intellectus

REVISTA ACADÊMICA DIGITAL DO GRUPO POLIS EDUCACIONAL



ISSN 1679-8902 **Ano V | Nº 6 | Jul-Set 2009**

ISSN 1679-8902

INTELLECTUS. Revista do Grupo Polis Educacional.

Jaguariúna – SP: Grupo Polis Educacional.

Eletrônica

Trimestral

Inclui bibliografia

EDITORIAL

A Revista Intellectus, neste seu quinto ano de existência, consolida-se como instrumento de divulgação do conhecimento científico produzido pelos docentes do Grupo Polis Educacional, bem como por outros colaboradores interessados em prover nossa comunidade com temas abrangentes e diversificados.

A partir deste número, cada edição contemplará uma de quatro áreas temáticas: Ciências Exatas e Tecnológicas, Ciências Sociais Aplicadas, Educação ou Saúde. Esta nova série é iniciada com edição de Ciências Exatas e Tecnológicas.

O primeiro artigo, de Luciana Carla Ferreira de Souza, trata do **Controle de Perda de Água através da Troca de Rede de Cimento Amianto por Rede de Polietileno de Alta Densidade no Município de Jaguariúna**. O segundo artigo, de Ana Maria Heuminski de Ávila e Renata Ribeiro do Valle Gonçalves, aborda a **Variabilidade Climática**. Na sequência, Márcio da Silva Moura e Renato Pavanello discutem a **Utilização de Recursos da Modelagem Matemática em Engenharia Aplicada do Estudo Estrutura de Ossos**.

No quarto artigo, André Strieder, Cristina M. Schuch e Alessandro R. Frias abordam **Ferramentas para Otimização no Controle de Processos Industriais**. O artigo seguinte, de Ricardo Ferreira Arantes e Rodrigo Gontijo Alvarenga, realiza **Uma Contribuição à Unificação da Teoria Quântica com a Teoria da Relatividade Especial**. O sexto artigo, de Rodrigo Ortiz de Campos e Carlos Alessandro Bassi Viviani apresenta o **Zabbix: Gerenciamento Eficiente de Redes Locais**.

O sétimo artigo, de Daniel Adorno Gomes e Peter Jandl Jr. aborda a tecnologia **Web Services SOAP e REST**. Em seguida, Sylma C. Maestrelli, Elíria M. J. A. Pallonne, Fábio R. Passador, Mariana S. Nascimento e R. Tomasi discutem a **Sinterização de Cerâmicas de Alta Alumina com Inclusões de ZrO_2**. Finalmente, no último artigo, Patrícia Mattiazzo Pântano, Derval dos Santos Rosa e Rubens Pântano Filho tratam da **Alteração das Propriedades Mecânicas do PCL com a Adição de um Agente Expansor**.

Intellectus é uma publicação periódica do Grupo Polis Educacional e está aberta à colaboração de pesquisadores de outras instituições, mediante a apreciação dos trabalhos pelo Conselho Editorial.

As posições expressas em trabalhos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores e seus textos não poderão ser reproduzidos sem a permissão dos mesmos.

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adauto Marconsin
Prof. Dr. André Mendeleck
Prof. Ms. Carlos Antonio de Lima Penhalber
Prof. Ms. Cristiano José Mendes Pinto
Prof. Dr. Derval dos Santos Rosa
Profª Drª Jane Shirley Escodro Ferreti
Prof. Ms. José Carlos Pacheco Coimbra
Prof. Ms. José Tannus Júnior
Prof. Dr. Luiz José Maria Irias
Profª. Ms. Márcia Lima Bortoletto
Prof. Ms. Márcio Henrique Zuchini
Profª Ms. Maria Ângela Lourençoni
Profª Ms. Nathália Simão
Prof. Ms. Peter Jandl Junior
Prof. Ms. Rubens Pântano Filho
Profª Drª Silma Carvalho Maestrelli
Profª Drª Telma Dagmar Oberg
Prof. Dr. Thales Coelho Borges Lima
Profª. Drª Vanessa Cristina C. Jucevisius
Profª. Drª Verena Hildegard Gyarfas Wolf

Coordenação de Edição

Prof. Ms. Rubens Pântano Filho

Correspondência

Núcleo de Publicação
Campus II – Rod. Adhemar de Barros – Km 127 – Pista Sul
Tanquinho Velho – Jaguariúna – SP – 13820-000
(19) 3837-8500
http://www.seufuturonapratica.com.br/intellectus

ÍNDICE

CONTROLE DE PERDA DE ÁGUA ATRAVÉS DA TROCA DE REDE DE CIMENTO AMIANTO POR REDE DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE NO MUNICÍPIO DE JAGUARIÚNA 7

