física e química do semiárido de PE**

Parâmetros	Resultados
pH	4,45
Ca <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,95
Mg <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,25
K <sup>+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,02
Al <sup>3+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	0,75
P (cmg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	17,72
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,22
CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,97
Areia (g kg <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	537
Silte (g kg <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	33,7
Argila(g kg <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	429,3

Fonte: OLIVEIRA et al., 2007.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* em meio natural utilizando óleo de girassol pós-fritura como substrato

Os produtos agroindustriais vêm sendo amplamente empregados na produção de biossurfactantes, considerando que é interessante sob o ponto de vista da preservação ambiental e que a maioria dos surfactantes comercializados são derivados do petróleo. Nesse sentido, a busca de biossurfactantes está associada aos rápidos avanços na biotecnologia e às contaminações ambientais, levando a mudanças nas legislações e o interesse na substituição dos surfactantes químicos derivados do petróleo (BANAT et al., 2000).

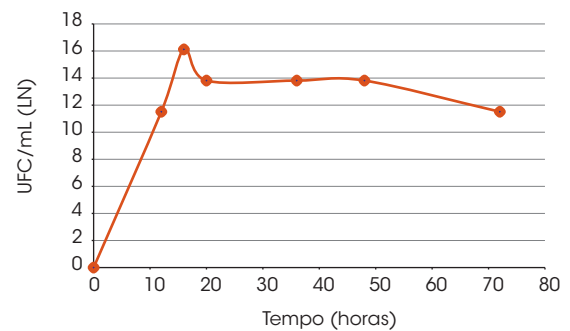
Portanto, esta investigação foi realizada considerando a grande habilidade biotecnológica de *P. fluorescens* em crescer em diferentes substratos. Assim, foi investigada a produção de biossurfactante em um meio utilizando substrato agroindustrial, caldo de abacaxi suplementado com 5% do óleo de girassol pós-fritura observando-se a produção de um potente tensoativo com significativa redução da tensão superficial da água de 72 mN/m para 27,5 mN/m. Observou-se ainda que o aumento da concentração do óleo de girassol para 10% não causa interferência na redução da tensão, permanecendo o mesmo valor de tensão superficial (27,5mN/m) (Tabela 4).

**Tabela 4: Surfactantes, microrganismos produtores e tensão superficial**

Biossurfactante	Microrganismo produtor	Tensão Superficial (mN/m)
*Raminolipídeo	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	27,5
Serrawettina	<i>Serratia marcescens</i>	27,2
Surfactina	<i>Bacillus subtilis</i>	25,1
Triton X-100	Sistema químico	32,7
Tween 80	Sistema químico	43,7

Fonte: LAY et al., 2009.

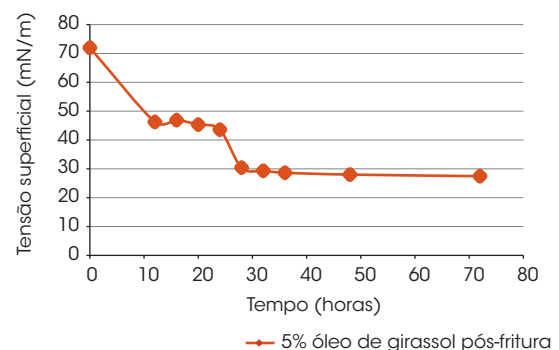
Os resultados obtidos demonstram um excelente crescimento de *P. fluorescens* no meio alternativo a base de caldo de abacaxi, suplementado com 5% de óleo de girassol (pós-fritura), sendo observado desenvolvimento máximo com 16 horas de cultivo, seguido de uma fase estacionária que se prolongou até 72 horas, quando ocorreu a produção de biossurfactante (Figura 1).



**Figura 1: Curva de crescimento de *P. fluorescens* em meio caldo de abacaxi suplementado com 5% do óleo de girassol pós-fritura após 72 horas de cultivos**

Fonte: Os autores.

A utilização do petróleo como substrato na produção de biossurfactante por *P. fluorescens* foi demonstrada por Silva et al. (2009), utilizado na concentração de 4%, havendo redução da tensão superficial de 70 mN/m para 30,04 mN/m (Figura 2).



**Figura 2: Cinética de produção de biossurfactante demonstrada através da redução da tensão superficial do líquido metabólico livre de células de *P. fluorescens* crescida em 5% do óleo de girassol pós-fritura durante 72 horas**

Fonte: Os autores.

Os resultados referentes à produção do biossurfactante, quando comparados com os obtidos por Silva et al. (2009), demonstram maior habilidade de *P. fluorescens* em produzir o biopolímero em meio natural (caldo de abacaxi suplementado com 5% do óleo de girassol pós-fritura) havendo maior redução da tensão superficial. Desta forma, os resultados obtidos contribuem na formulação de um novo meio de baixo custo para produção de biossurfactante.

Os dados obtidos estão de acordo com os da literatura por relatarem a utilização de microrganismos como assimiladores de petróleo e derivados, em processos de biorremediação, causados por derrames acidentais de petróleo ou de resíduos oleosos (LAY et al., 2009).

Neste contexto, *P. fluorescens* apresenta excelente capacidade de reduzir a tensão superficial e produzir biossurfactante em meio de baixo custo composto por substrato hidrofílico (óleo de girassol pós-fritura) utilizado, provavelmente, pelo microrganismo como fonte de carbono.

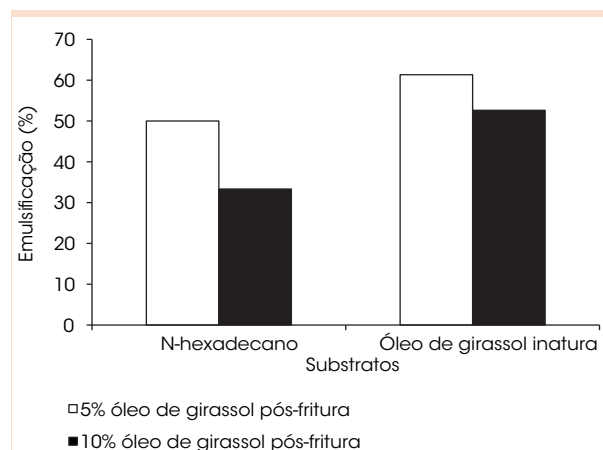
Estes resultados estão de acordo com os obtidos na literatura comprovando a habilidade de *P. fluorescens* de utilizar vários substratos hidrofóbicos na produção do biopolímero (SILVA, et al., 2009). Além do consumo do substrato hidrofóbico, *P. fluorescens* foi capaz de utilizar os nutrientes hidrofílicos, como fontes de nitrogênio, presentes no meio de produção, havendo um equilíbrio ideal das fontes de carbono e hidrogênio, em pH neutro, essenciais para produção do metabólito secundário (ABOUSEOUD et al., 2008).

Luna et al. (2008), encontraram resultados similares na produção de agentes surfactantes por *Candida sphaerica* em meio de baixo custo constituído por água do mar, milhocina e resíduos industriais obtendo a máxima redução de 27 mN/m.

Verificou-se ainda, que o biossurfactante produzido apresenta excelente propriedade emulsificante quando utilizado o óleo de girassol *in natura* como substrato hidrofóbico, produzindo

61,54% de emulsificação, contudo quando utilizado o n-hexadecano observou-se apenas 50% de emulsificação.

Os resultados obtidos apresentados na Figura 3 estão de acordo com os relatados pela literatura, em que *P. fluorescens* é indicada como microrganismo com habilidade de degradar hidrocarbonetos derivados do petróleo, como o n-hexadecano, óleos vegetais e óleo cru (ABOUSEOUD et al., 2008).



**Figura 3: Resultado do índice de emulsificação utilizando n-hexadecano e óleo de girassol *in natura* como substrato em meio de produção contendo 5% e 10% de óleo de pós-fritura**

Fonte: Os autores.

Segundo Silva et al. (2009), *P. fluorescens* apresentou capacidade de emulsificar hidrocarbonetos do petróleo durante o processo de degradação do substrato.

### 3.2 Influência do óleo de girassol no meio de produção

Segundo Jorge et al. (2005), o óleo de girassol apresenta em sua composição 89% de ácidos graxos insaturados. Neste contexto, comprovaram que quanto maior for a porcentagem de ácidos graxos insaturados no óleo maior será a sua alteração durante o processo de fritura.

Para produção de biossurfactante por *P. fluorescens* foram testadas diferentes concentrações

do óleo de girassol pós-fritura (5% e 10%), com o objetivo de investigar os efeitos produzidos pelos componentes do substrato no meio de produção.

Nascimento et al. (2001) comentaram que o óleo já queimado pela fritura produz acroleína na decomposição de glicerol, substância considerada altamente tóxica que pode vir a prejudicar o metabolismo microbiano como um todo. Entretanto, observou-se que o meio contendo o suco de abacaxi com 5% do óleo de girassol pós-fritura foi propício ao desenvolvimento havendo resistência por *P. fluorescens* a algumas substâncias tóxicas, como a acroleína, indicando a possível degradação desta substância pelo microrganismo, necessária para produção do biossurfactante.

### 3.3 Composição bioquímica do meio de cultivo selecionado

O meio de cultivo selecionado com significativa produção de biossurfactante é composto pelo suco de abacaxi adicionado de 5% do óleo de girassol pós-fritura, apresentando em sua composição glicídios, proteínas, aminoácidos e alguns sais minerais como fósforo, potássio, cálcio e ferro (Tabela 5).

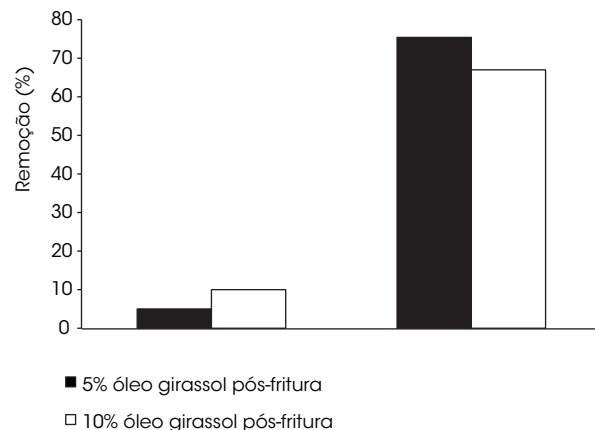
**Tabela 5: Composição bioquímica do caldo de abacaxi**

Componentes	Quantidade (por 100 gramas)
Proteínas	0,40g
Carboidratos	13,7g
Lipídios	0,20g
Fibras	0,95 mg
Calorias	52 kcal
<b>Minerais</b>	
Cálcio	18,00 mg
Fósforo	8,0 mg
Ferro	0,50 mg
<b>Vitaminas</b>	
Niacina	0,82 mg
Riboflavina	128,00 mcg
Tiamina	80,00 mcg
Ac. Ascórbico	27,20 mcg
Retinol	5,00 mcg

Fonte: FRANCO, 1989.

### 3.4. Aplicação do biossurfactante produzido por *P. fluorescens* para realização da remoção de óleo queimado de motor contaminando o solo

A biorremediação utilizando o tratamento com líquido metabólico livre de células contendo o biossurfactante removeu 75,4% do óleo motor queimado presente no solo. Ao aumentar a concentração do óleo motor queimado (10%) observou-se que o biossurfactante presente no líquido metabólico livre de células conseguiu remover 67% do óleo motor queimado. Em estudos realizados por Cameotra e Makkar (1998), o biossurfactante produzido por *Pseudomonas aeruginosa* foi capaz de remover 56% do óleo adsorvido em areia contida em coluna (Figura 4).



**Figura 4: Remoção de óleo queimado de motor pelo biossurfactante produzido por *Pseudomonas fluorescens* nas concentrações de 5% e 10% do óleo de girassol pós-fritura**

Fonte: Os autores.

Portanto, os estudos realizados demonstraram a influência de meios naturais, como o caldo de abacaxi suplementado com óleo de girassol pós-fritura, como excelentes fontes de carbono e nitrogênio no meio de produção. Além disso, as fontes principais carbono (óleo pós-fritura) e nitrogênio (caldo de abacaxi), como também outros micronutrientes demonstraram ser parâmetros importantes



na produção de biossurfactante por *P. fluorescens*. E ainda, observou-se que a produção do biossurfactante não foi influenciada pela concentração do substrato empregado. Assim, inúmeras alternativas devem ser objeto de novos estudos, inclusive relacionado suplementação com fontes hidrofílicas de carbono, além de outras fontes hidrofóbicas.

Pesquisas realizadas por Guimarães (2005) demonstraram que as leveduras dependem de fontes de carbono para seu crescimento e obtenção de energia, sendo os carboidratos os nutrientes de maior importância. O carbono pode ser fornecido aos microrganismos na forma de carboidratos, aldeídos, glicerina ou etanol. A fonte de carbono determina o tipo e as propriedades dos biossurfactantes, enquanto a fonte de nitrogênio influencia diretamente no crescimento celular (FONTES et al., 2008). Entretanto, neste trabalho utilizou-se o óleo de girassol pós-fritura, rico em ácidos graxos, na concentração de 5%, que foi suficiente para produzir um potente tensoativo. Portanto, esses resultados são corroborados pela literatura que relata que os hidrocarbonetos do petróleo são altamente hidrofóbicos, propiciando a produção de agentes surfactantes com baixa tensão superficial (SILVA et al., 2009). Além disso, o biossurfactante apresentou grande habilidade de remoção de poluentes hidrofóbicos, sendo estas informações apoiadas pela literatura (SILVA et al., 2009; SILVA et al. 2010).

## 4 Conclusões

Os resultados obtidos propõem a formulação de um meio alternativo e de baixo custo, tendo como base o caldo de abacaxi, como também o reaproveitamento do óleo de girassol pós-fritura para a produção de biossurfactante. Um agente tensoativo com menor redução da tensão superficial e da habilidade de emulsificação obteve-se com o óleo de girassol pós-fritura (5%), demonstrando o

potencial promissor de *P. fluorescens* na produção do biossurfactante. Além disso, o biossurfactante produzido demonstrou ser eficiente na remoção do óleo queimado de motor contaminando o solo do semiárido, sugerindo sua utilização em processos de biorremediação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FACEPE, CAPES, CNPq e UNICAP na realização da pesquisa e das bolsas dos mestrandos.

## Referências

- ABOUSEOUD, M.; MAACHI, R.; AMRANE, A.; BOUDERGUA, A. Nabi Evaluation of different carbon and nitrogen sources in production of biosurfactant by *Pseudomonas fluorescens*. *Desalination*, v.223, p.143-151, 2008.
- ANZAI, Y; KIM, H.; WAKABAYASHI, H.; OYAIZU, H. Phylogenetic affiliation of the pseudomonads based on 16S rRNA sequence. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 50, p.1563-1589, 2000.
- BANAT, I. M.; MAKKAR R. S.; CAMEOTRA S. S. Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, v. 53, p.495-508, 2000.
- CAMEOTRA, S. S.; MAKKAR, R. S. Synthesis of biosurfactants in extreme conditions. *Applied Microbiology Biotechnology*, v.50, p.520-529, 1998.
- CÉSAR, A. C. W. *Análise de viabilidade econômica de um processo de extração e purificação da bromelina do abacaxi*. 2005, 98p. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 2005.
- COOPER, D. G; GOLDENBERG, B. G. Surface-Active Agents from Two *Bacillus* Species. *Appl Environ Microbiol.*, v. 53, p.224-229, 1987.
- DESAI, J. D.; BANAT, I. M. Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Microbiology and Molecular Biology Review*, v. 61, p.47-64, 1997.
- FONTES, G.C.F; AMARAL, P.F.F; COELHO, M.A.C. Produção de biossurfactante por levedura. *Química Nova*, v. 31, n. 8, 2008.
- FOX, S. L.; BALA, G. A. Production of surfactant from *Bacillus subtilis* ATCC 21332 using potato substrates. *Bioresource Technology*, v. 75, p.235-240, 2000.

- FRANCO, G. *Tabela de composição química dos alimentos*. 8.ed. Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, p.230, 1989.
- FREIMAM, L. O.; SRUR, A. U. O. S. Determinação de proteína total e escore de aminoácidos de bromelinas extraídas dos resíduos do abacaxizeiro (*Ananas comosus*, (L.) Merril). *Ciência e tecnologia de alimentos*, v 19, p.270-273, 1999.
- GIACOMELLI, E. J.; PY, C. *Abacaxi no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, p.101, 1981.
- GUIMARÃES, T. M. Isolamento, identificação e seleção de cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para elaboração de vinho. [Mestrado] Programa de Pós Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Paraná, 101 p, 2005
- HOLT, J. G., KRIEG, N. R.; SNEATH, P. H.; STALEY, J. T.; WILLIAMS, S.T. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th ed. Williams e Wilkins, Baltimore (USA), 130p, 1994.
- JORGE, N.; SOARES, B. B. P.; LUNARDI, V. M.; MALACRIDA, C. R. Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. *Química. Nova*. v. 28, n. 6, p.947-951. 2005.
- KUYUKINA, M. S.; IVSHINA, I. B.; PHILP, J. C.; CHRISTOFI, N.; DUMBAR, S. A.; RITCHKOV, M. I. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl tertiary-butyl ether extraction. *Journal of Microbiological Methods*, v. 46, p.109-120, 2001.
- LANG, S.; WAGNER, F. Bioconversion of Oil and Sugar to Glycolipids. In: Kosaric, N. *Biosurfactants: production, properties, applications*, New York; Ed. Marcel Dekker. p.205-227, 1993.
- LAI, C. C.; HUANG Y. C.; WEY, Y. H.; CHANG, J. S. Biosurfactant-enhanced removal of total petroleum hydrocarbons from contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, v.167, p. 609-614, 2009.
- LATOUR, X.; LEMANCEAU, P. Carbon and energy metabolism of oxidase-positive saprophytic fluorescent *Pseudomonas* spp. *Agronomie*, v. 17, p. 9-10, 1997.
- LUNA, J. M.; RUFINO, R. D.; SARUBBO, L. A.; CAMPOS-TAKAKI, G. M. Produção de biossurfactante em meio de baixo custo formulado com água do mar. *Exacta*, v. 6, n. 2, p. 209-215, 2008.
- MAKKAR, R. S.; CAMEOTRA, S. S. Biosurfactant production by microorganisms on unconventional carbon sources. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 2, p.237-241, 1999.
- MEDINA, J. L.; BLEINROTH, E. W.; MARTIN, Z. J.; TOCCHINI, R. P.; SOLER, M. P. *Abacaxi: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos*. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p.285, 1987.
- MULLIGAN, C. N. Environmental applications for biosurfactants. *Environmental Pollution*, v.133, p.183-198, 2004.
- NASCIMENTO, M. G; COSTA, P. N.; MAZZUCCO, L. M. Biotransformação de óleos e gorduras. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, n.19, Brasília, 2001, p.28-31.
- NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. *Química Nova*, v. 25, p.772-776, 2002.
- OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FERNANDES, M. B. Níveis Críticos de Enxofre em Solos de Pernambuco. *Revista Caatinga* (Mossoró, Brasil), v.20, n.3, p.93-103, 2007.
- ROCHA, M. V. P.; OLIVEIRA, A. H. S.; SOUZA M. C. M.; GONÇALVES, L. R. B. Natural cashew apple juice as fermentation medium for biosurfactant production by *Acinetobacter calcoaceticus*. *World Journal Microbiology Biotechnology*, v. 22, p. 1295-1299, 2006.
- ROSA, O. O.; CARVALHO, E. P. Características microbiológicas de frutos e hortaliças minimamente processados. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.34, n.2,p.84-92, 2000.
- RUFINO, R. D.; SARUBBO, L. A.; CAMPOS-TAKAKI, G. M. Enhancement of Stability of biosurfactant produced by *Candida lipolytica* using industrial residue as substrate. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 23, n 05, p.729-734. 2007.
- SANIBAL, E. A. A.; FILHO, J. M. Alterações Físicas, Químicas e Nutricionais de Óleos Submetidos ao Processo de Fritura. *Foods Ingred*, v. 18, p.64, 2002.
- SARUBBO, L. A.; LUNA, J. M.; CAMPOS-TAKAKI, G. M. Production and stability of the bioemulsifier obtained from a new of *Candida glabrata* UCP 1002. *Eletron. J. Biotechnol.*, v .9, p.400-40, 2006.
- SILVA, T. A. L.; ARAUJO, H. W. C.; TAMBOURGI, E. B; SILVA, A. A. A.; CAMPOS- TAKAKI, G. M. Potencial biotecnológico de uma nova linhagem de *Pseudomonas fluorescens* na produção de biossurfactante utilizando petróleo como substrato. *Exacta*, v 7, n.1, p.31-37, 2009.
- SILVA, T. A. L.; LUNA, J. M.; MORAIS FILHO, M. A.; TAMBOURGI, E. B; SILVA, A. A. A.; CAMPOS-TAKAKI, G. M. Produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* UCP 1514 utilizando milhocina como substrato. *Exacta*, v 8, n.1, p.19-26, 2010.

