

Volume 6 Número 1 Junho de 2006

ISSN 1519-8022

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG



FACULDADE DE
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Direitos exclusivos para esta edição:

Universidade Iguazu – UNIG

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Nova Iguaçu, RJ

Os artigos desta revista são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida a reprodução total ou parcial dos artigos nela publicados, desde que seja citada a fonte.

Impresso no Brasil

Supervisor Editorial

Antônio Filipe Falcão de Montalvão, UNIG

Corpo Editorial

Antônio Carlos de Abreu Mol, CNEN

Antônio Carlos Freire Sampaio, UNIG

Antônio Filipe Falcão de Montalvão, UNIG

Cláudio Henrique dos Santos Grecco, UNIG, CNEN

Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira, UNIG

Denise Salim Santos, UNIG, FACHA

Fernando Medina, UNIG

Francisco Antônio Caldas Andrade Pinto, UNIG

Isaias Gonzaga de Oliveira, UNIG

Paulo Fernando Neves Rodrigues, FAU/UFRJ

**REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA / Universidade Iguazu, v6 n°1 (Jun-2006)
Nova Iguaçu - Rio de Janeiro: Gráfica Universitária, 2006.**

Semestral

ISSN 1519-8022

1. Ciências Exatas e Tecnológicas – Periódicos. I. Universidade Iguazu

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Objetivo e Escopo

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA é uma publicação de distribuição gratuita, editada semestralmente pela Universidade Iguazu, com o objetivo de divulgar *trabalhos científicos inéditos* e *artigos de revisão*, cobrindo os diversos temas na área de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Informações para submissão de artigos

Os interessados em submeter artigos para publicação deverão enviá-los ao endereço abaixo, em duas cópias, impressas em papel formato A4 (impresso somente de um lado da folha), coluna única, com espaçamento simples e letra Times New Roman tamanho 12, acompanhadas dos respectivos arquivos eletrônicos (e-mail ou em disquete de 3^{1/4}), PC/Compatível, contendo o texto editado em Microsoft Word, as figuras e tabelas necessárias. Com o intuito de agilizar a edição, recomenda-se que as figuras e tabelas sejam embutidas no texto já em suas respectivas posições. A primeira folha deve conter o *título do trabalho*, *nomes e endereços* completos dos autores e um *resumo* de, no máximo, 250 palavras. O corpo do trabalho deve ser subdividido em seções numeradas com algarismos arábicos. As referências devem ser numeradas em ordem de citação no corpo do texto. O artigo completo não deve exceder 15 páginas, incluindo figuras e tabelas.

Revisão dos artigos

Todos os artigos serão revisados por especialistas, membros do corpo editorial, ou, caso haja necessidade, revisores externos serão convidados. Neste caso, os nomes de tais revisores serão informados nos respectivos exemplares. No caso da aceitação do artigo estar condicionada às considerações feitas pelos revisores, estas serão repassadas ao autor para que o próprio faça as devidas modificações no artigo, reenviando-o para o corpo editorial. Após aceitação ou não do trabalho, os autores serão notificados. O material enviado para revisão não será, em hipótese alguma, retornado ao autor.

Endereço para submissão de artigos

Os artigos devem ser submetidos para:

Antônio Filipe Falcão de Montalvão

UNIVERSIDADE IGUAÇU
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - FaCET,
Assessoria de Pesquisa
Av. Abílio Augusto Távora 2134, Nova Iguaçu, RJ
E-mail: facet@unig.br

Chanceler

Dr. Fábio Raunheitti – in memorian

Presidente da Mantenedora

Prof. Sylvio Jorge de Oliveira Shad

Reitor

Dr. Júlio César da Silva

Pró-Reitor Administrativo

Dr. João Batista Barreto Lubanco

Pró-Reitor de Ensino e Graduação

Dr. Carlos Henrique de Melo Reis

Pró-Reitor de Pesquisa e Extensão

Prof. Antônio Carlos Carreira Freitas

Secretário Geral

Eliana Dória Vince

Diretor da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Oswaldo Parente Gomez

Coordenador do Curso de Sistemas de Informação

Profª. Débora José de Souza Constantino

Coordenador do Curso de Engenharia da Computação

Profª. Oswaldo Parente Gomez

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção

Profª. Fernando Medina

Coordenador do Curso de Licenciatura em Computação

Profª. Vânia Vieira Fernandes Muniz

Coordenador do Curso de Matemática

Profª. Maria Teresa Teixeira Ávila

Assessor de Extensão da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Profº. Luis Carlos da Silva



Universidade Iguazu

Av. Abílio Augusto Távora, 2134 – CEP 26.260-000

Nova Iguaçu – RJ – Brasil – Tel.: 2666-2001

www.unig.br

Sumário

Editorial	6
António Filipe Falcão de Montalvão	
Aplicação Estrutural de Concretos de Altíssimo Desempenho Reforçados com Fibras de Aço.....	7
Sidiclei Formagini	
Modelagem de Elementos Básicos de Estruturas para a Análise Qualitativa do Comportamento Estrutural.....	19
Paulo Fernando Neves Rodrigues e Adriana da Silva Hermida	
Modelo Simplificado na Determinação da Velocidade do Som em Misturas Bifásicas	29
António Filipe Falcão de Montalvão	
Desenvolvimento de Metodologia para Análise da Confiabilidade Humana para Ser Utilizada em Salas de Controle de Usinas Nucleares	38
Paulo Victor R. de Carvalho, Isaac Luquetti dos Santos e Cláudio Henrique dos Santos Grecco	
A Contaminação do Solo no Perímetro do Antigo Lixão da Marambaia – Nova Iguaçu – RJ	46
Elisabeth Ritter , Manoel Fernando Pereira da Mota ,Juacyara Carbonelli Campos e Marcus Antonio Ventura	
Presença de Poluentes Emergentes no Meio Ambiente.....	57
Daniele Maia Bila e Márcia Dezotti	
Um Método para Classificação Supervisionada de Imagens de Sensoriamento Remoto Utilizando Rede Neural Probabilística e Características de Textura	69
Marcelo Musci Zaib Antonio	

Editorial

Desde o início da sua existência, a Revista Ciência & Tecnologia teve o propósito de ser uma via de comunicação com a comunidade científica na qual se insere. Resultados de desenvolvimentos científicos têm sido publicados por professores e pesquisadores da UNIG e de outras instituições, contribuindo assim para estreitar relações na comunidade científica objetivando a melhoria no ensino e na pesquisa. O comprometimento do Professor Osvaldo Parente Gomez, do Professor Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, do corpo editorial na seleção e edição de artigos, assim como o compromisso dos dirigentes UNIG na manutenção da infra-estrutura necessária, tem sido fundamental na obtenção de periodicidade na edição e qualidade da revista. A participação dos professores e pesquisadores da UNIG e da comunidade científica externa na revista tem-na engrandecido de uma maneira crescente. Assim este periódico atinge o objetivo de ser um veículo de divulgação de resultados de pesquisas científicas. A publicação de artigos de pesquisadores de outras instituições demonstra que a revista tem alcançado também a comunidade científica externa. Não se pode deixar de enfatizar, porém, que a revista Ciência & Tecnologia é um veículo fundamental na divulgação dos resultados de projetos científicos dos professores da FaCET.

Prof. António Filipe Falcão de Montalvão

Aplicação Estrutural de Concretos de Altíssimo Desempenho Reforçados com Fibras de Aço

Sidiclei Formagini

*Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal-UDERP
Rua Ceará, 333, Miguel Couto, Campo Grande – MS, CEP: 79003-010 Caixa Postal: 2153
E-mail: sidiclei@yahoo.com.br*

Resumo

O aprimoramento de técnicas de dosagens, aliadas ao uso de novos materiais cimentícios e químicos, possibilitou desenvolver concretos de altíssimo desempenho reforçados com fibras (CONADAF). O elevado desempenho e durabilidade, mesmo em condições ambientais agressivas, tornam o compósito ideal para ser aplicado na confecção de estruturas esbeltas, com espessura mínima de até 1 cm, com formas variadas e arrojadas. Este artigo apresenta algumas de suas propriedades nos estados fresco e endurecido e de durabilidade, assim como exemplos bem sucedidos de sua utilização na construção de estruturas no Brasil e no mundo. Todos os casos apresentados de utilização do material comprovam sua viabilidade nos diversos setores da arquitetura e da engenharia, tais como construção de peças decorativas, esculturas, monumentos artísticos, painéis pré-fabricados e estruturas de grande porte.

Palavras-chave: CONADAF, altíssimo desempenho, concreto, dosagem, aplicação estrutural.

1.0 - Introdução

Durante muitos anos foram produzidos concretos para fins estruturais com resistência à compressão aos 28 dias entre 15 e 25 MPa, bom o suficiente para serem usados em um grande número de obras. Em alguns países é possível observar um crescente aumento na resistência à compressão do concreto, uma vez que o concreto convencional, utilizado para fins estruturais, tem resistência à compressão entre 25 a 35 MPa. Isto não significa que concretos de 20 MPa não sejam mais utilizados. Existem numerosas aplicações onde projetistas estruturais não necessitam de concretos com resistência à compressão superior a 20 MPa (barragens de concreto,

fundações, pisos comerciais etc.). Entretanto, cada vez mais, estruturas são construídas com concretos de resistência à compressão maior para atender não apenas às solicitações impostas, mas também a critérios de durabilidade e à necessidade de criação de formas arrojadas dos projetos arquitetônicos.

No início da década de 70, concretos com resistência à compressão entre 40 e 50 MPa começaram a ser empregados na construção de pilares em edifícios altos, nos países mais desenvolvidos. Com os anos, estes concretos que apresentavam alta resistência à compressão ficaram conhecidos como CAD (Concreto de Alto Desempenho). Além da elevada resistência à compressão, percebeu-se que eles apresentavam durabilidade

superior à do concreto convencional, devido à sua baixa porosidade. Concretos com estas características passaram a ser usados em construções ao ar livre ou sob as mais severas condições ambientais como no caso de plataformas marítimas, pontes, usinas nucleares, edifícios altos etc.

Produzir concretos com diversos tipos de materiais, buscando elevado desempenho, não é uma tarefa fácil, uma vez que os problemas de empacotamento e interação entre os grãos, no estado fresco, tornam-se mais relevantes devido à redução da relação água/cimento, [1]. Para se atingirem os mais elevados valores possíveis de resistências à compressão, é necessário reduzir a dimensão dos agregados, tornando o concreto menos heterogêneo, minimizando o efeito da zona de transição e a contribuição do agregado na resistência à compressão. ORANGE et al., [2] sugerem uma dimensão máxima para o agregado de 2 mm para produção de concretos com altíssimo desempenho com resistência à compressão aos 28 dias superior a 120 MPa.

A crescente exigência de concretos com propriedades mecânicas cada vez mais elevadas na construção civil fez com que pesquisadores de diversas universidades e empresas particulares elaborassem novas metodologias de dosagem, fugindo dos procedimentos convencionais, que atualmente são limitados a poucos materiais. Com isso, a cada ano, pesquisadores estão desenvolvendo concretos mais resistentes. Concretos com resistência à compressão de até 400 MPa foram produzidos usando agregados apropriados e aplicando cura com tratamento térmico [3]. Atualmente, o recorde mundial de resistência à compressão é de 800 MPa, concreto produzido com agregados metálicos, aplicando cura sob pressão com tratamento térmico. Para alguns pesquisadores, produzir concretos com resistência à compressão de 1 GPa não é

mais considerado utopia, apenas uma questão de tempo, [4].

2.0 - Concretos de altíssimo desempenho reforçados com fibras

Desde 1994, três empresas francesas (BOUYGUES – construção civil, LAFARGE – cimentos e RHODIA – farmacológica) trabalham em conjunto no desenvolvimento de uma tecnologia revolucionária no campo de dosagem e produção de concretos. Baseando-se na concepção de concretos de pós-reativos, elaborada pela BOUYGUES, os três grupos desenvolveram um concreto de altíssimo desempenho com comportamento dúctil. O material resultante enquadra-se numa nova família de materiais cimentícios com propriedades de altíssimo desempenho. Suas características mecânicas atingem resistência à compressão entre 160 e 240 MPa e, ao mesmo tempo, resistência à tração na flexão entre 20 e 50 MPa, dependendo da natureza da fibra empregada, metálica ou sintética. O concreto produzido por essa parceria foi designado pela marca comercial Ductal®. No Brasil, esta categoria de concreto está sendo denominada CONADAF (Concreto de Altíssimo Desempenho Reforçado com Fibras). O comportamento dúctil do CONADAF possibilita um grande aumento na resistência à tração na flexão após o desenvolvimento da primeira fissura, devido ao processo de múltipla fissuração, com comportamento próximo ao elasto-plástico. Este desempenho é resultado de uma melhora nas propriedades microestruturais da matriz mineral, especialmente na rigidez e na aderência fibra-matriz e na transferência de tensões da matriz para o reforço fibroso.

Concretos com resistência à compressão superiores a 120 MPa, como o CONADAF, ainda apresentam aplicação reduzida devido

a fatores como: condições e técnicas de produção serem dominadas por poucos engenheiros; custo elevado dos componentes da mistura; custo operacional elevado, devido à pequena escala de produção do material; logística de operacionalização de sua produção.

Composição

Para a produção do CONADAF, podem ser empregados materiais como: cimentos classe CP III, CP IV e CP V; sílica ativa; sílica 325 (sílica flour); classes de areias com dimensão dos grãos entre 150 e 300 μm , 300 e 425 μm e entre 425 e 600 μm ; microfibras de aço (diâmetro de 0,18 mm e comprimento de 12 mm) e mineral (microfibras de wollastonita com dimensão transversal variando de 5 μm a 100 μm e a longitudinal de 50 μm a 2 mm); e dispersante de terceira geração à base de policarboxilatos.

Parâmetros de Dosagem

Alguns parâmetros básicos devem ser levados em conta na dosagem dos concretos para garantir propriedades de altíssimo desempenho tanto no estado fresco como no endurecido. Estes parâmetros são, [3]:

- homogeneização da mistura através da redução na dimensão dos agregados;
- aumento da compactidade através da otimização da mistura granular;
- aumento da ductilidade através da adição de microfibras minerais e fibras metálicas.

A aplicação destes parâmetros fornece à matriz altíssimos valores de resistência à compressão. A adição de fibras à matriz promove uma melhora na sua resistência à tração e também faz com que se torne possível obter certo grau de ductilidade.

Solução visando ao mais alto desempenho

As dosagens de concreto têm sido realizadas, na prática, utilizando métodos convencionais baseados em procedimentos empíricos, obtidos em função das condições de abatimento e da resistência à compressão aos 28 dias. Os métodos existentes na literatura, sejam eles para dosar concretos com resistência normal ou de alto desempenho, são limitados ao uso de poucos materiais, não abordam critérios de otimização da mistura granular e fornecem como produto final um material heterogêneo de baixo ou moderado desempenho (figura 3.1). Dentro deste contexto, a utilização do método de empacotamento compressível (MEC), desenvolvido por DE LARRARD [9] (implementado no Brasil por [1] e [10]), é uma ferramenta de dosagem que possibilita a seleção e otimização dos constituintes do concreto, aumentando a compactidade da mistura granular e diminuindo o risco de segregação, com objetivo de proporcionar o mais alto desempenho ao produto final que, aliado à baixa relação a/c, torna o concreto coeso e com baixa porosidade (figura 3.2).



Figura 3.1 – Métodos tradicionais de dosagem

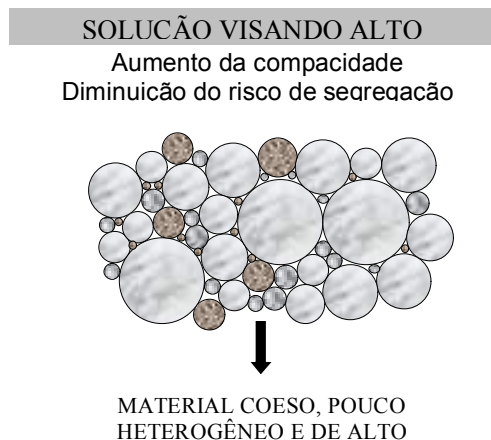


Figura 3.2 – Dosagem realizada pelo MEC [1]

Uma vez definida a composição granulométrica, o traço do CONADAF é então otimizado para satisfazer critérios no estado fresco como: excelente trabalhabilidade visando bombeamento e auto-adensamento; apresentar comportamento mecânico com altíssima resistência à compressão e comportamento dúctil à tração [8]. Além disso, deve ser durável, isto é, resistente aos meios mais agressivos. Para que esses critérios sejam alcançados, a relação água/cimento é a menor possível, da ordem de 0,20, sendo que o consumo de água encontra-se próximo ao necessário para preencher os vazios produzidos pelos grãos empacotados. Normalmente o agregado utilizado é a areia com diâmetro máximo de 600 μm . A adição de sílica ativa e o uso otimizado de outros aditivos minerais também são absolutamente essenciais. Por último, são adicionadas fibras metálicas ou sintéticas, que também são otimizadas em função do grau de ductilidade desejado ao concreto. Isto envolve a otimização do comportamento individual das fibras e sua interação com a matriz.

4.0 - Propriedades do CONADAF

Estado fresco

O CONADAF apresenta propriedades auto-adensáveis, com diâmetro médio de espalhamento superior a 70 cm (ensaio de tronco de cone de Marsh, figura 4.1). Sua alta fluidez permite moldar elementos esbeltos, com apenas 1 cm de espessura (figura 4.2), sem utilizar adensamento mecânico.



Figura 4.1 – ensaio de espalhamento utilizando o tronco de cone de Marsh.



Figura 4.2 – lançamento do CONADAF.

Estado endurecido

O CONADAF apresenta propriedades mecânicas e durabilidade elevada em relação aos concretos de resistência normal e aos

CAD. O traço é otimizado para aumentar a resistência do concreto à formação das primeiras fissuras, e sua propagação na matriz é controlada pelo volume de fibras, pela aderência fibra-matriz e por características das fibras, como razão de aspecto l/d, resistência à tração e módulo de elasticidade [5]. A presença de fibras bem aderidas a uma matriz de alta rigidez, fornece ao compósito propriedades mecânicas elevadas com comportamento elasto-plástico com endurecimento (“strain hardening”) após a formação das primeiras fissuras na matriz (figura 4.3) [5] e [6].

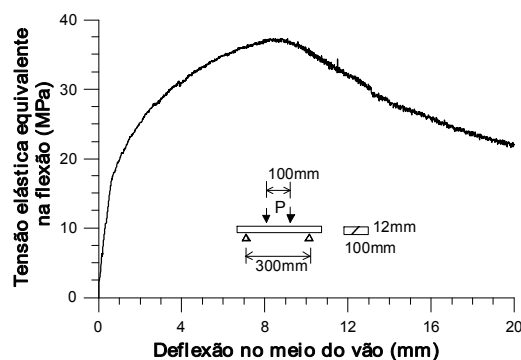


Figura 4.3 – Curvas típicas de tensão equivalente elástica na flexão versus deflexão no meio do vão.

Sob compressão uniaxial, o CONADAF apresenta comportamento praticamente linear de tensão-deformação até atingir a resistência de pico (figura 4.4). A ruptura explosiva é minimizada com adição das fibras, promovendo aumento da ductilidade ao material.

Durabilidade

O CONADAF apresenta microestrutura altamente compacta com baixa absorção capilar de água (inferior a $0,1\text{g}/\text{cm}^2$), baixa absorção de água por imersão (inferior a 1% do peso em massa), baixíssima porosidade

(índice de vazios inferior a 2%) e excelente resistência a ataques químicos de íons cloretos e sulfatos.

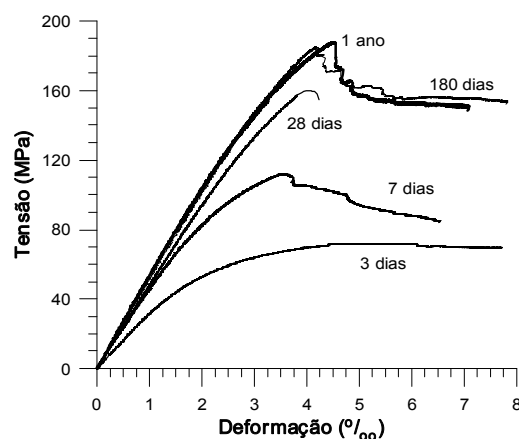


Figura 4.4 – Curvas típicas do comportamento tensão-deformação sob compressão uniaxial.

5.0 – Viabilidade

Concretos produzidos com essa tecnologia podem ser empregados na confecção de elementos estruturais esbeltos onde não há espaço para adição de armadura passiva nem de cisalhamento, combinando inovação, leveza e durabilidade. Entretanto, a chave para seu desenvolvimento e uso, tanto na construção civil como na produção de objetos caseiros, é ter disponíveis métodos de dosagem, normas para projeto e métodos de caracterização para tais concretos.

No contexto da construção civil, o uso do CONADAF, ao invés de concretos convencionais ou até mesmo de estruturas de aço, pode ser economicamente viável pelas seguintes vantagens:

- não é necessário o uso de armaduras passivas: elimina custos de projeto e custos

operacionais de montagem de armaduras principais e secundárias;

- estruturas com menor volume e peso: elementos moldados com CONADAF podem ser duas ou três vezes mais leves do que aqueles de concreto convencional;
- moldagem de elementos esbeltos: elementos com espessura a partir de um centímetro podem ser moldados com facilidade;
- baixo custo de manutenção: estruturas feitas com CONADAF, especialmente aquelas situadas em ambientes agressivos, podem apresentar resistência e durabilidade elevadas em relação às estruturas de concreto convencional ou de aço;
- possibilidade de concepções e produções arquitetônicas arrojadas, com as mais variadas formas e esbeltez.

O uso do CONADAF na confecção de elementos estruturais pode apresentar as seguintes vantagens:

- elevada resistência à compressão, à tração direta e na flexão;
- comportamento dúctil: alta capacidade de deformação após abertura da primeira fissura na matriz;
- excelentes propriedades de lançamento e adensamento;
- baixa permeabilidade: baixo risco de carbonatação e penetração de íons cloretos e de sulfatos;
- valores muito baixos de retração por secagem e fluência tornando-se excelente em estruturas protendidas.
- custo de manutenção mínimo, pois apresenta vida útil estimada superior a 1000 anos.

6.0 – Aplicação

Esta nova geração de concreto com propriedades mecânicas elevadas, durabilidade e estética, é ideal para

manutenção e regularizações em estruturas existentes, construções de novas estruturas que necessitem tais propriedades, como é o caso de edifícios altos, pontes com grandes vãos, túneis e principalmente obras em ambientes agressivos como plataformas marítimas e usinas nucleares.

A seguir são apresentados exemplos bem sucedidos de aplicação do CONADAF e do Ductal[®], da Lafarge Cimentos, em diferentes elementos estruturais, sem presença de armadura principal.



Figura 6.1 – adequação e estética em superfícies irregulares, [11].

Estética

A figura 6.1 mostra a estética do concreto moldado sob superfícies irregulares, provando que o material se adaptou muito bem aos contornos do molde utilizado, apresentando a superfície bem definida com aspecto brilhoso.

A utilização do Ductal[®] permitiu a criação de painéis pré-fabricados texturizados com um esboço vegetal em alto relevo através do uso de folhas naturais no fundo dos moldes (figura 6.2). Estes painéis foram utilizados para revestir a fachada de uma escola na Cidade de “Franche Comte”, na França. Ao todo, foram produzidos 23 painéis (1,70 x 3,60 m e 1,70 x 4,60 m) com espessura de apenas 3,5 cm.



Figura 6.2 – Painéis com aberturas em forma de folhas utilizados em uma escola na França [13].

Passarela de Sherbrooke

A figura 6.3 mostra um exemplo clássico de aplicação do Ductal[®], na construção dos elementos estruturais de uma passarela sobre um riacho na Cidade de Sherbrooke, Canadá [11].

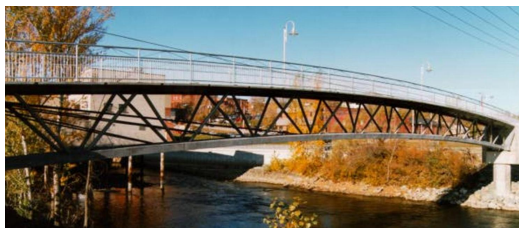


Figura 6.3 – estrutura de uma passarela sobre um riacho em Sherbrooke, Quebec, Canadá [11].

Estação de trem de Shawnessy

Para construir a estação de trem de “Shawnessy” na cidade de Calgary, Canadá (figura 6.4), foram utilizadas coberturas em forma de cascas côncavas, sem presença de armadura principal, com espessura de 20 mm. O Ductal[®] demonstrou excelente facilidade de uso nesta criação arrojada. Esta criatividade artística, com elevada resistência estrutural, foi projetada e analisada experimentalmente pelo Centro de Inovação Tecnológica da Universidade de Calgary, que aprovou o uso do material. Os pré-fabricados, além de extremamente duráveis, também são fáceis de serem limpados, exigindo um custo de manutenção muito baixo [12].

Torre para suporte de um sino

A reconstrução de uma torre de sino (figura 6.5) na cidade de Laval, na França, utilizando o Ductal[®], possibilitou um considerável aumento na vida útil da estrutura. A segunda vantagem obtida foi a redução em cerca de 5 vezes no peso do conjunto, que media 7 metros de altura. Por último, a produção, cura, transporte e posicionamento do conjunto a uma altura de 22 metros foram realizados em apenas 48 horas.



Figura 6.4 – Abrigo de pedestres em Calgary, Canadá [12]e[13]

Guarda-sóis em fachadas de edifício

O Ductal[®] foi utilizado para produzir painéis pré-fabricados para construção de guarda-sóis (figura 6.6) na fachada de um edifício na Universidade de Doua, em Lyon (França). Os painéis pré-fabricados foram produzidos com espessuras de 3 a 4 cm e comprimento de 1,70 m. No total, foram produzidos mil guarda-sóis pré-fabricados e instalados na fachada com objetivo de desviar e difundir a luz no interior do edifício.