VARIABILIDADE CLIMÁTICA 23

UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA EM ENGENHARIA, APLICADA AO ESTUDO ESTRUTURAL DE OSSOS 35

FERRAMENTAS PARA OTIMIZAÇÃO NO CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS.....43

UMA CONTRIBUIÇÃO À UNIFICAÇÃO DA TEORIA QUÂNTICA COM A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL 55

ZABBIX: GERENCIAMENTO EFICIENTE DE REDES LOCAIS 76

WEB SERVICES SOAP E REST 88

SINTERIZAÇÃO DE CERÂMICAS DE ALTA ALUMINA COM INCLUSÕES DE $ZrO_2$115

ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLI(ε-CAPROLACTONA) (PCL) COM A ADIÇÃO DE UM AGENTE EXPANSOR.....125

CONTROLE DE PERDA DE ÁGUA ATRAVÉS DA TROCA DE REDE DE CIMENTO AMIANTO POR REDE DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE NO MUNICÍPIO DE JAGUARIÚNA

Control of loss of water through the exchange of cement net asbestos for net of polyethylene of high density in the Jaguariúna city

Luciana Carla FERREIRA DE SOUZA
Faculdade de Jaguariúna

Resumo: A Prefeitura de Jaguariúna, através da Secretaria de Saneamento Básico, vem trocando a rede de cimento amianto por rede de polietileno de alta densidade (PEAD) desde 2002, devido à grande perda de água constatada no ano de 2001. Através do método não destrutivo, o município já trocou aproximadamente 50 km de rede antiga de cimento amianto e, conseqüentemente, reduziu a sua perda de água em aproximadamente 40%, evitando a necessidade de expansão da produção de água e os altos investimentos inerentes à execução de novas captações, estações de tratamento e adutoras para transporte da água captada, no período de aproximadamente 8 anos com o crescimento do município de 2,3%. Uma das medidas de maior impacto da redução geral do volume de água perdida é o controle ativo de vazamentos nas redes de distribuição, medidas essas que foram adotadas por Jaguariúna há aproximadamente 5 anos e que obtivemos como resultado uma redução de perda de aproximadamente 38%.
Palavras chave: recursos hídricos; redução de perda; vazamento.

Abstract: The City hall of Jaguariúna, through the Secretariat of Basic Sanitation comes changing to the cement net asbestos for polyethylene net of high density (PEAD) since 2002, due to great loss of water evidenced in the year of 2001. Through the not destructive method, the city already approximately changed to 50 km of old cement net asbestos and before it reduced its loss of water in approximately 40%, preventing the necessity of expansion of the production of water and the high inherent investments to the execution of new capitations, stations of treatment and expositories for transport of the caught water, in the period of approximately 8 years with the growth of the 2,3% city. One of the measures of bigger impact of the general reduction of the volume of lost water, is the active control of emptyings in the distribution nets, measures these that had been adopted by Jaguariúna approximately the 5 years and that we got as resulted a reduction of loss of approximately 38%.
Keywords: hydric resources; loss reduction; emptying.

INTRODUÇÃO

Especialistas prevêem que a água será o bem mais escasso neste século, tornando o suprimento da demanda por água o principal desafio para a humanidade nas próximas décadas.

Dado o caráter de escassez e limitação dos recursos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, parece conveniente refletir sobre diversas estratégias para redução da demanda global de água. Além da redução das perdas, responsabilidade dos gestores dos sistemas de abastecimento, é fundamental agir sobre a demanda, empreendendo ações que busquem economia no volume de água que por mau uso, descontrole ou mau aproveitamento em geral é desperdiçado e desnecessário nas necessidades de conforto da sociedade, uma responsabilidade de todos.

Entre as diversas políticas de racionalização da utilização dos recursos hídricos destacam-se os programas de busca da redução das perdas, evitando os altos custos de investimentos inerentes à construção de novos sistemas de captação e tratamento inevitavelmente localizados distantes dos centros de consumo.

A perda de água é o volume de água que, depois de captado do manancial e introduzido no sistema de abastecimento não é entregue aos consumidores. Entretanto, é importante compreender desde logo que as perdas de água englobam as perdas reais (físicas) e as perdas aparentes (não-físicas), afetando tanto o desempenho técnico quanto desempenho financeiro das entidades gestoras. As primeiras resultam de fuga de água no sistema e são relevantes para a avaliação do estado geral da infra-estrutura do sistema e as segundas decorrem principalmente de erros de medição, macro e micro-medição, de fraudes e ligações clandestinas que representam as perdas comerciais.