Recebido em 14 abr. 2010 / aprovado em 24 jul. 2010

#### Para referenciar este texto

LIMA, R. A. et al. Produção de biossurfactante por *Pseudomonas fluorescens* em caldo de abacaxi (*Ananas comosus*) com óleo de girassol pós-fritura e aplicação na remoção de derivado do petróleo. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 201-210, 2010.

# Estudo comparativo de modelos estatísticos para redução da viscosidade em mistura de biodieseis de mamona e soja, usando uma metodologia de superfície de resposta

*Comparative study of statistical models for reduction of viscosity in blends of types of biodiesel of castor and soybean, using a methodology of surface reply*

Fernanda Mansani Silva Gomes

Mestre pelo Núcleo de Pós Graduação em Engenharia Química e Pesquisadora – UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
fernanda.mansani@gmail.br

Danielle Barbosa Matos

Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial do CNPq – Nível A – UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
daniellebarbosa2003@yahoo.com.br

Bárbara Meirelle de O. Correia

Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial do CNPq – Nível A – UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
barbarameirelle@hotmail.com

Gabriel Francisco da Silva

Doutor em Engenharia de Alimentos – Unicamp, Professor associado e bolsista em Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora DT II – UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
gabriel@ufs.br

Ana Eleonora Almeida Paixão

Doutora em Engenharia Química – Unicamp, Professora adjunta – UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
aepaixao@gmail.com

O biodiesel é um combustível oxigenado produzido a partir da transesterificação de triglicerídeos, presentes em óleos vegetais e gorduras animais. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis estabeleceu as propriedades a serem usadas para o controle de qualidade do biodiesel, dentre essas, destaca-se a viscosidade cinemática. Seu controle garante um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível. Este trabalho objetiva o estudo comparativo de modelos estatísticos para redução da viscosidade em misturas de biodieseis (mamona e soja), usando uma metodologia de superfície de resposta – RSM, baseada em planejamentos fatoriais. Na determinação da viscosidade, realizou-se um planejamento fatorial  $2^2$ , utilizando como limites de variação mínimos e máximos os seguintes parâmetros: temperaturas 30 °C e 50 °C e concentração do biodiesel de referência em relação à mistura 25% e 75%. Por meio da RSM foi possível prever o melhor caminho para se obter um biodiesel com menor viscosidade.

**Palavras-chaves:** Biodiesel. Superfície de resposta. Viscosidade.

Biodiesel is an oxygenated fuel produced from the transesterification of triglycerides present in vegetable oils and animal fats. The National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) set the properties to be used for quality control of biodiesel, among these there is the kinematic viscosity. Its control ensures proper operation of the injection systems and fuel pumps. This paper presents the comparative study of statistical models for viscosity reduction in mixtures of types of biodiesel (castor and soybean), using a response surface methodology – RSM, based on factorial designs. In determining the viscosity there was a  $2^2$  factorial design, using as limits of minimum and maximum range the following parameters: temperature 30 °C and 50 °C and concentration of biodiesel blend benchmark against 25% and 75%. Through the RSM, it was possible to predict the best way to get a biodiesel with lower viscosity.

**Key words:** Biodiesel. Response surface. Viscosity.

## 1 Introdução

Devido às constantes preocupações ambientais, o biodiesel é uma alternativa interessante como substituição dos combustíveis fósseis, pois seu uso contribui para a diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e hidrocarboneto aromático durante o processo de combustão (ABREU et al., 2004).

O biodiesel é um combustível oxigenado produzido a partir da transesterificação de triglicerídeos, presentes em óleos vegetais e gorduras animais. As propriedades do biodiesel são muito semelhantes às do diesel, porém apresentam uma alta viscosidade, tornando o seu uso *in natura* impraticável.

Diante dessa nova realidade, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP estabelece as propriedades a serem usadas para o controle de qualidade do biodiesel bem como suas especificações e métodos a serem utilizados. Das propriedades especificadas pela ANP, pode-se destacar a viscosidade cinemática, que também é uma propriedade fluidodinâmica e expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade (ASTM D445). O controle da viscosidade de um combustível visa a garantia de um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível.

De acordo com a Resolução ANP N° 07 de 19 de março de 2008, a viscosidade cinemática a 40°C foi limitada à faixa de 3,0 a 6,0 mm<sup>2</sup>/s, tornando-se necessário um aprofundamento sobre o estudo dessa propriedade.

O biodiesel de mamona possui uma alta viscosidade, por ser proveniente do óleo de mamona, constituído, em sua maioria, pelo ácido ricinoléico. Isto se deve à hidroxila presente na cadeia carbônica que induz à ligação de hidrogênio, ligação forte, intermolecular entre a hidroxila e o oxigênio da carbonila de outro ácido ou a intramolecular, que pode ocorrer na própria molécula entre a hidroxila e a sua carbonila (ANP).

O biodiesel de soja é constituído em sua maioria pelo ácido linoléico, que possui maior número de ácidos graxos insaturados, ocorrendo uma diminuição da viscosidade, pois há um enfraquecimento da força de dispersão entre as cadeias apolares em decorrência de uma menor área de contato e interações entre as moléculas (ANP).

O planejamento de experimentos é uma forma eficiente de eliminar várias fontes de variabilidade e identificá-las, assegurando que o experimento forneça informações precisas sobre as respostas de interesse. Em um planejamento experimental, a primeira etapa é determinar quais são os fatores e respostas de interesse para o sistema em estudo. É necessário que sejam definidos os objetivos do experimento, para que se escolha um planejamento adequado (MONTGOMERY, 2002).

BOX et al. (1978) definem a metodologia por superfície de resposta como um grupo de técnicas usadas no estudo empírico das relações entre uma ou mais respostas medidas com as variáveis de entrada que deram origem às respostas.

Também conhecida por RSM (Response Surface Methodology), esta metodologia é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida por Box na década de 1950, e que desde então tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BARROS NETO et al., 1995).

O presente trabalho consiste numa investigação do comportamento da viscosidade cinemática em misturas de biodieseis de mamona e soja, utilizando-se como ferramenta estatística a Metodologia de Superfície de Resposta (ou RSM).

## 2 Materiais e métodos

Viscosidade cinemática

## 2.1 Materiais

Biodiesel de Mamona

Biodiesel de Soja

## 2.2 Métodos

A viscosidade cinemática é determinada em aparelhos denominados viscosímetros. Neste trabalho foi utilizado um Viscosímetro Capilar da Schott-Gerate 150 (TYP 51313), KPG Cannon Fenske, com Banho Termostático.

O viscosímetro cinemático é constituído, basicamente, de um tubo capilar de vidro pelo qual escoo o fluido. O diâmetro deste tubo deve ser escolhido de acordo com a viscosidade; para cada tubo é fixado um fator constante “k” para determinar a viscosidade cinemática ( $\nu$ ). O tempo de escoamento ( $t$ ) é anotado quando da passagem do nível do fluido por dois traços de referência no tubo de vidro e calculado pela equação citada a seguir.

$$\nu = k \cdot t(\text{cSt ou mm}^2/\text{s}) \quad (1)$$

Onde:

$\nu$  = viscosidade cinemática, em cSt (centistokes) ou  $\text{mm}^2/\text{s}$

$K = 0,03306 \text{ mm}^2/\text{s}$ , para o referido viscosímetro;

$t$  = tempo de escoamento do fluido, em segundo.

## 2.3 Planejamento fatorial

O planejamento fatorial constitui uma ferramenta estatística para realização de estudos, sobre um determinado fenômeno, que possuam muitas variáveis, de maneira organizada e com objetivos bem planejados, reduzindo os experimentos a um número mínimo necessário. É usado para estudar como certos fatores influenciam uma determinada resposta, sendo de importância prática.

O planejamento fatorial possibilita também a constatação de quais variáveis são de maior importância para determinados resultados do processo, sua influência individual e as interações que todas as variáveis possuem entre si, concernente à resposta global do fenômeno. Quando rigorosamente aplicado, o método gera a possibilidade de avaliar os erros experimentais e de regressão, além da modelagem matemática empírica dos resultados em função das variáveis escolhidas, caracterizando assim o fenômeno (BOX, 1978).

Para avaliar se os modelos empíricos apresentam um grau de ajuste adequado aos dados experimentais é necessária uma análise estatística utilizando o coeficiente de correlação da regressão e o valor estimado para o teste F (BARROS NETO, 1995).

O teste F permite a comparação do valor estimado para F a partir dos dados experimentais com o valor tabelado para uma distribuição de referência.

## 2.4 Metodologia de superfície de resposta (RSM)

A Metodologia de Superfície de Resposta (ou RSM, de Response Surface Methodology), é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas usada para a modelagem e análise de problemas em que uma resposta de interesse é influenciada por várias variáveis, e o objetivo é otimizar esta resposta.

Esta metodologia tem duas etapas distintas – modelagem e deslocamento – que são repetidas o quanto for necessário, com o objetivo de atingir uma região ótima da superfície investigada. A modelagem normalmente é feita ajustando-se modelos simples (em geral, lineares ou quadráticos) a respostas obtidas com planejamentos fatoriais. O deslocamento se dá sempre ao longo do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é a trajetória na qual a respos-

ta varia de forma mais pronunciada (BARROS NETO, 1995). Diversos são os planejamentos que podem ser usados para montar a série de experimentos adicionais que possibilite o cálculo dos coeficientes. BOX & WILSON (1952), citados por KHURI e CORNELL (1987), criaram o chamado Planejamento Composto Central. Tal planejamento consiste de um fatorial completo  $2^k$ , replicatas no ponto central e dois pontos sobre o eixo de cada variável a uma distância  $\pm \alpha$  do ponto central.

ZANGIROLAMI (1992), apud BOX et al. (1978), indica que a avaliação estatística, a respeito dos modelos empíricos obtidos, que apresentam ou não um grau de ajuste adequado aos dados experimentais, pode ser feita utilizando-se o coeficiente de correlação e o teste F. Quanto mais próximo o coeficiente de correlação estiver de 1,0 (correlação perfeita), melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais.

O teste F de significância consiste em verificar se os modelos propostos explicam uma quantidade significativa da variação dos dados experimentais, realizada pela comparação do valor F estimado a partir dos resultados obtidos empregando a equação 2 com o tabelado para uma distribuição de referência  $F_{\alpha, p-1, N-p}$ . Para o modelo ser considerado válido, o valor de F calculado deve ser superior ao tabelado (BARROS NETO, 1995).

$$F = \frac{SQR/(p-1)}{SQE/(N-p)} \quad (2)$$

onde:

SQR = soma dos quadrados devido à regressão;

SQE = soma dos quadrados devido ao erro;

$p-1$  = graus de liberdade associado a SQR;

$N-p$  = graus de liberdade associado a SQE.

Os tratamentos estatísticos dos dados citados anteriormente, em conjunto recebem o nome de

análise de variância (ANOVA), onde serão estudados os seguintes dados:

$$F_{Rcal} = F \text{ calculado para Regressão} = F_{Rcal} = \frac{MQ_R}{MQ_r}$$

$MQ_R$  = Média Quadrática do Resíduo

$MQ_r$  = Média Quadrática da Regressão

$$F_{cal_{faj}} = F \text{ calculado para falta de ajuste} = \frac{MQ_{faj}}{MQ_{ep}}$$

$MQ_{faj}$  = Média Quadrática da falta de ajuste

$MQ_{ep}$  = Média Quadrática do erro puro

$F_{tab}_{(R,r)}$  = F tabelado para os graus de liberdade da regressão e do resíduo, respectivamente

$F_{tab}_{(faj,ep)}$  = F tabelado para os graus de liberdade da falta de ajuste e do erro puro

### 3 Resultados e discussões

Viscosidade cinemática utilizando a metodologia de superfície de resposta

#### 3.1 Modelo Linear

Inicialmente, foi realizado um planejamento com apenas um ponto central (valores médios nos intervalos investigados), onde são varridos três níveis de cada fator e não apenas dois, permitindo a verificação da existência ou não da falta de ajuste para um modelo linear que será obtido.

Para o preparo dos *blends* de biodieseis foi efetuado um planejamento fatorial  $2^2$ , o qual estuda o efeito da temperatura e da concentração do biodiesel de referência (biodiesel de mamona) em relação à mistura (biodieseis de mamona e soja) a ser utilizada.

A matriz de planejamento apresentada na Tabela 1, sobre a mistura de biodieseis de mamona e soja, possibilitou a elaboração de uma representação gráfica que é a superfície de resposta e o cálculo dos efeitos dos fatores manipulados sobre a resposta investigada.

$$x_1 = (T - 40)/10$$

$$x_2 = (C - 50)/25 \quad (3)$$

**Tabela 1: Matriz de planejamento para a mistura de biodieseis de mamona e soja**

Ensaio	T (°C)	C (%)	x1	x2	$\nu_m$ (mm <sup>2</sup> /s)
1	30	25	-1	-1	7,11
2	50	25	1	-1	4,4
3	30	75	-1	1	13,7
4	50	75	1	1	7,7
5	40	50	0	0	7,5

Onde:  
T = Temperatura  
C = Concentração  
Fonte: Os autores.

O efeito dos fatores manipulados sobre a resposta investigada, indica a magnitude de variação da resposta (em mm<sup>2</sup>/s) de acordo com a variação dos níveis (+ ou -) dos fatores, como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2: Efeitos dos fatores calculados para o planejamento fatorial 2<sup>2</sup> da Tabela 1**

Média global	8,23 ± 0,038528
<b>Efeitos principais</b>	
E <sub>1</sub>	-4,355 ± 0,108972
E <sub>2</sub>	4,945 ± 0,108972
<b>Efeito interação</b>	
E <sub>12</sub>	-1,645 ± 0,108972

Fonte: Os autores.

Analisando o teste t, têm-se a equação 4. Verifica-se que os valores absolutos dos efeitos, inclusive o de interação, são superiores a  $t_4 \times s(\text{efeito})$ , portanto, os mesmos são estatisticamente significativos, com 95% de confiança, na mistura analisada.

$$t_4 \times s(\text{efeito}) = 2,776 \times 0,108972 = 0,302506 \text{ mm}^2/\text{s} \quad (4)$$

Onde:

$t_4$  = t tabelado, com 95% de confiança  
s (efeito) = desvio padrão do efeito

Por meio do planejamento experimental, foi obtido o seguinte modelo linear, descrito pela equação 5.

$$y = 7,917 - 2,18x_1 + 2,473x_2 - 0,82 x_1x_2 \quad (5)$$

A análise de variância (Tabela 3) traz dados a respeito da significância estatística deste modelo linear.

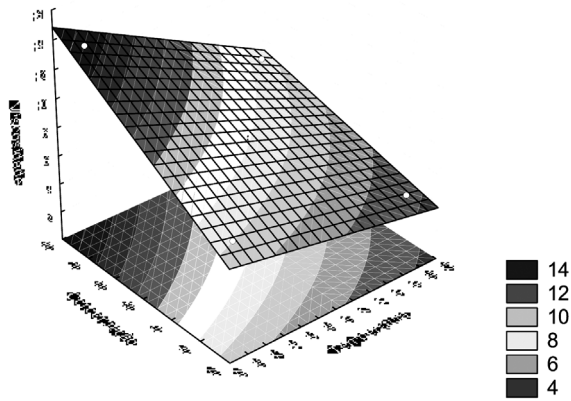
**Tabela 3: Análise da Variância (ANOVA) para a mistura de biodieseis de mamona e soja, considerando modelo linear**

Fonte de variação	Soma quadrática	Média quadrática	Graus de liberdade	F calculado
Regressão	46,1	15,4	3	51,053
Resíduo	0,9	0,3	3	
Falta de ajuste	0,9	0,9	1	402,436
Erro puro	0	0	2	
Total	47		6	

% variação explicada: 98,078895  
% máx. de variação explicável: 99,990502  
Fonte: Os autores.

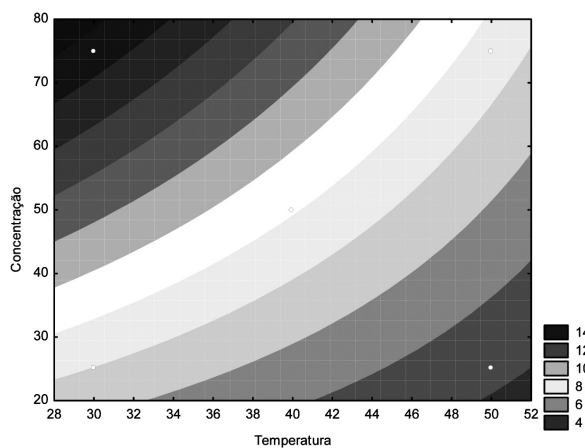
Como o  $F_{\text{Rcal}} = MQ_{\text{R}}/MQ_{\text{r}}$  deve ser maior do que o  $F_{\text{R}}$ , verifica-se que, comparando-se com  $F_{3,3} = 9,28$  (ao nível de 95%), esse valor indicaria uma regressão significativa, não fosse a evidência de falta de ajuste, devido ao alto valor de  $F_{\text{Faj}} = MQ_{\text{faj}}/MQ_{\text{ep}}$ , que é muito maior do que o  $F_{1,2} = 18,51$ .

A superfície de resposta e as curvas de nível (Figuras 1 e 2) para o modelo linear indicam que com o aumento da temperatura há uma redução da viscosidade, e com o aumento da concentração do biodiesel de mamona, a viscosidade tende a aumentar, sugerindo o melhor caminho para se obter uma mistura de biodiesel com menor viscosidade.



**Figura 1: Superfície de resposta para a mistura de biodieiseis de mamona e soja, considerando modelo linear**

Fonte: Os autores.



**Figura 2: Curvas de nível do plano descrito pela equação linear**

Fonte: Os autores.