Figura 6.5 – Torre de sino, Laval, França [13].



Figura 6.6 – Guarda-sóis na fachada de um edifício na Universidade de Doua, Lyon, França [13].

Passarela industrial

A Chryso, produtora de aditivos químicos para concreto, em “Sermaises” (Loiret, França), optou por construir uma

passarela com 19 m de comprimento e 1,6 m de largura (figura 6.7), inteiramente em Ductal[®], em um de seus armazéns destinados ao armazenamento de produtos químicos. A passarela foi construída com três elementos pré-fabricados, sem armadura passiva, apoiada em pilares de aço, independentes da superestrutura. A estrutura produzida com o Ductal[®] substituiu o projeto original que previa o uso de aço, oferecendo capacidade de carga maior que a estrutura original, com apenas uma laje de 8 cm de espessura.



Figura 6.7 – Passarela industrial na Cryso [13].

Estação de trem subterrânea

Combinar desempenho estético era o objetivo ambicioso para os painéis acústicos utilizados na construção de uma estação subterrânea (figura 6.8) no Principado de Mônaco. As paredes da estação necessitavam ser produzidas com baixo peso. Então, foram construídos painéis acústicos finos com aberturas de 1,5 cm² com objetivo de diminuir o peso e o barulho provocado pelo fenômeno de reverberação durante a passagem dos trens. Além do exigir desempenho acústico e estético, os

painéis também deveriam resistir à agressividade do ambiente. Além do mais, painéis com dimensão média de 1,80 x 2,30 m, espessura de 2 cm nas áreas sólidas e 1,5 cm nas áreas perfuradas são fáceis de serem transportados e instalados, fornecendo acabamento altamente estético para os usuários da estação e seus operadores.



Figura 6.8 – Estação de trem subterrânea [13].

Árvore de Martel

O Ductal[®] também foi utilizado para produzir uma escultura em forma de árvore (árvore de Martel, figura 6.9), com 8,50 metros de altura na cidade de Boulogne-Billancourt (França). As qualidades intrínsecas do material foram exploradas

para fornecer um complexo processo de unir as folhas (algumas das quais tinham apenas 6 cm de espessura) ao tronco da árvore.



Figura 6.9 – Árvore de Martel,[13].

Estruturas de pontes

A administração federal de estradas dos Estados Unidos (FHWA) lançou um estudo detalhado para desenvolver soluções utilizando materiais de elevado desempenho, com objetivo de reduzir significativamente o número de pontes obsoletas de várias décadas [13]. Dos resultados iniciais com diversos tipos de materiais, o Ductal® apresentou a melhor solução, fornecendo custos de manutenção reduzidos em função da máxima durabilidade. Conseqüentemente,

uma ponte experimental (figura 6.10) foi projetada e construída no estado da Virgínia validando o estudo. A ponte é composta por duas vigas em forma de PI, com 21,3 m de comprimento por 2,44 m de largura, utilizando armadura protendida. O projeto dessas vigas foi desenvolvido e monitorado através de um estudo científico realizado no M.I.T. (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), EUA.



Figura 6.10 – Construção de uma ponte experimental no estado da Virgínia, EUA,[13].

Tronco Piramidal

No Brasil, as pesquisas utilizando o CONADAF como material estrutural ainda se encontram em fase embrionária. Os primeiros elementos foram produzidos na COPPE/UFRJ, em trabalhos desenvolvidos por FORMAGINI [1], BRANDÃO [14],

ROSA [15] e FAIRBAIRN et al. [7]. A figura 6.11 mostra uma casca de Ductal® construída e ensaiada na COPPE/UFRJ por BRANDÃO [14]. A casca na forma de tronco piramidal quadrada, com os lados medindo 3,0 m, tem apenas 1 cm de espessura. Para que sua ruptura ocorresse, foi aplicada uma carga pontual superior a 1 tf na região central. Este estudo provou a viabilidade técnica de desenvolvimento e produção de elementos estruturais com este tipo de material no Brasil.



Figura 6.11 – Casca em forma de tronco piramidal projetada, construída e ensaiada na COPPE/UFRJ [14].

7. Conclusões

O CONADAF-Ductal®, por ser um material extremamente resistente e durável, mesmo quando submetido a meios bastante agressivos, é um material ideal para ser utilizado em estruturas cada vez mais esbeltas que, fisicamente, impossibilitam o uso de armaduras passivas. A seção e o volume de concreto necessários para resistir aos esforços solicitantes tornam-se inferiores àqueles que seriam necessários, caso fosse utilizado concreto convencional, ou seja, o volume de material pode ser reduzido

consideravelmente. A longo prazo, a durabilidade elevada do material minimizará os custos de manutenção, reparo e substituição da estrutura existente por uma nova.

Todos os exemplos apresentados de aplicação deste tipo de material na construção de elementos estruturais foram bem sucedidos, indicando sua versatilidade e potencialidade.

Referências

- [1] FORMAGINI, S., “Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho”. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005
- [2] ORANGE, G., DUGAT, J. AND ACKER, P., “Ductal: New Ultra High Performance Concretes. Damage Resistance and Micromechanical Analysis”. Fifth RILEM Symposium on Fiber-Reinforced Concretes (FRC), Lyon, France, September 2000, pages 781-790.
- [3] RICHARD, P AND CHEYREZY, M., “Composition of Reactive Powder Concretes”. Cement and Concrete Research, Vol. 25, Nº 7, 1995.
- [4] AİTCIN, P. C., “Cements of Yesterday and Today: Concrete of Tomorrow”. Cement and Concrete Research, Vol. 30, Issue 9, September, 2000.
- [5] FORMAGINI, S., TOLEDO-FILHO, R. D., FAIRBAIRN, E. M. R., “Mix design and Mechanical Characterization of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (UHPFRCC)”, in International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in

- Structural Applications, Honolulu, USA, (RILEM, 2005).
- [6] FAIRBAIRN, E. M. R., TOLEDO FILHO, R. D., FORMAGINI, S., ROSA, J. I. AND BATTISTA, R. C., “Experimental Analysis and Modeling of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete Plates”, in International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in Structural Applications, Honolulu, USA, (RILEM, 2005).
- [7] FAIRBAIRN, E. M. R.; TOLEDO FILHO, R. D.; BATTISTA, R. C.; BRANDÃO, J. H.; ROSA, J. I.; and FORMAGINI, S., “Experimental And Numerical Analysis Of UHPFRC Plates And Shells”. 16th European Conference of Fracture – Failure Analysis of Nano and Engineering Materials and Structures, Alexandroupolis, Greece, July, 2006.
- [8] CHANVILLARD, G. AND RIGAUD, S., “Complete Characterization of Tensile Properties of Ductal UHPFRC According to the French Recommendations”. RILEM – Fourth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC4), Ann Arbor, USA, 2004.
- [9] DE LARRARD, F., “Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach”. Modern Concrete Technology Series, vol. 9, E&FN SPON, London, 1999.
- [10] SILVA, A. S. M. DA, “Dosagem de Concreto Pelos Métodos de Empacotamento Compressível e Aitcin-Faury Modificado”. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- [11] BLAIS, P. Y. AND COUTURE, M., “Precast, Prestressed Pedestrian Bridge — World’s First Reactive Powder Concrete Structure”. PCI Journal, September-October 1999.
- [12] TOLEDO FILHO, R. D., FORMAGINI, S., FAIRBAIRN, E. M. R., ROSA, J. I. AND BATTISTA, R. C., “Modelagem Numérico-Experimental de Placas em Concretos de Altíssima Resistência”. 47º Congresso Brasileiro do Concreto, Recife, 2005.
- [13] Ductal – Lafarge, Disponível em <http://www.ductal-lafarge.com>. Acesso em 02 de maio de 2006.
- [14] BRANDÃO, J. H., “Análise Experimental e Numérica de Cascas de Concreto de Ultra-Alto Desempenho Reforçado com Fibras”. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- [15] ROSA, J. I. da, “Análise Numérica-Experimental de Prismas, Placas e Cascas de Compósitos Fibrosos de Altíssimo Desempenho”. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2005.

Modelagem de Elementos Básicos de Estruturas para a Análise Qualitativa do Comportamento Estrutural

Paulo Fernando Neves Rodrigues¹ e Adriana da Silva Hermida²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, FAU/UFRJ
Ilha do Fundão – 21945 970 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: pfnr@fau.ufrj.br

² Arquiteta, formada pela FAU/UFRJ
Ilha do Fundão – 21945 970 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: driarq@click21.com.br

Resumo

Uma maneira de compreender melhor o comportamento estrutural básico das edificações pode ser feita de forma qualitativa, através da observação das configurações deformadas das estruturas, utilizando-se modelos reduzidos de sistemas estruturais confeccionados com materiais flexíveis como o silicone, a borracha e o elástico, sem a preocupação com fatores de escalas, nem de estética. A análise das estruturas feita com o auxílio de modelos que simulam de maneira exagerada os deslocamentos sofridos pelos diversos elementos facilita a compreensão dos conceitos básicos de tração, compressão, flexão, flambagem e torção, utilizando-se o sentimento e a intuição. Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns aspectos dos projetos de modelos reduzidos, desenvolvidos pelos alunos da disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais, oferecida no primeiro período letivo do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ). Baseado no procedimento citado, a disciplina possibilita o desenvolvimento da sensibilidade dos alunos ao entrar em contato, pela primeira vez, com os sistemas estruturais, motivando-os a avaliar as deformadas dos elementos estruturais básicos, tais como vigas, lajes, colunas, cabos, arcos, cascas, membranas etc, e contribuindo para um melhor conhecimento do comportamento estrutural, através das respostas destes elementos a determinados carregamentos.

Palavras-chave: Estruturas, elementos estruturais, sistemas estruturais, modelagem.

1. Introdução

No curso de arquitetura e urbanismo, o aluno aprende a desenvolver, a projetar, a planejar edificações, com as mais diversas finalidades. Para tanto, se faz necessário o estudo de inúmeras matérias que servirão de base para esse processo, como História e

Teoria da Arquitetura e Urbanismo, Projeto de Arquitetura, Conforto Ambiental, Sistemas Estruturais, Técnicas Retrospectivas etc. A matéria “Sistemas Estruturais”, e a maneira como esta é passada, pela primeira vez, ao estudante de Arquitetura e Urbanismo, é o que será enfatizado neste artigo, considerando que

todo arquiteto deve conhecer os tipos de sistemas estruturais existentes, saber como seus elementos se comportam e estar capacitado a apresentar seu pré-dimensionamento.

As estruturas criadas pelo homem são concebidas e projetadas para atender a determinados requisitos básicos, sejam estes de funcionalidade, de estética, de economia, de equilíbrio, de estabilidade, de resistência etc. Deste modo, tornam-se a essência da arquitetura.

Portanto, o primeiro contato do aluno com esta matéria é de extrema importância, uma vez que, a partir desse momento, o estudante se sentirá motivado a ampliar e aprimorar os seus conhecimentos nos períodos seguintes.

No curso de Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFRJ, já no primeiro período letivo o estudo dos sistemas estruturais é introduzido através da disciplina “Modelagem dos Sistemas Estruturais”. Nesta disciplina, estudam-se não só as características e propriedades principais de cada elemento estrutural isolado, mas também as diversas composições estruturais.

A metodologia utilizada no curso explora o uso da intuição no processo de aprendizagem, através de exemplos tirados dos elementos existentes na natureza, das reações no corpo humano, de modelos reduzidos de estruturas feitos em sala pelos alunos, monitores e professores; e exemplos de aplicação de estruturas na Arquitetura e Engenharia, através de observações das obras construídas no passado e no presente, seus sucessos e insucessos.

O objetivo é mostrar ao aluno qual a função da estrutura na Arquitetura, sua relevância no processo de projetar e executar uma edificação, introduzindo qualitativamente os sistemas estruturais existentes e suas características, incluindo o comportamento estrutural, quando

submetidos a determinados carregamentos. É possível, então, facilitar o entendimento do estudante de Arquitetura sobre conceitos básicos, como os de torção, tração, compressão, flambagem etc, tirando partido da sua capacidade visual e tornando esse assunto mais atraente e fascinante, sem ser superficial. Desta forma, desenvolve-se uma base para o início do estudo do processo quantitativo dos diversos fenômenos existentes na estrutura.

Sendo a análise experimental qualitativa uma maneira fácil de direcionar a intuição através do sentimento e da visualização, é solicitada aos alunos a concepção, elaboração e execução de um modelo reduzido, viável para ser construído em sala de aula (oficina de maquete), que possibilite a percepção do comportamento estrutural, por meio da observação das configurações deformadas dos elementos, confeccionados com materiais relativamente flexíveis, a partir da aplicação de determinadas solicitações. Com isso, os conhecimentos adquiridos durante o curso são postos em prática.

2. Modelagem dos elementos básicos e dos sistemas estruturais

Basicamente dois fatores são de extrema importância no ensino da matéria Sistemas Estruturais, numa faculdade de Arquitetura. O primeiro, como já dito antes diz respeito à motivação do aluno em ampliar e aprimorar seus conhecimentos com relação à estrutura, nos períodos seguintes; o segundo, não menos importante, trata de mostrar a importância e a relação da estrutura no ato de projetar, ou seja, de mostrar aos estudantes que “não se compreende como belo aquilo que tenha apenas aparência estética agradável, mas sim o belo mais amplo, o belo como expressão” [POLILLO, 1968].

Os sistemas estruturais são compostos de elementos que ao se inter-relacionarem desempenham uma função, permanente ou não. A associação destes elementos pode resultar em inúmeras possibilidades de criações estruturais. Quando feita de uma maneira coerente, sob o ponto de vista econômico, com base na diversidade de materiais existentes, pode-se chegar numa arquitetura com soluções estruturais mais leves e econômicas.

A seguir, são apresentados, de maneira sucinta, alguns aspectos da metodologia aplicada no curso e exemplos de algumas possibilidades de arranjos de sistemas estruturais e suas configurações deformadas, a partir de determinadas solicitações.

VIGA

A maioria das estruturas dos prédios é constituída de arranjos de elementos de vigas e colunas. Estes são, portanto, os elementos estruturais básicos mais comuns da construção civil.

As vigas, quando solicitadas por cargas verticais atuantes de cima para baixo, sofrem deslocamentos, apresentando uma deformada associada à flexão. Na prática, apesar desses deslocamentos ocorrerem, geralmente não são perceptíveis a olho nu porque são muito pequenos.

A flexão acarreta uma combinação de tração e compressão. Pode-se facilmente perceber onde ocorre tração e compressão em vigas através do uso de modelos reduzidos, confeccionados em materiais flexíveis que possibilitem a ampliação dos deslocamentos.

Para compreender de uma forma melhor o comportamento estrutural de vigas através da análise de suas configurações deformadas, os alunos construíram modelos de vigas de borracha com diversas condições de apoio. As Figuras 2.1, 2.2 e 2.3

apresentam exemplos de vigas simplesmente apoiada, biengastada e contínua, respectivamente.

A partir desses modelos, pode-se perceber que as extremidades da viga simplesmente apoiada giram livremente quando a carga é aplicada. Por outro lado, na viga duplamente engastada, as extremidades não permitem o giro. No caso da viga contínua, percebe-se a influência de um vão sobre o outro.

É notável, também, nos três modelos, a ocorrência de tensões de compressão nas fibras superiores da seção transversal e tração nas inferiores, nas regiões centrais dos vãos.



Figura 2.1 – Viga simplesmente apoiada



Figura 2.2 – Viga biengastada

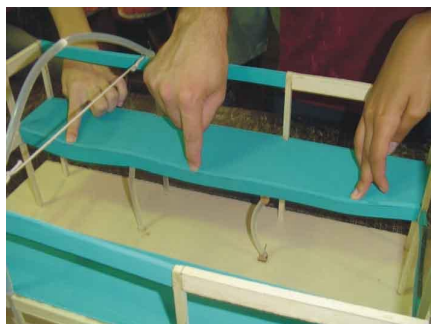


Figura 2.3 – Viga contínua

No caso particular de vigas em balanço, acontece justamente o oposto, ou seja, tração nas fibras superiores e compressão nas inferiores, como apresentado na figura 2.4, a seguir.



Figura 2.4 – Viga em balanço

Ao analisar estes quatro modelos de viga, os estudantes chegaram à conclusão que a viga biengastada apresenta deslocamentos menores e, como consequência, pode suportar mais carga que a viga simplesmente apoiada. A viga em balanço, por sua vez, é muito mais flexível que a viga simplesmente apoiada, sendo, portanto, a menos resistente em termos de capacidade de carregamento.

Alguns tipos de vigas podem sofrer torção. Vigas que suportam marquises são os exemplos mais comuns encontrados na prática. A viga balcão, devido à sua forma curva, também, apresenta torção.

Com o objetivo de visualizar melhor os resultados da torção, os alunos montaram os modelos das Figuras 2.5 e 2.6, onde podem-se ver, nitidamente, esses efeitos.



Figura 2.5 – Viga de marquise



Figura 2.6 – Viga balcão

COLUNA

As colunas são elementos fundamentais na concepção estrutural. Sua forma, seu tamanho e posicionamento são determinantes para o projeto de arquitetura.

Colunas esbeltas, quando comprimidas, podem apresentar flambagem. O modelo exibido na Figura 2.7, a seguir, foi montado utilizando-se hastes de silicone com o intuito de observar os diversos modos de flambagem para colunas com diferentes condições de apoio nas extremidades, no caso, biarticulada, biengastada e articulada e engastada.

Através desta experiência foi possível

concluir que a flambagem depende do tipo de material, da esbeltez da barra, dos tipos de vínculos nas extremidades e da força de compressão aplicada e também, visualizar, os diversos comprimentos efetivos de flambagem para as diferentes condições de apoio.



Figura 2.7 – Flambagem

CABO

Os elementos de cabos da Figura 2.8 foram feitos com elásticos. Estruturas de cabos, por serem bastante esbeltas e flexíveis, não oferecem resistência a esforços de compressão. Entretanto, apresentam grande resistência à tração. Os alunos tiveram a oportunidade de perceber que, devido a essas características, cabos podem ser utilizados para enrijecer pórticos submetidos a esforços laterais, sejam eles devidos à ação do vento, frenagem etc.

Verifica-se também, através do modelo confeccionado com corrente, da Figura 2.9, que as estruturas de cabos, além de serem resistentes à tração, esbeltas e flexíveis, possuem uma configuração deformada que varia de acordo com a intensidade e posição da carga aplicada. Em outras palavras, reforçaram os conceitos de funiculares de forças e catenária.



Figura 2.8 – Cabos

ARCO

Ao contrário dos cabos, a estrutura do arco trabalha, principalmente, à compressão, embora devido à sua rigidez possa ocorrer também flexão. No caso particular em que o arco tem a sua forma obtida através da inversão de uma funicular de um cabo, o mesmo fica submetido apenas à compressão. Desta forma, teoricamente, o arco pode ser construído, utilizando-se o mesmo princípio de construção dos romanos, ou seja, através de blocos justapostos, sem a utilização de aglomerante entre os mesmos. A Figura 2.9 apresenta, além do cabo citado anteriormente, um arco montado pelos alunos, seguindo este princípio.



Figura 2.9 – Cabo e arco

Ficou claro, também que no caso de mudança do carregamento, o arco montado

deixaria de ser o inverso de uma funicular. Alguma tração poderia ocorrer no mesmo e, como não há aglomerante entre os blocos, o arco, provavelmente, entraria em colapso.

Por meio de outros modelos de arcos, mostrados nas Figuras 2.10 e 2.11, feitos com silicone e elástico, foi possível comparar o comportamento estrutural do arco atirantado da Figura 2.10, com o do arco sem tirante da Figura 2.11.



Figura 2.10– Arco atirantado

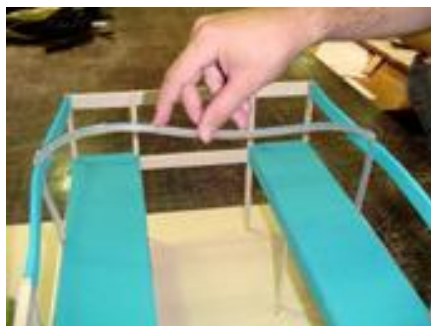


Figura 2.11 – Arco sem tirante

Os alunos notaram que a presença do tirante reduz o deslocamento horizontal dos apoios, podendo até impedi-lo quando o material do tirante for suficientemente resistente à tração.

Sendo o arco uma estrutura rígida, ficou claro para os alunos que a sua concepção através de materiais flexíveis, mostra somente uma tendência de deslocamento do mesmo. É perceptível que o arco da Figura

2.13, engastado nas extremidades, é muito mais rígido que o biarticulado, da Figura 2.12 (ambos construídos com barras de silicone), apenas por causa da diferença nas condições de apoio. Os alunos concluíram também que o arco trata-se de uma estrutura que apresenta rigidez pela forma, tendo uma maior rigidez à flexão que uma viga de mesma altura.

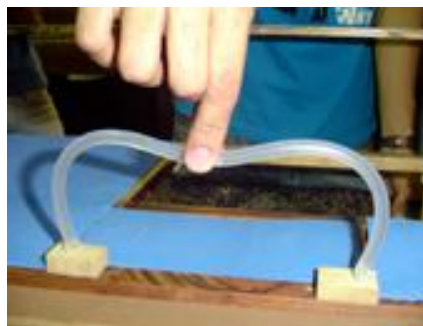


Figura 2.12 – Arco biarticulado

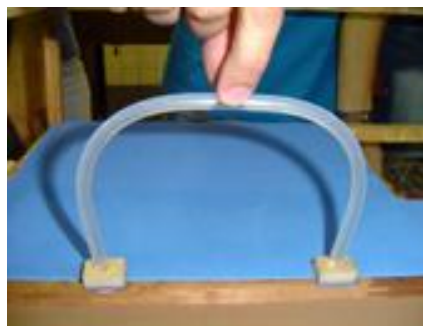


Figura 2.13 – Arco biengastado

TRELIÇA

Ao estudar o comportamento estrutural de treliças, os alunos chegaram à conclusão que se os carregamentos forem aplicados nos nós, as barras das mesmas podem estar submetidas à compressão, como no exemplo da Figura 2.14, ou à tração (Figura 2.15). Concluíram também que, em alguns casos, algumas barras não sofrem nem compressão, nem tração, ou seja, simplesmente não estão

tensionadas.

No modelo da Figura 2.14, as barras foram feitas com borracha, o que propiciou a identificação das barras comprimidas por causa da flambagem. O grupo de alunos logo constatou que na prática, esta flambagem não deve ocorrer para não levar a estrutura ao colapso e que, por isso, as barras comprimidas das treliças, além de rígidas, devem ser suficientemente robustas para evitar a ocorrência de flambagem das mesmas.

Por outro lado, os estudantes deduziram através do modelo da Figura 2.15, onde os membros tracionados da treliça foram montados com elásticos, que as barras submetidas à tração podem ser substituídas por cabos, quando o projeto arquitetônico permitir.



Figura 2.14 – Treliça (barras comprimidas)



Figura 2.15 – Treliça (barras tracionadas)

LAJE

Vários modelos de lajes, com diferentes formas e texturas, feitos com borracha, acetato, cortiça etc. foram elaborados com o objetivo de se analisar as deformadas das mesmas. As Figuras 2.16 a 2.18 apresentam alguns dos modelos montados com borracha, simulando painéis de uma laje maciça que sofre flexão apenas em uma direção; de uma laje nervurada (grelha); e de uma laje cogumelo, respectivamente.

Modelos como estes proporcionam um maior aprofundamento nas propriedades e características dos diversos tipos de lajes, além de consolidar o conceito de punção e comprovar que os elementos de lajes sofrem, basicamente, flexão.



Figura 2.16 – Laje maciça (flexão em uma direção)



Figura 2.17 – Laje nervurada (grelha)



Figura 2.18 – Laje cogumelo



Figura 2.19 – Casca de translação

CASCA

As cascas são estruturas que possuem riqueza de forma e fazem parte do grupo de elementos estruturais que apresentam rigidez pela forma, pelo fato de trabalharem basicamente à compressão. Os alunos montaram, na maioria das vezes, exemplos de cascas de translação e de revolução, como os mostrados nas Figuras 2.19 e 2.20, respectivamente. A partir de modelos flexíveis como os exibidos nestas figuras, verificaram que os elementos de cascas são bastante eficientes quando usados como coberturas, pois os mesmos apresentam uma boa resposta quando sujeitos a carregamentos distribuídos. Por outro lado, os alunos constataram que as cascas não são muito eficientes quando submetidas a carregamentos concentrados, o que os levou

a pensar nas cascas de translação e revolução como associações contínuas de arcos, tendo, portanto, características e comportamentos semelhantes aos destes elementos.



Figura 2.20 – Casca de revolução

MEMBRANA

Conclusões análogas foram encontradas quando modelos estruturais de membranas foram confeccionados, ou seja, que as membranas não são muito resistentes a cargas concentradas e são, geralmente, utilizadas, em coberturas. A Figura 2.21 exibe um modelo de estrutura de membrana desenvolvido pelos alunos.



Figura 2.21– Membrana

3. Conclusões

O uso de materiais flexíveis na modelagem de sistemas estruturais, para o auxílio na compreensão do comportamento estrutural de seus elementos, mostrou-se bastante eficiente, determinando de modo qualitativo a tendência de deslocamento de vigas, colunas, cabos, arcos, treliças, lajes, cascas e membranas. Este procedimento possibilitou a análise qualitativa das deformadas desses elementos estruturais básicos, encontrados na prática da construção civil, por meio da visualização dos seus deslocamentos.