A redução destes índices de perda deve ser o principal desafio das companhias de saneamento, uma vez que sistemas de abastecimento que não operam com um bom nível de desempenho implicam, além da captação de um volume hídrico acima do previsto inicialmente, o conseqüente aumento no consumo de energia elétrica pelos

componentes de bombeamento e ainda custos adicionais em insumos e mão de obra para operação do sistema. A redução da perda de água nestes sistemas conduz a um maior equilíbrio financeiro para companhia de saneamento, além de adiar ou mesmo evitar a necessidade de expansão da produção de água e os altos investimentos inerentes à execução de novas captações, estações de tratamento e adutoras para transporte da água, localizadas na maioria das vezes, distantes dos centros de consumo.

A condição da infra-estrutura das redes de distribuição de água, suas características e necessidades operacionais são os principais fatores que influenciam no volume de perdas reais de água em um sistema de abastecimento. A maioria das redes é, na prática, uma mistura de tubos de diferentes tipos de materiais, assentados ao longo de várias décadas e que, geralmente, apresentam sinais de deterioração em maior ou menor escala conforme a idade de assentamento, material do tubo, técnicas de instalação empregadas e características do solo nas proximidades. A sinergia destas características potencializa o surgimento destas fugas.

Com relação a todos os problemas da perda de água, ocasionando a falta de água na cidade no ano de 2000 e chegando a tratar 225 l/s com uma população de 29.597 de habitantes, e ainda com problemas de abastecimento de água, a Prefeitura de Jaguariúna decide atuar de maneira rápida no projeto de “redução de perda” e essa decisão foi a troca da rede de cimento amianto, as quais obtinham grande número de manutenções diariamente.

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo analisar os procedimentos e os resultados obtidos no sistema de distribuição água da cidade de Jaguariúna, quando se procedeu a troca do cimento amianto da rede por polietileno de alta densidade, visando a redução do alto índice de perda de água no município.

MATERIAIS E MÉTODOS

Método

A troca de rede de distribuição de água por método não destrutivo (Pipe-Cracking) consiste na substituição de uma rede antiga que apresenta problemas estruturais, geralmente devido à fadiga do material, ou quando os problemas são de ordem hidráulica como a presença de oxidação nas paredes internas dos tubos. A oxidação interna também é fator determinante para o comprometimento da qualidade da água devido à presença de óxido de ferro.

A técnica empregada na troca da rede por método não destrutivo escolhida foi o rompimento dinâmico, denominado *Hydraburst*, que consiste na fragmentação do tubo existente por pressão hidráulica com introdução simultânea e no mesmo caminhamento antigo de um novo tubo de polietileno de alta densidade (PEAD) de diâmetro igual ou superior ao que existia anteriormente.

Neste método o novo tubo fica assentado no mesmo local da rede antiga minimizando a possibilidade de danificar instalações de outras concessionárias como gás, esgoto, águas pluviais etc.

O processo de troca consiste na abertura de duas valas principais distantes aproximadamente 100 metros. Uma das valas é preparada para receber o equipamento hidráulico de rompimento e a outra é preparada para a introdução do tubo. Inicialmente o equipamento introduz no tubo existente, uma a uma, hastes de aço de 38 mm de espessura e 1,0 metro de comprimento, formando uma barra rígida até que a vala oposta seja atingida.

Quando a barra atinge a vala oposta um conjunto de ferramentas é conectado à ponta da mesma. Este conjunto é composto de uma faca que irá quebrar o tubo existente, um alargador que tornará o orifício aberto no solo mais largo empurrando radialmente para dentro do solo circunvizinho os fragmentos do tubo existente que foi quebrado. Após o conjunto de ferramentas é conectado o tubo que será introduzido no orifício aberto.

Toda a operação de troca do tubo é realizada simultaneamente, enquanto as barras são retiradas uma a uma, fazendo o movimento inverso ao da introdução das mesmas, as ferramentas de rompimento e alargamento vêm quebrando o tubo antigo e o novo tubo de polietileno vem sendo introduzido no orifício aberto.

O sistema promove a troca da tubulação de forma rápida e segura devido à grande força empreendida por seu dispositivo hidráulico, nas condições mais adversas encontradas, destruindo ou arrastando acessórios existentes no trecho, inclusive juntas mecânicas fabricadas em aço ou ferro fundido.

Material

Os tubos de polietileno utilizados na troca de rede são fornecidos até o diâmetro de 125 milímetros em bobinas de 100 metros de comprimento e até 250 milímetros em barras de 12 metros. Desta forma o trecho pode ser trocado em uma só operação, com a vantagem de não haver, ao longo do mesmo, juntas mecânicas com anéis de borracha como nos demais materiais (PVC, ferro fundido etc.).

Para interligação dos trechos e conexão das pontas dos tubos são empregadas conexões de eletrofusão. Estas conexões são fabricadas em polietileno e possuem internamente filamentos de cobre que receberão uma descarga elétrica proveniente de uma máquina de solda que aquecerá a própria peça e o tubo a uma temperatura adequada para que haja a fusão entre a conexão e o tubo.