Apesar da redução da viscosidade cinemática obtida com o auxílio do modelo linear, a falta de ajuste do modelo não pode ser desconsiderada. Sendo assim, partiu-se para um modelo quadrático.

### 3.2 Modelo Quadrático

Para isso é necessário que sejam considerados todos os pontos centrais e os pontos axiais, que caracteriza o planejamento em estrela.

**Tabela 4: Matriz do planejamento em estrela para a mistura de biodieiseis de mamona e soja**

Ensaio	T (°C)	C (%)	x1	x2	$\nu_m$ (mm <sup>2</sup> /s)
1	30	25	-1	-1	7,11
2	50	25	1	-1	4,40
3	30	75	-1	1	13,70
4	50	75	1	1	7,70
5	40	50	0	0	7,45
6	40	50	0	0	7,54
7	40	50	0	0	7,52
8	26	50	-1,41	0	9,88
9	40	85	0	1,41	11,73
10	54	50	1,41	0	5,22
11	40	15	0	-1,41	5,30

Fonte: Os autores.

A partir dos resultados do planejamento experimental, obteve-se o modelo quadrático, de acordo com a equação 6.

$$y = 7,503 - 1,916x_1 + 2,377 + 0,072x_1^2 + 0,557x_2^2 - 0,823 x_1x_2$$

(6)

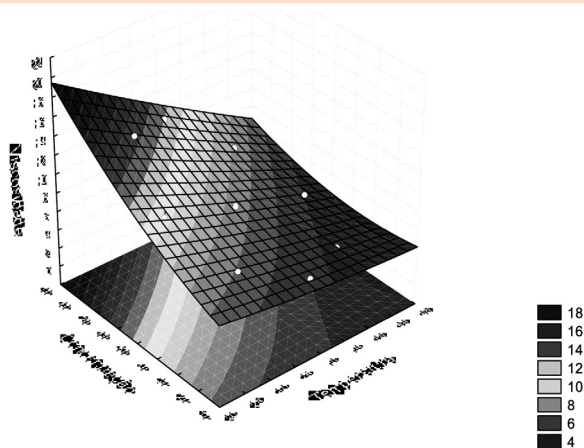
A superfície de resposta e as curvas de nível (Figuras 3 e 4) indicam que, com o aumento da temperatura, há uma redução da viscosidade, e, da mesma forma, com o aumento da concentração do biodiesel de mamona, a viscosidade tende a aumentar.

A análise de variância (Tabela 5) traz dados a respeito da significância estatística do modelo quadrático.

Como o  $F_{Rcal} = MQ_R/MQ_r$  deve ser maior do que o  $F_R$ , verifica-se que comparando-se com  $F_{5,5} = 5,05$  (ao nível de 95%), esse valor indicaria uma regressão significativa, não fosse a evidência de falta de ajuste, devido ao alto valor de  $F_{Fajcal} = MQ_{faj}/MQ_{ep}$ , que é muito maior do que o  $F_{3,2} = 19,16$ .

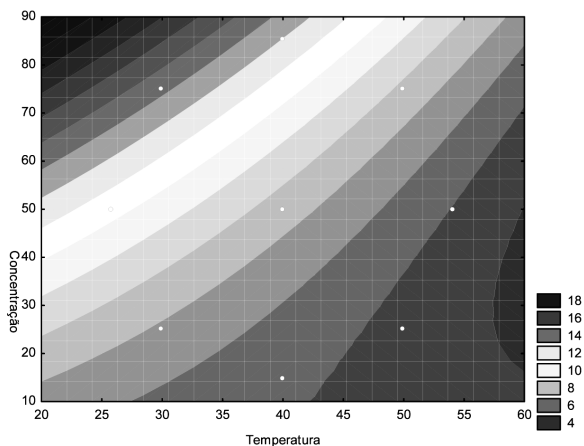
De acordo com a análise de variância, em relação à porcentagem de variação explicada, que consiste no quociente  $SQR/SQT$ , o modelo qua-





**Figura 3: Superfície de resposta para a mistura de biodieseis de mamona e soja, considerando modelo quadrático**

Fonte: Os autores.



**Figura 4: Curvas de nível do plano descrito pela equação quadrática**

Fonte: Os autores.

**Tabela 5: Análise de variância para a mistura de biodieseis de mamona e soja, considerando modelo quadrático**

Fonte de variação	Soma quadrática	Média quadrática	Graus de liberdade	F calculado
Regresão	78,8230	15,7650	5	112,435
Resíduo	0,7010	0,1402	5	
Falta de ajuste	0,6970	0,2322	3	103,968
Erro puro	0,0045	0,0045	2	
Total	79,5250		10	

% variação explicada: 99,11844

% máx. de variação explicável: 99,99438

Fonte: Os autores.

drático que apresentou 99,11844% de variação explicada está melhor ajustado às respostas em comparação ao modelo linear que apresentou, por sua vez, uma porcentagem de variação explicada de 98,078895%.

De acordo com a Resolução ANP N° 07 de 19 de março de 2008, que limita a viscosidade cinemática a 40°C, de 3,0 a 6,0 mm<sup>2</sup>/s, apenas o ensaio 11 mistura de biodieseis de 15% de mamona e 85% de soja à temperatura de 40°C, se enquadra nessa especificação.

## Conclusões

Foi de grande importância a elaboração do planejamento fatorial, pois se pode prever o procedimento experimental, servindo como base para o uso da Metodologia de Superfície de Resposta.

De acordo com a Resolução ANP N° 07 de 19.03.2008, que limita a viscosidade cinemática a 40°, de 3,0 a 6,0 mm<sup>2</sup>/s, apenas a mistura de biodieseis de mamona e soja, com 15% de biodiesel de mamona, se enquadra nessa especificação.

As misturas dos biodieseis de mamona e soja consagram-se como uma boa alternativa para a diminuição da viscosidade, porém deve-se utilizar uma pequena proporção do biodiesel de mamona.

O modelo quadrático se ajusta melhor às respostas obtidas experimentalmente (de acordo com a ANOVA), em relação ao modelo linear na mistura estudada.

## Referências

ABREU, F. R.; LIMA, D. G.; HAMÚ, E. H.; WOLF, C.; SUAREZ, P. A. Z. Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of Brazilian vegetable oils with different alcohols. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, v. 209, p. 29-33, 2004.

ANP, Agência de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução N° 07 de 19.03.2008.



ASTM D 445. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity). Annual Book of ASTM Standards, v. 05.01, p. 185-193, 2001.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos. Campinas: Editora da Unicamp, 299 p., 1995.

BOX, G. E. P.; WILSON, K. B.; *J. Roy. Statist. Soc., Ser. B* 1951, 13, 1.

BOX, G. *et al. Empirical model-building and response surfaces*. New York : John Wiley, 1978.

KHURI, A.I.; CORNELL, J.A. *Response surface: designs and analyses*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1987.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons. 2002.

ZANGIROLAMI, T. C. *Otimização da produção de xilitol a partir de xilose por Cândida parapsilosis através de análise por superfície de resposta*. Campinas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, FEA – Unicamp, 1992.

Recebido em 21 abr. 2010 / aprovado em 20 jul. 2010

**Para referenciar este texto**

GOMES, F. M. S. et al. Estudo comparativo de modelos estatísticos para redução da viscosidade em mistura de biodieseis de mamona e soja, usando uma metodologia de superfície de resposta. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 211-218, 2010.

# Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde

*Processing and evaluation of the stability of the green banana flour*

Joice C. Santos

Engenheira de Alimentos – Núcleo de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos – NUCTA/UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
joicecorreia@yahoo.com

Gabriel F. Silva

Doutor em Engenharia de Alimentos – Programa de Pós-  
Graduação em Ciência e Engenharia de Processos Químicos  
– PEQ/UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
gabriel@ufs.br

João A. B. Santos

Doutor em Engenharia de Processos – Maratá Sucos do  
Nordeste Ltda.  
Estância – SE [Brasil]  
jbsantos@bol.com.br

Antonio M. Oliveira Júnior

Doutor em Engenharia Química – Núcleo de Pós-Graduação  
em Ciência e Tecnologia de Alimentos – NUCTA/UFS  
São Cristóvão – SE [Brasil]  
amartins@ufs.br

O objetivo deste trabalho foi processar e avaliar a estabilidade da farinha de banana verde durante noventa dias de armazenamento a temperatura ambiente ( $\pm 26^{\circ}\text{C}$ ) como opção no aproveitamento do excedente de produção contribuindo com a minimização do desperdício. As amostras foram armazenadas em embalagens de polietileno tereftalato (PET), com capacidade 300g. Foram realizados dois tipos de avaliações: determinações físico-químicas (umidade, atividade de água, pH, acidez, proteína, lipídios, cinzas, carboidratos) e análises microbiológicas, no dia do processamento e durante todo o período de armazenamento, com intervalo de 30 dias. De acordo com os resultados obtidos, ocorreram alterações pouco significativas durante o armazenamento, sendo os teores acidez, atividade de água e umidade os parâmetros afetados significativamente.

**Palavras-chave:** Armazenamento. Atividade de água. Banana.

The objective of this work was to produce and evaluate the stability of green banana flour during 90 days of storage at  $26^{\circ}\text{C}$ , as an option in the use of surplus production contributes to the waste minimization. The samples had been stored in polyethylene terephthalate (PET) packing, capacity 300g. Two evaluations were performed: physical and chemical determinations (moisture, water activity, pH, acidity, proteins, lipids, ash and carbohydrates) and microbiological analyses, in the processing day and during the period of storage, with interval of 30 days. According to the results, few alterations occurred during the storage. The parameters that were significantly affected were acidity, water activity and moisture.

**Key words:** Banana. Storage. Water activity.

## 1 Introdução

A banana é uma das frutas mais consumidas do mundo e é cultivada na grande maioria dos países tropicais. A produção mundial foi cerca de 70 milhões de toneladas em 2007 (FAO, 2008). A banana é considerada principal fonte de alimentação e renda anual em muitos países. O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de banana, é também o que apresenta maior desperdício, em certas regiões chega-se a perder até 60% da produção, pois a fruta apresenta vida útil muito curta e precisa ser consumida rapidamente (IZIDORO, 2007).

A industrialização da banana pode representar uma opção no aproveitamento de excedentes de produção e de frutos fora dos padrões de qualidade para consumo *in natura*, embora sem o comprometimento da qualidade da polpa: a industrialização da banana também promove o aumento da vida-de-prateleira e agregação de valor ao produto (JESUS et al., 2005).

As propriedades funcionais do amido isolado da polpa de banana verde e da farinha da polpa de frutos verdes foram estudadas por Lobo e Lemos (2003), que verificou que a polpa seca, finamente moída, apresenta propriedades semelhantes às do amido isolado, surgindo desta forma a possibilidade de utilizar a banana na forma de farinha, o que permitiria o uso das frutas rejeitadas para a venda *in natura*.

Segundo Lewis et al. (1999), o fruto verde é rico em flavonóides, que atuam protegendo a mucosa gástrica. Aparicio-saguilán et al. (2007) mostraram que também no estágio verde os frutos apresentam amidos resistentes, que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis, o qual possui ação de fibras alimentares.

Segundo Zhang et al. (2005), o amido de banana verde tem um grande potencial, além

das propriedades digestivas e funcionais, tem aplicação no processamento de alimentos, o que torna a sua produção comercialmente viável.

O presente trabalho teve como objetivo produzir e avaliar a estabilidade da farinha de banana verde armazenada a temperatura ambiente por um período de 90 dias.

## 2 Materiais e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Sergipe (LTA/UFS), no período de setembro de 2009 a janeiro de 2010.

As bananas utilizadas foram do cultivar Prata (*Musa paradisiaca*) em estágio de maturação II (casca: verde com traços de amarelo) e proveniente do Ceasa da cidade de Aracaju-SE.

### 2.1 Processamento da banana verde

O processamento consistiu basicamente em: 1) recebimento da matéria-prima, pesagem e seleção segundo o grau de maturação e alterações visíveis; 2) despencamento e lavagem em água corrente; 3) imersão em água clorada (20 ppm) por 10 min; 4) dois tipos de tratamentos térmico a 45°C e a 75°C, por cinco minutos cada um; 5) descascamento manual e corte em rodelas de 5 mm de espessura em processador industrial; 6) tratamento com antioxidante por imersão em solução de ácido cítrico a 1% por 5 min; 7) secagem em secador de bandeja industrial a 40°C por aproximadamente 24 h; 8) trituração em moinho de martelos; 9) acondicionamento em embalagens de polietileno tereftalato (PET), capacidade 300g, e 10) armazenamento à temperatura ambiente ( $\pm 26^\circ\text{C}$ ) por 90 dias.

## 2.2 Análises físico-químicas e microbiológicas

O experimento envolveu quatro períodos de armazenamento denominados de F<sub>0</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, correspondendo a 0, 30, 60 e 90 dias respectivamente.

As determinações realizadas foram: atividade de água (Instrumental Aqualab CX-2); sólidos solúveis totais (°Brix) por leitura direta em refratômetro de bancada; pH (pHmetro digital microprocessado DEL LAB); acidez total titulável por titulação direta, expressa em % de ácido málico em 100g de polpa; lipídeos(AOAC 933.05), umidade(AOAC 934.06), proteína bruta (AOAC 992.23) e cinzas(AOAC 940.26) segundo AOAC(1992); carboidratos avaliados por diferença (proteínas, cinzas, lipídeos e umidade); análises microbiológicas: bolores e leveduras, coliformes totais e termotolerantes, segundo Vanderzant e Splittstosser (1992).

## 2.3 Análise estatística

Os resultados das caracterizações físico-químicas foram analisados através de análise de variância e teste de Tukey em nível de significância de 5% utilizando o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA e AZEVEDO, 2008).

## 3 Resultados e discussões

### 3.1 Rendimento da farinha de banana verde

O rendimento da farinha de banana verde obtida da polpa foi de 29,81%. Este rendimento foi inferior ao verificado por Fasolin et al. (2007), para a banana Canvendish anã, variedade Nanica, onde o rendimento foi de 33,97%. O rendimento foi calculado pela seguinte fórmula:

$$R = \frac{F}{P} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

R = rendimento(%)

F = quantidade de farinha obtida

P = quantidade de polpa de banana verde utilizada

### 3.2 Caracterização físico-química da matéria-prima

Os dados relativos à caracterização físico-química das bananas utilizadas na obtenção da farinha são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Características físico-químicas das bananas utilizadas nos experimentos**

Características	<i>in natura</i>
Umidade (%)	70,14 ± 0,88
Atividade de água	0,99 ± 0,00
Cinzas (%)	0,32 ± 0,15
Sólidos solúveis totais(°Brix)	14,00 ± 0,50
Acidez total titulável (%)*	0,48 ± 0,08
pH	4,88 ± 0,03
Lipídeos (%)	0,30 ± 0,14
Carboidratos (%)	27,48 ± 1,16
Proteínas (%)	1,87 ± 0,26

\*% de ácido málico em 100 g de polpa. Valores médios de três repetições ± desvio padrão

Fonte: Os autores.

Dentre os parâmetros físico-químicos mais utilizados para avaliação da qualidade pós-colheita da fruta *in natura* estão pH, acidez titulável, sólidos solúveis. Assim foi observado que os resultados pouco diferiram daqueles encontrados por Viviani e Leal (2007), ao estudarem as características da banana Prata durante armazenamento até que os frutos atingissem o estágio de maturação III.

### 3.3 Caracterização físico-química da farinha de banana verde armazenada

A caracterização físico-química da farinha de banana verde durante armazenamento esta apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2: Características físico-químicas das farinhas de banana**

Características	Período de Armazenamento			
	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
Umidade (%)	3,93 b ± 0,06	4,07 b ± 0,15	4,23 b ± 0,46	6,47 a ± 0,21
Atividade de água	0,14 d ± 0,01	0,19 c ± 0,01	0,24 b ± 0,01	0,34 a ± 0,01
Cinzas (%)	2,29 a ± 0,53	2,20 a ± 0,02	2,34 a ± 0,08	2,50 a ± 0,13
Acidez total titulável (%)	0,91 b ± 0,23	1,08 ab ± 0,08	1,08 ab ± 0,06	1,3 a ± 0,00
pH	5,20 a ± 0,04	5,17 a ± 0,01	5,12 a ± 0,02	5,52 a ± 0,40
Lipídeos (%)	0,60 a ± 0,07	0,69 a ± 0,09	0,68 a ± 0,25	0,70 a ± 0,07
Carboidratos (%)	88,24 b ± 0,49	89,69 a ± 0,29	87,93 b ± 0,02	87,02 c ± 0,12
Proteínas (%)	3,52 a ± 0,23	3,48 a ± 0,07	3,59 a ± 0,16	3,54 a ± 0,18

Letras iguais na mesma linha indicam não haver diferença significativa entre os resultados, para o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

Valores médios de três repetições ± desvio padrão.

Fonte: Os autores.

Os teores de umidade não diferiram ( $P < 0,01$ ) entre si, exceto para o período F<sub>3</sub>, que obteve a maior média. O teor de umidade final encontrado, de 6,47 %, se encontra dentro da faixa de valor estipulado pela Anvisa para farinhas, que é de 14% (BRASIL, 2005).

Os resultados mostraram que a atividade de água aumentou significativamente no decorrer do armazenamento, com variações significativas entre os valores iniciais e finais. Estes resultados estão abaixo dos valores das atividades de água (*aw*) para o desenvolvimento de bactérias (0,90), leveduras (0,8), fungos (0,6), bactérias halófilas (0,65) e levedura osmófilas (0,62). (FERREIRA NETO et al., 2005).

O aumento da umidade e da atividade de água pode ser atribuído ao tempo e às condições de umidade relativa e a temperatura do ambiente ao qual o alimento foi armazenado, interferindo na permeabilidade da embalagem e consequente-

mente permitindo a absorção de água durante o armazenamento (TEIXEIRA NETO et al. 2004).

As quantidades de minerais nas farinhas determinadas pela análise de cinzas não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) entre si. O teor de cinzas da farinha de banana foi semelhante ao encontrado por Fasolin et al. (2007) e Torres et al. (2005) e inferior ao encontrado por Moraes Neto et al. (1998).

Os valores de pH não apresentaram variação estatisticamente significativa entre o estado *in natura* ( $4,88 \pm 0,03$ ) e a farinha processada ( $5,25 \pm 0,53$ ), como vistos nas Tabelas 1 e 2.

Com relação à acidez total titulável, foi possível verificar uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) durante o armazenamento, apresentando uma pequena elevação da acidez. Segundo EL-DASH e MIRANDA (2002), as farinhas armazenadas por longo período tem sua acidez aumentada. Isso tem sido atribuído à ocorrência de vários fenômenos diferentes: hidrólise gradual de lipídios, produzindo ácidos graxos; hidrólise de proteínas, produzindo aminoácidos ou produtos intermediários da decomposição de proteínas.

Com relação ao parâmetro lipídios, não houve diferença significativa durante o período de armazenamento. O valor médio obtido foi de 0,66%, valor superior ao encontrado por Torres et al. (0,53%).

Os percentuais de carboidratos totais diferem significativamente ao nível de 1% de probabilidade entre os tempos. Os teores de carboidratos foram superiores ao encontrado por Daramola e Osanyinlusi (2006), os quais realizaram análises de farinha de seis variedades de banana verde, e encontraram valores de 80,20 a 86,05% de carboidratos, afirmando que as farinhas são boas fontes de energia alimentar e com características gelatinosas próprias de amido quando o alimento é processado.