Aspectos dos trabalhos apresentados pelos estudantes do primeiro período letivo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ foram apresentados e conclusões formuladas. Estas experiências fazem parte da avaliação feita pelo professor da disciplina “Modelagem dos Sistemas Estruturais” que, a cada período, tornam-se mais produtivas e ricas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os alunos das disciplinas “Composição e Modelagem das Estruturas” e “Modelagem dos Sistemas Estruturais”, desde o ano letivo de 2004 até a presente data e, também, ao professor Adolpho Polillo, criador e idealizador das citadas disciplinas.

Referências

- [1] CORKILL P. A., PUDERBAUGH, H. L. & SAWYERS, H. K., “Structure and Architectural Design”, Market Publishing Davenport, 4th Edition, Iowa, 1993.
- [2] ENGEL, H., “Sistemas de Estructuras /Sistemas Estruturais”, Editorial Gustavo Gilli, Barcelona, 2001.
- [3] HILSON, B., “Basic Structural Behaviour -Understanding Structures From Models”, Thomas Telford, London, 1993.
- [4] MIRET, E. T., “Razon Y Ser de los Tipos Estructurales”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas – Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 9.a edición, Madrid, 1998.
- [5] MOORE, F., “Understanding Structures”, McGraw-Hill Co., New York, 1998.
- [6] POLILLO, A., “Considerações sobre o Ensino de Estruturas nos Cursos de Formação de Arquitetos”, Sedegra-Rio, Rio de Janeiro, 1968.
- [7] REBELLO, Y. C. P., “A Concepção Estrutural e a Arquitetura”, Zigurate Editora, São Paulo, 2001.
- [8] SALVADORI, M. G. & TEMPEL, M., “Architecture and Engineering: An Illustrated Teacher’s Manual On Why Buildings Stand Up”, Salvadori Educational Center On The Built Environment (SECBE), 3rd edition, New York, 1983.
- [9] SALVADORI, M. & HELLER, R., “Structure in Architecture”, Prentice Hall, 3rd edition, New Jersey, 1983.
- [10] SALVADORI, M. G., “The Art Of Construction: Projects and Principles for Beginning Engineers and Architects”, Chicago Review Press, 3rd edition, New Jersey, 1990.
- [11] SANTOS, J. A., “Sobre a Concepção, o Projeto, a Execução e a Utilização de Modelos Físicos Qualitativos na Engenharia de Estruturas”, Tese de Mestrado, USP, 1983.
- [12] SCHODEK, D. L., “Structures”, Prentice Hall, 4th edition, New Jersey, 2001.

- [13] VASCONCELOS, A. C., “Estruturas Arquitetônicas: Apreciação Intuitiva das Formas Estruturais”, Studio Nobel, São Paulo, 1991.
- [14] WILSON, F., “Structure: The Essence of Architecture”, Van Nostrand Reinhold, Expanded Edition, New York, 1983.

Modelo Simplificado na Determinação da Velocidade do Som em Misturas Bifásicas

Antônio Filipe Falcão de Montalvão

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguazu
AV. Abílio Augusto Távora, 2134, Nova Iguaçu, RJ, Brazil
Phone: 55 24 24442313, email: filipe_montalvao@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo simples da determinação da velocidade do som em misturas bifásicas de gás e líquido. Através de uma modelagem conhecida da literatura, dimensionou-se e construiu-se um convergente/divergente do tipo Venturi para ser utilizado na determinação experimental da velocidade do som. Utilizando três tipos de gás e água, realizaram-se experiências medindo-se a quantidade de gás e líquido e determinou-se a partir das condições de escoamento bloqueado a velocidade do escoamento na seção convergente do Venturi. A partir destas medidas, desenvolveu-se um modelo empírico e comparou-se o modelo com modelos de outros pesquisadores.

Palavras-chave: Velocidade do som, bifásico, escoamento, gás-líquido.

1. Introdução

Escoamentos bifásicos, gás-líquido, são amplamente observados, como por exemplo, em processos industriais e em sistemas de tratamento de efluentes. Processos para oxidação de líquidos, utilizam gás oxigênio e ozônio em meio líquido. Na maioria das vezes estes processos desenvolvem escoamentos bifásicos através de dutos ou reatores. Processos remoção de compostos no meio líquido, por “stripping”, utilizam nitrogênio ou dióxido de carbono no desenvolvimento de escoamento bifásico. Processos de aeração de efluentes utilizam o oxigênio ou o ar em meio líquido para oxigenação dos efluentes como processo de tratamento dos mesmos. Processos de correção de pH de águas e efluentes utiliza em muitos casos a injeção de dióxido carbono gasoso no meio líquido. Escoamentos bifásico, água e vapor de água

são usualmente encontrados em sistemas de geração de vapor e água quente. Atualmente existem dificuldades no dimensionamento de dutos e sistemas de medida de vazão para escoamentos bifásicos. Velocidades sônicas podem ser atingidas, com uma certa frequência, em escoamentos bifásicos no interior de instalações hidráulicas. De uma maneira geral, instalações para escoamentos bifásicos, não levam em consideração o aumento da perda de carga devido às duas fases e possíveis bloqueios devido ao atingimento de velocidades sônicas no meio.

Neste estudo, desenvolveu-se uma alternativa na determinação da velocidade do som para misturas bifásicas, gás-líquido, ou para fluidos em escoamentos bifásicos. Através de um convergente/divergente, do tipo Venturi, mediu-se experimentalmente o limite máximo da vazão da mistura bifásica na restrição do convergente, ou seja, a partir do ponto de escoamento bloqueado, mediu-

se a vazão de gás, líquido e de outras variáveis inerentes ao processo. Ajustou-se assim um modelo empírico a partir das medidas experimentais nas diversas condições de escoamento. O modelo desenvolvido foi comparado com modelos de outros pesquisadores.

2. Revisão bibliográfica

De uma maneira geral, a velocidade do som, em um dado escoamento monofásico, pode ser definida pela relação abaixo, onde, v é a velocidade do fluido e dP/dv o gradiente de pressão em relação ao volume específico do fluido, ao longo do escoamento.

$$a^2 = -v^2 \cdot (dP/dv)$$

Nos casos de escoamento bifásico, a caracterização de velocidade sônica é mais complexa do que para escoamentos monofásicos. Este assunto tem sido estudado por diversos autores. Normalmente as relações são determinadas levando-se em conta a velocidade sônica dita “congelada”, onde o fluido não possui tempo para responder à perturbação imposta, permanecendo a sua fração mássica constante. A seguir, mostram-se diversas relações que determinam as velocidades sônicas de misturas de gás em líquido e as hipóteses consideradas em cada uma delas.

Wijgaarden [1] desenvolveu um modelo que considera que as ondas de choque e as bolhas de gás movimentam-se com a mesma velocidade do fluido, que a pressão no gás é a mesma que a do fluido, que o escoamento é isotérmico, que β é muito menor que 1 e que não existe transferência de massa entre as fases.

$$a^2 = P / (\rho_m \cdot \beta)$$

Onde, ρ_m é a massa específica média do fluido bifásico, β a razão entre a vazão volumétrica de gás e a vazão volumétrica total e P , a pressão absoluta do escoamento.

Yih-Yun Hsu [2] desenvolveu um modelo, a seguir, considerando escoamentos borbulhantes sem mudança de fase, a fase gás segue a equação dos gases perfeitos, o líquido é incompressível e a razão de escorregamento entre as fases não é em função da pressão.

$$a^2 = [(1-x) \cdot \rho_g + x \cdot \rho_L]^2 \cdot R \cdot T_g / (x \cdot \rho_L)^2$$

Onde, R é a constante do gás, T_g a temperatura do gás, x a razão entre a massa de gás e a massa total, ρ_g é a massa específica do gás e ρ_L a massa específica do líquido.

A relação obtida por Henry [3] é experimental, válida para sistemas bifásicos, ar e água, a pressões de 0,1 a 1 MPa e frações de vazios de até 0,5. Onde, α é a fração de vazios, ou seja a razão entre o volume de gás e volume total em uma determinada seção do escoamento, C_{pL} é o calor específico do líquido, C_{vG} o calor específico do gás a volume constante, C_{pG} o calor específico do gás a pressão constante e a_L a velocidade do som na fase líquida.

$$a = [\alpha^2 + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \rho_L / \rho_g + a_1]^{-1} \cdot n \cdot P / \rho_L$$

onde :

$$a_1 = [(1 - \alpha)^2 + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \rho_L / \rho_g] \cdot n \cdot P / (\rho_g \cdot a_L^2)$$

$$n = (1-x) \cdot C_{pL} + x \cdot C_{pG} / [(1-x) \cdot C_{pL} + x \cdot C_{vG}]$$

Borisov [3] considerou, no seu modelo, que a perturbação do escoamento sônico é

de baixa frequência, e obteve a seguinte expressão:

$$a^2 = k.P.a_L^2 \cdot [(1-\beta)^2.K.P + \beta.(1-\beta).\rho_L.a_L^2]^{-1}$$

onde: $k = C_{pg} / C_{vg}$

Nguyen [4] considerou que a interface de uma fase interage como uma parede elástica com a outra fase, não existem mudanças de fase, o sistema é unidimensional, as paredes são rígidas e as forças de atrito são desprezíveis.

$$a = [(1-\alpha) / a_{eL} + \alpha / a_{eg}]^{-1}$$

onde:

$$a_{eL} = [(1-\alpha) / a_L^2 + \alpha \cdot \rho_L / (\rho_g \cdot a_g^2)]^{-0,5}$$

$$a_{eg} = [\alpha / a_g^2 + (1-\alpha) \rho_g / (\rho_L \cdot a_L^2)]^{-0,5}$$

a_g é a velocidade do som na fase gás.

Picard [5] considerou o fluido no seu estado congelado (não existe tempo para transferência de calor e massa entre as duas fases), fração mássica constante, entropia do gás e líquido ao longo de uma linha isentrópica da mistura e apresentou o modelo:

$$a = (1/\rho_m)^2 \cdot [(1-x)(v_L/a_L)^2 + x.(v_g/a_g)^2]^{-1}$$

Onde as variáveis v_g e v_L são, respectivamente, o volume específico do gás e do líquido.

Thang [6] considerou escoamento através de um Venturi, do tipo adiabático, unidimensional, com razão de escorregamento constante e sem transferência de massa entre as duas fases.

$$a = [P_1 / (\rho_{m1} \cdot \alpha_1)]^{0,5} \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_1 / rP)$$

onde as variáveis com subscrito 1, são relacionadas à entrada do Venturi, $rP = P / P_1$ e P a pressão do escoamento na restrição do Venturi.

3.0 - Procedimento experimental

Montalvão [7] demonstrou como se pode obter escoamento bloqueado a partir de misturas bifásicas de gás-líquido, escoando através de bocais convergentes/divergentes. Assim, dimensionou-se e contruiu-se um convergente/divergente, do tipo Venturi, de maneira a obter-se um escoamento bloqueado na restrição do mesmo. A partir da construção do Venturi montou-se um aparato experimental, no qual se fez passar, pelo Venturi, uma mistura bifásica.

Parâmetros como pressão, temperatura, vazão de gás, vazão de líquido e diferencial de pressão foram medidos para diversas condições de vazão de gás e líquido. A figura 1 mostra desenho esquemático do Venturi e a posição onde as variáveis acima foram medidas.

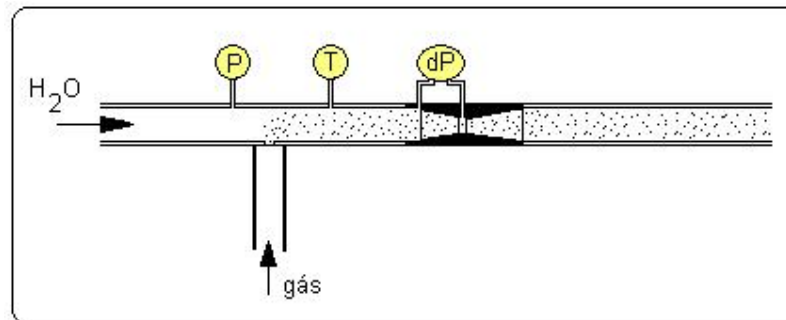


Figura 1 - Desenho esquemático do escoamento bifásico através do Venturi

A avaliação da velocidade do som deu-se na restrição do Venturi. Por definição, um escoamento atinge a velocidade do som quando o mesmo se torna em regime bloqueado, ou seja, as condições a montante da seção avaliada não interferem nas condições a jusante da mesma. Assim, ao atingir-se a velocidade do som na restrição, as condições a jusante do Venturi permanecem inalteradas, ainda que se alterem as condições a montante do Venturi. Assim o escoamento bloqueado serve de divisor entre escoamento subsônico e sônico. Durante o experimento, consideraram-se apenas as medições para escoamento bloqueado, avaliando-se para estas condições a velocidade do escoamento na restrição.

Considerando-se a vazão de água, gás, pressão a montante, pressão na restrição do Venturi, e o diâmetro na restrição, e considerando a hipótese de que a velocidade do líquido na restrição é idêntica à da água, ou seja, não existe escorregamento entre as duas fases, determinou-se para cada condição de escoamento bloqueado a velocidade da mistura na restrição. O procedimento seguinte mostra como foi determinada a velocidade da mistura bifásica na

restrição e velocidade do som, a partir das medidas experimentais de pressão a montante do convergente, diferencial de pressão no convergente do Venturi, temperatura da mistura, vazão de gás e vazão de líquido.

A partir da medida da pressão na restrição, $P_R = P + dP$, a vazão mássica do gás, m_g , e a temperatura, T , determinou-se a vazão volumétrica do gás na restrição através da relação:

$$Q_g = m_g \cdot (R \cdot T / P_R) \quad (3.1)$$

onde, R é a constante do gás.

A vazão volumétrica da mistura na restrição é igual à soma da vazão volumétrica de gás pela vazão de líquido, obtendo-se:

$$Q = Q_L + Q_g \quad (3.2)$$

A velocidade do escoamento bifásico na restrição é determinada pela razão entre a vazão total e a área da restrição:

$$v = Q / A \quad (3.3)$$

Os valores da velocidade do som em misturas bifásicas gás-líquido são relacionadas às quantidades de cada uma das fases na

mistura. A fração de vazios foi o parâmetro utilizado no modelo desenvolvido neste trabalho. Relacionando assim a velocidade do som como uma função da fração de vazios, Amand [8] determinou experimentalmente a fração de vazios, α num escoamento bifásico disperso de ar em água num tubo horizontal e relacionou este fator com razão volumétrica, β . Para valores de $\beta < 0,90$ e valores de vazão mássica de líquido entre 1000 e 4200 Kg/h, Amand obteve a seguinte relação,

$$\alpha = 0,83 \cdot \beta \quad (3.4)$$

onde $\beta = (Q_L + Q_g)/Q$

O valor 0,83 da equação 3.4 é chamado de coeficiente de Amand. Esta relação tem uma incerteza estimada em 5% no ajuste do coeficiente em relação aos resultados experimentais obtidos pelo autor.

A figura 2.0 mostra um desenho esquemático do aparato experimental. Fazem parte deste aparato, o Venturi de teste, uma placa de orifício a montante do Venturi para medir a vazão de água, um rotâmetro para medir a vazão de gás, um orifício de injeção de gás a montante do Venturi e uma bomba de água. Os testes foram realizados com três diferentes gases, ar, oxigênio e ozônio. No caso dos testes com oxigênio, o gás utilizado foi alimentado a partir de um tanque de líquido criogênico e vaporizado antes de passar pelo rotâmetro. No caso do ar, utilizou-se um cilindro de ar comprimido com ar seco. No caso do ozônio, utilizou-se um gerador de ozônio de até 10% em massa a partir do oxigênio.

O Venturi foi projetado para atender às condições de escoamento de vazão de água até 4 m³/h e vazão de gás até 2,0 Nm³/h. O diâmetro na entrada do Venturi é de 27,8 milímetros, na restrição de 7,0 mm e na

saída de 27,8 milímetros. Os ângulos do convergente e divergente são respectivamente de 21 e 11 graus. O comprimento total do Venturi é de 180 milímetros. O Venturi foi fabricado em acrílico transparente, podendo-se assim visualizar o escoamento bifásico. Para medir as pressões na entrada (1) e restrição (2) do Venturi, foram feitas tomadas de pressão com diâmetro de 1,0 mm no corpo do Venturi.

Na medida de vazão de água utilizou-se uma placa de orifício do tipo “Corner Taps”, construída segundo as normas ISO com uma incerteza estimada no coeficiente de descarga de 2 %. No diferencial de pressão utilizou-se um transmissor diferencial com incerteza estimada em 0,25 % do fundo de escala. Considerando-se as flutuações durante a medida de vazão, estimou-se que a incerteza nesta medida foi de 2,9 %. Na medida de vazão de gás utilizou-se um rotâmetro Brooks previamente calibrado contra um padrão, rastreado pelo laboratório de vazão do IPT, referência nacional.

Considerando-se as incertezas dos instrumentos auxiliares e as flutuações na medida, estimou-se a incerteza de 2,7 % na medida de vazão de gás. Na medida de pressão na entrada do Venturi utilizou-se um medidor do tipo Bourdon, com fundo de escala de 700 kPa. O manômetro foi aferido contra um padrão secundário rastreado pelo INMETRO. Considerando as flutuações na indicação da pressão, estima-se uma incerteza de 7 kPa nesta medida. Na medida de pressão na restrição do Venturi, utilizou-se uma coluna diferencial de mercúrio para pressões até 100 kPa e para pressões superiores utilizou-se um medidor do tipo Bourdon com fundo de escala de 250 kPa. O medidor diferencial de mercúrio com incerteza de 5 mm Hg, apresentou uma flutuação na medida de 20 mm Hg em certos casos, obtendo-se uma incerteza

conservativa de 2,8 kPa. A utilização do medidor de fundo de escala de 250 kPa não apresentou flutuações mensuráveis, considerando-se a incerteza da medida de 2 % do fundo de escala, 5,0 kPa.

Os resultados apresentados foram avaliados para um grau de confiabilidade de 95,4 % dos casos.

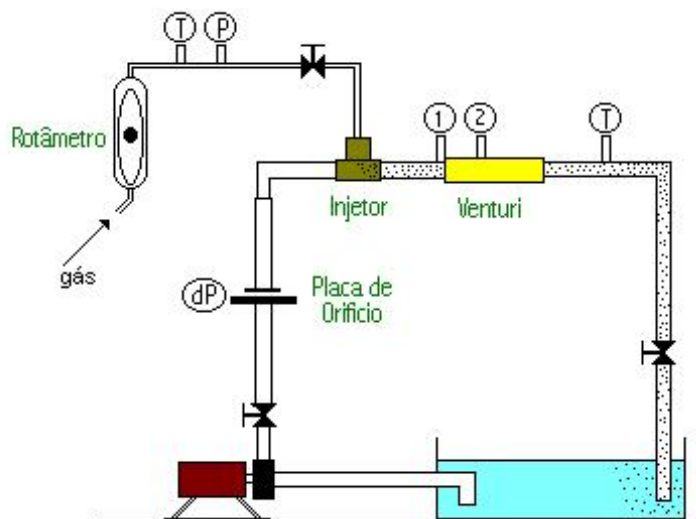


Figura 2 – Desenho esquemático do aparato experimental

4.0 - Resultados experimentais

A avaliação experimental foi realizada para diferentes vazões de água e de gás, um total de 52 pontos experimentais foram considerados, nas condições de escoamento bloqueado. O gás foi injetado numa distância de 0,25 m a montante do Venturi.

A montante e a jusante do Venturi foram colocados trechos retos em acrílico, sendo possível visualizar o escoamento. Observou-se que o escoamento a montante e a jusante do Venturi foi do tipo borbulhante homogêneo em todas as condições de teste. A temperatura média do gás e do líquido

durante os experimentos foi de 20 Celsius. A pressão absoluta do escoamento na restrição variou entre 50 e 150 kPa.

A figura 3 mostra um gráfico com os resultados experimentais da medida de velocidade em função da fração de vazios. No eixo das abscissas têm-se a fração de vazios e no eixo das ordenadas, a velocidade da mistura na restrição do Venturi. Os resultados experimentais representam a velocidade do escoamento apenas para os casos de escoamento bloqueado. Assim, a velocidade acima, representa a velocidade do som na mistura bifásica.

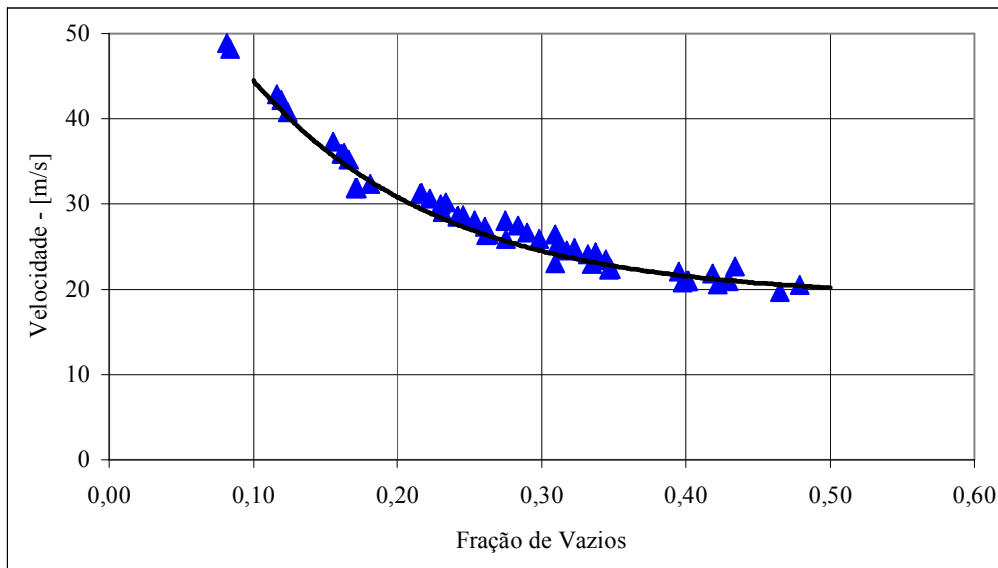


Figura 3 – Resultados experimentais

Uma equação foi desenvolvida para representar analiticamente os valores da velocidade do som em função da fração dos vazios. Utilizando-se o método dos mínimos quadrados no ajuste dos coeficientes aos pontos experimentais, determinou-se o seguinte modelo:

$$a = 20 + 55 \cdot e^{-\alpha / 0,13}$$

Determinou-se a incerteza dos pontos experimentais em relação ao modelo, obtendo-se a incerteza de 2,5 m/s para 95,4 % dos casos.

Este modelo é válido para frações de vazios entre 0,1 e 0,6, temperatura próxima a 20 Celcius e pressão absoluta de 50 a 150 kPa.

5.0 - Conclusões

A figura 4 mostra um gráfico com o resultado do cálculo da velocidade do som em função da fração de vazios, a partir dos

diversos modelos encontrados na literatura. Pode-se verificar que a velocidade do som para frações de vazio entre 0,3 e 0,6 é aproximadamente entre 20 e 25 m/s para a maioria dos autores. A incerteza no valor da velocidade do som aumenta para baixos valores de fração de vazios, ou seja, para baixas quantidades de gás na mistura. O modelo de Nguyen, mostrado na figura, distancia-se um pouco dos demais. Ao comparar o modelo desenvolvido neste trabalho com os demais, verifica-se que, para valores de fração de vazios inferiores a 0,2, o modelo desenvolvido tem tendência a distanciar-se dos outros. Considerando-se a incerteza do modelo desenvolvido, pode-se afirmar que ele tem a mesma tendência dos demais, quando observamos o modelo entre as frações de vazio entre 0,3 e 0,6.

A proposta deste trabalho foi desenvolver um modelo simplificado. Comparando-se o procedimento de cálculo desenvolvido neste trabalho com os demais autores, pode-se afirmar que o modelo responde tão bem

como os demais e tem a vantagem da simplicidade.