Sistema de abastecimento durante a troca

Para que não haja descontinuidade do abastecimento das residências durante a execução dos trabalhos uma rede provisória de polietileno de 32 mm é instalada em uma pequena região (algumas quadras) para que a rede principal possa ter o fluxo de água interrompido para execução dos serviços. Esta rede provisória (by-pass) é instalada externamente e conectada a montante do hidrômetro não interferindo na sua medição. Durante o período de execução da obra a rede provisória fica conectada às residências que voltam a ser religadas à rede principal ao término dos serviços e desinfecção da rede.

Durante a passagem das ferramentas de troca da rede, juntamente com a quebra do tubo, as derivações para os ramais domiciliares são destruídos, portanto as ligações domiciliares são refeitas também por método não destrutivo. A técnica empregada neste caso é a utilização de perfuratrizes pneumáticas conhecidas como *hammerhead mole*. Estas perfuratrizes são movidas a ar comprimido e abrem pequenos orifícios no subsolo entre ao ponto da tomada da rede e um ponto na calçada próximo do cavalete de entrada. Neste orifício é instalado o ramal predial de polietileno de 20 mm. Para a conexão do novo ramal à nova rede são aberturas pequenas valas.

Ao término do serviço a rede instalada estará totalmente renovada, com tubos com coeficiente C de Hazen-Williams igual a 140 (material plástico) permitindo melhor escoamento da água, com vantagem adicional de ser um material com mínimas possibilidades de apresentar vazamentos.

Método não destrutivo

A abertura das valas é realizada com o auxílio de retroescavadeiras após o corte do asfalto com equipamento apropriado. O entulho e terra provenientes da abertura das valas são acondicionados em caçambas e enviados a um bota-fora. Ao término da jornada de trabalho as valas são recobertas com chapas metálicas apropriadas à passagem de veículos liberando toda a área da rua para o tráfego, minimizando ao máximo o impacto da obra junto ao comércio, indústrias e moradores.

O emprego dos métodos não destrutivos demonstra a crescente preocupação da prefeitura do município de Jaguariúna com a busca do melhor atendimento ao usuário do departamento de água e ao munícipe de forma geral. A vantagem principal do método não destrutivo é o mínimo transtorno causado pela obra se comparado ao método convencional de abertura de trincheiras nas ruas ou calçadas.

Principais motivos para a escolha do método não destrutivo para a realização da troca de rede no município foram:

- Mínima quantidade de valas abertas: são abertas valas somente para entrada dos equipamentos;
- Serviço subterrâneo: somente no local das valas é preciso isolar a área de trabalho;
- Emprego de materiais de melhor qualidade: os materiais – principalmente os tubos – precisam de maior controle de qualidade, pois na maioria das vezes são arrastados ou empurrados pelas máquinas, ou seja devem resistir aos esforços de instalação, além dos esforços normais de pressão a que serão submetidos na sua operação;
- Emprego de mão de obra qualificada: para realização das obras é necessária a utilização de mão-de-obra especializada, gerando um maior número de cursos e treinamento, promovendo maior qualificação dos operários. Esta maior qualificação acaba resultando em uma obra de melhor qualidade;
- Mínima interferência com os moradores: pelo fato de não haver abertura de valas contínuas (trincheiras) as entradas das garagens, portas de estabelecimentos etc. não são interditadas;
- Não há interrupção no abastecimento: são construídas ligações provisórias aéreas – retiradas quando as redes estão prontas;
- Mínima interferência com o trânsito: há isolamento somente da área das valas, não havendo necessidade de interdição da via ou mesmo de uma faixa contínua da via;
- Mínimo transtorno de sujeira e pó: a terra retirada das valas é encaminhada a bota-fora e não permanecem ao lado da vala aberta como na abertura de trincheiras;
- Menor probabilidade de afundamento do pavimento: a recomposição de valas pequenas, usadas nos métodos não destrutivos, proporciona uma melhor compactação do solo reposto, ao contrário das valas contínuas. Nas valas contínuas – trincheiras – é mais comum observar o recalque (afundamento) do pavimento.
- Uso do polietileno – PEAD: principalmente no caso de redes de água de diâmetros pequenos (2 polegadas até 5 polegadas) o uso do polietileno – PEAD – possibilita a execução de redes de água sem juntas pois os tubos

são fornecidos em bobinas de 100 metros. A junta é o grande vilão do vazamento de água. As conexões são executadas com máquinas térmicas, garantindo a perfeita estanqueidade do material. Este tubo também impede a instalação dos chamados “gatos” ou roubos de água, pois as conexões precisam de materiais e ferramentas especiais para serem executadas.