Não houve diferença significativa quanto ao teor de proteína bruta. De acordo com Torres et al. (2005), o valor da proteína bruta para a fari-

na de banana verde é de 3,72%, valor este muito próximo à média encontrada 3,53%.

#### 4 Resultados das análises microbiológicas durante armazenamento

Durante o armazenamento, os resultados microbiológicos apresentaram valores para bolores e leveduras, < 10 UFC/g e coliformes totais e termotolerantes, < 3NMP/g. Estão, portanto, dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 2001).

Os resultados mostraram que a armazenagem durante noventa dias à temperatura ambiente não afetou o número de microrganismos, indicando que pode perfeitamente ser empregada para consumo humano e utilizada no processamento de produtos.

Ferreira Neto et al. (2004) avaliaram as condições microbiológicas de farinha de mandioca durante um período de 180 dias, armazenada à temperatura ambiente, em que os valores médios das contagens microbiológicas para as bactérias do grupo coliformes termotolerantes, antes e durante armazenamento (30, 60, 90, 120, 180 dias), resultaram todos em NMP/g igual a zero.

Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos (RIBEIRO e SERAVALI, 2004), daí o fato dos alimentos desidratados, como a farinha de banana, serem consideradas como microbiologicamente estáveis. Neste trabalho, as amostras em estudo apresentaram atividade de água na faixa de 0,14 a 0,34.

#### 5 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, ocorreram poucas alterações durante o armazenamento,

sendo os teores acidez, atividade de água e umidade, as características mais afetadas. A obtenção da farinha de banana verde apresentou um rendimento de 29,81% e o processamento aplicado à banana verde permitiu a obtenção de um produto com satisfatória estabilidade microbiológica. Este produto pode ser acrescentado na formulação de pães, biscoitos e bolos visando a obtenção de produtos funcionais.

#### Referências

- APARICIO-SAGUILÁN, A. A.; SÁYAGO-AYERDI, S. G.; VARGAS-TORRES, A.; TOVAR, J.; ASCENCIO-OTERO, T.E.; PEREZ, L. A. B. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.20, p. 175-181, 2007.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the AOAC. International. 10. ed. Washington, 1992. 1115 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução- RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil; Brasília, 10 jan. 2001.
- BRASIL. Resolução nº263, de 22 de setembro de 2005. Aprova regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 set. 2005.
- Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em 20 dez. 2008.
- DARAMOLA, B. & OSANYINLUSI, S. A. Production characterization and application of banana (*Musa spp*) in whole maize. *African Journal of Biotechnology*, v.5, p. 992-995, 2006.
- EL-DASH, A; MIRANDA de M. Z. Farinha integral de trigo germinado. Características Nutricionais e estabilidade ao armazenamento. *Cien. Tecnol. Alim.*, Campinas, v. 22, n. 3, p. 216-223, 2002.
- Food and Agriculture Organization the Units Nations. Cultivos bananos. Cantidad de producción. Rome. 2008. In: FAOSTAT- FAO statistical data bases. Cantidad de producción. Disponível em: < <http://faostat.fao.org> > . Acesso em 10-09-08.

- FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C.; CASTANHO, P. C.; NETTO-OLIVEIRA, E. R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. *Revista Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 27, n. 3, p. 787-792, 2007. FERREIRA NETO, C. J.; NASCIMENTO, E. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Microbiologia de farinhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) durante o armazenamento. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.2, p.551-555, 2004.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinha de mandioca temperada. *Revista Ciênc. Agrotec*, Lavras, v.29, n.4, p. 795-802, 2005.
- IZIDORO, D. R. *Polpa de banana verde: modificações e propriedades reológicas*. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2007.
- JESUS, S. C.; MATSUURA, F. C. A.; FOLLEGATTI, M. L. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 40, n.6, p. 573-579, 2005.
- LEWIS, D. A.; FILDS, W. N.; SHAW, G. P. A natural flavonoides present in unripe plantain banana pulp (*Musa sapientium*. L. var. *paradiisaca*) protects the gastric mucosa from aspirin induced erosion. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 65, p.283- 288, 1999.
- LOBO, A. R. & LEMOS, G. S. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. *Revista Nutrição*, Campinas, v. 16, n. 2, 2003.
- MORAES NETO, J. M.; CIRNE, L. E. M. R.; PEDROZA, J. P.; SILVA, M. G. Componentes químicos da farinha de banana (*Musa sp.*) obtida por meio de secagem natural. *Revista Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 316-318, 1998.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALI, E. A. G. *Química de Alimentos*. 1 ed. São Paulo: Editora Varela, 2004. 196 p.
- SILVA, F. A. S. & AZEVEDO, C. A. V. A New Version of The Assisat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais. Orlando: ASAE, 2006. p.393-396.
- TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A.; QUAST, D. G. *Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados*. 3. ed. Campinas: ITAL, 2004.
- TORRES, L. G.; EL-DASCH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.
- VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. F. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. 3. ed. Washington, DC.: APHA, p.325-369, 1992 .
- VIVIANI, L. & LEAL, P. M. Qualidade pós-colheita de banana prata anã armazenada sob diferentes condições. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal, v.29, n.3, p. 465-470, 2007.
- ZHANG, P.; WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; HAMAKER, B. R. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility. *Cabodrate Polimers*, West Lafayette, v. 59, p. 443-458, 2005.

Recebido em 14 jun. 2010 / aprovado em 20 jul. 2010

**Para referenciar este texto**

SANTOS, J. C. et al. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 219-224, 2010.



# Low-loss image compression techniques for cutting tool images: a comparative study of compression quality measures

*Técnicas de Compressão com Baixa Perda de Imagens de Ferramentas de Corte: um estudo comparativo de medidas de qualidade de compressão*

Fabio Henrique Pereira

Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – Uninove;  
São Paulo – SP [Brasil]  
fabiohp@uninove.br

Elesandro Baptista

Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – Uninove;  
São Paulo – SP [Brasil]  
elesandro@elesandroab.eng.br

Nivaldo Lemos Coppini

Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – Uninove;  
São Paulo – SP [Brasil]  
ncoppini@uninove.br

Rafael do Espírito Santo

Diretoria dos Cursos de Informática – Uninove;  
São Paulo – SP [Brasil]  
rafaelid@uol.com.br

Ademir João de Oliveira

Mestrando em Engenharia de Produção da Uninove;  
São Paulo – SP [Brasil]  
Ademir.oliveira@sandvik.com

This work accomplishes a comparative study between two distinct image compression techniques, namely the Lifting technique and the Principal Components Analysis (PCA), in order to determine what of these two approaches is more appropriate for cutting tool wear images analysis. Lifting and Principal Components Analysis were applied in original images of a cutting tool for producing a low resolution version, while keeping the more important details of the image. The low-loss image compression quality provided by these techniques was expressed in terms of the compression factor ( $\rho$ ), the Mean Square Error (MSE) and the Peak Signal-to-Noise Rate (PSNR) provided by the image compression process. The tests were accomplished using the high-performance language for technical computing MATLAB®, and the results shown that the PCA technique presented the best values of PSNR with low compression rates. However, with high values of compression rates the lifting technique gave the highest PSNR.

**Key words:** Cutting tool. Image compression. Lifting technique. Principal Components Analysis.

Este trabalho realiza um estudo comparativo entre duas diferentes técnicas de compressão de imagens, a técnica de Lifting e a Análise de Componentes Principais (PCA), visando determinar qual das duas abordagens é mais apropriada para a análise de imagens de ferramentas de corte desgastadas. As técnicas de Lifting e a PCA foram aplicadas em imagens de ferramentas de corte para produzir versões de baixa resolução, mantendo os detalhes mais importantes da imagem. A qualidade da compressão de baixa perda da imagem para ambas as técnicas foi expressa em termos do fator de compressão ( $\rho$ ), do Erro Quadrático Médio (MSE) e a Relação Sinal-Ruído de Pico (PSNR) gerado pelo processo de compressão. Os testes foram realizados usando a linguagem de computação numérica de alto desempenho MATLAB, e os resultados mostram que a técnica PCA apresenta os melhores valores de PSNR para baixas taxas de compressão. Entretanto, para altos valores de taxas de compressão a técnica de lifting produziu maiores valores de PSNR.

**Palavras-chave:** Análise de Componentes Principais. Compressão de imagens. Ferramenta de corte. Técnica de lifting.



## 1 Introduction

In recent years, the use of computer vision-based systems and artificial intelligence techniques as such, artificial neural network, to estimate tool's lifetime in metal cutting process has been aimed by many researches (ALAJMI et al., 2005; PATRA et al., 2007; CHAO and HWANG, 1997; ALAJMI and ALFARES, 2007; VOLKAN ATLI et al., 2006; GADELMAWLA et al., 2008; INOUE, KONISHI and IMAI, 2009; WANG et al., 2009). Usually, the lifetime is predicted by detecting visible – sometimes very small – degeneration in images of a cutting tool, which is supplied by a typical experiment in the turning process. In order to make visible small changes or degenerations in a cutting tool, this experiment tends to generate high-resolution images. Finding patterns in high-resolution images can be a hard and time consuming task to the most artificial neural network approaches (HAYKIN, 1999). So, in order to obtain relevant enhancement in patterns recognition performance, before using images as input cases in the neural network training processes, it is common to apply some low-loss image compression techniques.

In this context, wavelet decomposition is recognized as a powerful tool for image analysis and data compression. In fact, many works has shown how to use wavelets transform for creating data compression methods with great potential to compress large-scale, three-dimensional image data files, while keeping the most important information necessary to find patterns in the data (GRGEĆ et al., 2000; LO et al., 2003; O'ROURKE and STEVENSON 1995; UHL, 1997). However, despite its good properties the numerical performance of the wavelet transforms can be improved through the lifting technique.

The lifting technique is a method introduced by W. Sweldens (1996), which allows to create an

wavelet transform algorithm with smaller memory requirement and a reduced number of floating point operations, if long filters are used, keeping the efficiency of the technique (SWELDENS, 1996; DAUBECHIES and SWELDENS, 1998). Thenceforth, the lifting-based wavelet transform has been applied in many applications worldwide (SPIRES, 2005; PIELLA, PAU and PESQUET-POPESCU, 2005; VASUKI and VANATHI, 2007; MATHEW and SINGH, 2009; ROJALS, 2006; MATÍNEZ-TRINDAD, OCHOA and KITTLER, 2006). Although this great success of the lifting technique, its use in the cutting tool image analysis practically does not exist (PEREIRA et al., 2009).

On the other hand, there are some statistical techniques that also can provide a powerful tool for data dimension reduction and pattern recognition. As the dimensionality reduction problem is directly related to image compression, these techniques are often used in image processing. Principal component analysis is one of those statistical techniques and it has been widely applied in the area of image compression in various forms (HUHLE, 2006; NA et al. 2007; KIM, FRANZ and SCHOLKOPF, 2005; KIM, 2007). Also in this case, as for the cutting tool image analysis, the results are very incipient (QIXIN, 2008; KHANDEY, 2009; KARACAL, CHO, and YU, 2009).

In this work, we accomplish a comparative study between the Lifting technique and the Principal Components Analysis, in order to determine what of these two approaches is more appropriate for cutting tool wear images analysis. Lifting and PCA were applied in an original image of a cutting tool for producing a low resolution version, while keeping the more important details of the image. The low-loss image compression quality provided by these techniques was expressed in terms of the compres-

sion factor ( $\rho$ ), the Mean Square Error (MSE) and the Peak Signal-to-Noise Rate (PSNR) provided by the image compression process. The tests were accomplished using the high-performance language for technical computing MATLAB®, and the results shown that the PCA technique presented the best values of PSNR with low compression rates. However, with high values of compression rates the lifting technique gave the highest PSNR.

## 2 Principal Components Analysis – PCA

### 2.1 Dimensionality reduction provided by PCA

The PCA scheme is a formulation that projects a dataset  $X$  of vector  $x \in \mathbb{R}^N$  onto an orthonormal base in  $\mathbb{R}^N$ , defined as a set of  $M$  eigenvectors  $e_i \in \mathbb{R}^N$ ,  $i = 0, 1, \dots, M-1$ , of the covariance matrix of  $X$ , such that the base is oriented in the direction that provides the maximum variance of  $X$  in  $\mathbb{R}^N$  (CASTRO, 1996; SMITH, 2002).

The most important application of PCA is the dimensionality reduction of a dataset  $X$ . The principle of dimensionality reduction is the representation of the dataset  $X$  in terms of eigenvectors  $e_i \in \mathbb{R}^N$  (components) of its covariance matrix (SMITH, 2002). The eigenvectors oriented in the direction with the maximum variance of  $X$  in  $\mathbb{R}^N$  carry the most relevant information of  $X$ . These eigenvectors are called principal components. The dimensionality reduction consists of choosing the eigenvectors that carry, the least significant components, i.e., with the least variance, to leave out the dataset  $X$  (JIEPING, JANARDAN and LI, 2004).

Assume that  $n$  images in a set are originally represented in matrix form as  $U_i \in \mathbb{R}^{r \times c}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , where  $r$  and  $c$  are, repetitively, the number of

rows and columns of the matrices. In vectorized representation (matrix-to-vector alignment) each  $U_i$  is a  $N = r \times c$ -dimensional vector  $a_i$  computed by sequentially concatenating all of the lines of the matrix  $U_i$ . Considering the matrix-to-vector alignment  $n$  images can be represented by only one single matrix  $U \in \mathbb{R}^{n \times N}$ , where each line corresponds to a single image  $U_i$  in form of vector  $a_i \in \mathbb{R}^N$ .

To compute the Principal Components the covariance matrix of  $U$  is formed, namely  $\Sigma = U^T U$ , where  $T$  addresses the matrix transpose operation, and eigenvalues, with the corresponding eigenvectors, are evaluated. The eigenvectors forms a set of linearly independent vectors, i.e., the base  $\{\phi\}_{i=1}^n$  which consist of a new axis system (JIEPING, JANARDAN and LI, 2004).

To perform the dimensionality reduction, the entire matrix  $U$  is projected onto the base  $\{\phi\}_{i=1}^n$  that is, assuming  $U = (a_1, \dots, a_n)$ , its coordinates on a new axis system are  $(U\phi_1, \dots, U\phi_n)$ . By choosing  $p$  eigenvectors corresponding to the largest  $p$  eigenvalues, such that  $p$  is less than  $n$ , an authentic decreasing in dimension is performed and the coordinates of  $U$  projected in this reduced  $p$ -dimension sub-space are  $(U\phi_1, \dots, U\phi_p)$ .

The aim of PCA is finding the maximum variance of the projections of  $U$  onto the  $p$ -dimension sub-space  $\{\phi_1, \dots, \phi_p\}$ , i.e., if  $G = [\phi_1, \dots, \phi_p]$  is one matrix of eigenvectors corresponding to the largest  $p$  eigenvalues of  $\Sigma$ , then  $G$  is the solution of the following optimization problem (SMITH, 2002):

$$G = \arg \max_{G \in \mathbb{R}^{N \times p}: G^T G = I_p} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \|(a_i - m)G\|_2^2, \quad (1)$$

where  $a_i$  are the rows of matrix  $U$ ,  $m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$  is

the mean,  $I_p$  is the  $p \times p$  identity matrix and  $\|\cdot\|_2$  denotes the norm two of a vector. In the solu-

tion provided by  $G$ , the projections of data image  $U$  onto the  $p$ -dimension sub-space  $\{\phi_1, \dots, \phi_p\}$  have the largest variance (largest energy stored)

$$\text{var}(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \|a_i - m\|_2^2 \text{ among all the } p\text{-dimension}$$

axes systems.

## 2.2 PCA Image compression scheme

For image compression purpose an image  $I \in R^{r \times c}$ , where  $r$  and  $c$  are repetitively the number of rows and columns of the matrix, is divided into  $n$  sub-image  $\{sub_{r' \times c'}\}_{j=1}^n$ , where  $r' < r$  and  $c' < c$ . The matrix  $U$  is formed by vectorizing all of  $\{sub_{r' \times c'}\}_{j=1}^n$  such that each line of  $U$  is a matrix-to-vector alignment of a particular  $\{sub_{r' \times c'}\}_{j=1}^n$ . As mentioned before, the energy stored in a particular direction (the variance of the projection of  $U$  onto the  $p$ -dimension sub-space  $\{\phi_1, \dots, \phi_p\}$ ) is the eigenvalue associated to eigenvectors in this direction. Therefore it is possible to exclude some directions (sub-spaces) defined by eigenvectors which the eigenvalue is less significant than other eigenvalues.

As the sub-spaces with the least energy are excluded a low-loss data compression of  $U$  is performed (SMITH, 2002), because the leaved out sub-spaces generally carry irrelevant information of  $U$ . In this sense,  $U$  had a dimensionality reduction because initially it was represented in  $R^{n \times N}$  and, after removing the least significant sub-spaces,  $U$  became  $U'$  a dataset represented in a dimension less than  $n \times N$  with low-loss of information.

According to (SMITH, 2002) the low-loss image compression provided by PCA method can be expressed in terms of the compression factor ( $\rho$ ), the Mean Square Error (MSE) in approximating  $U$  by  $U'$  and the Peak Signal-to-Noise Rate (PSNR) provided by the image compression process i.e., the ratio between the maximum possible component of  $U$  and the power of MSE (noise)

that affects the fidelity of the approximation. The compression factor is defined as

$$\rho = \frac{\text{The total storage unit need to repretet } U'}{\text{The total storage unit need to repretet } U} \tag{2}$$

while the MSE of approximating  $U$  by  $U'$  is:

$$MSE = \sum_i (a'_i - a_i)^T (a'_i - a_i) \tag{3}$$

and PSNR is defined as

$$PSNR = 10 \log \left( \frac{(\max \text{comp}\{U\})^2}{MSE} \right) \tag{4}$$

## 3 Lifting Technique

The mathematical analysis and the signal processing communities have created several algorithms of compactly supported wavelet. In fact, many other areas of science such as engineering, and mathematics have also contributed to the development of the wavelet field (DAUBECHIES and SWELDENS, 1998; SWELDENS and SCHRÖDER, 1996; SWELDENS, 1996; COHEN, DAUBECHIES, and FEAUVEAU, 1992; UYTERHOEVEN, ROOSE, and BULTHEEL, 1997).

Due to the different origins of wavelets, their properties and construction can be motivated and understood in different ways. Lifting technique is one of these ways and it has some structural advantages in relation to traditional approaches (DAUBECHIES and SWELDENS, 1998; SWELDENS and SCHRÖDER, 1996).

The lifting technique allows some improvements on the properties of existing wave-

let transforms. The basic idea of this technique is to exploit the correlation present in most real life signals to build a sparse approximation. In contrast to traditional approach, which relies heavily on the frequency domain, the lifting scheme derives all constructions in the spatial domain (DAUBECHIES and SWELDENS, 1998; SWELDENS and SCHRÖDER, 1996). This feature allows that the lifting algorithms can easily be generalized to higher dimensions and complex geometric structures.