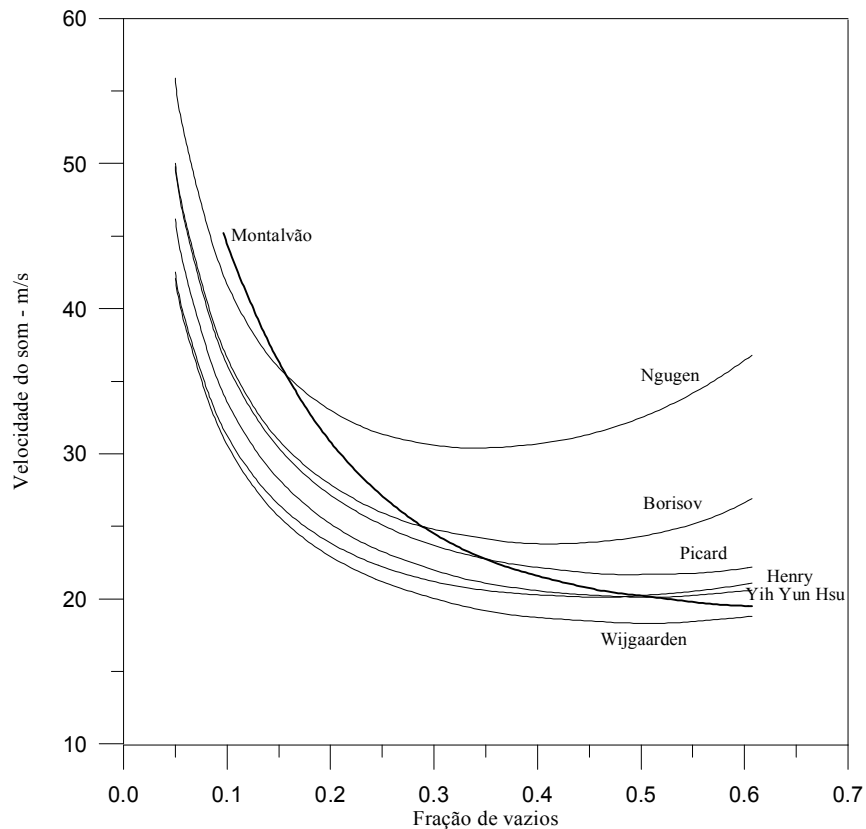


Figura 4 – Comparação entre diversos modelos

Referências

- [1] WIJNGAARDEN, L.V., “Propagation of shock waves in bubble-liquid mixtures”, *Progress in Heat and Mass Transfer*, vol.6, 1971, p. 637-649
- [2] HSU, YIH-YUN and GRAHAM, ROBERT W. “Transport processes in boiling and two phase Systems : including near critical fluids”, Hemisphere Publishing Corporation, Washington 1976, cap. 11, item 11.5.
- [3] BORISOV, A.A., GERFLAND, B.E and TIMOFEEV, E.I. “Shock wave in liquids containing gas bubbles”, *Int. J. Multiphases Flow*, g. 1983, p. 531-543.
- [4] NGUYEN, D.L., WINTER, E.R.F. and GREINER, M. “Sonic velocity in two-

- phases Systems”, *Int. J. Multiphases Flow*, 7, 1981, p. 311-320
- [5] PICARD,D.J and BISHNOI,P., “Calculation of the Thermodynamics Sound Velocity in Two-phases System”, *Int. J. Multiphases*, 13,1987, p. 295-308
- [6] THANG,N.T. and DAVES,M., “Pressure Distribution in Bubble Flow Through Venturis”, *Int. J. Multiphase Flow*, 9, 1981, p. 191-210
- [7] MONTALVÃO, A. F. F., ”Determinação Experimental das Condições de Escoamento Bifásico Bloqueado Através de Orifícios”, *Revista de Ciência & Tecnologia*, ISSN 1519 8022, Volume 1, N. 2, Rio de Janeiro, Dezembro, 2001.
- [8] CHISHOLM,D.,”Two-phase flow, in pipeline and heat exchangers”, Longman inc., New York, 1983.
- [9] VIEIRA, LEONARDO S. P., “Estudo experimental e simulação de escoamentos bifásicos borbulhantes em bocais convergentes e divergentes”, Tese de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro, 1991
- [10] THANG,N.T e DAVES,M.R., “The structure of bubbly flow, through venturis.”,*Int. J. Multiphase Flow*, 9, 1981, p. 191-210.
- [11] TAITEL,Y. and DUCKLER,A. “A model for predicting flow, regimes transitions in horizontal and near-horizontal flow”, *A. I. Chemical Engineers, Journal*, 1976,22,p.47-55.

Desenvolvimento de Metodologia para Análise da Confiabilidade Humana para ser Utilizada em Salas de Controle de Usinas Nucleares

Paulo Victor R. de Carvalho¹ Isaac Luquetti dos Santos²

Cláudio Henrique dos Santos Grecco¹

¹ Universidade Iguaçu – FaCET

Av. Abílio Augusto Távora 2134, Nova Iguaçu, RJ, Brazil

E-mail : paulov@ie.gov.br, grecco@ien.gov.br

²Instituto de Engenharia Nuclear, IEN

Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana, DICH

Via 5 S/N Cidade Universitária, Ilha do Fundão

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Email: luquetti@ien.gov.br

Resumo

Análise da confiabilidade humana é a análise, previsão e avaliação do desempenho humano, utilizando alguns índices como a probabilidade de ocorrência de erros humanos e de realização correta de uma tarefa. Progressos significativos foram realizados nos últimos anos em análise da confiabilidade humana, principalmente na área nuclear. Alguns métodos definidos como de primeira geração foram desenvolvidos como THERP. Alguns métodos de segunda geração estão surgindo como alternativa, como por exemplo, ATHEANA. O objetivo desse trabalho é propor uma metodologia para analisar a confiabilidade humana dos operadores de salas de controle de plantas industriais, usando uma estrutura que inclua a abordagem apreçoada pelas técnicas THERP e ATHEANA, enfatizando o uso da análise ergonômica do trabalho como uma ferramenta para obtenção de dados quantitativos e qualitativos a serem usados na metodologia proposta.

Palavras-chave: Confiabilidade Humana, Erros Humanos, Fatores Humanos, Ergonomia.

1. Introdução

As salas de controle de plantas industriais são constituídas por um arranjo de sistemas, equipamentos, onde os operadores monitoram, controlam e intervêm no processo através de várias interfaces gráficas e estações de monitoramento. Essas interfaces e estações têm implicações significativas para a segurança, pois afetam o modo como os operadores interagem e recebem informações relacionadas com o status dos principais sistemas, influenciam

na atividade dos operadores e determinam os requisitos necessários para que os operadores entendam e supervisionem os principais parâmetros. Nestas salas de controle, o operador humano é visto como um agente que monitora a automação, devendo agir em caso de falha de algum sistema automático. Recai sobre o grupo de operação a tarefa de manter a planta operando em condições aceitáveis de segurança e eficiência. As ações dos operadores são normalmente baseadas em procedimentos operacionais, previamente

definidos tanto para operação normal quanto em condições de emergência. Além das interfaces homem sistema, os operadores da sala de controle contam ainda com diversos grupos que auxiliam na operação: operadores de área, pessoal de engenharia e manutenção.

A análise da confiabilidade humana é um dos instrumentos utilizados para melhorar o desempenho humano, fornecendo tanto informações qualitativas como quantitativas. As qualitativas identificam as ações críticas que um trabalhador deve realizar para desenvolver uma tarefa a contento, identificando ações errôneas (não desejadas) que podem degradar o sistema, situações de erro provável, identificando quaisquer fatores que poderiam proporcionar erros no desempenho de qualquer ação. As quantitativas estimam numericamente a probabilidade de que uma tarefa seja desenvolvida de maneira incorreta ou de que ações não desejadas serão realizadas.

MEISTER [1] define confiabilidade humana como sendo a probabilidade de que uma tarefa seja realizada com sucesso pelo operador em um determinado estágio da operação da sala de controle, em um mínimo período de tempo exigido. Segundo SWAIN e GUTTMANN [2], confiabilidade humana é a probabilidade de que um operador realize de maneira satisfatória uma tarefa exigida pelo sistema em um período de tempo determinado, sem realizar uma outra ação que possa degradar o sistema. A análise da confiabilidade humana tem como objetivo estimar a confiabilidade humana.

A probabilidade de ocorrência do erro humano é definida como sendo a razão entre os erros cometidos e o número de oportunidades dadas para a ocorrência do erro. Os dados obtidos através da análise da confiabilidade humana são traduzidos em recomendações para modificações no projeto dos sistemas, nos procedimentos, no treinamento e em outros aspectos

relacionados com as condições do local de trabalho.

A prevenção, análise de acidentes e, mais especificamente, a análise da confiabilidade humana dos operadores de sistemas considerados complexos, vêm sendo alvo de uma crescente preocupação científica dentro de diversos campos de conhecimento. Esses campos vão desde a abordagem tradicional da segurança do trabalho, que resiste independentemente da crescente complexidade dos sistemas de produção e das mudanças no papel dos operadores, passam por uma abordagem da engenharia de confiabilidade humana, THERP, e chegam até as correntes mais modernas que incorporam o desempenho humano e seus aspectos cognitivos na análise da confiabilidade humana, ATHEANA.

THERP é uma técnica para prever as probabilidades de ocorrência de erros humanos e avaliar a degradação de um sistema homem/máquina, causada por erros humanos, junto com falhas de equipamentos, procedimentos e práticas operacionais. As etapas principais da técnica THERP são: definição das falhas do sistema de interesse; enumeração e análise das operações humanas relacionadas (análise de tarefa); desenvolvimento de árvores de evento; atribuição de probabilidades nominais de erros humanos; estimação dos efeitos relativos dos fatores que modelam o desempenho humano; avaliação da dependência; determinação das probabilidades de sucesso/falha; determinação dos efeitos dos fatores de recuperação e execução de uma análise de sensibilidade [2].

ATHEANA fornece um processo detalhado para identificar as ações humanas e os contextos que podem conduzir ao sucesso ou falha dessas ações. A abordagem utilizada pela técnica ATHEANA inclui a identificação e a definição dos eventos

relacionados com falhas humanas gerados por erros de comissão e a alocação desses eventos na análise probabilística de segurança.

2. Erro Humano

O termo erro humano envolve todas as ações ou omissões feitas por uma pessoa que causam algo indesejável ou que tenham esta possibilidade. REASON [3] considera os erros humanos como sendo falhas nas ações que foram planejadas, sem a intervenção de eventos não previstos. SWAIN E GUTTMANN [2] destacam dois tipos de erros humanos: os erros de omissão (EOM), quando se omite totalmente ou parcialmente uma tarefa; e os erros de comissão (ECOM), quando ocorre o desempenho incorreto de uma tarefa ou de uma ação, ou seja, o operador realiza ações incorretas, não exigidas, propiciadas por erros no projeto ou pelo não reconhecimento do risco (acionamento errado de controles, conexões feitas impropriamente).

A característica principal de um erro de comissão é que sua consequência é um estado de não disponibilidade de um componente, de um sistema ou de uma função. Em contrapartida, um erro de omissão é caracterizado pela falta de ação, e preserva consequentemente o status de um sistema, de um componente ou de uma função. Os erros de comissão não são resultados necessariamente dos erros cometidos pelos operadores. Esses erros podem acontecer automaticamente à medida que uma sequência de operação seja solicitada.

Os erros de comissão não ocorrem somente em eventos complexos, como no caso dos acidentes ocorridos na área nuclear (Three Mile Island -TMI e Chernobyl), mas ocorrem também na maioria dos eventos rotineiros e são fortemente influenciados pelo contexto dos eventos, pelas condições

da planta industrial e pelos fatores que modelam o desempenho humano. Os operadores que cometem erro de comissão executam, geralmente, ações corretas, de acordo com sua compreensão e conhecimento atual do sistema, do comportamento do sistema e do processo do sistema. Entretanto, o sistema está em um estado onde uma intenção correta de operação não é a apropriada.

3. A técnica THERP

A análise da confiabilidade humana é uma tentativa de inserir algumas características do operador na análise probabilística de segurança de sistemas considerados perigosos, tais como centrais nucleares, aeronáutica e processos químicos. Na área nuclear, após o acidente de TMI, surgiram algumas técnicas para análise de confiabilidade humana que procuram determinar o impacto do erro humano e sua possível recuperação na operação desses sistemas. A técnica para predição dos erros humanos (THERP) é uma dessas técnicas, avaliando a degradação do sistema homem/máquina causada por erros humanos.

A técnica THERP foi utilizada pela primeira vez, na década de 50, por Swain [2], como um método de controle da qualidade na estimativa de erros na montagem de ogivas nucleares. Os erros humanos (erros de leitura, negligência de procedimentos, acionamento errado de botoeiras, controles) são estimados, levando em consideração que a ocorrência destes erros se dá a taxas constantes. Através da técnica THERP, a probabilidade de sucesso de uma tarefa pode ser estimada, se esta tarefa puder ser desdobrada em subtarefas. THERP funciona muito bem em tarefas rotineiras, com pouco estresse, onde cada etapa é crucial para conclusão bem sucedida da tarefa. É freqüentemente criticada por supor que todas as probabilidades de erros humanos podem ser quantificadas e previstas

com exatidão. Os valores das probabilidades de erros tabelados pela técnica THERP evoluíram e atualmente são baseados em uma combinação de dados estatísticos e julgamentos de especialistas.

De um modo geral, as principais etapas são: definir as falhas do sistema de interesse; listar e analisar as atividades humanas relacionadas (análise de tarefa); estimar as probabilidades dos erros; estimar as conseqüências dos erros humanos nos eventos de falhas no sistema (integração da análise da confiabilidade humana com a análise da confiabilidade do sistema); recomendar mudanças para o sistema; e recalcular as probabilidades de falha.

4. A técnica ATHEANA

A técnica para análise dos erros humanos (ATHEANA) [4] é um dos métodos mais recentes que busca uma estrutura para o entendimento do desempenho humano em eventos operacionais, incorporando conhecimentos relacionados com a interação operador/sistema, identificando e modelando os erros de comissão e considerando as possíveis implicações na segurança. A abordagem utilizada pela técnica ATHEANA inclui a identificação e a definição dos eventos relacionados com falhas humanas gerados por erros de comissão e a alocação desses eventos na análise probabilística de segurança. Os erros de comissão são fortemente influenciados pelo contexto dos eventos, pelas condições da planta industrial e pelos fatores que modelam o desempenho dos operadores.

Alguns incidentes relacionados com a operação de plantas nucleares mostram uma visão diferente do desempenho humano em relação aos apresentados nos modelos usuais de análise probabilística de segurança, que focam nas falhas que ocorrem na realização das etapas exigidas pelos procedimentos de operação. Os problemas relacionados com o desempenho humano identificados em

diversos eventos operacionais estão relacionados com ações dos operadores, que não são exigidas em resposta a um acidente. Alguns fatores contribuíram para esta situação, dentre os quais podemos destacar: cenários não considerados durante o treinamento e não previstos na experiência dos operadores; indisponibilidade e falhas múltiplas de equipamentos não previstas no treinamento baseado em simuladores; problemas na instrumentação não previsto no treinamento que podem causar má interpretação do evento; e condições da planta não prevista pelos procedimentos.

A premissa da técnica ATHEANA é que os erros humanos ocorrem como resultado dos fatores de contextos (Error-forcing contexts - EFCs), ou seja, combinações das condições da planta que levam o operador ao erro. Os EFCs podem ativar o mecanismo de erro humano a partir de uma não apropriada avaliação da situação. Isto pode levar a uma recusa por parte do operador em acreditar ou reconhecer evidências, implicando um mau diagnóstico inicial e possibilitando a ocorrência de erros de comissão. Os EFCs representam o efeito combinado dos fatores que modelam o desempenho humano (Performance shaping factors - PSF) com as condições da planta, não previstas no treinamento, que podem ativar o mecanismo de erro humano, ou seja, criando condições para a ocorrência dos erros humanos. Os PSFs (procedimentos, treinamento, fatores organizacionais, estresses, etc) representam características centralizadas nos seres humanos que influenciam no desempenho. Um exemplo de um PSF pode ser um procedimento cujo conteúdo está incorreto, uma seqüência errada de etapas, incompleta, ambígua, que pode levar à má avaliação da situação ou no planejamento da resposta ao incidente.

O conceito fundamental da estrutura utilizada pela técnica ATHEANA é que muitas ações não seguras são o resultado das

condições da planta associadas com os PSFs que acionam o mecanismo de erro. As ações não seguras são ações não apropriadas ou ações não realizadas quando necessárias, que resultam na degradação das condições de segurança da planta nuclear. O termo “ações não seguras” não implica que o ser humano foi a causa do problema. A técnica ATHEANA é organizada em uma estrutura

multidisciplinar. A figura 1 apresenta os elementos que formam essa estrutura. Os elementos denominados “eventos falhas humanas” e a definição do cenário representam o modelo probabilístico de análise de risco (Probabilistic risk assessment - PRA).

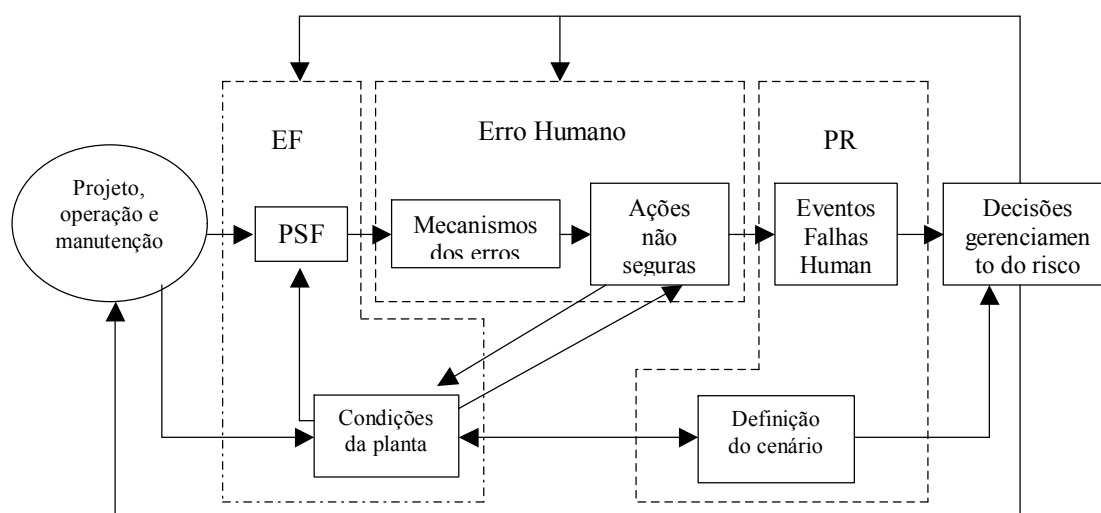


Figura 1- Análise da Confiabilidade Humana pela ATHEANA.

5. Metodologia

A análise da confiabilidade humana fornece um método formal e analítico para identificação de erros humanos e de situações que podem levar ao erro. A análise qualitativa ajuda os observadores na análise de fatores importantes no contexto real. Os dados, obtidos por meio de gravações de operações reais de emergência, treinamentos em simuladores, entrevistas, questionários ou relatórios, geram informações qualitativas e quantitativas. Esses dados auxiliam na definição do comportamento e

na resposta do operador às situações de emergência, nas análises detalhadas dos cenários de acidente, no desenvolvimento e na validação de modelos cognitivos e na avaliação da complexidade das tarefas dos operadores. Os dados das entrevistas e dos questionários também são muito úteis na definição dos fatores organizacionais que afetam o comportamento dos operadores. A fim de interpretar estes dados e desenvolver uma base de dados útil para a análise da confiabilidade humana, o uso do julgamento especialistas se torna essencial [5].

A metodologia proposta para analisar a confiabilidade humana dos operadores de plantas industriais é composta por cinco fases (figura 2).

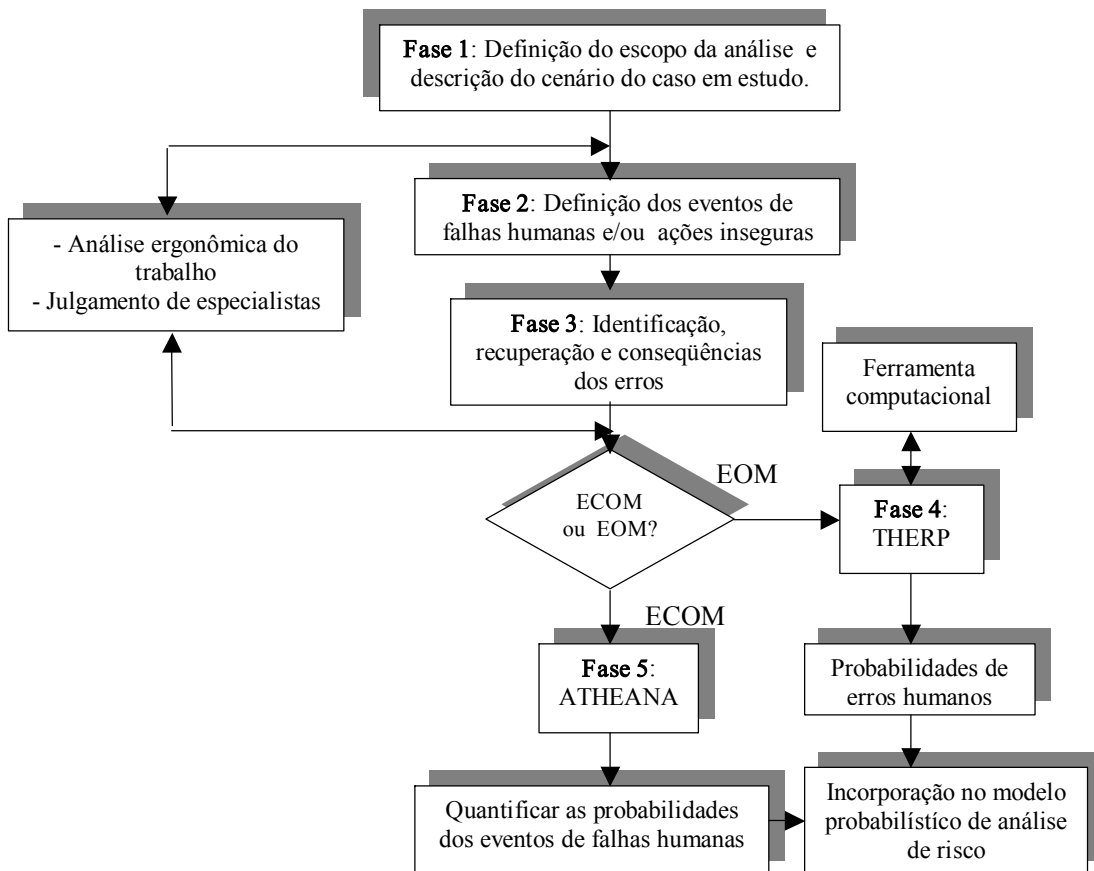


Figura 2 - Metodologia para análise da confiabilidade humana de operadores de plantas industriais

Na **fase 1**, o processo começa com a definição do escopo da análise e a descrição básica do cenário. Nesta fase, deve-se descrever, por exemplo, o comportamento previsto da planta e do operador, as falhas do sistema ou de componentes identificados, definidos e descritos. Na **fase 2**, os principais eventos de falha humana e as ações inseguras podem ser

descrever, por exemplo, o comportamento previsto da planta e do operador, as falhas do sistema ou de componentes identificados, definidos e descritos. Na **fase 3**, com cada evento de falha humana reconhecido, será possível identificar os tipos de erros, os fatores responsáveis pelos

erros, além de poder verificar se as bases de dados disponíveis têm correlações com os eventos. Para determinar o nível de exigência crítico da tarefa, é necessário considerar os seguintes itens: o número de fases de operação, ou seja, normal, emergência, acidente; os mecanismos de segurança da planta; a instrumentação e os procedimentos de emergência. As seguintes ferramentas podem auxiliar nesta análise: entrevistas com o pessoal da planta; análise ergonômica do trabalho; julgamentos de especialistas.

Os especialistas em ergonomia, em confiabilidade humana e PRA auxiliam na identificação das bases de dados relevantes, no reconhecendo se as bases de dados existentes estão relacionadas com os eventos de falha humana e com as ações inseguras que estão sendo modeladas, verificando as limitações das bases de dados conhecidas (THERP) e na identificando os tipos de erros humanos. Uma vez que os erros foram identificados, a recuperação de erro pode ser considerada, assim como as consequências dos erros identificados (considerações qualitativas). Além disso, antes da quantificação, pode-se realizar uma análise para redução do erro, ou seja, especificam-se maneiras para redução da probabilidade de erro humano ou de seu impacto no sistema. Na **fase 4**, a metodologia THERP (abordagem quantitativa) será utilizada caso o erro humano identificado seja de omissão. Nesta fase, a finalidade principal da ferramenta computacional é analisar e documentar eventos pré-iniciadores e pós-iniciadores de falhas humanas em uma estrutura de análise da confiabilidade humana consistente e padronizada. Esta ferramenta computacional comercial foi desenvolvida para facilitar a quantificação das probabilidades de erros humanos. O programa desenvolvido comunica-se com duas bases de dados do aplicativo Microsoft® Access 97. Uma base de dados,

nomeada pelo usuário, é a base de dados que armazena os dados referentes a análise, enquanto a outra base de dados armazena as tabelas THERP. Na **fase 5**, se o erro humano identificado for de comissão, a metodologia ATHEANA predirá as probabilidades de erros humanos, utilizando o julgamento por especialista (abordagem qualitativa).

6. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia para analisar a confiabilidade humana dos operadores de salas de controle de plantas industriais, englobando as exigências da técnica THERP e ATHEANA. A metodologia proposta, inicialmente, realiza estudos qualitativos para definir e avaliar os eventos relevantes de falha humana, ações inseguras, os contextos em que as ações inseguras poderiam ocorrer e a identificação dos erros nestes contextos. A análise qualitativa é realizada usando a análise ergonômica do trabalho junto com um processo de julgamento de especialistas.

A estrutura da metodologia permite utilizar duas opções para prever as probabilidades de erros humanos. Cada opção depende da identificação do erro. A primeira opção é a técnica THERP, caso uma etapa de alguma tarefa seja omitida ou haja uma falta da ação (erro de omissão). Neste caso, um software será usado para quantificar as probabilidades de erros humanos. A segunda opção é a técnica ATHEANA, que será utilizada caso haja algum desempenho incorreto de uma tarefa ou de uma ação (erro do comissão). Se não houver uma base de dados apropriada para quantificar diretamente os casos especificados, é necessária a utilização do julgamento de especialistas (ATHEANA). Esta abordagem fornece meios razoáveis para quantificar situações onde existem várias evidências indiretas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte propiciado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPQ). Esta pesquisa foi realizada na Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN.

Referências

- [1] MEISTER, D. , 1990, “Human Factors in Reliability”, New York, Mc Graw Hill.
- [2] SWAIN E GUTTMANN (1983), U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG 1624, “Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis”, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- [3] REASON, J. , 1994, Human Error, Cambridge University
- [4] NUREG 1624, “Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis”, U. S. Nuclear Regulatory Commission, 2002.
- [5] FORESTER, J.; BLEY, D.; COOPER, S.; LOIS, E.; SIU, N.; KOLAZKOWSKI, A; WREATHFALL, J. “Elicitation Approach for Performing ATHEANA Quantification, Reliability Engineering and System Safety”, 83, 2004.