RESULTADOS

ETA – regime de operação

A Estação de Tratamento de Água volta a operar com os equipamentos de moto-bombas de 125 L/s e de 100 L/s

Vazão captada: 175 L/s; 125 L/s e 100L/s

TABELA 1- Regime de operação x troca de rede de água

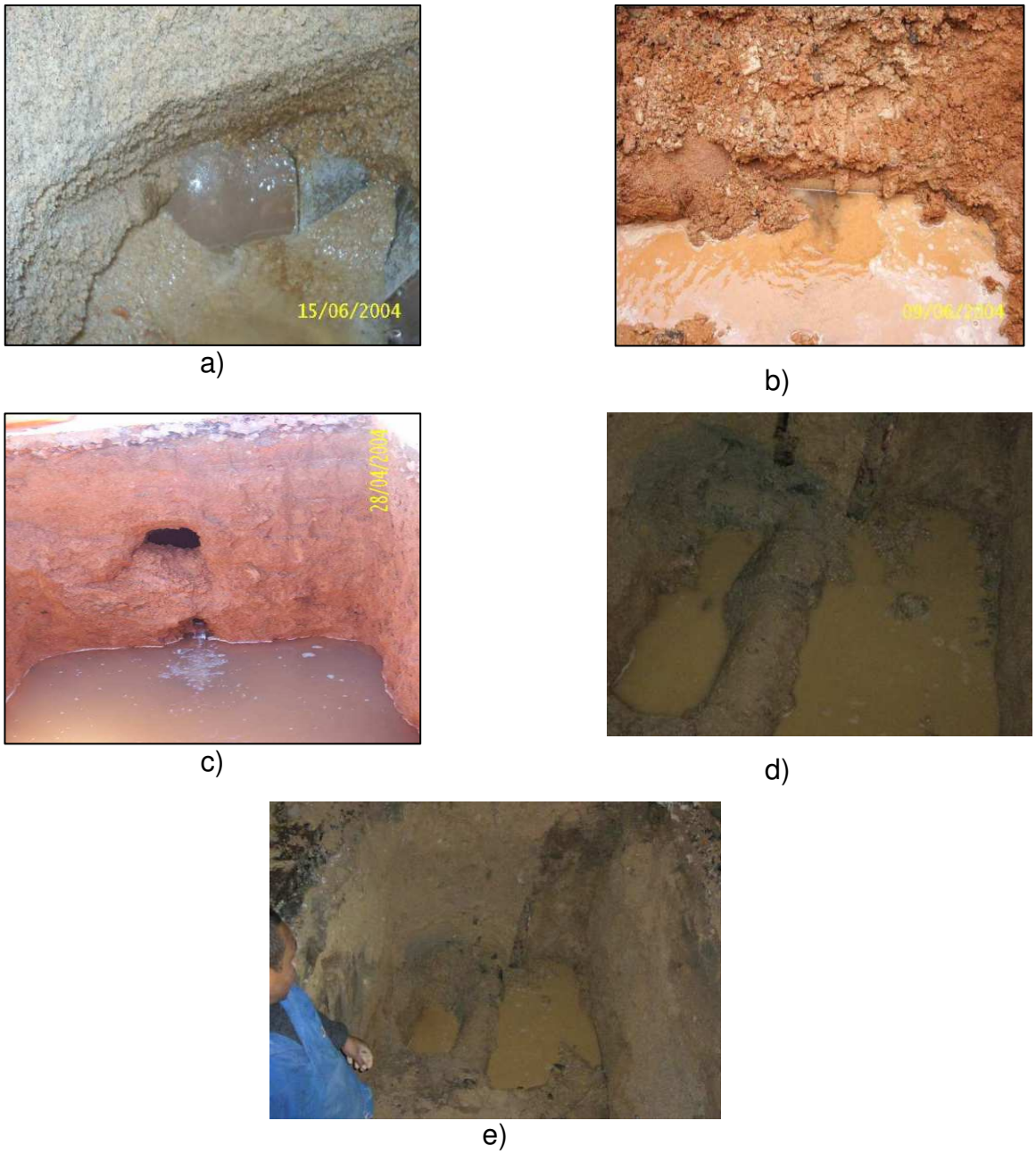
ANO	POPULAÇÃO (IBGE)	Nº DE LIGAÇÕES DE ÁGUA	VAZÃO MÉDIA DIÁRIA (L/s)	TROCA DE REDE (mL)
2000	29.597	9.382	193	-
2001	30.293	9.883	187	-
2002	31.072	10.471	179	300
2003	31.757	10.960	181	1.250
2004	33.194	11.242	169	11.250
2005	33.989	11.775	166	9.425
2006	34.779	12.333	167	15.532,50
2007	36.804	12.855	153	14.781,00
2008	40.066	13.178	150,7	14.673,02
TOTAL	40.066	13.178	150,7	59.875,01

Identificação de vazamentos que não chegavam a aflorar

Em algumas valas que foram escavadas para inserir os tubos de PEAD, foram encontrados vazamentos que não chegavam a aflorar. A Figura 1 a), b), c), d) e e) ilustra esses casos.