For a simple introduction of the lifting scheme we considered a finite signal of length  $2^j$ , which is represented here as:

$$S^j = \{s_1^j, s_2^j, s_3^j, \dots, s_{2^j}^j\} \tag{5}$$

The lifting scheme assumes that the numbers  $S_i^j, i = 1, \dots, 2^j$ , are not randomly distributed, but contain some correlation between the sample and its neighbors. Then an odd sample  $S_{2k+1}^j$  can use the average of its two even neighbors for its prediction. The detail  $d_k^{j-1}$  is defined as the difference between the odd sample and its computed prediction (Jensen and la Cour-Harbo, 2001), as expressed by:

$$d_k^{j-1} = s_{2k+1}^j - (s_{2k}^j + s_{2k+2}^j)/2 \tag{6}$$

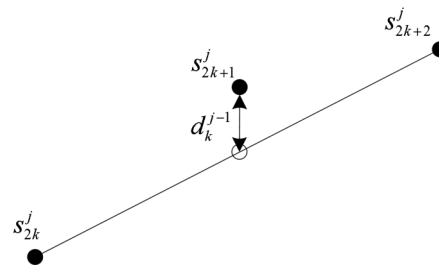
Therefore, if the sample and its neighbors have almost the same value, then the difference is of course small, and the prediction is good.

To preserve the average value of the original signal the values of the difference are redistributed to the computed averages issued from the prediction phase. This operation is called update and is defined by (7).

$$s_k^{j-1} = s_{2k}^j + (d_{k-1}^{j-1} + d_k^{j-1})/4 \tag{7}$$

This prediction and update steps are of order two. In this case, the prediction will be exact, if the original signal is linear and the update will preserve the average and the first moment. This idea is illustrated in Figure 1.

The procedure defined by (6) and (7) is only one example that can be used for constructing wavelet transforms and it is part of a large family of so-called biorthogonal wavelet CDF(2,2)



**Figure 1: Prediction is correct for a linear signal and the correction is the difference between the real middle sample value and its computed prediction**

Source: The authors.

transforms (COHEN, DAUBECHIES, and FEAUVEAU, 1992).

As another example of CDF transforms, which have been taken from (COHEN, DAUBECHIES, and FEAUVEAU, 1992), the detail  $d_k^{j-1}$  defined in the expression (6) above can be defined again as

$$d_k^{j-1} = s_{2k+1}^j - (9s_k^{j-1} + 3s_{k+1}^{j-1})/8 \tag{8}$$

where,

$$s_k^{j-1} = s_{2k}^j - \frac{1}{3}s_{2k-1}^j \tag{9}$$

In all these examples of wavelet transforms each pair of prediction and update step is inverted separately, as illustrated in Figure 3. It is known in the literature that the generalization of

this procedure is crucial for application purposes (UYTERHOEVEN, ROOSE, and BULTHEEL, 1997). In this generalization a prediction step is followed by an update step and by another prediction and update steps. In this approach the detail  $d_k^{j-1}$  can be defined as (10)

$$d_k^{j-1} = \frac{\sqrt{3} + 1}{\sqrt{2}} \tilde{d}_k^{j-1} \tag{10}$$

where,

$$\tilde{d}_k^{j-1} = s_{2k+1}^j - \frac{1}{4}\sqrt{3}s_k^{j-1} - \frac{1}{4}(\sqrt{3} - 2)s_{k-1}^{j-1} \tag{11}$$

and

$$s_k^{j-1} = s_{2k}^j + \sqrt{3}s_{2k+1}^j \tag{12}$$

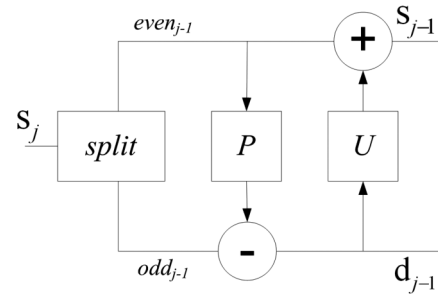
The operations (10)-(12) are part of one step in the discrete wavelet transform based on Daubechies 4 filters (UYTERHOEVEN, ROOSE, and BULTHEEL, 1997).

There are many other examples to build wavelet transforms and some of them can be found in (DAUBECHIES and SWELDENS, 1998). Overall, the direct lifting transform can be defined as

$$\begin{aligned} d_{j-1} &= odd_{j-1} - P(even_{j-1}) \\ s_{j-1} &= even_{j-1} + U(d_{j-1}) \end{aligned} \tag{13}$$

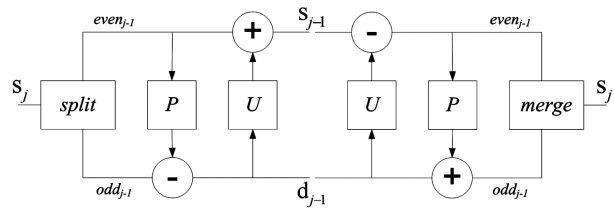
where  $P$  and  $U$  are, respectively, the prediction and update step and the entries  $s_j$  are sorted into even and odd entries (of course, in effective implementations the entries are not separated).

The prediction and the update lifting steps are shown in Figure 2 and the direct and inverse lifting steps in Figure 3. As can be observed from Figure 3, the inverse transform is easily found by flipping the order of the operations and inverting



**Figure 2: Block diagram of prediction and update lifting steps**

Source: The authors.



**Figure 3: Direct (left side) and inverse (right side) lifting steps**

Source: The authors.

its signs. This is an important structural advantage of lifting (SWELDENS, 1996).

### 3.1 Lifting image compression method

In two-dimensional case the lifting process defined by the equations (10)-(12) are applied in the rows and columns of the matrix. In this case, the lifting transform generates a matrix formed by four types of coefficients: the approximation coefficients ( $A$ ), the horizontal ( $H$ ), the vertical ( $V$ ), and the diagonal ( $D$ ) details coefficients. These coefficients are called image sub-bands. The approximation coefficients keep the most important information of the matrix, whereas the details coefficients possess very small values, close to zero. Then, it is possible to choose a value of threshold and set to zero all the details coefficients that are below that value. As result, it is formed a low-loss version of the original image after accomplishing

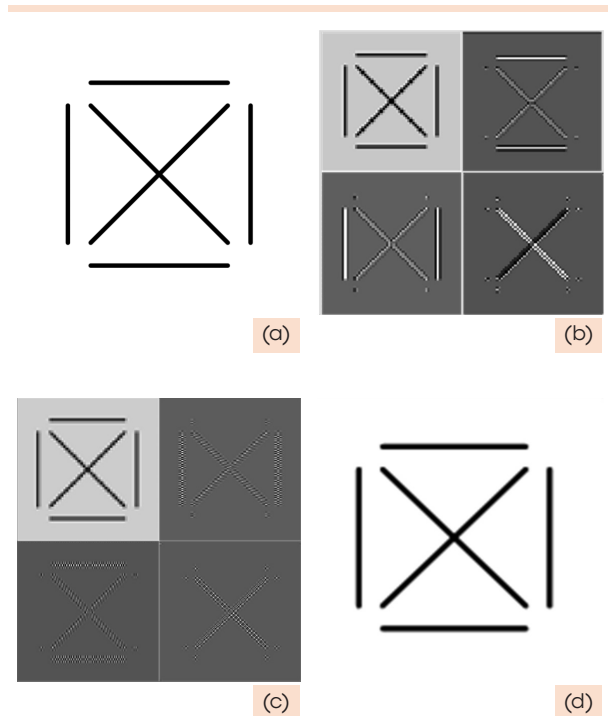
the inverse lifting transform. This decomposition process is part of a multiresolution approach and can be continued using the output approximation coefficients in the current level as an input signal in the next level.

To illustrate the lifting process an example of a single-level lifting decomposition, for a simple synthetic image, is presented in Figure 4. In this Figure, the upper left plot (a) shows the original image, which is based on a 128 x 128 matrix where the entries with value 1 correspond to black pixels and all others entries have value zero. The coefficients obtained from a lifting transform with a Daubechies 2 wavelet are shown in upper right plot (b). The bottom left plot (c) shows the inverse transform for each coefficient. In this case a component of the composition is selected, the other three components are replaced by zeroes and the lifting inverse transform is applied. The rebuilt image is presented in bottom right plot (d).

This example clearly shows the averaging, and the emphasis of vertical, horizontal, and diagonal lines, respectively, in the four components of the output image. In this example, no value of threshold has been used and the inverse lifting transform rebuilt the original image without any loss of information. In order to be able to see the details, the grey scale has been adjusted in each of blocks of the transform, such that the largest value in block corresponds to black and the smallest value in a block to white.

## 4 Experimental Results

Lifting and PCA techniques were applied to some cutting tool images in order to produce low resolution versions of them. The quality of com-



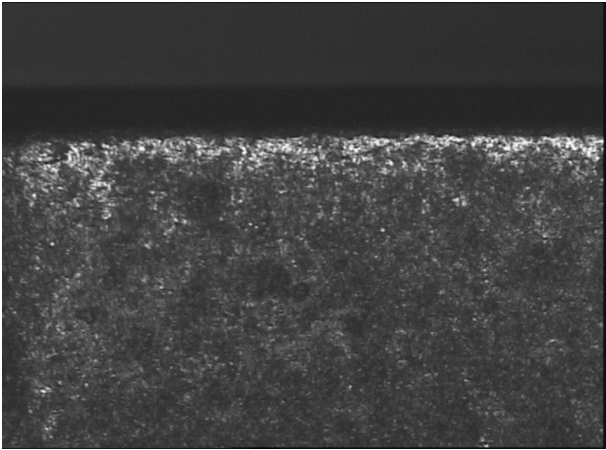
**Figure 4: Single-level lifting transform for a simple synthetic image. (a) The original image, (b) the coefficients obtained from a lifting transform with a Daubechies 2 wavelet, (c) the inverse transform for each coefficient and (d) the rebuilt image**

Source: The authors.

pressed images was measured in terms of distortion measures such as reconstruction error, Mean Square Error (MSE) and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), as defined in (2)-(4).

Both techniques were applied to the original cutting tool image presented in Figure 5. Details related to the resolution, format and memory request for the original image are shown in the second column of the Table 1.

Three values of compression rate were previously selected and the resulting compressed images were analyzed by comparing distortion measures mentioned above. These experimental results are shown in Table 1-3. Table 1 presents the results for a compression rate of, approximately, 0.190. The corresponding illustrations for this value of compression rate are shown in Figure 6. The com-



**Figure 5: The original 768x576 pixel cutting tool image**

Source: The authors.

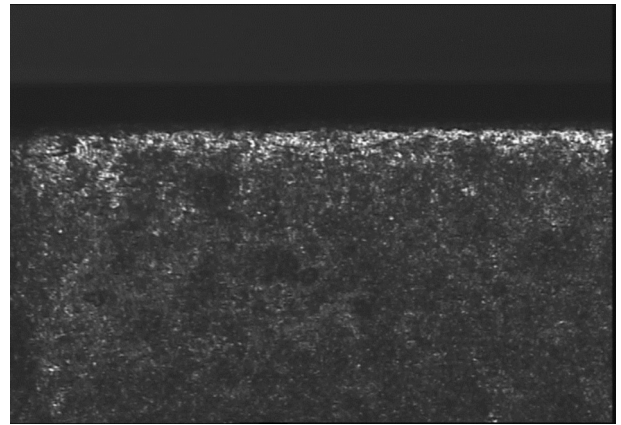
**Table 1: Results with a compression rate of approximately 0.1900**

	Original Image	Compressed Image through Lifting	Compressed Image through PCA
Resolution (pixel)	768x576	768x576	756x576
File format	TIFF	Int type	Int type
Memory request (bytes)	1327620	-	-
Memory request (int type store unit)	430276	351410	352800
Compression factor	-	0.8100	0.8102
Compression rate	-	0.1900	0.1898
PSNR (dB)	-	48.220	80.037

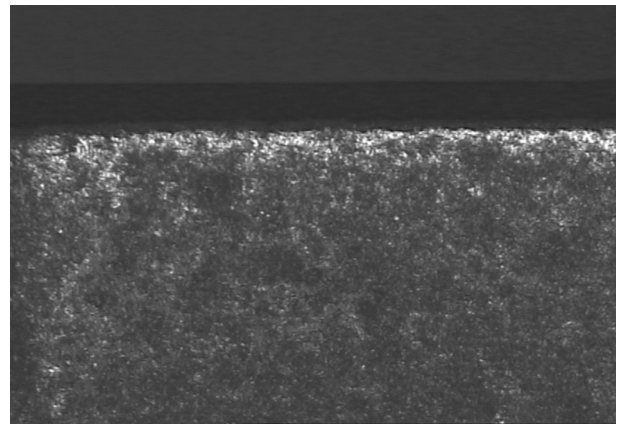
Source: The authors.

pression rate is defined as *1-compression factor*, which is calculated as (2).

Tables 2 and 3 present similar results with compression rates of 0.5950 and 0.9190, respectively. For these cases, the corresponding illustrations are shown in Figures 7 and 8. Despite the low PSNR, the PCA image compressed with compression rate of 0.9190 looks better than the Lifting one, as can be seen in Figure 8.



Lifting compressed image - 0.1900 compression rate



PCA compressed image - 0.1898 compression rate

**Figure 6: Compressed images for results shown in table 1**

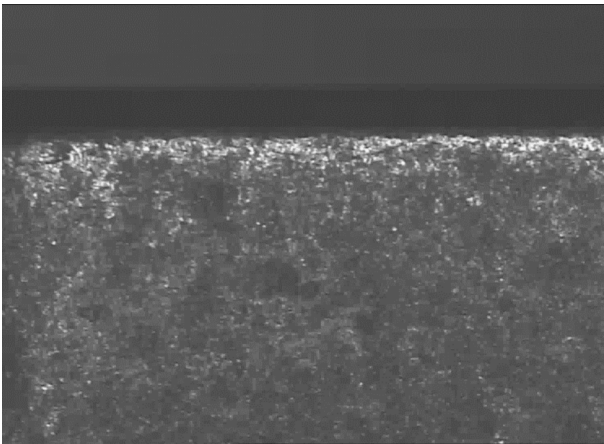
Source: The authors.

**Table 2: Results with a compression rate of approximately 0.5950**

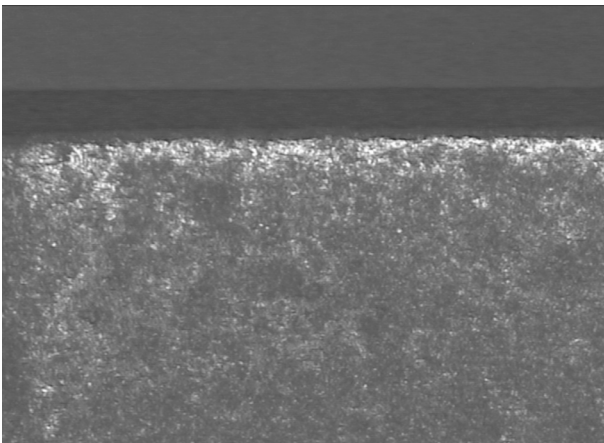
	Compressed Image through Lifting	Compressed Image through PCA
Resolution (pixel)	768x576	756x576
File format	Int type	Int type
Memory request (bytes)	-	-
Memory request (int type store unit)	176382	176400
Compression factor	0.4028	0.4051
Compression rate	0.5972	0.5949
PSNR (dB)	33.410	45.011

Source: The authors.





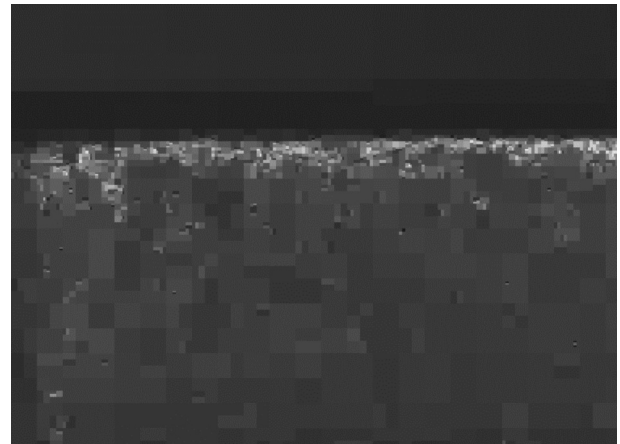
Lifting compressed image - 0.5972 compression rate



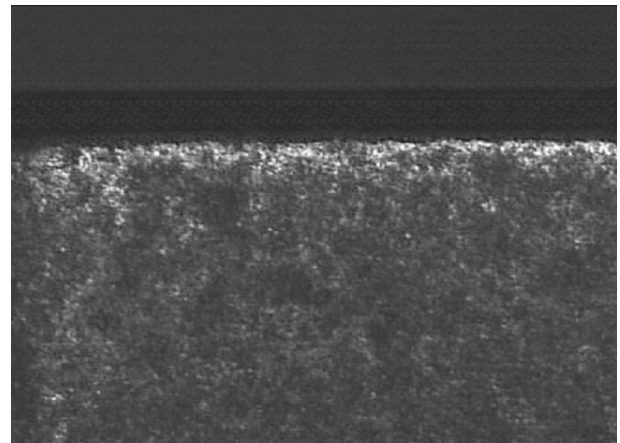
PCA compressed image - 0.5949 compression rate

**Figure 7: Compressed images for results shown in table 2**

Source: The authors.



Lifting compressed image - 0.9196 compression rate



PCA compressed image - 0.9190 compression rate

**Figure 8: Compressed images for results shown in table 3**

Source: The authors.

**Table 3: Results for values of compression rate of approximately 0.9190**

	Compressed Image through Lifting	Compressed Image through PCA
Resolution (pixel)	768x576	756x576
File format	Int type	Int type
Memory request (bytes)	-	-
Memory request (int type store unit)	35042	35280
Compression factor	0.0804	0.0810
Compression rate	0.9196	0.9190
PSNR (dB)	26.140	10.3605

Source: The authors.

## 5 Conclusions

This work accomplishes a comparative study between two distinct low-loss image compression techniques, i.e., the Lifting technique and the Principal Components Analysis, in order to select the more appropriate image compression technique for reducing the memory size to store cutting tool images, keeping the main important features.

These compression techniques were applied to a 768x576 pixel cutting tool image and results were compared in terms of image reconstruction

error: Mean Square Error (MSE) and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). PCA technique presented the best values of PSNR with low compression rates. However, with high values of compression rates the lifting technique gave the highest PSNR. Despite the low PSNR, the PCA image compressed with compression rate of 0.9190 looks better than the Lifting one, as can be seen in Figure 8.

Here, the lifting transform was accomplished using the Daubechies 2 wavelet. Although there are other wavelet functions, recent results have shown that this wavelet function is the best one for this specific case (PEREIRA et al., 2009). Further works have been carried out applying both techniques to a new set of cutting tool images. In these works, the quality of resulting compressed images will be evaluated regarding the maintenance of the principal features using a pattern recognition system based on artificial intelligence techniques.