A Contaminação do Solo no Perímetro do Antigo Lixão da Marambaia – Nova Iguaçu – RJ

Elisabeth Ritter¹, Manoel Fernando Pereira da Mota²,
Juacyara Carbonelli Campos³, Marcus Antonio Ventura¹

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: ritter@uerj.Br

² Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro – COMLURB

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química
Departamento de Processos Inorgânicos
Ilha do Fundão - 21945.970 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo

Neste artigo o perfil de contaminação no solo em profundidade em três pontos amostrados no entorno do lixão da Marambaia em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro é discutido. Os íons pesquisados foram: cloreto, sódio, cálcio, magnésio, potássio, amônio e níquel. A face leste indica contaminação até 7 m de profundidade, enquanto que na face sul há indicativo até 2 m de profundidade. A face norte apresenta as mais altas concentrações até 2,5 m e diminui significativamente até 7m, onde novamente ocorrem concentrações de cerca de 140 mg/L de amônio. Não há indicação de contaminação por metal pesado.

Palavras-chave: contaminação do solo, lixão, chorume

1. Introdução

A maioria dos municípios brasileiros ainda dispõe seus resíduos em lixões. Porém, alguns municípios começam a direcionar esforços para a construção de aterros sanitários, que são construídos com critério de engenharia, tais como: implantação de uma camada compactada de solo adequado para fundação; construção de drenos para captar chorume e gás; compactação do lixo; cobertura diária do lixo; drenagem para águas pluviais. No entanto, quando ocorre disposição inadequada, o problema causado não cessa com a finalização dos lixões. O chorume, líquido formado pela infiltração da água de

chuva e pelo processo de degradação do lixo, continua sendo gerado, e a migração através do solo não se interrompe. Entender e avaliar o grau de contaminação em que está o solo do sítio de disposição será importante para avaliar o processo de migração e avanço dos contaminantes presentes no chorume.

A Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu utilizou o Lixão da Marambaia para disposição final dos resíduos sólidos urbanos coletados, desde o final da década de 80 até fevereiro de 2003. Este vazadouro está situado na região norte do município de Nova Iguaçu, município distante cerca de 50 km da cidade do Rio de Janeiro, na Baixada Fluminense, próximo à Reserva Florestal de

Tinguá, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Desde 2003, o lixo do município é depositado em novo local, denominado Central de Tratamento de Resíduos, no bairro de Adrianópolis, onde foi implantado um Aterro Sanitário.

Em 2001 foi iniciado um processo de recuperação do lixão de Marambaia, no qual sondagens geotécnicas e análises químicas do chorume foram realizadas para embasar o projeto de remediação da área.

O objetivo deste trabalho, desenvolvido por Mota (2005), foi avaliar o grau de contaminação do solo em profundidade em três pontos no perímetro do antigo lixão, mediante a retirada de amostras durante a execução das obras de remediação.

1.1 Descrição da área

O lixão ocupa uma área de aproximadamente 200.000 m² e recebeu diariamente, durante mais de vinte anos, cerca de 1.000 toneladas de resíduos sólidos

urbanos que compreendiam lixo domiciliar, público, comercial, hospitalar e também industrial dos municípios de Nova Iguaçu e Mesquita.

O local é constituído por morros de baixa altitude, com árvores e arbustos remanescentes da mata nativa. Próximo ao lixão, existe uma antiga fábrica de tijolos, o que demonstra que a área foi explorada por atividade ceramista, o que fez com que o contorno da região do lixão seja rodeado por depressões. Ao Norte, a região é delimitada pelo Rio Iguaçu, distante cerca de 600 m e entre a área de disposição de lixo e o rio existiam várias depressões nas quais eram encontrados pequenos depósitos de chorume. Próximo à entrada, um talude vertical delimita a área do lixão, em cujo pé está implantada desde julho de 2003, uma lagoa para armazenar os líquidos percolados. Outra lagoa foi implantada na face norte. A Fig. 1 apresenta uma visão panorâmica da área em 2003.



Figura 1- Vista panorâmica da área.

Sondagens realizadas em 2001 indicaram o substrato da região como predominantemente silto-argiloso, pouco arenoso e consistência de média a rija na vertente sul, lado oposto ao Rio Iguaçu. No sentido norte em direção ao rio, o solo apesar de sua predominância de natureza argilosa, apresenta também características arenosas. Em relação ao nível d'água, na face sul encontrava-se a uma profundidade de 8,50 m, e na face norte a 2,60 m, região com características de várzea, já que está próxima à estrada de terra que margeia o Rio Iguaçu.

A Fig. 2 apresenta o corte transversal Sul-Norte.

O corte longitudinal Leste-Oeste, elaborado a partir das sondagens de 2001 e apresentado na Fig. 3, mostrou a presença de duas massas distintas de resíduos, o que denota a ausência de qualquer critério técnico na ocupação da área como vazadouro de lixo. O maciço localizado entre as duas massas de lixo era uma área preservada, onde se identificava o solo natural da região. Este material tinha predominantemente características de solo residual jovem silto-argiloso e pouco arenoso, com coloração variando de amarelo (mais argiloso) à vermelho (mais siltoso).

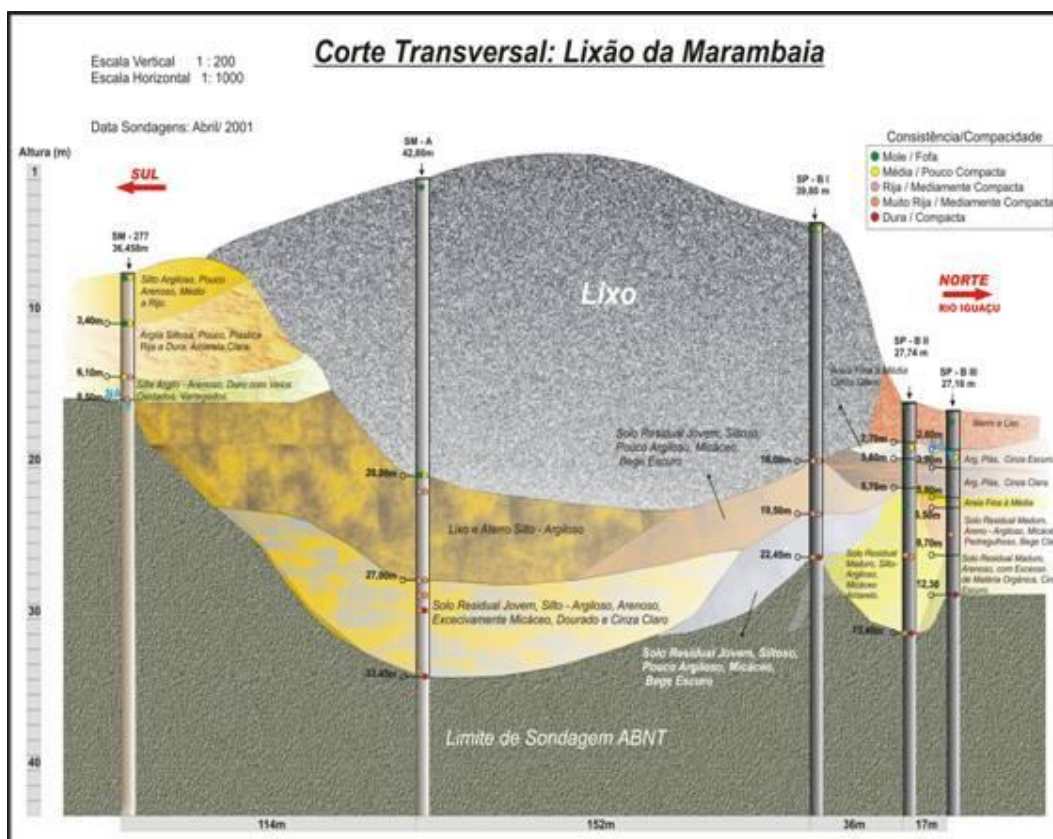


Figura 2 - Corte Transversal Sul-Norte.

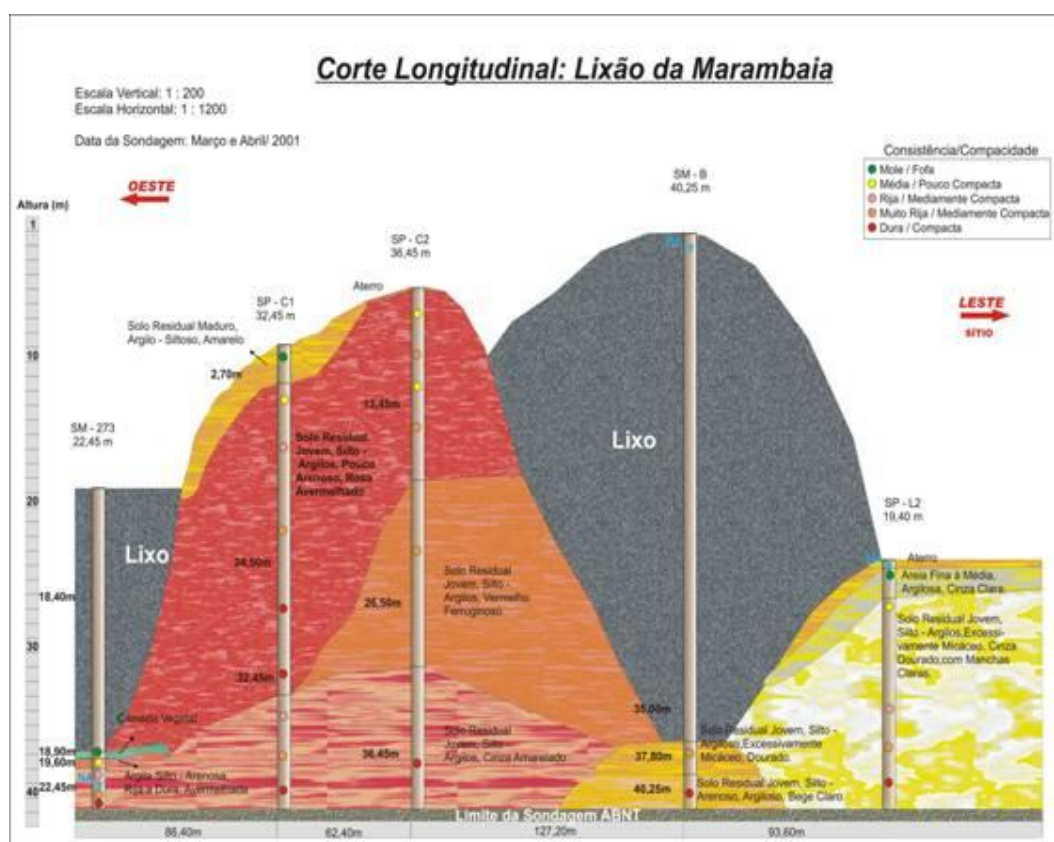


Figura 3 - Corte Longitudinal Leste-Oeste

Esta área foi toda utilizada como empréstimo nas obras de recuperação. A vertente leste, hoje ocupada por um sítio com plantação de cítricos, mandioca e cocos, é a área que merece mais atenção em relação à possibilidade de contaminação, pois o nível d'água encontra-se bem próximo à superfície. Antes da ocupação da área pelo vazadouro de lixo, existia nesta área adjacente um brejal que foi progressivamente aterrado com solo para implantação da lavoura. A espessura de lixo, na época da sondagem, variou de 20 a 40 m de profundidade.

1.2 A recuperação do lixão da Marambaia

O processo de recuperação da área da Marambaia teve início em janeiro de 2001. A primeira etapa fez a regularização de plataformas e criação de bermas e taludes. Na periferia do aterro foram construídos diques de contenção, com material argiloso, e, na sua base, foi implantada uma linha de drenagem periférica para os percolados, para posterior encaminhamento às lagoas de acumulação. Além do sistema de captação de percolados, foi prevista a implantação de sistema de drenagem para gases e um sistema de drenagem das águas pluviais. Toda área de lixo foi revestida com uma camada de 0,60 cm de argila.

2. Materiais e Métodos

A avaliação do grau de contaminação em profundidade requer coleta de amostras de solo, e posterior extração do líquido intersticial, isto é o líquido que ocupa os vazios do solo, em laboratório. É necessária a identificação da fonte de contaminação com a caracterização do chorume. Assim, amostragens de campo, de solo e de chorume, e procedimentos em laboratório com extração do líquido intersticial do solo foram realizados para determinação dos parâmetros físico-químicos.

2.1 Amostragens de campo

2.1.1 Chorume

O chorume foi coletado nas duas lagoas de acumulação e analisado posteriormente no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ e no Centro de Tecnologia Ambiental CTA-FIRJAN.

2.1.2 Solo

A escolha dos pontos de amostragem foi realizada tomando-se por base os furos das sondagens realizadas em abril de 2001. Os pontos escolhidos cobrem três vertentes do aterro: norte, sul e leste, de forma que se pudesse verificar o possível deslocamento da pluma de contaminação. A vertente oeste não foi analisada porque está situada na área junto à estrada de acesso principal, onde não havia disposição de resíduos de forma significativa.

Os pontos de amostragem, SP-B3, SP-L2 e SM-277 estão localizados no entorno do aterro em áreas adjacentes ao pé do dique de contenção (vide Fig. 1). A amostra do furo SP-B3 teve de ser reposicionada a 25 metros do ponto original, no sentido norte em direção ao Rio Iguaçu, pois no ponto original foi realizado o retaludamento da face norte durante o processo de reconformação geométrica do aterro. Na

perfuração dos furos foram utilizados equipamentos a percussão ou sonda rotativa, quando a resistência do lixo ou do terreno não permitia o avanço por lavagem. Foram tomados cuidados especiais para, próximo o ponto a ser amostrado, minimizar a lavagem. De cada furo foram coletadas 5 (cinco) amostras indeformadas, com amostradores Shelby e Denisson de diâmetro 8", em profundidades distintas. Nos furos efetuados foram instalados piezômetros de 2".

2.2. Procedimentos de laboratório

As análises em laboratório compreenderam análises químicas no chorume bruto e do líquido intersticial extraído das amostras indeformadas de solo para fins de comparação.

2.2.1 Análises químicas do chorume

Amostras de chorume foram coletadas e as análises físico-químicas foram executadas de acordo com o APHA (1998) com os seguintes parâmetros analisados: condutividade, pH, DQO, DBO, cloreto, sólidos totais, suspensos e dissolvidos, nitrogênio amoniacal, sódio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, chumbo e cádmio.

2.2.2 Extração do líquido intersticial do solo

A extração de líquido intersticial das amostras indeformadas de solo foi efetuada em prensa pneumática. As análises químicas dos seguintes elementos foram realizadas (APHA, 1998): cloreto, sódio, cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio amoniacal, chumbo, cromo, ferro, níquel e cádmio.

3. Resultados Obtidos

3.1 Análise físico-química do chorume

As análises de amostras de chorume coletadas nas lagoas de acumulação,

situadas nas faces norte e sul do Lixão da Marambaia, estão apresentadas na Tabela 1. Para efeito de comparação, estão apresentados também os resultados obtidos no ano de 2001 da EESC-USP (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo) de amostras coletadas nestas regiões. Os pontos C1 e C2 citados na tabela encontram-se localizados no mapa da Figura 1.

3.2 Análise química do líquido intersticial

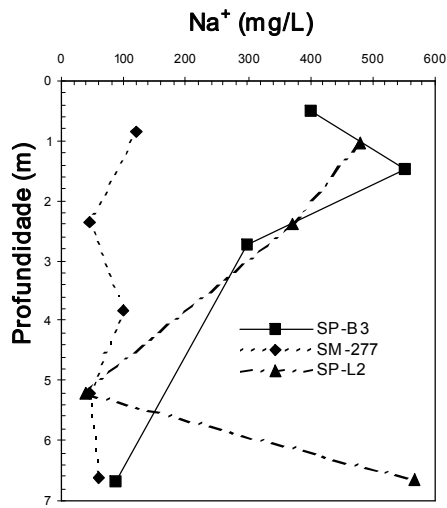
Nos furos SP-L2 e SP-B3, não foi possível extrair o líquido intersticial das duas amostras mais profundas, nas quantidades mínimas necessárias para realização das análises físico-químicas.

A Fig. 4 apresenta os perfis de concentração de sódio, níquel, cálcio, magnésio, potássio e amônio obtidos em profundidade para os três pontos de amostragem.

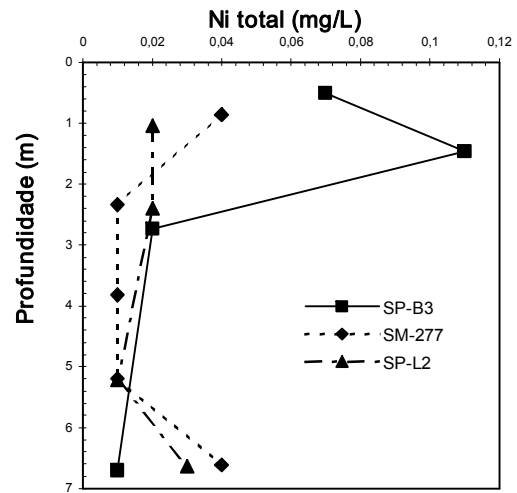
Tabela 1 - Dados de caracterização do chorume em diferentes amostras nas faces norte e sul do Lixão da Marambaia.

Parâmetro	Amostras				
	C – 2 (Face Norte) * 7/5/01	Lagoa Norte ** 30/10/04	C – 1 (Face Sul)* 7/5/01	Lagoa Sul **	
				16/07/04	30/10/04
pH	8,5	8,1	8,0	8,0	8,7
DQO (mg O ₂ /L)	1778	945	5680	2825	1605
DBO (mg O ₂ /L)	835	716	494	116	1429
DBO/DQO	0,47	0,76	0,09	0,04	0,89
Condutividade (mS/cm)	-	5,2	-	17,5	7,2
Cloreto (mg Cl/L)	-	1039	-	2312	1413
Sólidos Totais (mg/L)	4384	3804	9565	8306	5202
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	88,0	76,0	313,0	264,0	56,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	4296,0	3728	9252,0	8042	5146
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH ₃ /L)	357,0	293,0	939,0	1465	173,3
Magnésio Total (mg/L)	-	42,0	-	-	35,0
Potássio Total (mg/L)	-	1145	-	-	684,0
Sódio Total (mg/L)	-	1424	-	-	930,0
Fósforo Total (mg P/L)	-	0,5	-	11,0	4,2
Chumbo	< 0,02	-	0,07	-	-
Cádmio	< 0,0006	-	< 0,0006	-	-
Cálcio (mg Ca/L)	-	57,0	-	-	33,0

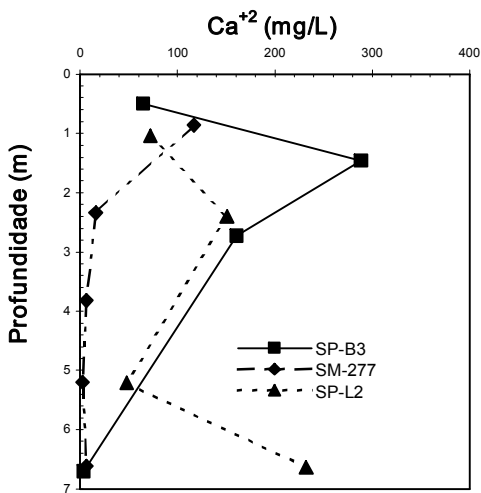
* realizada na EESC-USP ** realizadas no LES/UERJ



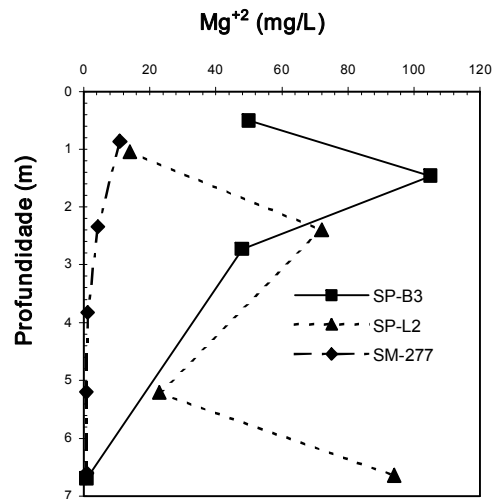
(a)



(b)



(c)



(d)

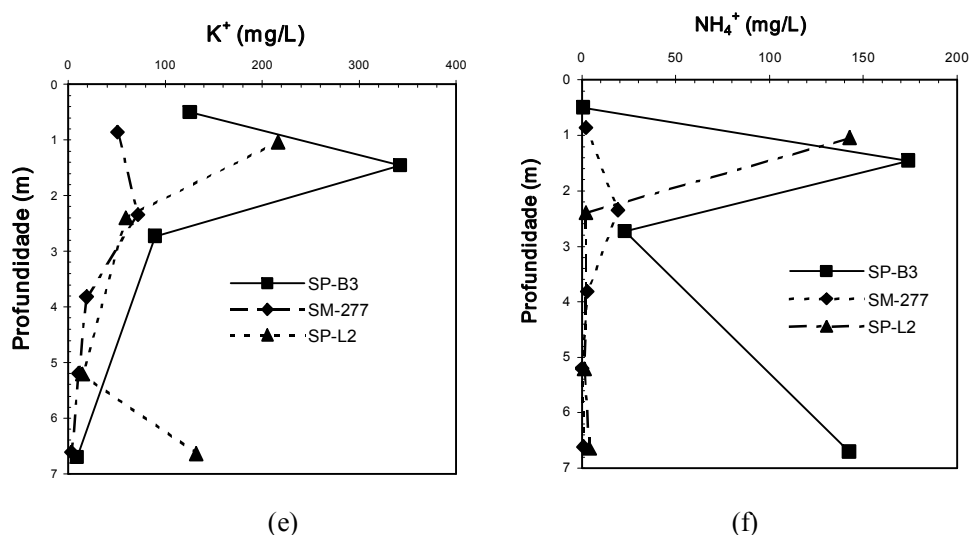


Figura 4 - Perfis de concentração de acordo com a profundidade: (a) sódio (b) níquel (c) cálcio. (d) magnésio (e) potássio (f) amônio

4. Discussão dos resultados

4.1 Chorume

Observa-se pela análise dos resultados, que as amostras de chorume mais recentes, coletadas após a desativação do Lixão da Marambaia, apresentam resultados de matéria orgânica (valores de DBO e DQO) significativamente menores que os obtidos em maio de 2001, quando o aterro estava em operação.

Na face norte, próxima ao Rio Iguaçu, houve uma redução, em termos de DQO, de 47%. Na face sul do aterro, a DQO apresentou redução de até 72% em relação ao valor inicialmente determinado.

A relação DBO/DQO pode ser utilizada como parâmetro de avaliação de biodegradabilidade de efluentes. Quanto maior essa relação (valor máximo é igual a 1), há a indicação de um maior nível de biodegradabilidade. As amostras coletadas na face norte mostram valores que indicam chorume com boa biodegradabilidade (0,47

e 0,76). Já para a face sul, os valores obtidos revelam um chorume com muito baixa biodegradabilidade (0,09 e 0,04), com exceção da última amostragem (0,89). Todos os parâmetros medidos na última amostragem estão com valores bem abaixo dos anteriores, o que pode ser resultado das ações de remediação da área ou chuva.

Os demais parâmetros medidos nas amostras mais recentes (outubro de 2004) indicam valores significativos. São valores diferentes dos referidos por Tchobanoglous et al (1993) Christensen et al, (1989) também citados em D'Almeida e Vilhena (2000) e típicos de aterros em operação em países de clima temperado. Os valores obtidos para o nitrogênio amoniacal estão de acordo com medidas realizadas em chorumes oriundos de outros aterros brasileiros: 500 mg/L para o Aterro de Brasília (Junqueira, 1999); 1500 mg/L para o Aterro Metropolitano de Gramacho (Ritter et al, 2002); 1200 mg/L para o Aterro de Londrina e 1600 mg/L para o Aterro de Biguaçu-SC (Castilhos Jr, 2005).

Das análises de metais pesados, todos os resultados apresentados estão abaixo dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357, para lançamento de efluentes: 0,2 mg/L de Cd total e 0,5 mg/L de chumbo total (Brasil, 2005).

4.2 Solo

Os metais pesados analisados apresentaram concentrações muito baixas; ferro (menor do que 0,11 mg/L), chumbo (menor do que 0,4 mg/L), cromo (menor do que 0,2 mg/L), e cádmio (menor do que 0,02 mg/L), inferiores aos estabelecidos pela Portaria nº 518, do Ministério da Saúde (Brasil, 2004).

4.2.1 SM-277 – Face Sul

Na área do furo de sondagem SM-277, situada na face sul do aterro na vertente oposta ao Rio Iguaçu, o solo apresenta características de silte-argiloso, pouco arenoso e de consistência de média a rija, passando a dura nos trechos mais profundos. O nível d'água foi atingido com 8,50 m. As medidas de concentração de cloreto só foram possíveis nas amostras a cerca de 2,5 m e 4 m de profundidade, indicando valores de 45 e 27 mg/L, respectivamente.

A concentração de sódio apresentou um comportamento mais irregular, mas indicando que uma possível migração possa estar ocorrendo até 7 m de profundidade. No entanto, as concentrações em profundidade são relativamente baixas quando comparadas com as do chorume (930 mg/L) presente na lagoa mais próxima. Analisando os valores obtidos para cloreto nas 2 amostras a 2,5 e 4 m de profundidade, verifica-se que são valores extremamente baixos quando comparados com a concentração de 1413 mg/L da lagoa de chorume. As concentrações de níquel, cálcio e magnésio estão baixas, não indicando contaminação. As concentrações de nitrogênio amoniacal e potássio, medidas no

solo na profundidade de 2,5 m, indicam que um possível processo difusivo possa estar ocorrendo. No entanto, medidas de concentração, efetuadas na água amostrada do piezômetro instalado a 6,5 m de profundidade, não indicaram qualquer contaminação (Matos, 2005).

4.2.2 SP-L2 – Face Leste

Na área do furo de sondagem SP-L2, situada na face leste do aterro junto ao sítio de plantação de cítricos e cocos, a sondagem atingiu 19,40m com o nível d'água encontrando-se a 0,60m da superfície. O solo apresenta características de areia fina a média argilosa até 2,70m e de solo residual jovem, siltoargiloso na continuidade da sondagem. As medidas de concentração de cloreto só foram possíveis nas amostras a cerca de 5 m e 6,5 m de profundidade, indicando valores de 72 e 405 mg/L, respectivamente.