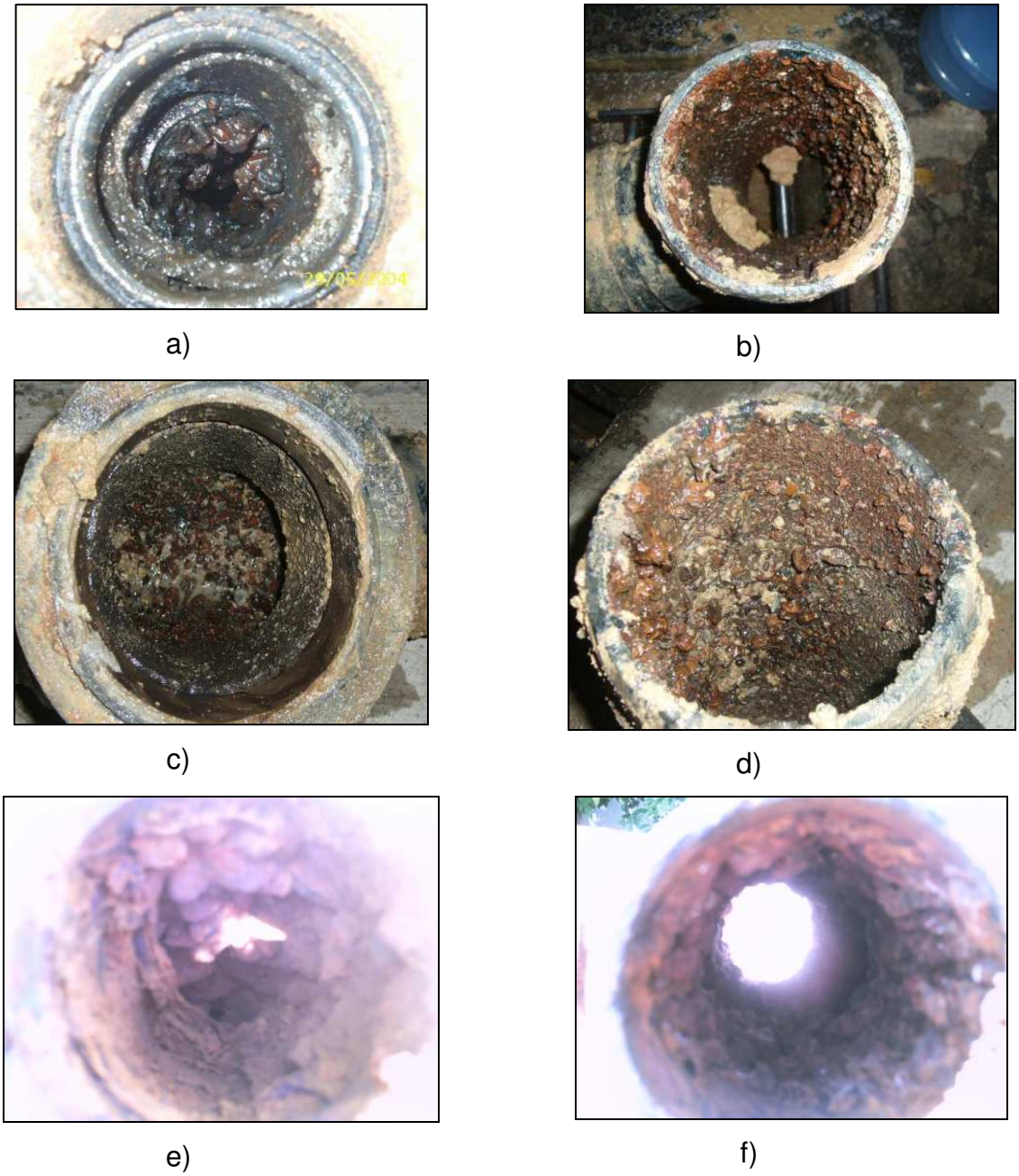
Eliminação das incrustações e “água suja”

Com a troca de rede, ocorre a eliminação das incrustações e conseqüentemente as reclamações de “água suja” devido às incrustações nessas redes. As reclamações passam a diminuir, chegando hoje à zero. A Figura 2 a), b), c), d), e) e f) ilustra as incrustações na rede.



a) b) c) d) e)

Figura 1. Vazamentos.



a) b) c) d) e) f)

Figura 2. Ilustração das incrustações na rede.