## References

- ALAJMI, M. S.; ALFARES, F. Prediction of Cutting Forces in Turning Process using De-Neural Networks, *Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference: Artificial Intelligence and Applications*, Innsbruck, Austria, pp. 41-46, 2007.
- ALAJMI, M. S.; ORABY, S. E.; ESAT, I. I. Neural Network Models on the Prediction of Tool Wear in Turning Process: A Comparison Study, in: *IASTED Conference on Artificial Intelligence and Applications*, AIA, Innsbruck, Austria, 2005.
- CASTRO, M. C. F. *Algoritmo Herbiano Generalizado para Extração dos Componentes Principais de um Conjunto de Dados no Domínio Complexo*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 1996.
- CHANG, C.; MALEKI, A.; GIROD, B. Adaptive Wavelet Transform for Image Compression via Directional Quincunx Lifting. In: *IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Processing*, Shanghai, pp. 1-4, 2005.
- CHAO, P. Y.; HWANG, Y. D. An improved neural network model for the prediction of cutting tool life, *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 8, n. 2, pp. 107-115, 1997.
- COHEN, A.; DAUBECHIES, I.; FEAUVEAU, J.-C. Biorthogonal bases of compactly supported wavelets, *Comm. Pure Appl. Math.*, v. 45, n. 5, pp. 485-560, 1992.
- DAUBECHIES, I.; SWELDENS, W. Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps, *J. Fourier Anal. Appl.*, v. 4, n. 3, pp. 245-267, 1998.
- GADELMAWLA, E. S.; ELADAWI, A. E.; ABOUELATTA, O. B.; ELEWA, I. M. Investigation of the cutting conditions in milling operations using image texture features, *J. Engineering Manufacture*, v. 222, pp. 1395-1404, 2008.
- GRGEĆ, S.; GRGEĆ, M.; ZOVKO-CIHLAR, B. Optimal Decomposition for wavelet Image Compression, in: *First International Workshop on Image and Signal Processing and Analysis*, Pula, Croatia, pp. 14-15, 2000.
- HAYKIN, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.
- HUHLE, B. *Kernel PCA for Image Compression*, Ph.D Thesis, Max-Planck-Institut, 2006.
- INOUE, S.; KONISHI, M.; IMAI, J. Surface Defect Inspection of a Cutting Tool by Image Processing with Neural Networks, *Memoirs of the Faculty of Engineering*, Okayama University, v. 43, pp. 55-60, January 2009.
- JENSEN, A.; LA COUR-HARBO, A. *The Discrete Wavelet Transform*, Ripples in Mathematics, Springer, Berlin, 2001.
- JIEPING, Y.; JANARDAN R.; LI, Q. GAPCA: An Efficient Dimension Reduction Schemefor Image Compression and Retrieval. *Proceedings of 10th ACM SIGKDD 2004*, Seattle, USA, pp. 354 – 363, 2004.
- KARACAL, C.; CHO, S.; YU, W. A Novel Approach to Optimal Cutting Tool Replacement, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 57, pp. 19-23, 2009.
- KHANDHEY, U. *Optimization of Surface Roughness, Material Removal Rate and cutting Tool Flank Wear in Turning Using Extended Taguchi Approach*, MTech thesis. National Institute Of Technology Rourkela, India, 2009.
- KIM, Y. Incremental principal component analysis for image processing, *Optics Letters*, v. 32, n. 1, pp. 32-34, 2007.
- KIM, K. I.; FRANZ, M. O.; SCHOLKOPF, B. Iterative kernel principal component analysis for image modeling, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 27, n. 9, pp. 1351-1366, 2005.
- LO, S.-C.B.; HUAI LI; FREEDMAN, M. T. Optimization of wavelet decomposition for image compression and feature preservation, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 22, n. 9, pp. 1141-1151, 2003.

- MATHEW, A.; SINGH, B. R. Image Compression using Lifting Based DWT, *Int. J. of Comput., Inf. Tech. and Engineering*, v. 2, pp. 27-31, 2009.
- MATÍNEZ-TRINDAD, J. F.; OCHOA, J. A. C.; KITTLER, J. (Eds.) *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and applications*, Proceedings of 11th Iberoamerican Congress in Pattern Recognition, CIARP Cancun, Mexico, 2006,
- NA, W.; XIA, L.; SHU-YUAN, L.; YING-JIE, C. Fast image compression based on (2D)2 PCA, *Proceedings of the IASTED International Conference on Communication Systems, Networks, and Applications*, pp. 57-61, 2007.
- O'ROURKE, T. P.; STEVENSON, R. L. Human Visual System Based Wavelet Decomposition for Image Compression, *Journal of Visual Comm. and Image Representation*, v. 6, pp. 109-121, 1995.
- PATRA, K.; PAL, S. K.; BHATTACHARYYA, K. Artificial Neural Network Based Prediction of Drill Flank Wear From Motor Current Signals, *Applied Soft Computing Journal*, v. 7, pp. 929-935, 2007.
- PEREIRA, F. H.; BARROS, S. B.; BAPTISTA, E.; COPPINI, N. L. Lifting-Based Low-Loss Image Compression Techniques For Cutting Tool Images: A Competitive Study By Reconstruction Performance Analysis, In: *Proceedings of COBEM 2009, 20th International Congress of Mechanical Engineering*, November 15-20, Gramado, Brazil, pp. 1-9, 2009.
- PIELLA, G.; PAU, G.; PESQUET-POPESCU, B. *Adaptive Lifting Schemes Combining Seminorms for Lossless Image Compression*, 2005.
- QIXIN, Z. L. C. Machine Performance Degradation Assessment Based on PCA-FCMAC. In: *ICNC '08 Fourth International Conference on Natural Computation*, v. 2, pp. 443-447, Oct. 2008.
- ROJALS, J. S. *Optimization and Generalization of Lifting Schemes: Application to Lossless Image Compression*, Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, April 2006.
- SARKAR, T. K.; MAGDALENA, S. P.; MICHAEL, C. W. *Wavelet Applications in Engineering Electromagnetics*, Artech House, Boston, 2002.
- SMITH, L. I. *A tutorial on Principal Components Analysis*, 2002. Available on-line at: [http://csnet.otago.ac.nz/cosc453/student\\_tutorials/principal\\_components.pdf](http://csnet.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf)
- SPIRES, W. *Lossless Image Compression via the Lifting Scheme*, University of Central Florida, November 2005.
- SWELDENS, W. The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets, *Appl. Comput. Harmon. Analysis.*, v. 3, n. 2, pp. 186-200, 1996.
- SWELDENS W.; SCHRÖDER, P. Building your own wavelets at home, In: *Wavelets in Computer Graphics*, ACM SIGGRAPH Course Notes, 1996.
- UHL, A. Generalized Wavelet Decompositions in Image Compression: Arbitrary Subbands and Parallel Algorithms, *Optical Engineering*, v. 36, n. 5, pp. 1480-1487, 1997.
- UYTERHOEVEN, G.; ROOSE, D.; BULTHEEL, A. *Wavelets transform using the lifting scheme*, Report ITA-Wavelets-WP1.1 (Revised version), Department of Computer Science, K. U. Leuven, Heverlee, Belgium, April 1997.
- VASUKI, A.; VANATHI, P. T. Image Compression using Lifting and Vector Quantization, *ICGST Int. J. on Graph. Vision and Image Process.*, v. 7, n. 1, pp. 7-15, 2007.
- VOLKAN ATLI, A.; URHAN, O.; ERTURK, S.; SONMEZ, M. A computer vision-based fast approach to drilling tool condition monitoring, *J. Engineering Manufacture*, v. 220, pp. 1409-1415, 2006.
- WANG, P.; XIN, J. L.; LI, J. X.; YIN, S. W. Research on Tool Cutting Monitoring System Based on Cutting Force and Workpiece Surface Image Texture, *Journal Applied Mechanics and Materials*, v. 16-19, pp. 960-964, 2009.

Recebido em 2 nov. 2009 / aprovado em 25 jul. 2010

**Para referenciar este texto**

PEREIRA, F. H. et. al. Low-loss image compression techniques for cutting tool images: a comparative study of compression quality measures. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 225-235, 2010.



# Algoritmos de busca aplicados na estimação de parâmetros em um modelo probabilístico de gestão de estoque

*Search algorithms applied to parameters estimation in an inventory management probabilistic model*

André Felipe Henriques Librantz

Programa do Mestrado em Engenharia de Produção – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
librantz@uninove.br

Sidnei Alves de Araújo

Diretoria dos cursos de Informática – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
saraujo@uninove.br

Wonder Alexandre Luz Alves

Diretoria dos cursos de Informática – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
wonder@uninove.br

Gisele Castro Fontanella Pileggi

Diretoria dos cursos de Informática – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
giselepileggi@uninove.br

A gestão de estoque é um dos instrumentos imprescindíveis para eficiência das organizações modernas. Nos modelos de estoques, é comum a necessidade de estimação de parâmetros que estão relacionados com algumas incertezas. Tais parâmetros são normalmente estimados por modelagem matemática. Devido às hipóteses, muitas vezes assumidas em algumas situações reais, os modelos ficam distantes da realidade. Além disso, a exploração de todo o espaço de busca para encontrar a solução ótima torna-se inviável na maioria dos casos. Os algoritmos de busca heurística são uma alternativa para a solução de tais problemas. Neste trabalho, utilizaram-se e compararam-se os resultados obtidos a partir da aplicação de diferentes algoritmos de busca heurística (Algoritmos Genéticos, *Simulated Annealing*, Busca Tabu e Subida de Encosta) com a busca exaustiva, em um problema particular de gestão de estoque. Os resultados mostram que tais algoritmos podem ser aplicados de forma satisfatória em problemas dessa natureza.

**Palavras-chave:** Algoritmos de busca. Critério econômico. Estimação de parâmetros. Gestão de estoques. Nível de atendimento.

Inventory management is an important instrument regarding to the efficiency of modern organizations. Inventory models demand parameters estimation, which are usually associated to uncertainties. Such parameters are generally estimated by mathematical modeling. However, in some real situations the models may be distant from reality owing to the input data suppositions undertaken. Besides, the search for the optimal solution in the whole solution domain is infeasible in most cases. Heuristics search algorithms are an alternative to solve problems of this nature. In this work, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Tabu Search and Hill Climbing techniques were applied and tested in a particular inventory management problem. Results were compared to those obtained by exhaustive technique. The proposed algorithms were implemented and tested successfully and the results are in agreement with those obtained by exhaustive searching algorithm, thus justifying these algorithms as an alternative for problems of this nature.

**Key words:** Attending level. Economic criteria. Inventory management. Parameters estimation. Search algorithms.

## 1 Introdução

O aumento da economia global, a concorrência e a tecnologia exigem cada vez mais agilidade e flexibilidade das organizações. A exploração de diferentes estratégias que possibilitem melhorias em processos produtivos e seus controles é uma prática utilizada pelas organizações para conseguir vantagens em relação aos seus competidores. Um dos instrumentos imprescindíveis para eficiência da cadeia produtiva nas organizações modernas é a gestão de estoque, que constitui um tema clássico na engenharia de produção (MOREIRA, 2008; CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007; STEVENSON, 2001; DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2000). Se por um lado estoques em excesso podem onerar os custos da empresa, por outro, sua falta pode ocasionar tanto paradas na produção como redução do nível de serviço aos clientes. Em muitos casos, a satisfação do cliente torna-se um elemento fundamental no mercado atual e engloba disponibilidade do produto, agilidade e eficiência na entrega, entre outros elementos, conforme destaca Belfiore, Costa e Fávero (2006), fazendo com que as empresas busquem meios de melhorar e reduzir os custos dos processos logísticos.

Os modelos de estoque, em geral, baseiam-se em modelagem matemática para estimação de parâmetros. As hipóteses – muitas vezes assumidas pelos modelos aliada à dificuldade de estimação de alguns parâmetros, como por exemplo, custos de pedido e de falta – geram uma lacuna entre a teoria e a prática das empresas. Conforme observa Zomerdijk e Vries (2003, apud SANTOS; RODRIGUES, 2006), existem limitações quando se confrontam os resultados obtidos pelos modelos e a situação real.

Cabe ressaltar que o estudo de modelos de gestão de estoques normalmente não é simples, dada a presença de incertezas (GAITHER;

FRAZIER, 2001), isto é, variáveis que não podem ser preditas antecipadamente e que precisam ser estimadas de alguma forma com intuito de maximizar ou minimizar uma função objetivo, relacionada à qualidade da gestão, levando em conta a estratégia adotada. Diante disso, pode-se caracterizar a estimação de parâmetros em gestão de estoques como um problema de otimização. Para solução de tais problemas, é comum o uso de métodos de programação matemática que, em geral, fazem o uso de cálculo de derivadas da função objetivo para determinar a direção de busca do ponto de solução.

Nessa classe de problemas, visto que na maioria dos casos, a exploração de todo o domínio para se obter uma solução ótima torna-se inviável, é muito importante o estudo de métodos que utilizam informação e intuição a respeito do problema para produzir soluções rápidas e de boa qualidade. Assim, uma alternativa é o uso de algoritmos heurísticos, tais como Algoritmos Genéticos (AG), *Simulated Annealing* (SA), Busca Tabu (BT) e Subida de Encosta (SE), que têm sido amplamente utilizados em problemas dessa natureza.

Os algoritmos de busca heurística são métodos geralmente empregados quando um determinado problema não tem solução exata, ou quando este tem uma solução exata, mas sua obtenção por meio de uma busca exaustiva demanda muito tempo. Nesses casos, conforme destaca Peixoto e Pinto (2006), esses métodos vêm sendo aplicados para reduzir o espaço de busca para, posteriormente, avaliar as alternativas encontradas por meio de simulação ou otimização. Tais algoritmos, na busca de uma solução otimizada, utilizam informações do domínio do problema para guiar o trajeto da busca no espaço de procura.

Embora os algoritmos de busca heurística venham sendo utilizados em problemas voltados para os processos produtivos, ainda são poucas as aplicações que envolvem diretamente a ges-

tão de estoques (ZNAMENKY; CUNHA, 2003; DISNEY, NAIM, TOWILL, 2000). Esse fato sinaliza a existência de um campo de pesquisa com grande potencial, uma vez que esses algoritmos têm sido empregados com sucesso em diversos problemas de otimização.

Neste trabalho, explora-se a aplicação de alguns dos principais algoritmos heurísticos (Algoritmos Genéticos, *Simulated Annealing*, Busca Tabu e Subida de Encosta) no problema de estimação de parâmetros em um modelo estocástico de gestão de estoques, comparando em termos quantitativos e qualitativos as soluções encontradas, com o intuito de avaliar a eficiência de cada um deles na solução do problema.

## 2 Descrição do problema

Os modelos de estoque podem ser organizados em periódicos, no qual a revisão é feita em intervalos de tempo iguais, ou contínuos, quando a monitoração do estoque é feita de forma contínua, ou seja, a cada retirada do estoque. Podem ainda ser definidos para um ou mais produtos e para um ou mais estágios, como por exemplo, em diferentes etapas da cadeia de suprimentos; a demanda pode ser independente ou dependente, estática (para todo período ela possui a mesma distribuição de probabilidade) ou dinâmica (para os diferentes períodos a demanda pode variar), determinística (conhecida a priori) ou estocástica; os tempos de reposição do fornecedor também podem ser determinísticos ou estocásticos; e a taxa de reposição pode ser finita ou infinita (ou seja, entregue de uma única vez) (BATALHA, 2008). Os parâmetros mais utilizados nos modelos de estoque são demanda, *lead time* de entrega, ponto de reposição, quantidade a ser ressuprida, período de revisão e estoque de segurança.

Há vários modelos de estoque, sendo alguns reativos (como por exemplo, modelos de reposição do máximo, de reposição da base e do lote fixo), que não utilizam previsão de demanda para a tomada de decisões, e outros ativos, nos quais a decisão é tomada com base em previsões (SANTORO; FREIRE, 2008). O modelo de gestão de estoque abordado neste trabalho é um modelo reativo, com período de revisão contínuo, para um item e um estágio, com demanda independente, determinística e estática, tempo de reposição determinístico e taxa de reposição infinita. O modelo é definido basicamente por duas incertezas cujas distribuições de probabilidade são conhecidas: a demanda diária do produto e o prazo de entrega do produto pelo fornecedor (*lead time*). A gestão é realizada por meio do estabelecimento de dois parâmetros: o ponto de reposição (PR) e o tamanho do lote (TL). O ponto de reposição é o nível do estoque que, quando atingido, dispara uma solicitação de compra de um lote cujo tamanho é de dimensão determinada pela variável tamanho do lote. Modelos desse tipo formam a base de muitos sistemas comerciais de controle de estoque (NAHMIA, 1997; CASTRO; PIZZOLATO, 2005). O critério de avaliação da gestão é estabelecido por meio da média ponderada de dois fatores: o nível de atendimento (NA) e o critério econômico (CE) que está associado ao nível diário médio do estoque. O problema então consiste em encontrar valores dos parâmetros de gestão PR e TL, considerando a estratégia adotada pelo gestor, que resulte no valor máximo da função objetivo (FO) (ARAÚJO; LIBRANTZ; ALVES, 2009).

O gestor do sistema de estoque se vê em face dos seguintes problemas: (a) se sua estratégia for trabalhar com pouco estoque, o número de vezes que poderá não atender demandas será elevado, por estar com estoque insuficiente devido às incertezas do tempo de entrega dos lotes solicitados e das demandas em grande quantidade; não será

uma estratégia que busca a fidelização dos clientes; (b) por outro lado, se trabalhar com estoques elevados, poderá empatar capital financeiro significativo, o que pode implicar na elevação do preço do produto. Assim, há que buscar um compromisso entre os diferentes valores institucionais e econômicos. Por exemplo, se o interesse for obter um elevado nível de atendimento, o estoque médio deve manter-se em um nível relativamente alto, o que pode exigir um significativo capital empatado no estoque. O modelo de gestão de estoques abordado é descrito pelas equações de 1 a 4.

$$FO = (NA * \alpha) + (CE * \beta), \alpha e \beta \in [0,1] \tag{1}$$

Em que  $NA$  é o nível de atendimento (equação 2), e  $CE$ , o critério econômico (equação 3).

$$NA = \frac{\text{Soma da demanda atendida}}{\text{Demanda total}} \tag{2}$$

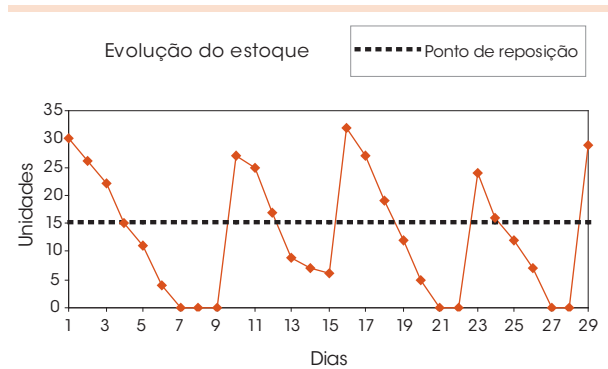
$$CE = e^{A * \text{media do estoque diario}} \tag{3}$$

Sendo o parâmetro  $A$  definido por:

$$A = \log\left(\frac{10^{-3}}{10 * \text{Media da demanda}}\right) \tag{4}$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  na equação 1 definem o peso de cada um dos fatores que estão relacionados à característica da gestão. A função objetivo serve como balanço entre o critério econômico e o nível de atendimento. O coeficiente  $A$  foi determinado empiricamente a partir da análise do comportamento da função que define o critério econômico (equação 3).