As concentrações de sódio e potássio são significativas nas duas primeiras amostragens (até 2,5 m de profundidade) e a 7 m de profundidade, o sódio está com concentrações superiores a 500mg/L e o potássio acima de 200 mg/L. A concentração de cloreto é 405,19 mg/L nesta mesma profundidade e cálcio e magnésio acompanham a mesma tendência. As concentrações de cálcio e magnésio estão mais elevadas. Existe, portanto, um processo de contaminação em curso, pelo longo tempo de migração do chorume, junto ao pé deste talude, que se constitui na base do principal maciço de lixo do aterro com cerca de 40m de altura de lixo. Por outro lado, os valores de amônio estão altos somente na superfície. E o níquel apresentou valores acima do permitido pela legislação, na profundidade 7 m. Um aspecto importante deste local é que o lençol freático é superficial e medidas efetuadas em piezômetro instalado neste furo (Matos,2005) indicaram contaminação das águas subterrâneas.

4.2.3 SP –B3 – Face Norte

A área do furo de sondagem SP-B3 está situada na face norte do aterro em área próxima ao Rio Iguaçu. Como o ponto SP-B3 foi deslocado em 25,0 m em relação ao furo original, foi realizada análise táctil-visual, que indicou uma argila orgânica até 2,5m de profundidade, uma areia argilosa com pedregulhos até 7,0 m e argila siltosa até 8,3m. O nível d'água encontra-se a 1,50m da superfície. As medidas de concentração de cloreto só foram possíveis nas amostras a cerca de 0,5 m (423 mg/L), 1,5m (10 mg/L) e 6,5 m (18 mg/L) de profundidade.

As concentrações de potássio, cálcio, magnésio e sódio são as mais altas até 2,5 m, e diminuem acentuadamente na camada de areia argilosa com pedregulhos. A exceção é o Na^+ que, apesar do indicativo de queda com o aumento da profundidade, ainda apresenta valores de 88mg/L a 6,5 m de profundidade. As concentrações de cloreto acompanham, nas 3 amostras medidas, a tendência observada. Considerando a proximidade do rio é possível que o fluxo subterrâneo esteja ocorrendo através desta camada em direção ao rio.

No entanto, a concentração de nitrogênio amoniacal apresentou valores diferenciados e baixos superficialmente: 174 mg/L a 2,5 m, e novamente com 142 mg/L a 6,0 m de profundidade, indicando claramente contaminação do solo por chorume. Aparentemente, a camada mais permeável facilitou a migração do amônio para atingir o solo residual.

O nível d'água no piezômetro instalado indicou profundidade de 1,5 m, porém as análises químicas efetuadas não sinalizaram nenhuma contaminação (Matos, 2005).

5. Conclusões

Foram retiradas amostras de solo em profundidade no perímetro do antigo Lixão, cujo líquido intersticial foi analisado.

A face sul da área apresenta as concentrações mais baixas quando comparadas com as outras. No entanto, há um indicativo que um processo de migração, possivelmente difusivo, possa estar ocorrendo em função das concentrações de sódio, até 7 m de profundidade, e amônio e potássio a 2,5 m de profundidade.

Na face leste está ocorrendo um processo de contaminação. Concentrações de cloreto, sódio, cálcio, potássio e magnésio estão altas até 7 m de profundidade, enquanto amônio está elevado somente na camada superficial. Neste local o lençol freático é superficial e já está contaminado.

Na face norte, próximo ao Rio Iguaçu as concentrações de cloreto, sódio, cálcio, potássio e magnésio são as mais altas até 2,5 m, e diminuindo na camada que existe entre 2,5 e 7 m de profundidade. É possível que esteja ocorrendo um fluxo através de desta camada mais permeável em direção ao rio. No entanto, concentrações de amônio de cerca de 140 mg/L e sódio de 88 mg/L a 6,5 m de profundidade alertam para um possível processo de contaminação em profundidade. Análises na água superficial não indicaram contaminação nesta face.

Nos três pontos amostrados não há indicação de contaminação por metal pesado.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a S.A. Paulista pelo suporte financeiro para amostragem do solo e realização de algumas análises, e também a Maria da Glória Marcondes, do Laboratório de Geotecnia Ambiental da COPPE/UFRJ, pelas análises de amônio efetuadas.

Referências

- [1] APHA, AWWA, WPCF. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20th edition, New York, 1998.
- [2] BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria nº 518, Qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 25 de março de 2004.
- [3] BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente- Resolução no 357, Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, 17 de março de 2005.
- [4] CASTILHOS JR, A. B (2005), coord. Relatório de Rede Prosab/FINEP – “Tratamento, recuperação e disposição integrados de resíduos urbanos com ênfase na proteção de corpos d’água”, 178 pp., Campo Grande [Set], 2005.
- [5] CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R. e STEGMANN, R., “Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact”. Academic Press, London, 1989.
- [6] D’ALMEIDA M.L.O e VILHENA, A., Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. IPT CEMPRE, 2ª ed., São Paulo, 2000.
- [7] JUNQUEIRA, F.F. E PALMEIRA, E.M. , “Monitoramento do comportamento de lixo em células geotecnicamente preparadas”, In: REGEO’99. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. pp. 428-433, 1999.
- [6] MATTOS, T.P. “Avaliação da contaminação hídrica no entorno do antigo lixão da Marambaia – RJ”. Dissertação de M.Sc. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ, RJ, Brasil, 2005.
- [7] MOTA, M.F.P., Avaliação da contaminação do solo e o transporte de contaminantes no antigo lixão da Marambaia – Nova Iguaçu/RJ. Dissertação de M.Sc. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ, RJ, Brasil, 2005.
- [8] RITTER, E., CAMPOS, J.C & GATTO, R.L., “The contamination level through na organic soil of Gramacho MSW landfill”, In: Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Viana da Fonseca & Mayne (eds.), pp. 1339-1343, 2004.
- [10] TCHOBANOGLIOUS G., THEISEN, H. & VIGIL, S., “Integrated Solid Waste Management - Engineering Principles and Management Issues”. Mc Graw-Hill, Singapore, 1993.

Presença de Poluentes Emergentes no Meio Ambiente

Daniele Maia Bila¹ e Márcia Dezotti²

¹*Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, CEP. 20550-900 Rio de Janeiro, RJ*

dani@peq.coppe.ufjf.br

²*Programa de Engenharia Química - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, P.O. Box 68502, 21941-972, Rio de Janeiro – RJ*

mdezotti@peq.coppe.ufjf.br

Resumo

Atualmente a presença de micropoluentes no meio ambiente que podem causar efeitos negativos aos humanos e outros animais tem sido amplamente discutida. A incidência de anomalias no sistema reprodutivo de animais, câncer em humanos, a redução na quantidade de esperma, entre outras, são relacionados aos poluentes presentes em pequenas concentrações, principalmente, em ambientes aquáticos. Originários de atividades antrópicas são lançados no meio ambiente através do descarte de efluentes domésticos e industriais. No entanto, existem outras rotas de exposição a essas substâncias, como a agricultura e a disposição de resíduos inadequada nos solos. Esses micropoluentes são denominados “Poluentes Emergentes”, e várias classes de substâncias são classificadas como tal, como os fármacos, produtos de uso pessoal, desreguladores endócrinos e novos subprodutos de desinfecção.

Palavras chave: Poluentes emergentes, Desreguladores endócrinos, fármacos, produtos de uso pessoal.

1. Introdução

Atualmente é grande o interesse da comunidade científica por algumas substâncias químicas presentes no meio ambiente em baixas concentrações, que historicamente não eram consideradas como poluentes, que são conhecidos como “Poluentes Emergentes” e podem ser definidos como qualquer substância química natural ou sintética, ou qualquer microorganismo que comumente não eram monitorados no meio ambiente, mas que apresentam o potencial de causar efeitos adversos à saúde de humanos e animais.

Em alguns casos, o lançamento desses poluentes no meio ambiente provavelmente

vem acontecendo ou aconteceu por muito tempo, mas não eram detectados pelos métodos analíticos disponíveis, sendo que isso somente foi possível com o desenvolvimento de métodos analíticos mais sensíveis. Em outros casos, a síntese de substâncias químicas novas ou mudanças no uso ou disposição de substâncias químicas existentes criaram novas fontes de poluentes emergentes.

Normalmente, esses poluentes estão presentes em concentrações da ordem de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1} e são introduzidos no meio ambiente através de uma mistura complexa via várias rotas distintas, principalmente no esgoto doméstico e efluentes de ETE. Alguns poluentes emergentes são

persistentes e são introduzidos no meio ambiente em quantidades relativamente altas. Os organismos aquáticos são expostos de uma maneira permanente a estes poluentes.

As classes de substância consideradas como “Poluentes Emergentes” incluem os fármacos, os produtos de cuidado pessoal e de limpeza, os desreguladores endócrinos e subprodutos da desinfecção de água potável, que não eram conhecidos antes.

Os riscos desses micropoluentes ao meio ambiente podem estar associados com efeitos específicos dessas substâncias, como por exemplo, os desreguladores endócrinos que são suspeitos de causarem efeitos adversos no sistema reprodutivo de humanos e animais. Ou, no caso dos fármacos, o efeito mais discutido é o desenvolvimento da resistência bacteriana aos antibióticos. O bromato, que é um subproduto formado na ozonização de águas naturais contendo brometo, é um composto potencialmente cancerígeno.

Além de seus efeitos negativos, essas substâncias químicas podem ser tóxicas, sendo que a resistência à biodegradação favorece a sua permanência por longos períodos de tempo no meio ambiente, sendo assim, responsáveis por fenômenos como a biomagnificação na cadeia alimentar. Alguns desses poluentes, mesmo que não sejam persistentes, causam efeitos negativos no meio ambiente. Os seus efeitos são observados, por eles serem continuamente introduzidos no meio ambiente, ainda que em baixas concentrações.

No momento, os pontos-chave em relação aos poluentes emergentes são: (1) o desenvolvimento de métodos analíticos para sua quantificação em matrizes ambientais complexas (águas naturais e potável, efluentes industriais e de estações de tratamento de esgoto, esgoto doméstico e sedimentos) a níveis de traços; (2) a ocorrência desses poluentes no meio ambiente; (3) a caracterização das suas fontes e os caminhos de lançamento no meio ambiente; (4) a avaliação de seus processos de transporte e destino no meio ambiente; (5) a identificação de seus efeitos em potencial da exposição de humanos e animais e (6) a avaliação da remoção desses

poluentes nos processos de tratamento, tanto nas estações de tratamento de água potável como no esgoto doméstico.

O esgoto doméstico merece uma atenção especial, uma vez que acaba contendo em sua composição uma grande quantidade dessas substâncias. O esgoto doméstico pode conter uma variedade de poluentes potencialmente danosos, devido principalmente:

- ao descarte de remédios fora da validade;
- fármacos e seus metabólitos excretados na urina e fezes;
- hormônios naturais (17- β estradiol, testosterona) e sintéticos (anticoncepcionais);
- produtos utilizados na limpeza doméstica (detergentes, desinfetantes, entre outros);
- substâncias químicas lixiviadas de embalagens plásticas e outras;
- produtos de cuidado pessoal (cosméticos, protetor solar, fragrâncias, etc.);
- aplicação domiciliar de pesticidas.

Assim, em função do estabelecimento da maneira de viver da sociedade moderna, houve uma grande mudança nas características do esgoto doméstico. Portanto, os processos de tratamento de esgoto devem ter alternativas e contemplar também a remoção desses micropoluentes.

2. Desreguladores Endócrinos

Os desreguladores endócrinos (DE) são uma recente categoria de micropoluentes ambientais que interferem nas funções do sistema endócrino. Assim são suspeitos de causarem efeitos adversos à saúde humana e animal, principalmente no sistema reprodutivo.

De acordo com a Environmental Protection Agency, um desregulador endócrino é definido como um “*agente exógeno que interfere com a síntese, secreção, transporte, ligação, ação ou eliminação de hormônios naturais no corpo que são responsáveis pela manutenção, reprodução, desenvolvimento e ou comportamento dos organismos*”.

Os efeitos associados aos DE são: a diminuição na eclosão de ovos de pássaros, peixes e tartarugas; a feminização de peixes machos; problemas no sistema reprodutivo em peixes, répteis, pássaros e mamíferos; e alterações no sistema imunológico de mamíferos marinhos. Em alguns casos esses efeitos podem conduzir ao declínio da população. Em seres humanos esses efeitos incluem a redução da quantidade de esperma, o aumento da incidência de câncer de mama, de testículo e de próstata, e a endometriose².

Os DE abrangem uma grande faixa de classes de substâncias com estruturas distintas, incluindo hormônios sintéticos e naturais, substâncias naturais e uma grande quantidade de substâncias sintéticas. A Tabela 1 apresenta algumas substâncias conhecidas ou suspeitas de serem desreguladores endócrinos. Uma lista mais completa com aproximadamente 560 substâncias pode ser encontrada no Anexo 1 do relatório COM (2001) 262³ da Comissão das Comunidades Europeias.

Tabela 1. Algumas substâncias químicas classificadas como DE.

Ftalatos	Pesticidas	
Dimetil ftalato (DMP) dietil ftalato (DEP) di-iso-butil ftalato (DIBP) di-n-butil ftalato (DBP) butilbenzil ftalato (BBP) díciclohexilo ftalato (DCHP) di-(2-etil-exil) ftalato (DEHP) di-n-octil ftalato (DOP) di-isoctil ftalato (DIOP) di-iso-nonil ftalato (DINP) di-iso-decil ftalato (DIDP)	<i>Inseticidas:</i> DDT (2,2 bis-p-clorofenil-1,1,1-tricloroetano) DDE (2,2 bis-p-clorofenil-1,1-dicloroetileno) Deltametrin Carbofurano <i>Herbicidas:</i> Atrazina Linuron <i>Pesticidas organoclorados:</i> Lindane (1,2,3,4,5,6-hexacloro-hexano)	<i>Fungicidas:</i> Vinclozolina Carbendazime Penconazol Procloraz Propiconazol Epoxiconazol Procimidona Tridemorfos
Fitoestrogênicos	Organoclorados	Metais Pesados
<i>Isoflavona:</i> daidzeína e genisteína. <i>Liganas:</i> metaresinol e enterodiol	Dibenzo-p-dioxina TCDD(2,3,7,8-tetraclorodibenzeno-p-dioxina) TCDF (2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano)	Cádmio, Mercúrio, Zinco e Chumbo
Estrogênios naturais	Compostos orgânicos de estanho	
Estrona 17β-estradiol	Tributilestanho (TBT) Trifenilestanho (TPT)	
Agentes terapêuticos e farmacêuticos	Retardante de chama bromado	
Dietilestilbestrol (DES) 17α-etinilestradiol (EE ₂)	Polibromobifenila (PBB) 2,2',4,4'-tetrabromodifenil éter (BDE 47) 2,2',4,4',5-pentabromodifenil éter (BDE 99) 2,2',4,4',6-pentabromodifenil éter (BDE 100) 2,2',4,4',5,5'-hexabromodifenil éter (BDE 153) 2,2',4,4',5,6'-hexabromodifenil éter (BDE 154) 2,2',3,4,4',5',6-heptabromodifenil éter Octabromodifenil éter (BDE octa) Decabromodifenil éter (BDE 209) Hexabromociclododecano (HBCD) Tetrabromobisfenol A (TBBA)	
Bisfenol		
Bisfenol A		
Parabenos		
Benzilparabeno Isobutilparabeno Butilparabeno n-propilparabeno etilparabeno metilparabeno		
Policlorados de bifenilas	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Alquilfenóis
2,4,4'-triclorobifenil 2,2',5,5'-tetraclorobifenil 2,2',4,5,5'-pentaclorobifenil 2,3',4,4',5-pentaclorobifenil 2,2',3,4,4',5'-hexaclorobifenil 2,2',4,4',5,5'-hexaclorobifenil 2,2',3,4,4',5,5'-heptaclorobifenil	Naftalina Acenaftileno Acenafteno Fluoreno Fenantreno Antraceno Fluoranteno Pireno	Benzo[a]antraceno Criseno Benzo[b]fluoranteno Benzo[k]fluoranteno Indeno[123-cd]pireno Dibenzo[ah]antraceno Benzo[a]pireno Benzo[ghi]perileno
		Nonilfenol Octilfenol Octilfenoletoxilado Nonilfenoletoxilado

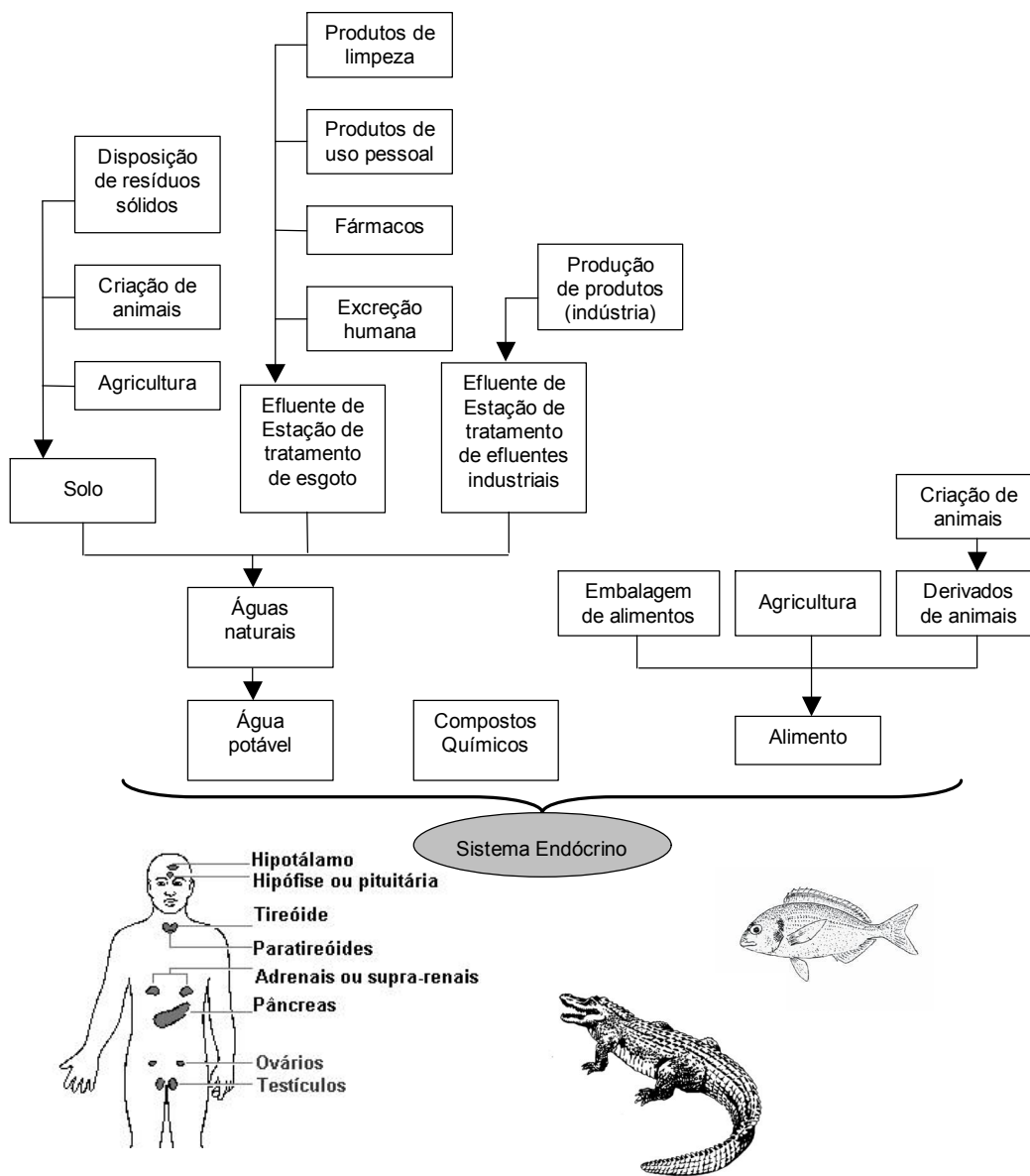


Figura 1. Possíveis rotas de exposição aos DE.

2.1. Meios de exposição aos desreguladores endócrinos

A exposição aos desreguladores endócrinos pode ocorrer sob diferentes formas, tais como, através do contato direto no local de trabalho ou em casa, ou indireto através da ingestão de água, ar ou alimentos contaminados e ao contato com o solo. Uma das maiores exposições da população aos desreguladores endócrinos é através da ingestão de água e alimentos contaminados. No caso dos seres humanos estima-se que mais de 90% dessas substâncias ambientais são absorvidos por via digestiva, principalmente através de alimentos contaminados. A Figura 1 apresenta um esquema com as possíveis rotas de exposição aos DE.

2.2. Mecanismos de ação dos DE

O sistema endócrino é responsável pelo crescimento, reprodução, manutenção, homeóstase e pelo metabolismo dos animais e das plantas. O sistema endócrino é um dos mais complexos sistemas do corpo humano. Consiste de várias glândulas em diferentes áreas do corpo, incluindo o pâncreas, a tireóide, os órgãos reprodutores (ovários e testículos), o hipotálamo, a pituitária (hipófise), a paratireóide e a supra-renal, que produzem hormônios com diferentes funções. Essas glândulas secretam hormônios que são ativos em receptores de tecidos e órgãos ao longo do corpo.

Hormônios são poderosas moléculas mensageiras que controlam funções essenciais do corpo e, após serem sintetizados, são transportados pela corrente sanguínea, no estado livre ou ligados a proteínas e agem em locais específicos regulando ou alterando determinados órgãos ou suas funções.

Os hormônios possuem características únicas e interagem com as células-alvo por diversos meios. São potentes, ou seja, pequenas quantidades são suficientes para causar uma resposta.

Os diferentes mecanismos de ação dos DE

Os desreguladores endócrinos podem interferir com o funcionamento do sistema endócrino de várias formas, como por exemplo: (1) mimese da ação de um hormônio endógeno, como o estrogênio ou a testosterona, afetando as funções que esses hormônios controlam; (2) bloqueio dos receptores hormonais nas células, impedindo assim a ação dos hormônios naturais; (3) interferência na síntese, no transporte, no metabolismo, na eliminação dos hormônios e níveis de receptores, alterando dessa forma as concentrações dos hormônios naturais no corpo. Alguns desses mecanismos são apresentados na Figura 2.

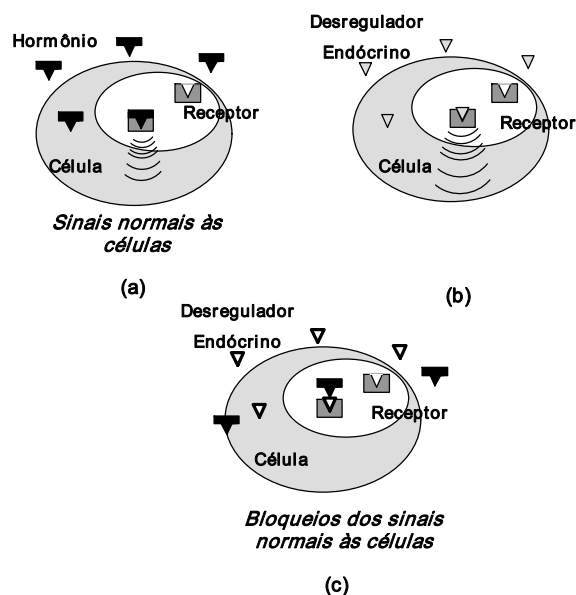


Figura 2. Mecanismos de atuação dos DE. (a) Resposta natural, (b) Efeito agonista e (c) Efeito antagonista.

Muitos desreguladores endócrinos interagem com os receptores hormonais e causam uma resposta biológica e podem atuar como agonistas ou antagonistas. As alterações nas funções do sistema endócrino podem prejudicar a saúde do organismo, da sua descendência ou de uma (sub) população.

Além do mecanismo de ação pelo qual uma substância pode interagir diretamente com os receptores hormonais, e então mimetizar ou bloquear a ação de um hormônio endógeno, há outros mecanismos pelos quais uma substância química pode alterar o processo biológico natural, tais como, a alteração da concentração de hormônios endógenos pela alteração em sua síntese, metabolismo, distribuição ou clivagem. Pode ainda, alterar a resposta dos hormônios pela alteração do número de receptores ou por outros caminhos secundários que afetam as funções dos receptores².

Os DE também podem apresentar múltiplas atividades hormonais, ou seja, uma substância que mimetiza estrogênios pode ter outros mecanismos de ação, como a atividade anti-andrógena. Por exemplo, o DDT, o qual foi originalmente classificado como uma substância estrogênica, também possui atividade anti-andrógena.

Para muitas substâncias, um aumento na concentração acarreta um aumento dos efeitos danosos. Entretanto, para os desreguladores endócrinos, os maiores efeitos podem ocorrer em baixas concentrações. Isto porque os hormônios normalmente são efetivos em baixas concentrações, pois os receptores têm uma afinidade muito grande por um hormônio específico, de forma que baixas concentrações são suficientes para se obter uma resposta. Apesar da sua alta afinidade por hormônios, o receptor pode se ligar a outras substâncias químicas. Assim, desreguladores endócrinos presentes em baixas concentrações podem causar um efeito e elucidar uma resposta biológica⁴.

3. PPCPs – Fármacos e produtos de cuidado pessoal.

Fármacos, ingredientes ou preservantes de cosméticos, suplementos alimentares e

outros produtos de cuidado/uso pessoal, junto com seus respectivos metabólitos, são referidos em conjunto como fármacos e produtos de cuidado pessoal, representados pela sigla PPCP – Pharmaceutical and Personal Care Products.

A ocorrência dos PPCP no ambiente aquático, águas naturais, esgoto doméstico e efluentes de ETE pode ser explicada, principalmente, pelos seus extensivos usos e suas incompletas remoções nas estações de tratamento de efluente.