Economia de produtos químicos na estação de tratamento de água

A Estação de Tratamento de Água passa a utilizar menos produtos químicos devido à redução da perda de água:

O produto de Hipoclorito de Sódio, utilizado na desinfecção da água, foi reduzido a 12% na sua utilização.

O produto de Cal Hidratada, utilizado para a correção de pH, foi reduzido a 27% na sua utilização.

O produto de Cloreto Férrico, utilizado para a coagulação da água bruta, foi reduzido a 17% na sua utilização.

O produto de Carvão Ativado, utilizado para a eliminação do gosto e odor da água, foi reduzido a 33% na sua utilização.

Redução da utilização de equipamentos moto-bombas

Houve minimização na utilização de equipamentos moto-bombas com a troca de rede de água, no abastecimento de água potável. Os equipamentos responsáveis pelo abastecimento dos bairros Florianópolis, Capela Santo Antônio e Pinheiros, que antigamente ficavam ligados 24 horas, hoje ficam ligados no máximo 12 horas, no período da noite estes equipamentos ficam agora desligados. O equipamento de moto-bomba (maior) de 100 m^3/h que ficava ligada em média 5 horas por dia para este bairro, hoje fica ligada apenas 1 hora por dia.

Número de vazamentos anuais

A Figura 3 ilustra a redução do número de vazamentos anuais.



Figura 3. Número de vazamentos anuais.

Resultado da perda média desde o começo das ações, em 2001, até 2008

A Figura 4 ilustra a redução da perda média de água, de 2001 até 2008.

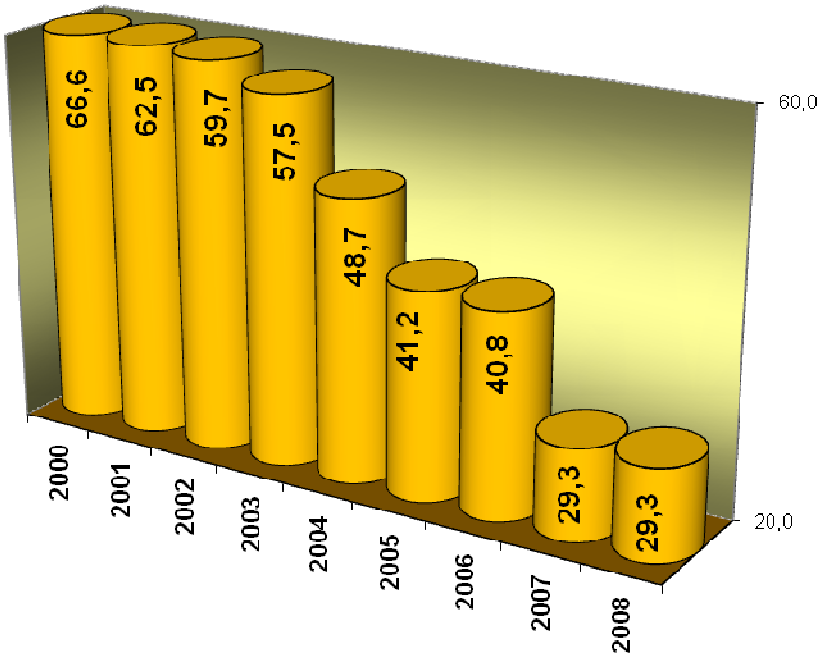


Figura 4. Ilustração da perda média de água, de 2001 a 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a troca de rede de água de cimento amianto, a perda de água caiu aproximadamente 38%, como mostrado nos gráficos e tabelas.

Não houve a necessidade da construção de mais uma Estação de Tratamento de Água de 200 L/s no ano de 2001 como previsto e, conseqüentemente, o aumento na captação de água.

Minimização de horas na utilização de equipamentos moto-bombas, como observado na captação de água e no abastecimento dos bairros Florianópolis, Capela Santo Antônio de Pinheiros.

Reutilização de equipamentos de moto-bombas na captação de água com vazões menores, os quais já não eram mais utilizados.

Nenhuma manutenção de rede foi realizada nas redes de polietileno de alta densidade (PEAD), desde o início da troca de rede no ano de 2002 até nos dias de hoje.

Mesmo com todo o crescimento do município, chegou-se aproximadamente a 8 (oito) anos atendendo novas ligações sem o aumento de captação de água e aumento de estação de tratamento de água, somente com o trabalho de controle de perdas no município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH – Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Lei Federal 9.433, de 8 de Janeiro de 1977**. São Paulo, 1997.

ALVES, H. (1993) – **Panorama de Urbanização, Industrialização e Demanda de Recursos Hídricos nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari**. mineo, NEPO.