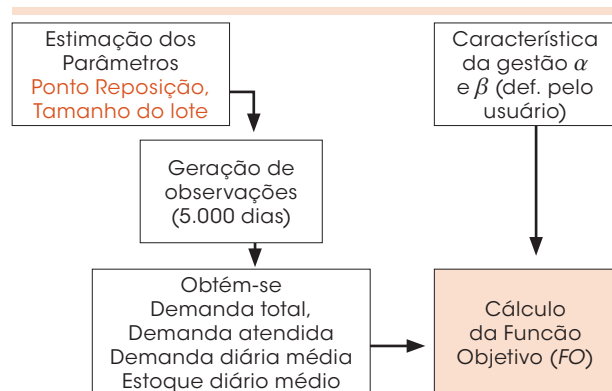
A Figura 1 ilustra uma possibilidade de evolução do estoque de um determinado produto considerando um intervalo de 29 dias.



**Figura 1: Exemplo da evolução do estoque de um produto durante 29 dias**

Fonte: os autores.

Observando a Figura 1, pode-se notar que há períodos nos quais não existe unidade do produto em estoque. Nesses momentos, não há como atender as possíveis demandas do produto, o que poderia comprometer a gestão, caso a estratégia priorizasse a fidelização dos clientes. Cabe salientar que, neste trabalho, considerou-se um período de 5 mil dias para avaliação da gestão de estoque com base nos parâmetros estimados, como pode ser visto no diagrama esquemático da Figura 2 que ilustra o processo de simulação computacional empregado.



**Figura 2: Diagrama esquemático da simulação computacional para o cálculo da função objetivo (FO)**

Fonte: os autores.



### 3 Algoritmos de busca

#### 3.1 Busca heurística

Os algoritmos de busca heurística são ferramentas poderosas para resolução de problemas de otimização complexos cujos espaços de busca das soluções ótimas sejam muito grandes para que se possa determiná-las com precisão por meio de um método direto. Tais algoritmos utilizam informação e intuição a respeito do problema para produzirem soluções rápidas e de boa qualidade.

##### 3.1.1 Algoritmos Genéticos (AG)

O AG é um método de busca e otimização, baseado no processo de seleção natural, que simula a evolução das espécies (RUSSEL; NORVIG, 1995; GOLDBERG, 1988; HAUPT, R. L.; HAUPT, S. E, 1998; MICHALEWICZ, 1996). O AG gera os indivíduos (cadeias de bits que representam possíveis soluções) também chamados de cromossomo, para evoluírem em busca da solução de um dado problema. Num AG, os indivíduos competem entre si e os mais aptos são selecionados para, em seguida, serem cruzados e gerarem novos mais capazes e, portanto, melhores que os anteriores. Dessa forma, a cada nova geração deve haver um indivíduo mais próximo de uma solução para o problema. Os elementos básicos de um AG são: (a) cromossomo, conjunto de bits; (b) gene, subconjunto de bits do cromossomo e (c) alelo, cada bit de um gene. A estrutura básica de um AG contempla quatro operações principais: o cálculo de aptidão (*fitness*), o processo de seleção, o cruzamento (*crossover*) e a mutação dos indivíduos, conforme pode ser visto no pseudocódigo mostrado na Figura 3.

#### Algoritmo Genético

Início

Seja  $s'$  a melhor solução da geração corrente,  $s^*$  a melhor solução obtida até então, Ger o contador do número de gerações e Max\_Ger o número máximo de gerações permitidas

Ger  $\leftarrow$  1

Gera população inicial

Avalia população {cálculo da aptidão dos indivíduos}

Enquanto Ger  $\leq$  Max\_Ger ou algum outro critério de parada não for atingido

Faz seleção dos melhores indivíduos

Efetua o cruzamento entre os melhores indivíduos para recompor a população

Faz mutação de um percentual dos indivíduos da população

Avalia população {cálculo da aptidão dos indivíduos}

Se  $s' > s^*$  então

$s^* \leftarrow s'$

Fim\_se

Ger  $\leftarrow$  Ger + 1

Fim\_enquanto

Retorna  $s^*$

Fim

#### Figura 3: Pseudocódigo AG

Fonte: Os autores.

##### 3.1.2 Subida de encosta (SE)

O algoritmo subida de encosta, cujo pseudocódigo é ilustrado na Figura 4, é uma das técnicas de busca local mais básica. Em cada passo do algoritmo, a solução gerada pelo estado corrente é substituída pela solução representada pelo melhor vizinho. O algoritmo encerra quando alcança um pico, ou seja, não encontra vizinho melhor que o estado corrente (RICH; KNIGHT, 1994; RUSSEL; NORVIG, 1995). A subida de encosta com reinício aleatório (SER) é uma melhoria proposta neste algoritmo e consiste em fazer uma série de buscas

de subidas de encosta a partir de estados iniciais aleatórios. Desse modo, as chances do algoritmo encontrar boas soluções são aumentadas de acordo com a quantidade de reinícios.

### Procedimento Subida de Encosta

Início

Seja  $s_0$  a solução inicial (gerada aleatoriamente),  $s$  a solução representada pelo estado corrente,  $s'$  a solução representada pelo melhor vizinho do estado corrente, Iter o contador do número de iterações e Max\_Iter o número máximo de iterações

$s \leftarrow s_0$

Iter  $\leftarrow 1$

Enquanto (Iter  $\leq$  Max\_Iter) faça

    Seleciona sucessor  $s'$

    Se  $s' \leq s$  Então

        Retorne  $s$

Fim-se

$s \leftarrow s'$

    Iter  $\leftarrow$  Iter + 1

Fim-enquanto

Retorne  $s$

Fim

#### Figura 4: Pseudocódigo SE

Fonte: Os autores.

### 3.1.3 Busca Tabu (BT)

A Busca Tabu (Figura 5) é um método iterativo de otimização local que admite soluções de piora para escapar de ótimos locais. A cada iteração, seleciona-se o melhor vizinho  $s'$  do estado corrente  $s$ . Independentemente de  $s'$  ser melhor ou pior que  $s$ ,  $s'$  será o novo estado corrente. Se  $s'$  for melhor que a melhor solução encontrada até o momento  $s^*$ , então esta é substituída por  $s'$ . Como esse mecanismo não é suficiente para escapar de ótimos locais, uma vez que poderia haver retorno a uma solução previamente gerada, o algoritmo usa o conceito de lista tabu que é, na verdade, uma lista que registra os estados que já foram visitados

(RUSSEL; NORVIG, 1995). O algoritmo chega ao fim quando alcança certo critério de parada. Geralmente, utiliza-se um determinado número de iterações sem melhoras.

### Procedimento Busca Tabu

Início

Seja  $s_0$  a solução inicial (gerada aleatoriamente),  $s$  a solução representada pelo estado corrente,  $s'$  a solução representada pelo melhor vizinho do estado corrente,  $s^*$  a melhor solução obtida até então, Iter o contador do número de iterações, Melhor\_Iter a iteração mais recente que forneceu  $s^*$ , Max\_Iter o número máximo de iterações sem melhoria de  $s^*$  e  $T$  a lista tabu

$T \leftarrow \emptyset$

$s^* \leftarrow s_0$

$s \leftarrow s_0$

Iter  $\leftarrow 1$

Melhor\_Iter  $\leftarrow 1$

$T \leftarrow T \cup s_0$

Enquanto (Iter - Melhor\_Iter  $\leq$  Max\_Iter)

Faça

    Seleciona sucessor  $s'$   $\{s' \notin T\}$

$s \leftarrow s'$

$T \leftarrow T \cup s$

    Se  $s > s^*$  Então

$s^* \leftarrow s$

        Melhor\_Iter  $\leftarrow$  Iter

Fim-se

    Iter  $\leftarrow$  Iter + 1

Fim-enquanto

Retorne  $s^*$

Fim

#### Figura 5: Pseudocódigo BT

Fonte: Os autores.

### 3.1.4 Simulated Annealing (SA)

O algoritmo *Simulated Annealing* ou *têmpera simulada* (Figura 6), baseado no processo de recozimento de metais, é uma versão do algoritmo Subida de Encosta estocástico. Nesse algoritmo, movimentos para estados melhores que o estado

corrente são sempre aceitos. Caso o movimento seja para um estado de piora, ele pode ser aceito com uma determinada probabilidade que diminui com o tempo. Dessa forma, nas iterações finais do algoritmo, somente soluções melhores são aceitas

### Procedimento Simulated Annealing

Início

Seja  $s_0$  a solução inicial (gerada aleatoriamente),  $s$  a solução representada pelo estado corrente,  $s'$  a solução representada pelo sucessor do estado corrente,  $s^*$  a melhor solução obtida até então,  $Iter$  o contador do número de iterações,  $Max\_Iter$  o número máximo de iterações,  $\Delta E$  a variação entre a solução atual e a solução representada pelo estado sucessor,  $P$  a probabilidade de aceitar soluções piores que a atual,  $Temp$  uma temperatura que controla a probabilidade  $P$

$s \leftarrow s_0$

$s^* \leftarrow s_0$

$Iter \leftarrow 1$

Enquanto ( $Iter \leq Max\_Iter$ ) Faça

$Temp \leftarrow Max\_Iter - Iter$

Se  $Temp=0$  Então

Retorne  $s^*$

Fim-se

Gera sucessor  $s'$  {aleatoriamente}

$\Delta E \leftarrow s' - s$

Se  $\Delta E > 0$  Então

$s \leftarrow s'$

Senão

$P \leftarrow e^{\Delta E/Temp}$

$s \leftarrow s'$  {somente com uma certa probabilidade  $P$ }

Fim-se

Se  $s > s^*$  Então

$s^* \leftarrow s$

Fim-se

$Iter \leftarrow Iter + 1$

Fim-enquanto

Retorne  $s^*$

Fim

**Figura 6: Pseudocódigo SA**

Fonte: Os autores.

já que a probabilidade de aceitação de uma solução pior é quase nula (RICH; KNIGHT, 1994; RUSSEL; NORVIG, 1995).

### 3.2 Busca Exaustiva (BE)

Uma das técnicas de resolução de problemas é gerar, de forma sistemática, todas as possíveis soluções e verificar qual delas é a melhor. Trata-se da abordagem da “Força Bruta” para localizar soluções para problemas de otimização. Embora sua implementação seja simples, o inconveniente da busca exaustiva é que, para um determinado problema, o espaço de soluções pode ser muito grande tornando seu uso proibitivo (RICH; KNIGHT, 1994). A técnica BE é descrita no pseudocódigo mostrado na Figura 7.

#### Procedimento Busca Exaustiva

Início

Seja  $s_0$  a solução inicial,  $s$  a solução representada pelo estado corrente,  $s'$  a solução representada pelo sucessor do estado corrente,  $s^*$  a melhor solução obtida até então

$s \leftarrow s_0$

$s^* \leftarrow s_0$

Enquanto (não esgotar todo o espaço de busca) faça

Gera sucessor  $s'$  {sistematicamente}

$s \leftarrow s'$

Se  $s > s^*$  Então

$s^* \leftarrow s$

Fim-se

Fim-enquanto

Retorne  $s^*$

Fim

**Figura 7: Pseudocódigo BE**

Fonte: Os autores.

## 4 Resultados experimentais

Com intuito de avaliar a qualidade das soluções encontradas pelos algoritmos de busca heurística, realizamos uma série de experimen-

tos envolvendo três diferentes cenários (Tabela 1) e utilizando, em cada cenário, três diferentes estratégias de gestão. Para cada estratégia de gestão, executamos cinco vezes cada um dos algoritmos (AG, SA, SE, SER e BT) e comparamos o valor médio da função objetivo com o valor “ótimo” obtido pelo método da busca exaustiva (BE) no qual se calcula o valor da função objetivo para todas as combinações possíveis dos valores de PR e TL, considerando os intervalos de valores definidos para esses parâmetros. Cabe ressaltar que, embora custoso computacionalmente, executar a BE para selecionar a melhor solução a fim de aferir os resultados obtidos pelos outros algoritmos heurísticos só foi possível porque: (a) limitamos o intervalo de valores para os parâmetros a serem estimados (de duas a dez vezes a média da demanda média diária) e (b) os valores a serem estimados exprimem quantidades de produtos e, portanto, são discretos. Os resultados dos experimentos supra citados podem ser vistos nas Tabelas 2 a 4, a seguir.

**Tabela 1: Cenários utilizados nos experimentos**

Parâmetros de controle	Cenários		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média demanda	50	100	200
Desvio-padrão demanda	10	20	50
Média lead time	5	5	7
Desvio-padrão lead time	1	1	2
Estoque inicial	15	150	500

Fonte: os autores.

Na Tabela 1, é possível verificar o conjunto de valores dos parâmetros de controle utilizados para os três cenários. Em cada uma das Tabelas de 2 a 4, a seguir, considera-se um cenário e para cada um deles, três estratégias de gestão diferentes. Cada estratégia é caracterizada pelo par de fatores  $\alpha$  (ponderação do nível atendimento) e  $\beta$  (ponderação do critério econômico) definidos pelo

usuário. Tais parâmetros estão diretamente relacionados com a função objetivo (FO), definida na equação 1 e calculada conforme o esquema mostrado na Figura 2. Outros dados associados aos experimentos são: número do experimento (Exp), média dos valores de FO, considerando os cinco experimentos (Media), ponto de reposição (PR) e tamanho do lote (TL). PR e TL são os parâmetros estimados pelos algoritmos heurísticos.

Observando os resultados das Tabelas de 2 a 4 é possível notar que, quando o nível de atendimento tem uma ponderação maior do que o critério econômico ( $\alpha = 0,7$  e  $\beta = 0,3$ ), os menores valores encontrados para o ponto de reposição (PR) são praticamente o dobro ou mais dos encontrados nas outras duas estratégias de gestão: ponderação igual para os dois fatores ( $\alpha = 0,5$  e  $\beta = 0,5$ ) e ponderação maior para o critério econômico ( $\alpha = 0,3$  e  $\beta = 0,7$ ). Esse fato se justifica, pois como o critério de nível de atendimento tem uma ponderação maior, faz-se necessário um nível médio de estoque maior, o que implica em pontos de reposição (PR) maiores.

Com relação ao tamanho do lote (TL), considerando ainda a estratégia de maior ponderação do nível de atendimento, os menores lotes encontrados também são, em geral, maiores nesses casos. Isso ocorre para assegurar um maior nível de atendimento definido pela estratégia: pede-se, em geral, uma quantidade maior para evitar que o produto falte.

Cabe notar que os algoritmos podem encontrar valores bastante diferentes para PR e TL para um mesmo valor da função objetivo, como é o caso, por exemplo, do algoritmo SA no cenário 3, com os experimentos 2 e 4 (Tabela 4). A função objetivo tem valor de 0,600 para os dois experimentos, e TL igual a 421 e 445, para os experimentos 2 e 4, respectivamente. Já PR é igual a 1.429 no experimento 2, e 693, no experimento

**Tabela 2: Resultados obtidos para o conjunto de parâmetros de controle do cenário 1**

Cenário 1 – Estratégias da gestão										
Técnica	Exp.	$\alpha = 0,5; \beta = 0,5$			$\alpha = 0,7; \beta = 0,3$			$\alpha = 0,3; \beta = 0,7$		
		PR	TL	FO	PR	TL	FO	PR	TL	FO
AG	1	212	115	0,655	245	255	0,719	400	101	0,728
	2	396	107	0,655	230	237	0,718	376	103	0,728
	3	209	113	0,659	269	271	0,717	324	104	0,726
	4	390	107	0,653	223	238	0,721	296	106	0,719
	5	322	123	0,654	222	243	0,717	417	104	0,725
	Média	-	-	0,655	-	-	0,718	-	-	0,725
SA	1	186	118	0,653	237	248	0,720	108	101	0,728
	2	408	106	0,651	243	227	0,719	129	100	0,726
	3	452	108	0,652	247	237	0,718	191	100	0,728
	4	456	113	0,651	248	226	0,719	199	103	0,724
	5	462	125	0,650	261	236	0,721	396	101	0,728
	Média	-	-	0,651	-	-	0,719	-	-	0,727
SE	1	340	313	0,512	343	211	0,711	343	120	0,693
	2	359	193	0,598	362	199	0,705	364	113	0,707
	3	374	179	0,616	379	479	0,703	381	406	0,305
	4	395	130	0,648	398	459	0,701	399	352	0,306
	5	413	441	0,502	414	367	0,701	416	262	0,311
	Média	-	-	0,575	-	-	0,704	-	-	0,464
SER	1	126	103	0,651	209	232	0,718	131	106	0,721
	2	134	119	0,652	230	258	0,718	221	104	0,726
	3	166	103	0,651	251	237	0,723	257	101	0,728
	4	394	131	0,649	253	245	0,722	361	100	0,728
	5	449	100	0,652	269	237	0,721	426	106	0,720
	Média	-	-	0,651	-	-	0,720	-	-	0,725
BT	1	253	276	0,540	328	259	0,712	304	403	0,314
	2	266	141	0,646	346	233	0,713	309	101	0,728
	3	271	359	0,517	394	188	0,703	322	100	0,728
	4	367	128	0,649	407	192	0,702	373	101	0,728
	5	392	186	0,612	407	204	0,710	383	389	0,305
	Média	-	-	0,593	-	-	0,708	-	-	0,561
BE	-	487	107	0,659	223	241	0,729	443	100	0,728

Fonte: os autores.

4, ou seja, PR é mais que o dobro no experimento 2, o que indica um nível médio de estoque maior.

A Tabela 5 mostra o tempo médio de processamento (em segundos) que cada um dos algoritmos gastou para estimar PR e TL para os três diferentes cenários avaliados.

Os resultados reportados na Tabela 5 mostram que na gestão de estoque de produtos em pequena quantidade, a técnica de busca exaustiva

pode até ser viável. À medida que aumenta a quantidade de um produto, explorar todo o espaço de busca vai se tornando bastante dispendioso no que concerne o tempo de processamento. Pode-se observar também que a técnica que apresenta o menor custo computacional é a SE, mas é também a que apresentou os piores resultados. Por outro lado, a técnica SA apresenta baixo custo computacional aliado a resultados satisfatórios.



**Tabela 3: Resultados obtidos para o conjunto de parâmetros de controle do cenário 2**

Cenário 2 – Estratégias da gestão										
Técnica	Exp.	$\alpha = 0,5; \beta = 0,5$			$\alpha = 0,7; \beta = 0,3$			$\alpha = 0,3; \beta = 0,7$		
		PR	TL	FO	PR	TL	FO	PR	TL	FO
AG	1	603	213	0,655	472	493	0,723	742	203	0,725
	2	738	249	0,654	495	544	0,720	975	205	0,729
	3	660	201	0,653	442	459	0,721	317	208	0,723
	4	782	230	0,653	501	536	0,719	355	206	0,728
	5	750	211	0,652	415	461	0,722	224	203	0,725
	Média	-	-	0,653	-	-	0,721	-	-	0,726
SA	1	303	226	0,649	450	456	0,720	213	201	0,723
	2	615	221	0,648	482	476	0,720	325	200	0,726
	3	772	217	0,651	497	457	0,719	327	200	0,727
	4	809	222	0,650	537	471	0,719	459	200	0,727
	5	990	207	0,649	560	505	0,720	839	200	0,719
	Média	-	-	0,649	-	-	0,720	-	-	0,724
SE	1	696	841	0,505	699	571	0,708	704	423	0,416
	2	731	824	0,505	733	615	0,705	736	401	0,464
	3	766	659	0,507	770	451	0,710	775	303	0,624
	4	802	498	0,511	805	289	0,646	811	922	0,302
	5	835	380	0,602	842	229	0,596	845	760	0,303
	Média	-	-	0,526	-	-	0,673	-	-	0,422
SER	1	200	224	0,650	431	487	0,717	339	205	0,724
	2	503	205	0,650	455	460	0,722	430	202	0,725
	3	549	208	0,649	522	571	0,715	622	239	0,692
	4	642	225	0,650	528	519	0,720	642	202	0,726
	5	674	240	0,649	623	473	0,717	937	235	0,696
	Média	-	-	0,650	-	-	0,718	-	-	0,713
BT	1	641	927	0,506	651	669	0,708	684	515	0,330
	2	707	996	0,503	666	735	0,707	717	509	0,327
	3	751	610	0,509	767	558	0,705	774	347	0,559
	4	762	766	0,505	810	411	0,709	789	200	0,727
	5	829	405	0,576	841	281	0,640	846	922	0,303
	Média	-	-	0,520	-	-	0,694	-	-	0,449
BE	-	576	222	0,656	449	461	0,729	553	200	0,729

Fonte: os autores.