3.1. Fármacos

Toneladas de medicamentos são produzidas anualmente e aplicadas na medicina humana e veterinária. Após a administração, uma parte significativa dos fármacos é excretada e seu maior destino é o esgoto doméstico. Dependendo do tipo de fármaco e do processo de tratamento usado nas ETE, tais fármacos podem ser removidos pelos processos de adsorção e/ou biodegradação. Porém, vários fármacos podem ser persistentes e, não serem completamente removidos nas ETE⁹. Com isso, resíduos de diversos fármacos têm sido detectados em águas naturais. Além disso, muitos fármacos resistem aos processos convencionais de tratamento de água⁹.

Os fármacos são utilizados no diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças. Uma grande variedade de fármacos são usados diariamente, incluindo antibióticos, contraceptivos, anestésicos, agentes reguladores de lipídeos, meio de contraste de Raios-X, anti-inflamatórios, anti-epiléticos, anti-depressivos, alguns exemplos são apresentados na Tabela 2. Em todo o mundo, esses fármacos foram encontrados no esgoto doméstico, em águas superficiais e de subsolo, sedimentos e lodos biológicos de ETE⁶.

Tabela 2. Alguns fármacos encontrados no ambiente aquático.

Analgésico	β-bloqueador	Antibiótico
Ácido acetilsalicílico Dimetilaminofenazona Fenazona Propifenazona	Betaxolol Propranolol Bisoprolol	Ciprofloxacina Clorotetraciclina Eritromicina Lincomicina Norfloxacina Oxitetraciclina
Meios de contraste de raio-X	Antiinflamatório	Penicilina Roxitrocina Sulfametoxazol Tetramicina Tilosina Trimetropim Vancomicina
Iopamidol Iopromida Iomeprol	Cetoprofeno Diclofenaco Indometacina Ibuprofeno	
Agente regulador de lipídeo	Antiepilético	
Bezafibrato	Carbamazepina	
Metabólito de agentes reguladores de lipídeos		
Ácido clorífrico	Ácido Fenofibrico	
Medicamento psiquiátrico		Estrogênio sintético
Diazepan		17α-etinilestradiol

Em geral, os medicamentos são desenvolvidos para ser persistentes e reter suas propriedades químicas o bastante para servir a um propósito terapêutico. São projetados com um modo de ação específico. Com isso, é de se esperar que eles possam ter uma variedade de efeitos em receptores não-alvo e possam causar efeitos adversos em um organismo. Esses efeitos podem ser agudos ou crônicos.

Dois problemas ambientais relacionados à presença de fármacos no meio ambiente são amplamente discutidos. O primeiro é que, devido ao uso desenfreado de antibióticos, as bactérias podem fazer, e freqüentemente o fazem, mudanças no seu material genético, adquirindo resistência aos antibióticos. Assim, uma bactéria presente em um corpo hídrico que contenha traços de antibióticos pode adquirir resistência a essas substâncias⁶. O segundo é o 17α-etinilestradiol, um fármaco muito usado como contraceptivo oral que causa efeitos danosos ao sistema endócrino dos animais, sendo classificado como desregulador endócrino.

Os fármacos são desenvolvidos para estimular uma resposta em animais e

humanos, muitas vezes em baixas doses e com um objetivo específico. Sendo assim, as implicações para a saúde humana devido a sua presença no meio ambiente devem ser avaliadas. O contraceptivo oral 17α-etinilestradiol tem elevada potência e causa efeitos biológicos mesmo em baixas concentrações. Antibióticos presentes na água, solo e sedimentos podem causar alterações na comunidade microbiana e afetar organismos de uma cadeia alimentar.

Aplicação e Destino dos Fármacos no Meio Ambiente

A excreção é o maior e principal meio pelo qual os fármacos de uso humano e veterinário são introduzidos no meio ambiente. Uma vez no esgoto doméstico, os fármacos entram nas ETE, onde não são completamente removidos e acabam descartados no meio ambiente como efluentes de ETE, atingindo as águas naturais. Uma grande quantidade de fármacos também é encontrada nos efluentes hospitalares, no lodo biológico das ETE e nos chorumes de aterros sanitários².

A Figura 2 apresenta um esquema que mostra os possíveis caminhos para os fármacos quando descartados no meio ambiente.

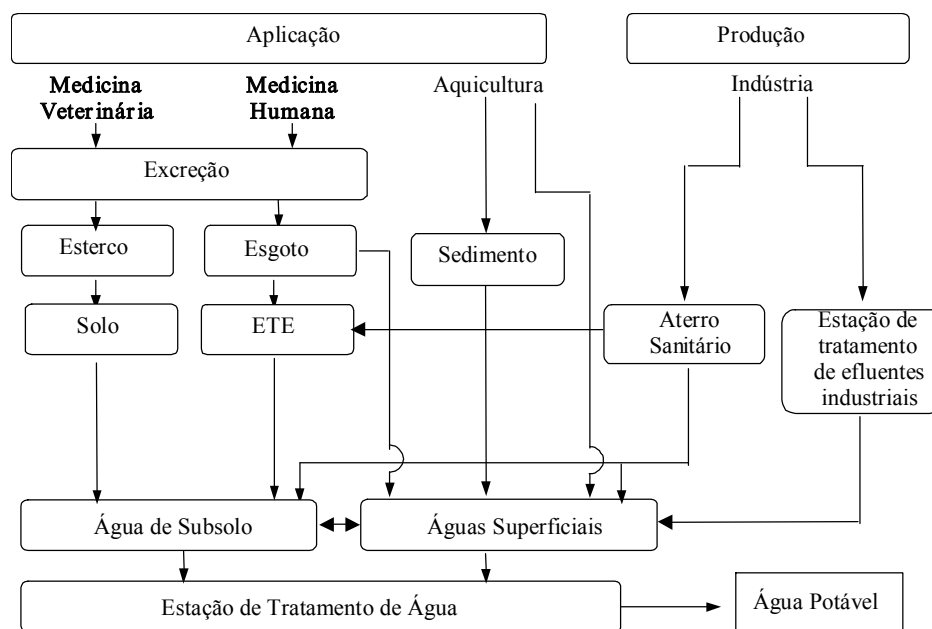


Figura 2. Possíveis rotas de fármacos no meio ambiente.

Possíveis Efeitos da Presença de Fármacos no Meio Ambiente

A ocorrência de fármacos no meio ambiente pode apresentar efeitos adversos em organismos aquáticos e terrestres. Pouco é conhecido sobre os efeitos de fármacos no meio ambiente. Existem mais dados para os antibióticos do que para outras classes terapêuticas.

O uso indiscriminado de antibióticos associado ao desenvolvimento de bactérias resistentes é um tópico que tem sido largamente discutido⁶. As bactérias podem adquirir resistência bacteriana aos antibióticos, o que tem aumentado substancialmente nos últimos anos e vem se tornando um problema de saúde pública.

Segundo Jorgensen e Halling-Sorensen⁷, há indícios de que o desenvolvimento de resistência a antibióticos é favorecido por baixas concentrações. Esse fato é de extrema importância, pois os antibióticos, assim como outros fármacos são encontrados nas diversas matrizes aquosas em baixas concentrações, o que pode favorecer o desenvolvimento da resistência bacteriana no meio ambiente através da mutação ou processos de transferência genética, tais como, transformação, transdução e conjugação. Esses mecanismos têm sido discutidos por alguns pesquisadores⁸.

3.2. Produtos de Cuidado Pessoal e de Limpeza

Produtos de cuidado pessoal, comumente, são ingredientes ativos ou preservantes usados na formulação ou manufatura de cosméticos e produtos de cuidado com o corpo em geral, usualmente são aplicados no corpo. Pouco é conhecido sobre o seu destino no meio ambiente ou potenciais efeitos, mas freqüentemente esses produtos são polares, persistentes e bioacumulativos, além de possuírem alto potencial biológico.

Produtos de cuidado pessoal incluem ingredientes ou preservantes de xampu, sabonetes, produtos para cuidado dental, produtos de cuidado de pele (cosméticos) e cabelo, agentes presentes no protetor solar, os quais são usados em grandes quantidades. Fragrâncias de almíscar policíclico também são incluídas⁹. Os almíscares policíclicos sintéticos são fragrâncias usadas em sabonete, perfumes, detergentes, amaciantes de roupa entre outros produtos de limpeza¹⁰. Alguns ingredientes presentes em produtos de cuidado pessoal e de limpeza identificadas no meio ambiente estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Alguns ingredientes de produtos de cuidado pessoal e de limpeza detectados no meio ambiente.

Fragrâncias	Agentes presentes em protetor solar
Nitro	Benzofenona
Almíscares macrocíclicos e policíclicos (galaxolida (HHCB), Tonalida (AHTN), Celestolide (ADBI), Phantolida (AHMI), Traseolide (ATII))	Cânfora de Metilbenzilideno
Ftalatos	Antisséptico
Acetofenona	Triclosan clorofeno
	Repelente de insetos
	N, N-dietiltoluamida

Ao contrário dos fármacos, os produtos de cuidado pessoal não passam pelo interior do corpo humano (no qual parte é metabolizada e parte é descartada), são de uso externo. Alguns são usados e descartados no meio ambiente em larga escala. Além disso, novos produtos são fabricados todos os anos. Esses compostos e seus metabólitos bioativos são continuamente introduzidos no meio ambiente por várias rotas, sendo a principal o descarte no esgoto doméstico durante o banho ou limpeza, sendo que essas substâncias não são completamente removidas nas ETE e finalmente são lançadas no ambiente aquático, conduzindo

a exposição de multigerações dos organismos residentes no meio ambiente.

Os produtos de cuidado pessoal e seus metabólitos foram encontrados em águas naturais, esgoto doméstico e efluentes de ETE em vários países. Alguns desses dados são apresentados na Tabela 4.

Ao contrário dos fármacos, na literatura, são poucos os estudos sobre a ocorrência dos produtos de cuidado pessoal no meio ambiente, bem como há poucas informações sobre os riscos em potencial desses produtos.

5. Subprodutos da Desinfecção

O aumento no uso do ozônio e cloro no tratamento de água potável tem se tornado um problema devido à formação de subprodutos de desinfecção (DBP). Os subprodutos formados na desinfecção por cloração das águas naturais, os chamados trihalometanos, são largamente conhecidos e estudados. No caso da desinfecção de águas

naturais que contém brometo por ozonização, há a formação do íon bromato¹⁴. O bromato é potencialmente cancerígeno. Suas concentrações vem sendo monitoradas nas plantas de tratamento de água potável que utilizam a ozonização em seu tratamento.

Tabela 4. Concentrações médias ou faixas de concentrações de produtos de cuidado pessoal encontrados no meio aquático.

Composto	Classe	Concentração média no meio ambiente ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Condições	Referência
Acetofenona	Fragrância	0,15	Água natural/EUA	10
Tonalida (AHTN)	Fragrância de almíscar	0,10 \pm 0,03	Efluente de ETE/Alemanha	11
		0,680	Afluente de ETE/Canadá	12
		0,298	Efluente de ETE/Canadá	
		0,08-0,11	Águas naturais/Romania	13
Celestolida	Fragrância de almíscar	0,0345	Afluente de ETE/Canadá	12
		0,0200	Efluente de ETE/Canadá	
Galaxodina	Fragrância de almíscar	0,737 \pm 0,14	Efluente de ETE/Alemanha	11
		1,701	Afluente de ETE/Canadá	12
		0,876	Efluente de ETE/Canadá	
		0,172 – 0,314	Águas naturais/Romania	13
Pantolida	Fragrância de almíscar	0,0220	Afluente de ETE/Canadá	12
Traseolida	Fragrância de almíscar	0,131	Afluente de ETE/Canadá	12
		0,047	Efluente de ETE/Canadá	
Triclosan	Antisséptico	0,106	Efluente de ETE/Canadá	12
		1,86	Afluente de ETE/Canadá	
		0,0576-0,038	Águas naturais/Romania	13

No Brasil, a portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que o valor máximo permitido para o bromato na água potável é de 0,025 mg.L⁻¹. À medida que há um avanço no desenvolvimento dos métodos analíticos de determinação de bromato na água, estes valores tendem a diminuir. A União Européia e a US.EPA estabeleceram

um nível máximo de contaminação de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o bromato na água potável¹⁴. Assim, a concentração de bromato formado na ozonização em plantas de tratamento de água potável deve ser monitorada e regulada. Alguns autores investigam qual a concentração de ozônio que conduz à formação mínima de bromato, que vai

depende da concentração de bromato presente na água¹⁵. A minimização da formação do bromato também pode ser alcançada por outras técnicas de tratamento da água antes da ozonização. A ozonização na desinfecção de águas para abastecimento humano ainda não é aplicada no Brasil. No entanto essa é uma técnica em expansão, que futuramente poderá ser usada no nosso país.

6. Conclusão

Muitas pesquisas vêm sendo realizadas visando a identificação e o monitoramento de poluentes emergentes no meio ambiente. Substâncias químicas, como os fármacos, desreguladores endócrinos, produtos de uso pessoal e dos novos subprodutos formados na desinfecção por ozônio, tal como o bromato, têm sido detectados em águas naturais, efluentes ou mesmo em solos e sedimentos.

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na identificação e quantificação dessas substâncias nas complexas matrizes ambientais.

Há um significativo esforço no sentido de se determinar quais os efeitos que esses micropoluentes podem provocar em animais e humanos. Alguns efeitos já foram identificados. No entanto, somente algumas dessas substâncias químicas foram estudadas. Um outro ponto de grande importância é o estabelecimento de concentrações seguras dessas substâncias no meio ambiente que não causem efeitos danosos aos organismos.

Outra grande preocupação é determinar a real remoção desses poluentes pelos processos de tratamentos de efluentes e de água utilizados atualmente, além da otimização desses processos e o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias de tratamento. A remoção desses micropoluentes pelos atuais processos de tratamento de efluentes depende do tipo de tratamento e forma de operação de cada processo. Portanto estes devem ser otimizados visando a remoção não só da matéria orgânica presente, mas também dos

micropoluentes, garantindo uma remoção até níveis seguros para descarte.

Referências

- [1] US.EPA, “Special Report on Environmental Endocrine Disruption: An Effects Assessment and Analysis” U.S. Environmental Protection Agency, Report No. EPA/630/R-96/012, Washington D. C., 1997.
- [2] Bila, D. M., Dezotti, M., “Desreguladores Endócrinos No Meio Ambiente: Parte 1 - Efeitos e Conseqüências” *Química Nova*, **SUBMETIDO**.
- [3] COM, 2001 (262) final de 14/06/2001 “Estratégia comunitária em matéria de desreguladores endócrinos – substâncias suspeitas de interferir com os sistemas hormonais dos seres humanos e dos animais” Comissão das Comunidades Europeias, 2001.
- [4] Birkett, J. W.; Lester, J. N.; “*Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Process*”, 1ª ed., Lewis Publishers, 2003.
- [5] Ternes, T. A. “Occurrence of Drugs in German Sewage Treatment Plants and Rivers” *Water Research*, v. 32 (11), pp. 3245-3260, 1998.
- [6] Bila, D. M., Dezotti, M., “Fármacos no Meio Ambiente” *Química Nova*, v. 26 (4), pp. 523-530, 2003.
- [7] Jorgensen, S. E.; Halling-Sorensen, B., “Drugs in the environment” *Chemosphere*, v. 40, pp. 691-699, 2000.
- [8] Andersen T. J., Schäfer, T., Jorgensen, P. L. *et al.*, “Using Inactivated Microbial Biomass as Fertilizer: The Fate of Antibiotic Resistance Genes in the Environment” *Research Microbiology*, v. 152, pp. 823-833, 2001.
- [9] Ellis, J. B.; “Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters, *Environmental Pollution*, *In Press*, 2006.
- [10] Kolpin, D. W., Furgol, E. T., Meyer, M. T., *et al.*, “Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater

- Contaminants in U.S. Streams, 1999-2000: A National Reconnaissance” *Environmental Science Technology*, v. 36, pp. 1202-1211, 2002
- [11] Ternes, T. A., Stübera, J., Herrmann, N., *et al.*, “Ozonation: a Tool for Removal of Pharmaceuticals, Contrast Media and Musk Fragrances From Wastewater?” *Water Research*, v. 37, pp. 1976–1982, 2003.
- [12] Lishman L., Smyth, S. A., Sarafin, K., *et al.*, “Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada”, *Science of the Total Environment*, *In Press*, 2006.
- [13] Moldovan, Z.; “Occurrences of pharmaceutical and personal care products as micropollutants in rivers from Romania”, *Chemosphere*, *In Press*, 2006.
- [14] Von Gunten, U., “Ozonation of Drinking Water: Part II. Disinfection and by-Product Formation in Presence of Bromide, Iodide or Chlorine” *Water Research*, v. 37, pp. 1469–1487, 2003.
- [15] Duguet, J.-P., Montiel, A., “The compliance with the new European regulation with bromate in drinking water: the practical experience of EAU DE PARIS” *IOA 17th World Ozone Congress*, pp. SW3-1 – SW3-10 Strasbourg, 2005.

Um Método para Classificação Supervisionada de Imagens de Sensoriamento Remoto Utilizando Rede Neural Probabilística e Características de Textura

Marcelo Musci Zaib Antonio

*Universidade Iguazu – UNIG – FaCET - RJ
Av. Abílio Augusto Távora, 2134, Centro, Nova Iguaçu, RJ, Brasil
E-mail: marcelo@musci.eng.br*

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise multiespectral de textura, para classificação de imagens de sensoriamento remoto, que une matriz de co-ocorrência e componentes principais para modelagem de textura e utiliza redes neurais para a classificação supervisionada. As características de textura são definidas por um conjunto de medidas estatísticas descrevendo as variações de intensidade, juntamente com as informações de cor. As medidas são calculadas de matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza e posteriormente selecionadas por transformações lineares e algoritmos de seleção.

Palavras chave : classificação de imagens; sensoriamento remoto; textura; matriz de co-ocorrência; rede neural probabilística

1. Introdução

Atualmente para a caracterização do uso das terras existem vários métodos tradicionais de levantamento de campo, como aqueles auxiliados por fotografias aéreas ou pela cartografia temática, entre outros. O sensoriamento remoto constitui uma técnica de grande utilidade, pois permite em curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações a respeito de registros de uso da terra, de maneira eficiente, rápida e apresentando relativamente baixo custo.

Para extrair informações de imagens de sensores remotos, o intérprete considera, na interpretação visual humana, características como o contexto, formas, bordas, variações tonais ou cores, e textura.

Na interpretação digital, a maioria das técnicas-padrão de classificação disponível apresenta algoritmos de classificação baseados somente no uso da informação espectral, deixando de lado as outras características consideradas na interpretação visual. Nos últimos anos diversas pesquisas vêm sendo efetuadas para incluir estas outras características para a extração automática de informações de imagens.

A textura pode ser pensada em termos de suas características como um sub-padrão ou primitiva, e por uma regra de localização que define sua distribuição espacial; ou também se poderia pensar a textura como um fenômeno organizado composto de padrões que obedecem alguma regra estatística, como citado por Haralick & Shapiro [1] e Visa [2].

Enquanto a classificação multi-espectral¹ tradicional é um processo de agrupamento de valores de intensidades espectrais das várias bandas do *pixel*, na análise textural, ao contrário, a diferença das feições tonais é que irá caracterizá-la. Portanto, ela é expressa pela diferença entre as intensidades dos vizinhos, e será sempre fundamentada em uma operação de área ou vizinhança, Crosta [3].

O uso de textura, além das características espectrais, para classificação de imagens pode trazer resultados mais precisos, dependendo apenas da resolução espacial do sensor e o quão homogênea é a área a ser classificada.

Texturas podem ser definidas por intermédio de um conjunto de medidas estatísticas descrevendo as variações espaciais de intensidade ou cor. Para extração de características de textura foi utilizado o método proposto por Haralick [4], baseado em matrizes de co-ocorrência, sendo este um dos métodos mais utilizados da abordagem estatística para análise de textura.

Para a classificação, foi utilizado um método supervisionado. Na classificação supervisionada, empregam-se duas etapas principais: treinamento e reconhecimento. No treinamento, constrói-se um modelo para o conteúdo de textura, baseado em características estatísticas para cada classe do conjunto de treino. No reconhecimento, são analisadas as texturas presentes na imagem, utilizando os mesmos métodos estatísticos para o treinamento. As amostras são, então, atribuídas às categorias que apresentam maior similaridade.

Vários modelos de redes neurais foram desenvolvidos para classificação de imagens de textura usando propriedades estatísticas.

¹ Imagens de várias bandas correspondendo a diferentes comprimentos de ondas.

Nesse trabalho, a classificação é feita por intermédio de uma rede neural probabilística (*PNN – Probabilistic Neural Network*).

A Seção 2 apresenta uma breve descrição de textura e sua representação para classificação. Na Seção 3 é mostrado o modelo de classificação proposto. A modelagem utilizando a rede PNN é descrita na Seção 4. Finalmente na Seção 5 são ilustrados os resultados obtidos, mostrando a eficiência do método.

2. Textura e Quantização

Segundo Schowengerdt [5], a textura pode ser medida por quantidades estatísticas simples, como a variância do nível de cinza local. Barber & LeDrew [7] comentam que existem várias abordagens para medidas de textura, incluindo estatística, estrutura, valores estocásticos, e análise no domínio das frequências. As abordagens estatísticas fazem uso da função de probabilidade da densidade de nível de cinza (pdf), que é computada, normalmente, como a probabilidade condicional de articulação de pares de *pixel* (nível de cinza), num determinado local da imagem. Como exemplo de aproximação estatística para a análise da textura pode-se citar a matriz de co-ocorrência de níveis de cinza (GLCM – *Gray Level Co-occurrence Matrix*).

GLCM é uma tabulação de quantas combinações diferentes de valores de intensidade dos *pixels* (níveis de cinza) ocorrem em uma imagem. A idéia principal é descrever textura através de um conjunto de características para as ocorrências de cada nível de cinza nos *pixels* da imagem, considerando múltiplas direções. Antes da aplicação da matriz de co-ocorrência, as imagens precisam passar por um processo de pré-processamento, usando uma requantização ou uma equalização do histograma. Esse processo assegura

domínios consistentes de co-ocorrência, independente de propriedades estatísticas de primeira ordem de uma imagem como média, máxima ou mínima intensidade de *pixels*.

Segundo Schwartz [6], a matriz de co-ocorrência é uma tabulação de quantas combinações diferentes de valores de intensidade dos *pixels* (níveis de cinza) ocorrem em uma imagem. A idéia principal da matriz de co-ocorrência é descrever textura através de um conjunto de características para as ocorrências de cada nível de cinza nos *pixels* da imagem considerando múltiplas direções.

Na determinação, pode-se modelar uma imagem em escala de cinza em um domínio $D \subset \mathbb{Z}^2$ de N_g níveis de cinza como uma função em duas dimensões (2D) $I: D \rightarrow G$, onde $G = \{1, \dots, N_g\}$. A GLCM $P(i, j | d, \theta)$ é uma estimativa da função densidade de probabilidade condicional de segunda ordem, na qual dois *pixels*, separados pelo deslocamento d, θ , tendo intensidades i e j , onde $i, j \in G$:

$$P(i, j | d, \theta) = \frac{\#\{k, l \in D | I(k) = i, I(l) = j, P_{k-l} = d, \angle(k-l) = \theta\}}{\#\{m, n \in D | P_{m-n} = d, \angle(m-n) = \theta\}} \quad (1)$$

onde k, l, m, n são localizações válidas de *pixels* na imagem. Devido à natureza discreta das intensidades da imagem, P é de fato, uma densidade discreta ao invés de contínua.

Co-ocorrência na sua forma geral, pode ser especificada por uma matriz de freqüências relativas $P(i, j | d, \theta)$, na qual dois elementos de textura vizinhos, separados por uma distância d em uma orientação θ ocorrem na imagem, um com propriedade i e outro com propriedade j , [6].

Algumas considerações são necessárias, de forma a limitar o número de níveis de cinza N_g da imagem, a distância d entre os *pixels* e a orientação θ . As imagens são requantizadas para 16 ou 32 níveis de cinza. A orientação θ é geralmente limitada a quatro ângulos em intervalos de 45°, sem distinção entre os ângulos opostos, isto é, são utilizadas as orientações para $\theta = (0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$. A distância d é escolhida de acordo com a rugosidade das imagens a serem analisadas, e geralmente varia de 1 até um valor máximo dependendo da textura da imagem, Gool et al. [8].

A Figura 1 mostra a disposição espacial dos *pixels* para o cálculo da matriz de co-ocorrência.

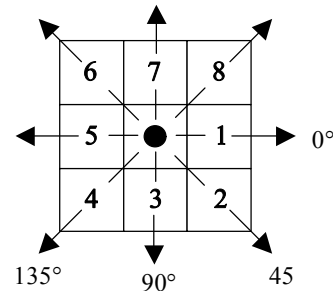


Figura 1 - Disposição espacial dos *pixels*, para o cálculo da matriz de co-ocorrência.