Os resultados das Tabelas de 2 a 4 mostram a estabilidade e a qualidade dos resultados obtidos a partir da aplicação dos algoritmos de busca heurística propostos. Entende-se por estabilidade, a pouca flutuação nos valores obtidos para a função objetivo e por qualidade, a proximidade desses valores com aqueles gerados com a técnica BE. Pode-se observar que as técnicas AG e SA propiciaram os melhores resultados, com ligeira vanta-

gem para o AG. No entanto, ao considerar o custo computacional (Tabela 5) a técnica SA é a mais recomendada. É possível observar também que a BT apresenta bons resultados, mas tem problemas de estabilidade e custo computacional elevado. Em relação à técnica de subida de encosta (SE), o uso de reinícios aleatórios (SER), permitiu resultados mais estáveis, porém ainda inferiores àqueles obtidos pelas técnicas AG e SA.

**Tabela 4: Resultados obtidos para o conjunto de parâmetros de controle do cenário 3**

Cenário 3 – Estratégias da gestão										
Técnica	Exp.	$\alpha = 0,5; \beta = 0,5$			$\alpha = 0,7; \beta = 0,3$			$\alpha = 0,3; \beta = 0,7$		
		PR	TL	FO	PR	TL	FO	PR	TL	FO
AG	1	895	451	0,608	1806	1988	0,701	987	405	0,715
	2	948	493	0,608	1522	1944	0,700	1483	400	0,718
	3	1601	431	0,607	1624	1776	0,700	1487	411	0,715
	4	1155	433	0,607	1845	1971	0,701	1754	414	0,718
	5	1839	451	0,609	1860	1926	0,701	809	405	0,714
	Média	-	-	0,608	-	-	0,701	-	-	0,716
SA	1	1357	417	0,601	1814	1938	0,697	1061	409	0,712
	2	1429	421	0,600	1874	1982	0,699	1204	402	0,712
	3	1651	438	0,600	1944	1990	0,699	1941	405	0,712
	4	693	445	0,600	1969	1722	0,699	515	405	0,712
	5	719	415	0,600	1989	1829	0,699	744	402	0,713
	Média	-	-	0,600	-	-	0,699	-	-	0,712
SE	1	1415	431	0,600	1423	1611	0,681	1431	1191	0,359
	2	1484	1991	0,494	1494	1455	0,684	1500	1035	0,405
	3	1557	1667	0,498	1564	1249	0,667	1573	831	0,516
	4	1626	1306	0,498	1635	886	0,604	1641	469	0,692
	5	1699	1102	0,503	1706	683	0,558	1714	1865	0,302
	Média	-	-	0,519	-	-	0,639	-	-	0,455
SER	1	1000	427	0,600	1865	1802	0,698	1100	410	0,712
	2	1046	512	0,597	1905	1526	0,697	1738	405	0,713
	3	1148	418	0,600	1952	1767	0,699	1970	404	0,714
	4	1414	430	0,600	1960	1698	0,699	464	419	0,709
	5	547	426	0,600	1988	1463	0,696	567	427	0,705
	Média	-	-	0,599	-	-	0,698	-	-	0,711
BT	1	1412	645	0,581	1455	698	0,567	1432	1847	0,307
	2	1477	590	0,589	1512	1796	0,688	1500	1349	0,327
	3	1535	401	0,601	1562	1600	0,691	1568	1036	0,412
	4	1626	1649	0,500	1626	1227	0,667	1637	735	0,568
	5	1693	1311	0,499	1753	938	0,612	1698	450	0,698
	Média	-	-	0,554	-	-	0,645	-	-	0,462
BE	-	1882	426	0,609	1919	1942	0,711	847	403	0,718

Fonte: os autores.

**Tabela 5: Tempo médio de processamento gasto por cada uma das técnicas para estimação de PR e TL**

Algoritmo de busca heurística	Tempo médio de processamento (em segundos)		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
AG	9,20	9,35	9,50
AS	2,00	2,00	2,00
SE	0,01	0,01	0,01
SER	1,00	1,00	1,00
BT	13,00	13,00	13,00
BE	107,00	425,00	1.664,00

Fonte: Os autores.

## 5 Conclusões

Neste trabalho, empregaram-se algoritmos de busca heurística na estimação de parâmetros em um modelo probabilístico de gestão de estoques. Os resultados demonstraram que os valores estimados pelas técnicas AG e SA foram muito próximos dos valores ótimos obtidos pela técnica BE, na qual é explorado todo o espaço de soluções, o que valida a aplicação dessas técnicas. Em adi-

ção, pode-se inferir que em espaços amostrais, nos quais o domínio das soluções é pequeno, os métodos tradicionais ou mesmo a busca exaustiva são viáveis, dispensando aplicação dos algoritmos de busca heurística para estimação dos parâmetros. No entanto, à medida que o espaço de soluções torna-se maior, o uso de dessas técnicas mostra-se uma alternativa interessante na solução do problema abordado e outros de natureza semelhante.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Nove de Julho (Uninove) pelo apoio financeiro.

## Referências

- ARAÚJO, S. A. de; LIBRANTZ, A. F. H.; ALVES, W. A. L. Técnicas metaheurísticas aplicadas na otimização de parâmetros em um modelo probabilístico de gestão de estoques. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, XVI, 2009, Bauru. Ensino de Engenharia de Produção: Desafios, Tendências e Perspectivas. p. 1-9.
- BATALHA, M. O. (Org.) *Introdução à engenharia de produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 312 p.
- BELFIORE, P. P.; COSTA, O. L. V.; FÁVERO, L. P. L. Problema de estoque e roteirização: revisão bibliográfica. *Produção*, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 442-454, set./dez. 2006.
- CASTRO, J. G.; PIZZOLATO, N. D. A Programação de lotes econômicos de produção (ELSP) com tempos e custos de setup dependentes da seqüência: um estudo de caso. *Revista Gestão Industrial*, CEFET-PR Paraná, v. 1, n. 3, p. 357-367, 2005.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 434 p.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentos da administração da produção*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2000. 598 p.
- DISNEY, S. M.; NAIM, M. M.; TOWILL, D. R. Genetic algorithm optimization of a class of inventory control system. *International Journal of Production Economics*, v. 68, p. 259-278, 2000.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da produção e operações*. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001. 598 p.
- GOLDBERG, D. E. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Massachusetts: Addison-Wesley Pub. Inc., 1988. 432 p.
- HAUPT, R. L.; HAUPT, S. E. The binary genetic algorithm. In: HAUPT, R. L.; HAUPT, S. E. *Practical genetic algorithms*. New York: Wiley-Interscience, 1998. cap. 2, p. 25-48.
- MOREIRA, D. A. *Administração da produção e operações*. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 624 p.
- MICHALEWICZ, Z. *Genetic algorithms + data structures = evolution programs*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, [1996 ou 1997].
- NAHMIAS, S. *Production and operations analysis*. 3. ed. Chicago: McGraw-Hill, 1997.
- PEIXOTO, E. C.; PINTO, L. R. Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação. *Produção*, v. 16, n. 3, p. 569-581, set./dez. 2006.
- SANTORO, M. C.; FREIRE, G. Análise comparativa entre modelos de estoque. *Produção*, v. 18, n. 1, p. 89-98, jan./abr. 2008.
- RICH, E.; KNIGHT, K. *Inteligência artificial*. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- SANTOS, A. M. dos, RODRIGUES, I. A. Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. *Gestão e Produção*, v. 13, n. 2, p. 223-231, mai./ago. 2006.
- STEVENSON, W. *Administração das operações de produção*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 701 p.
- ZNAMENKY, A.; CUNHA, C. B. O problema de estoque-roteirização com demanda determinística. *Revista Transportes*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 31-40, dez. 2003.

Recebido em 21 jun. 2010 / aprovado em 28 jul. 2010

### Para referenciar este texto

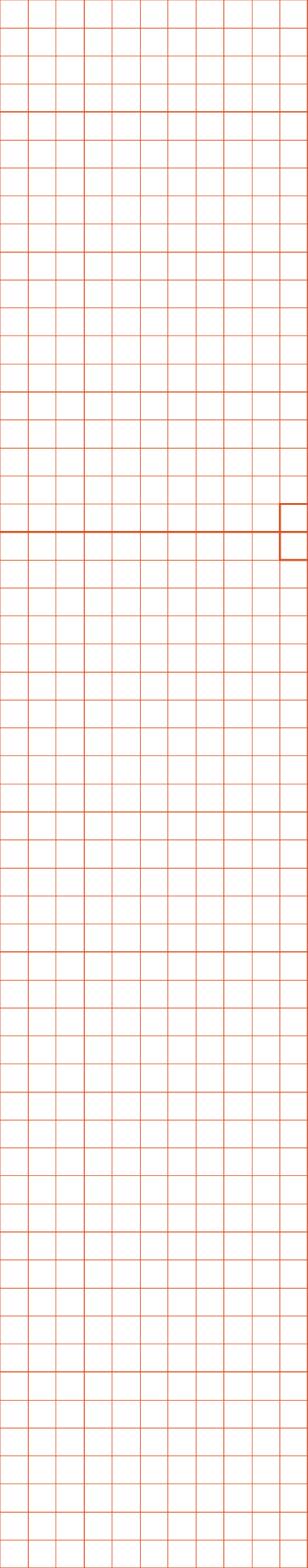
LIBRANTZ, A. F. H. et. al. Algoritmos de busca aplicados na estimação de parâmetros em um modelo probabilístico de gestão de estoque. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 237-248, 2010.





# Instruções para os autores

Instructions for authors



# Publique

*Exacta* é uma publicação científica que se propõe a ser um veículo de divulgação da produção de Ciências Exatas e da Terra, Engenharias, Arquitetura e Urbanismo. Busca contribuir para a inovação do conhecimento nessas áreas.

Podem ser apresentados à análise da Comissão Editorial artigos e resenhas (de, no máximo, um ano entre o lançamento da obra e a data desta publicação) em português ou inglês.

## Submissão de trabalhos, aspectos éticos e direitos autorais

- Os trabalhos submetidos à Comissão Editorial são avaliados quanto a seu mérito científico, sua adequação aos requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)] e a estas instruções editoriais;
- Os trabalhos devem ser inéditos no Brasil; textos já veiculados em eventos não podem ultrapassar um ano de sua divulgação e devem ter essa data explicitada;
- A Comissão Editorial pode aceitar ou não os textos a ela submetidos e, eventualmente, sugerir modificações ao(s) autor(es), a fim de adequar os textos à publicação;
- Os textos devem vir acompanhados, em arquivo separado, de carta que autorize a publicação (impressa e eletrônica). O modelo de Formulário de Autorização está disponível no portal Uninove [[www.uninove.br/publicacoes](http://www.uninove.br/publicacoes)];
- A instituição e ou qualquer dos organismos editoriais desta publicação não se responsabilizam pelas opiniões, idéias e conceitos emitidos nos textos, por serem de inteira responsabilidade de seu(s) autor(es);
- Todos os trabalhos são submetidos à leitura de, pelo menos, dois pareceristas, garantidos sigilo e anonimato tanto do(s) autor(es) quanto dos pareceristas;



- As sínteses dos pareceres, em caso de aceite condicionado ou recusa, são encaminhadas ao(s) autor(es);
- os trabalhos devem ser enviados exclusivamente para o endereço eletrônico [exacta@uninove.br](mailto:exacta@uninove.br).

## Formatação

Os textos devem ser elaborados conforme as seguintes instruções:

- Digitados no WordPad (.DOC) ou programa compatível de editoração; fonte Times New Roman, tamanho 12, alinhamento à esquerda, sem recuo de parágrafo, e espaçamento (entrelinha) duplo;
- Artigos devem ter entre 14 mil e 28 mil toques (caracteres + espaços), e resenhas, entre 3,5 mil e 7 mil toques (caracteres + espaços);
- Artigos devem apresentar seu título; nome(s) completo(s) do(s) autor(es), seus créditos profissionais e acadêmicos e endereços (físico e eletrônico) completos; resumo (entre cem e 150 palavras) e palavras-chave (máximo cinco) na língua de origem do texto. Artigos escritos em outra língua que não o inglês devem conter, ainda, *title*, *abstract* e *key words*. Ao final, obrigatoriamente, a lista de referências utilizadas no corpo do texto;
- Notas servem para explicações ou esclarecimentos e não se confundem com referência à fonte; devem vir ao final do texto, com numeração seqüencial em algarismos arábicos;
- Unidades de medida devem seguir os padrões do Sistema Internacional de Unidades (SI), elaborados pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) [[www.bipm.org](http://www.bipm.org)]; em

casos excepcionais, a unidade adotada deve ser seguida da unidade expressa no SI entre parênteses;

- Palavras estrangeiras devem ser grafadas em itálico;
- Neologismos ou acepções incomuns, grafem entre “aspas”;
- Trabalhos que exijam publicação de gráficos, quadros, tabelas ou qualquer tipo de ilustração devem apresentar as respectivas legendas, citando a fonte completa e sua posição no texto. Os arquivos devem ser encaminhados separadamente e, sempre que possível, no formato original do programa de elaboração (por exemplo: CAD, CDR, EPS, JPG, TIF, XLS), e as imagens, com alta definição (mínimo de 300 *dots per inch*s [DPIs]); para mapas ou micrografias, devem estar explícitas as marcas de escala.

## Para citar

Há duas maneiras de citar uma fonte: direta (respeitando redação, ortografia e pontuação originais) ou indireta, na qual se usa apenas o conceito da fonte, que não aparece de forma literal ou textual. Observe:

A ironia seria assim uma forma implícita de heterogenia mostrada, conforme a classificação proposta por Authier-Reiriz (1982).

Oliveira e Leonardos (1943, p. 146) dizem que a “[...] relação da série São Roque com os granitos porfiróides pequenos é muito clara.”

Outro autor nos informa que “[...] apesar das aparências, a desconstrução do logocentrismo não é uma psicanálise da filosofia [...]” (DERRIDA, 1967, p. 293).

No caso de o trecho citado ultrapassar 210 toques (caracteres + espaços), deve-se adotar recuo e justificação do parágrafo, sem o uso de aspas e em tamanho 10. Observe:

A teleconferência permite ao indivíduo participar de um encontro nacional ou regional sem a necessidade de deixar seu local de origem. Tipos comuns de teleconferência incluem o uso da televisão, telefone, e computador. Através de áudio-conferência, utilizando a companhia local de telefone, um sinal de áudio pode ser emitido em um salão de qualquer dimensão [...] (NICHOLS, 1993, p. 181).

## Para referenciar

Ao referenciar uma fonte, atente à ordem dos elementos, à pontuação e, principalmente, às informações essenciais que devem ser fornecidas e, sempre que possível, informe se a fonte está disponível eletronicamente (*on-line*). Observe:

### Livro

Os elementos essenciais são: autor(es) do livro, título do livro, edição, local, editora e data da publicação.

BUARQUE, C. *Benjamim*. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

### Livro (parte)

Os elementos essenciais são: autor(es) da parte, título da parte, autor(es) do livro, título do livro, edição, local, editora, data da publicação e intervalo de páginas da parte.

DERENGOSKI, P. R. Imprensa na Serra. In: BALDESSAR, M. J.; CHRISTOFOLETTI, R. (Org.). *Jornalismo em perspectiva*. 1. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005. p. 13-20.

### Livro (meio eletrônico)

Os elementos essenciais são os mesmos do livro ou da parte do livro, porém acrescidos do endereço eletrônico e data de acesso (se o meio for *on-line*).

ASSIS, M. de. *Memórias póstumas de Brás Cubas*. 1. ed. São Paulo: VirtualBooks, 2000. Disponível em: <[http://virtualbooks.terra.com.br/freebook/port/download/Memorias\\_Postumas\\_de\\_Bras\\_Cubas.pdf](http://virtualbooks.terra.com.br/freebook/port/download/Memorias_Postumas_de_Bras_Cubas.pdf)>. Acesso em: 31 dez. 2004.

FERREIRA, A. B. de H. *Novo dicionário Aurélio*. 3. ed. São Paulo: Positivo, 2004. 1 CD-ROM.

### Periódico (parte)

Os elementos essenciais são: autor(es) da parte, título da parte, título do periódico, local, fascículo (número, tomo, volume etc.), intervalo de páginas da parte e data da publicação.

BIARNÈS, J. O significado da escola nas sociedades do século XXI (o exemplo da escola francesa). *EccoS – Revista Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 107-128, jul./dez. 2004.

### Periódico (meio eletrônico)

Os elementos essenciais são os mesmos da parte do periódico, porém acrescidos do endereço eletrônico e data de acesso (se o meio for *on-line*).



BIARNÈS, J. O significado da escola nas sociedades do século XXI (o exemplo da escola francesa). *EccoS – Revista Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 107-128, jul./dez. 2004. Disponível em: <[http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs\\_revistas/eccos/eccos\\_v6n2/eccosv6n2\\_jeanbianes\\_traddesire.pdf](http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs_revistas/eccos/eccos_v6n2/eccosv6n2_jeanbianes_traddesire.pdf)>. Acesso em: 31 dez. 2004.

### Trabalho acadêmico

Os elementos essenciais são: autor(es) do trabalho acadêmico, título do trabalho acadêmico, data da apresentação, definição do trabalho (dissertação, monografia, tese etc.), titulação visada, instituição acadêmica (incluindo escola, faculdade, fundação etc.), local e data da publicação.

DE NIL, L. F.; BOSSHARDT, H-G. Studying stuttering from a neurological and cognitive information processing perspective. In: WORLD CONGRESS ON FLUENCY DISORDERS, 3., 2001, Nyborg. *Annals...* Nyborg: IFA, 2001. p. 53-58.

HARIMA, H. A. *Influência da glucana na evolução do *Lupus murino**. 1990. Tese (Doutorado)–Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1990.

XAVIER, E. F. T. *Qualidade nos serviços ao cliente: um estudo de caso em bibliotecas universitárias da área odontológica*. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências da Comunicação)–Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

### Observação

Na elaboração destas normas editoriais, foram consultados os seguintes documentos da ABNT: NBR 6023, NBR 6024, NBR 6027, NBR 6028, NBR 6034, NBR 10520, NBR 10522, NBR 10525, NBR 12256.





# EXACTA

Fonte: Sabon, Avant Garde Gothic  
Papel de capa: Supremo, 250 g/m<sup>2</sup>  
Papel de miolo: Alta Alvura, 75 g/m<sup>2</sup>

Impressão: Gráfica Uninove  
Tiragem desta edição: mil exemplares