Aplicações típicas de GLCM como definida por Haralick et al. [4], envolve a extração de características escalares secundárias da matriz de co-ocorrência. Haralick et al. definiu 14 funções características que foram estendidas por Conners, Triveldi & Harlow [9] e outros. As funções de características de segunda ordem de GLCM que foram utilizadas neste trabalho são descritas a seguir:

Energia:
$$\sum_{i,j} P(i,j)^2 \quad (2) \qquad \sum_{i,j} |P(i,j) - P(j,i)| \quad (15)$$

Entropia:
$$-\sum_{i,j} P(i,j) \log P(i,j) \quad (3)$$

Homogeneidade:
$$\sum_{i,j} \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i,j) \quad (4)$$

Inércia:
$$\sum_{i,j} (i-j)^2 P(i,j) \quad (5)$$

Correlação:
$$-\sum_{i,j} \frac{(i-\mu_x)(j-\mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} P(i,j) \quad (6)$$

Shade:
$$\sum_{i,j} (i+j-\mu_x-\mu_y)^3 P(i,j) \quad (7)$$

Prominance:
$$\sum_{i,j} (i+j-\mu_x-\mu_y)^4 P(i,j) \quad (8)$$

Variância:
$$\sum_{i,j} (i-\mu_x)^2 P(i,j) \quad (9)$$

Soma da Média:
$$\sum_{i=2}^{2N_g} iP_{x+y}(i) \quad (10)$$

Soma da Entropia:
$$-\sum_{i=2}^{2N_g} P_{x+y}(i) \log P_{x+y}(i) \quad (11)$$

Diferença da Entropia:
$$\sum_{i=0}^{N_g-1} -P_{x-y}(i) \log P_{x-y}(i) \quad (12)$$

Diferença da variância:
$$\sum_{i=0}^{N_g-1} (i-F12)^2 P_{x-y}(i) \quad (13)$$

Medidas de Informação:
$$\frac{F2 - HXY1}{\max(HX, HY)} \quad (14)$$

Simetria Triangular:

onde:

$$F12 = \sum_{i=0}^{N_g-1} iP_{x-y}(i);$$

$$\mu_x = \sum_i i \sum_j P(i,j), \quad \mu_y = \sum_j j \sum_i P(i,j);$$

$$\sigma_x = \sum_i (i-\mu_x)^2 \sum_j P(i,j), \quad \sigma_y = \sum_j (j-\mu_y)^2 \sum_i P(i,j);$$

$$P_x(i) = \sum_j P(i,j), \quad P_y(j) = \sum_i P(i,j);$$

$$P_{x+y}(k) = \sum_{i,j|i+j=k} P(i,j), \quad P_{x-y}(k) = \sum_{i,j|i-j=k} P(i,j);$$

$$P_{x+y}(k) = \sum_{i,j|i+j=k} P(i,j), \quad P_{x-y}(k) = \sum_{i,j|i-j=k} P(i,j);$$

Hx e Hy são entropias de $P_x(i)$ e $P_y(j)$;

$$HXY1 = -\sum_{i,j} P(i,j) \log(P_x(i)P_y(j)).$$

Embora todas as funções de características descritas sejam calculadas, serão escolhidas apenas as mais significativas para a classificação da imagem.

3. Modelo para Classificação

O Reconhecimento de Padrões (RP) é a aplicação de técnicas matemáticas e estatísticas para a identificação e classificação de objetos de diferentes classes. No processo de RP extrai-se uma grande quantidade de características dos objetos que queremos classificar.

A princípio não sabemos quais características dos objetos melhor poderão ser utilizada para uma boa discriminação entre as classes envolvidas. Portanto é comum se extrair uma grande quantidade de características inerentes aos objetos envolvidos durante a fase de treinamento do sistema. Esse conjunto formado pelas características dos objetos é, então, reduzido por dois processos conhecidos como *extração de características (feature*

extraction) e *seleção de características (feature selection)*.

O processo de análise discriminatória da imagem é formado por duas etapas: A primeira consiste em discriminar entre grupos de dados multi-variados originados de fontes conhecidas. Esses grupos de dados são os grupos de controle, conhecidos como *conjunto de treinamento*. A segunda etapa é a classificação dos dados de origem desconhecida entre um dos grupos envolvidos, aplicando uma função de discriminação.

O modelo de sistema proposto para classificação de imagens, utilizando características de textura, é ilustrado na Figura 2.

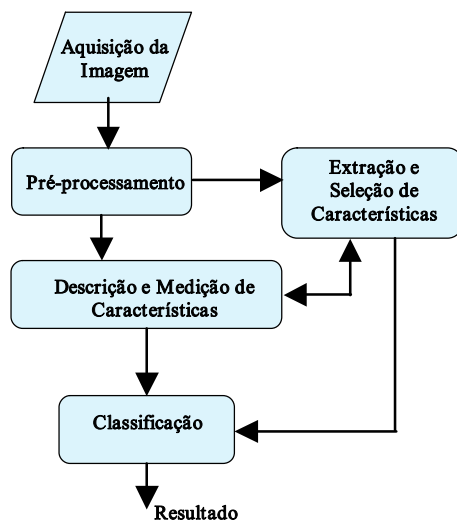


Figura 2 - Componentes fundamentais do sistema de classificação proposto.

3.1 Pré-processamento

O pré-processamento de imagens digitais é uma necessidade em muitos sistemas de análise. Por vezes é referido como restauração de imagem e retificação.

Normalização de imagens é um exemplo de pré-processamento que envolve a utilização de algoritmos para requantização e equalização de histograma, como a técnica de *equal probability* [4]. Operações de requantização permitem a redução de um grande número de intensidade de *pixels* variados de uma imagem para um número pequeno e fixo. As dificuldades computacionais no processamento imposto por esses algoritmos estão diretamente relacionadas ao número de intensidades presentes na imagem original N_g . Em imagens, geralmente são utilizados 8 *bits* ($N_g = 256$) para representar o nível de intensidade de cinza. Pela requantização das imagens com $N_g = 256$ para $N_g = 16$ níveis de cinza podemos reduzir substancialmente os recursos computacionais necessários, sem depreciar o processo de análise das imagens [11].

3.2 Descrição e Medição de Características

Foram utilizadas, nesse trabalho, técnicas de descrição de características para classificação de imagens baseadas em *características multi-espectrais* e *características de textura*.

As características normalmente usadas para distinguir uma cor da outra são *brilho*, *matiz* e *saturação*. O brilho incorpora a noção cromática da intensidade. Matiz é um atributo associado com o comprimento de onda dominante em uma mistura de ondas de luz. A saturação refere-se à pureza relativa ou quantidade de luz branca misturada com um matiz. O matiz e a saturação, quando tomados juntamente, são chamados *cromaticidade* ou informação de *croma*. Portanto, uma cor pode ser caracterizada pelo seu brilho e cromaticidade, [10].

Para informação de cores torna-se necessário o uso de um modelo de cor². O modelo usado foi o HSV, em que as informações de cromaticidade são representadas pelos componentes H (*Hue* – matiz) e S (*Saturation* – saturação) e a informação de intensidade, pela componente V (*Value* – valor). Se fizermos os valores de H e S iguais a zero, então a componente V irá representar uma imagem em tons de cinza (*grayscale*).

Após a divisão do sinal colorido da imagem em componentes de luminância e crominância, pode-se processá-los separadamente. Um certo número de aproximações usando esse princípio tem sido propostas. Dubuisson-Jolly e Gupta [12] utilizaram um método para classificar imagens de sensoriamento remoto, cujos cálculos foram feitos no espaço de cores e textura de forma independente, sendo a avaliação final obtida pelos classificadores de cor e textura.

Os parâmetros de textura e cor são então amostrados, sendo sua obtenção realizada pelo deslocamento de uma janela sobre a imagem, conforme mostra a Figura 3.

A coleta de informações de cores é efetuada tomando-se medidas de dispersão, como média e desvio padrão do conjunto de *pixels* da janela. Semelhante trabalho foi efetuado por Briggs & Nellis [13]. Foram utilizadas as informações de matiz (H) e saturação (S) do sistema de cores HSV, sendo as informações de nível de cinza (V) utilizada para extrair-se características texturais da imagem.



Figura 3 – Aplicação de uma janela de deslocamento na imagem em análise, para obtenção de medidas de características.

O tamanho da janela é de fundamental importância porque janelas de grandes dimensões são necessárias para capturar os vários tipos de textura e diminuir a variabilidade entre classes de textura diferentes. Entretanto, quanto maior a janela, maior será a sobreposição entre duas ou mais regiões, levando a erros de classificação entre essas regiões. O problema da determinação do tamanho da janela foi intensamente pesquisado por Glotfelty [14] e um algoritmo foi sugerido para determinação automática da janela. Neste trabalho o tamanho da janela foi determinado de forma empírica ao longo das experiências realizadas.

3.3 Extração e Seleção de Características

A definição de um conjunto de características pode não ser uma tarefa trivial. A chave é escolher e extrair um conjunto finito de características. Entretanto, é comum que muitas dessas características possuam poucas ou nenhuma informação relevante para a discriminação das classes dos objetos envolvidos. Em muitas aplicações, numerosas características são obtidas a fim de assegurar uma classificação acurada das classes desconhecidas. Algumas vezes, o número de características deve ser reduzido antes de usar um classificador, pois o método de classificação utilizado pode se

² Especificação de um sistema de coordenadas tridimensionais e um subespaço dentro desse sistema onde cada cor é representada por um único ponto.

tornar computacionalmente e/ou analiticamente intratável.

Algumas das técnicas utilizadas para a redução de dimensionalidade podem ser descritas de duas formas diferentes. A primeira é identificar as variáveis que não contribuem para o processo de classificação, devendo então ser desprezadas. O processo se caracteriza por desprezar um número d de características dentro do espaço de dimensão p (o número de características d precisa ser determinado). Esse processo é chamado de seleção de características. Em outras palavras, isso significa selecionar um subconjunto dentro de um grande conjunto de várias outras variáveis.

A segunda aproximação consiste em encontrar uma transformação do espaço de dimensão p para um espaço de menor dimensão. Isso é chamado de extração de características.

Para o processo de extração de características, foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA - Principal Components Analysis), que é uma técnica de redução do número total de variáveis.

Na escolha de um conjunto de características ótimo, torna-se necessário um modo de mensurar a capacidade desse conjunto em discriminar com bastante eficiência as classes de objetos envolvidas.

Na seleção das melhores características de textura, obtidas das matrizes de co-ocorrência, para o processo de escolha, foi construído um classificador baseado em rede neural probabilística para um conjunto reduzido de características e escolhidas aquelas que produzem um melhor resultado em um conjunto separado de teste/validação. Nesta aproximação, o conjunto de características é escolhido de forma a adaptar-se ao classificador.

Uma vez definida a função de discriminação (a rede neural) a ser utilizada para a seleção das melhores características,

dentre todas envolvidas, resta escolher o tipo de algoritmo para essa escolha.

Segundo Kittler [15], o método *plus 1 – take away r* demonstra ótimos resultados e é computacionalmente satisfatório para a maioria das aplicações. Por essa razão esse algoritmo foi escolhido para a seleção de características, sendo a função de discriminação construída a partir de um classificador que utiliza uma rede neural, do mesmo tipo utilizada no módulo classificador principal.

Na Figura 2.8 podem ser visto detalhes do módulo de seleção de características, que utiliza o algoritmo *plus 1 – take away r*.

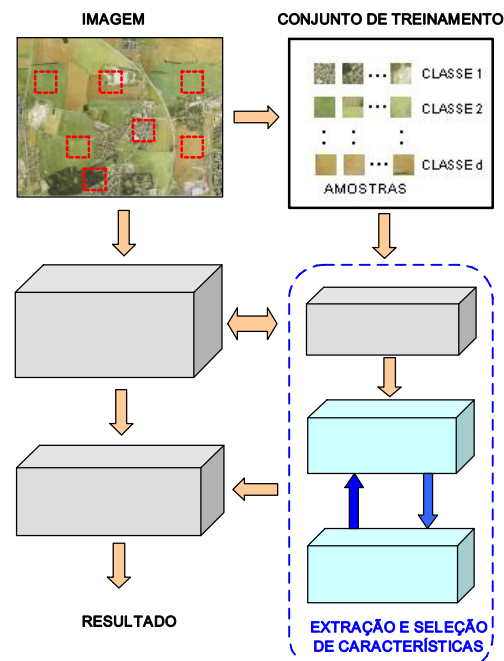


Figura 4 - Módulo de seleção de características que utiliza uma função de discriminação baseada em um classificador neural e um algoritmo de seleção subótimo (*plus 1 take away r*).

4. Classificação

Uma abordagem promissora e amplamente utilizada na classificação supervisionada é a que usa redes neurais. Com sua capacidade intrínseca de aprender, as redes neurais surgiram como uma ferramenta poderosa na área de reconhecimento de padrões.

Para a tarefa de reconhecimento das imagens foi utilizada uma rede neural probabilística, que é uma extensão da rede RBF - *Radial Basis Function*, Comon e Cheneval [17]. Essa rede possui apenas três camadas: camada de entrada, camada escondida e camada de saída, conforme ilustra a Figura 5. A diferença entre a PNN e a RBF está na segunda camada. A segunda camada da PNN é um camada competitiva, isto é, os neurônios desta segunda camada competem para indicar o neurônio com a maior probabilidade de ocorrência.

A vantagem desse tipo de rede é ter um tempo de treinamento bastante reduzido, além de prescindir da determinação do número de neurônios na camada escondida.

O número de neurônios na camada escondida é definido de acordo com o número de vetores utilizados para o treinamento. Na camada de saída, a quantidade de neurônios é a mesma das classes a serem reconhecidas

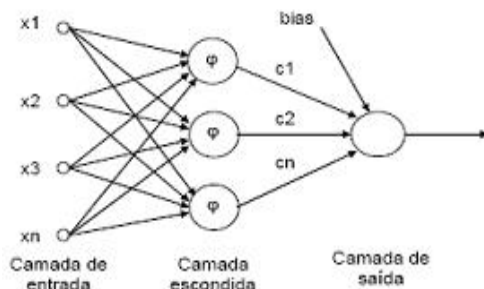


Figura 5 – Diagrama esquemático de uma rede PNN.

Quando uma entrada é apresentada, a primeira camada computa a distância do vetor de entrada aos vetores de treinamento, produzindo um vetor cujos elementos indicam a distância do vetor de entrada para os vetores de treinamento (classes).

A segunda camada soma a contribuição da entrada para cada classe, produzindo em sua saída um vetor de probabilidades.

Finalmente, uma função de transferência competitiva encontra a classe com maior probabilidade de representar o vetor de entrada. Um classificador PNN tem o comportamento de um classificador de Bayes e sua relativa facilidade de implementação e treinamento a tornam ideal para um sistema automatizado de classificação.

O nível de ativação da *i*-ésima unidade é dado por:

$$\omega_i = R_i(x) = R_i\left(\frac{\sum_j x_j u_{ij} P_j}{\sigma_i}\right), \quad i=1,2,\dots,H \quad (16)$$

O nível de ativação da função de base radial $R_i(x)$, é computado pela *i*-ésima unidade da camada escondida e é máximo quando o vetor de entrada x está no centro da unidade u_i .

Para propósitos de classificação, cada neurônio da camada de saída está associado a uma classe.

A saída da rede é o neurônio correspondente à classe vencedora, possuindo então saída igual a 1, e todos os demais terão saída igual a 0.

O funcionamento do classificador é feito em duas etapas: treinamento da rede e classificação.

No treinamento, tomam-se áreas conhecidas da imagem sob análise e extraem-se medidas de textura, utilizando-se as técnicas descritas na Seção 2, e medidas de cor, de acordo com a Seção 3.2. As medidas extraídas são primeiramente selecionadas, por processos de

extração/seleção de características, formando então um conjunto reduzido, usado para o treino da rede.

Na etapa de classificação, a imagem é varrida por uma janela móvel, conforme descrito na Seção 3.2 e características de cor e textura (as mesmas selecionadas para o treino da rede) são, então, extraídas e utilizadas para a classificação.

5. Resultados Experimentais

Para testar a metodologia proposta, foram feitos experimentos com imagens reais e sintéticas, as quais podem ser vistas nas Figuras 6 e 7.

A imagem sintética de teste 1, Figura 6, de tamanho 300 x 300 *pixels*, foi construída, contendo nove texturas diferentes, baseadas na biblioteca Vistex [16] (fabric0000, fabric0009, fabric0014, food0000, food0005, leaves0003, metal0000, metal 0004, tile0009).

A imagem real de teste 2, de tamanho 490 x 309 *pixels*, representa uma parte da cidade do Rio de Janeiro.



Figura 6 – Imagem sintética de teste 1, tamanho 300 x 300 *pixels* - Construída com a biblioteca Vistex.



Figura 7 – Imagem real de teste 2, representando uma parte da cidade do Rio de Janeiro, tamanho 490 x 309 *pixels*.

Fonte: Image 3D Computer Globe

As imagens foram convertidas para o espaço de cores HSV, tendo a sua componente de luminância (nível de cinza) transformada por um processo de requantização, definido na Seção 3, passando então a ter 16 níveis de cinza ($N_g=16$).

As características de textura, conforme definidas na Seção 2, foram extraídas por meio de matrizes de co-ocorrência, com dependência espacial em 0°, 45°, 90° e 135° e para uma distância entre *pixels* $d = 1$. Características de textura calculadas para distâncias maiores ($d = 3, 4, 5$) não produziram uma melhor classificação. A janela utilizada, Seção 3.2, para obtenção das características tem tamanho de 10 x 10 *pixels*, determinado empiricamente. Foi avaliado que o tamanho da janela é bastante dependente da textura em questão. Janelas de tamanho pequeno não capturam o padrão particular da maioria das classes, enquanto janelas maiores podem incluir *pixels* de outras classes, depreciando a classificação.

Sendo definidas 13 funções de características (Seção 2), de agora em diante denominadas $\{f_1, f_2, \dots, f_{13}\}$, para os 4 ângulos espaciais, teremos então 56 medidas de características para cada janela amostrada.

Para cada função f_x ($x = 1, 2, \dots, 13$) é aplicada uma transformação para redução da dimensão dos dados, a saber, PCA. A redução do conjunto de dados se justifica pela quantidade de valores redundantes presentes em alguns dos 4 ângulos espaciais calculados para cada função. Como exemplo, pode ser visto na figura 8, a função de densidade de probabilidade (pdf) da equação (4) – Homogeneidade aplicada a imagem de teste 1. Claramente pode ser observado que os dados para os ângulos de 45°, 90° e 135° apresentam pdfs bastante semelhantes, possuindo assim redundância de informação, que pode ser eliminada pela aplicação de PCA em todos os ângulos espaciais, produzindo assim duas componentes (nesse caso específico – PCA1 e PCA2) fracamente não relacionadas, Figura 9.

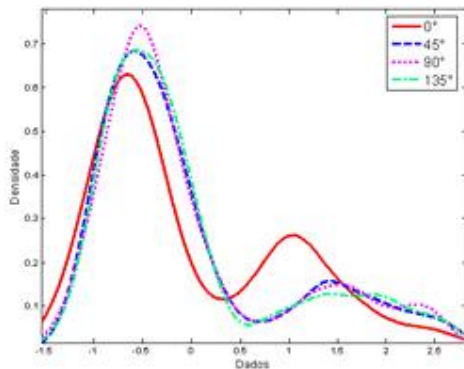


Figura 8 – Pdf da função Homogeneidade – equação (4), mostrando os 4 ângulos espaciais (0°, 45°, 90°, 135°), aplicada a imagem de teste 1.

Após a aplicação de PCA a todas as funções (f_1, f_2, \dots, f_{13}), procede-se à escolha daquelas que fornecem uma melhor discriminação, utilizando-se para isso a técnica mostrada na Seção 3.3. Um classificador, utilizando uma rede PNN com um conjunto reduzido de dados (conjunto de treino) obtido da etapa anterior, é construído e, utilizando-se o algoritmo de seleção plus 1

take away r, procede-se a escolha das melhores funções, isto é, as que possuem maior discriminação para a imagem a ser classificada.

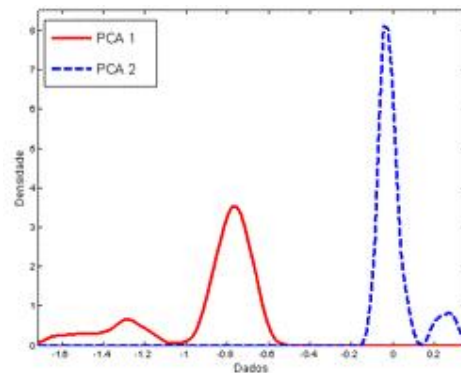


Figura 9 – Aplicação de PCA a pdf da função Homogeneidade – equação (4) obtida da imagem de teste 1.

A tabela I mostra as funções selecionadas para a imagem de teste 1, pela etapa de seleção.

Uma vez selecionadas as funções a serem utilizadas (tabela I – para a imagem de teste 1) é feito o treinamento do classificador, Seção 4, com a utilização de um conjunto de teste e outro de validação, juntamente com as informações de cor extraídas da imagem.

Para as informações de cor, foram utilizadas medidas de média e variância das informações H e S (ver Seção 3.2) das janelas amostradas.

Os resultados da classificação podem ser vistos nas Figuras 10 e 11. A imagem de teste 1 teve uma classificação baseada em nove classes (texturas da biblioteca Vistex) e a imagem de teste 2 em três classes (água, vegetação e áreas urbanas).

A avaliação da performance do classificador, coeficiente *kappa*, para as duas imagens, foi de 0.9 (imagem de teste 1) e 0.85 (imagem de teste 2).

Tabela I – Funções selecionadas para a imagem de teste 1, pela etapa de seleção.

Funções	Parâmetros de PCA
Correlação (6)	3
Homogeneidade (4)	2
Shade (7)	1
Prominance (8)	1
Variância (9)	1
Simetria Triangular (15)	2
Soma da Média (10)	1
Dif. da Variância (13)	2
Dif da Entropia (12)	2
Total	15

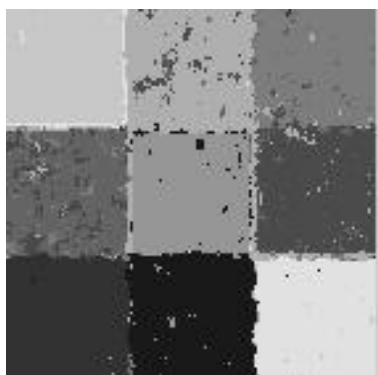


Figura 10 – Resultado da classificação da imagem de teste 1, $kappa = 0.9$.

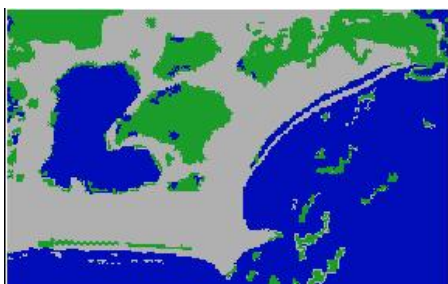


Figura 11 – Resultado da classificação da imagem de teste 2, $kappa = 0.87$.

6. Conclusão

De acordo com o resultado experimental desse trabalho, o método descrito permite aplicação a outras variedades de imagens.

A determinação da configuração ótima para a análise das imagens, baseadas em textura colorida, é muito importante, pois a eficácia do método depende dessa configuração.

A determinação dos parâmetros ótimos, originados das matrizes de co-ocorrência, para a correta classificação de imagens baseadas nessa técnica, exige um controle cuidadoso de forma a não sobrecarregar o classificador com parâmetros redundantes e de pouca discriminação de classes. O presente trabalho demonstrou uma alternativa para a redução da dimensão, dos dados originados das características, das imagens em análise.

O modelo de classificador, baseado em rede neural, foi capaz de tomar uma decisão satisfatória para as diferentes classe das imagens em análise. Apesar de alguma inconsistência, os objetivos da pesquisa foram alcançados.

Referências

- [1] Haralick, R. M. & Shapiro L. G. "Texture. In: Computer and robot vision". v. 1. New York, USA: Addison-Wesley Publishing Company. p. 453-494.
- [2] Visa, A. "Texture classification and segmentation based on neural network methods". Espoo, Finland. Helsinki University of Tecnology. 1990.
- [3] Crósta, A. P. "Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto". Campina. IG/UNICAMP. 1992.
- [4] Robert M. Haralick, K. Shunmugam, and I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification", *IEEE*

- Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-3, no. 6, Nov 1973.
- [5] Schowengerdt, R. A. “Techniques for image processing and classification in remote sensing.” Orlando, Florida : Academic Pres. 1983.
- [6] Schwartz, W. R. , “Método para classificação de imagens baseada em matrizes de co-ocorrência utilizando características de textura”. *III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba-PR, Brasil, pp. 1-11,2003.*
- [7] Barber, D. G. & LeDrew E. F. “Sar sea ice using texture statistics: a multivariate approach”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. V. 57, n. 4, p. 385-395, abr. 1991.
- [8] Gool, L. V., Dewaele, P., Oosterlinck, A. , “Texture analysis anno 1983”. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 51, 70-86. 1990.
- [9] Connors, R. W., Trivedi, M. M. and C. A Harlow. “Segmentation of a High-Resolution Urban Scene using Texture Operators”. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 25:273-310, 1984.
- [10] Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. “Processamento Digital de Imagens”. *Edgard Blücher, 2000.*
- [11] Walker, F. R. “Adaptive Multi-Scale Texture Analysis With Application to Automated Cytology”. *Doctor Thesis, The University of Queensland. 1997.*
- [12] Dubuisson, M. P.& Gupta, J. A. “Color and texture fusion: application to aerial image segmentation and GIS updating”. *Image Vision Comput.* 18 (2000) 823–832.
- [13] Briggs, J.M., and M.D. Nellis, 1991: “Seasonal Variation of Heterogeneity in the Tallgrass Prairie:A Quantitative Measure Using Remote Sensing”. *Photogrammetric Engineering and RemoteSensing.* 57 (4): 407-411.
- [14] Glotfelty, J. E. “Automatic Selection of Optimal Window Size and Shape for Texture Analysis”. *Master of Arts in Geography, West Virginia University, 1999.*
- [15] Kittler, J. 1978 “Feature set search algorithms in Pattern Recognition and Signal Processing”. *Sijthof and Noordhoff, The Netherlands.*
- [16] MITMediaLab,Vision texture VisTex database, <http://vismod.media.mit.edu/vismod/imager/VisionTexture>.
- [17] Comon, P. e Cheneval, Y., 1995, ”Bayesian Supervised Classification: An Approach with Variable Kernel Estimators”, *In: Workshop on Artificial Neural Network, Malaga.*