ALVES, H. (1997) – **Bacias do Piracicaba e Capivari – Análise de sub-regiões e aplicabilidade dos "conceitos" de desenvolvimento sustentável e capacidade de suporte (hídrica)**, Dissertação de mestrado da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Unicamp, Campinas.

ALVAREZ, G.C.; GARCEZ, L.N., **Hidrologia**. Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, SP, 1988 , 291p.

BARP, A. R. BAGANHA 1995 – **Contribuição ao gerenciamento de recursos hídricos da bacia do rio Piracicaba**, Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas.

BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. **In**: BARTH, Flávio Terra et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH,1987. V.1.

BROWN, B.J.; HANSON, M.; LIVERMAN, D.; JERIDETH, R.– Global Sustainability: Toward Definition. **Environmental Management**, v.11: 713-719,1987.

CBH-PCJ - Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, Governo do Estado de São Paulo, cobrape (1992) – **Programa de Investimentos para Recuperação e Proteção das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari** – Relatório para Identificação, São Paulo.

CBH-PCJ – Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba , Capivari e Jundiaí (1996) – **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 1995**, DAEE, São Paulo.

CBH-PCJ – Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba , Capivari e Jundiaí.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: implantação, resultados e perspectivas. Campinas, 1996.

CBH-PCJ – Comitê da Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003. <**http://w.w.wcomitepcj.sp.gov.br**, >**01/2000.

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos (São Paulo). **Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano estadual de recursos hídricos.** São Paulo: DAEE, 1990.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental . **Diagnóstico da poluição ambiental no interior de estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, dez/1994.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental . **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 1992.

CETEC – Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. **Situação dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**, <http://w.w.w comitepcj.sp.br> 10/05/2002.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Balanço hídrico do Estado de São Paulo**. Águas e energia, São Paulo, n.12,1987.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Projeto Integrado da Bacia do rio Piracicaba – Solicitação de Financiamento para Obras e Medidas de preservação e Controle dos Recursos Hídricos** – Vol. II São Paulo, Secretaria de Energia e Saneamento, 1990.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2000-2003**. <http://w.w.w.sirgh.sp.gov.br> 10/03/2002.

DALY, H.E., COBB,J.B.– **For The Common Good: Redirecting The Economy Toward Community, The Environment, and A Sustainable Future**. Beacon Press, Boston. **apud** NIU, W.Y. et al 1989.

DAVANZO, A.M. – **A "Região Metropolitana" de Campinas : Dinâmica Sócio-Econômica e as Perspectivas de Gestão Urbana**, NESUR, Unicamp, Campinas, 1992.

ECLAC – **Economic Commission for Latin America and The Caribbean Population, Environment and Territory in The Perspective of Sustainable Development.** Cap. IV in Population, Social Equity and Changing Production Patterns. Santiago : United Nations. 1993.

GALLO, Z. – **A proteção das águas, um compromisso do presente com o futuro: o caso da Bacia do rio Piracicaba**. Dissertação de Mestrado Ida faculdade de Geociências, Unicamp, Campinas, 1995.

GANZELI, J.P. – Aspectos Ambientais do Planejamento dos Recursos Hídricos: A Bacia do Rio Piracicaba in TAUK, S.M. – **Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar**, Editora da Unesp, São Paulo, 1991.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO– **Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo, Conselho Estadual de Recursos Hídricos**, DAEE, São Paulo, 1990.

HERMANN, R. M.. **Planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos**. In: Curso de Engenharia Hidrológico. São Paulo: EDUSP / DAEE / ABRH : Hidrologia Operacional V2. p. I 1- I 10 , 1983.

PACHECO, C. A. (1992) – **Estudos das Tendências da Urbanização e de Consumo de Água para Abastecimento Público na Bacia do Rio Piracicaba: 1985-2010**, Relatório de Pesquisa do Convênio da Secretaria do Estado de Meio Ambiente – Fundação SEADE, São Paulo.

POMPERMAYER, R. S. **Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 2003.

PROCHNOW, W.C.R. **Recursos hídricos e metodologia de pesquisa**. Geografia, v.10, n.19, 1985.

REBOUÇAS A. C.; BRAGA B. e TUNDISI J. G. **Águas doces do Brasil**. Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, 1999.

ROCHA, J. S. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria (RS). Universidade Federal 1989.

RODRIGUES, I; CARMO, R.– **Migração e Processo de urbanização nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, nos períodos 1970-1980 e 1980-1991**: 917-942 in Anais do X Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambú,1996.

SILVA JUNIOR, A R.; **Características hidrológicas de duas bacias de drenagem experimentais**. Botucatu, tese de mestrado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 1990.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (1994) – **Estabelecimento de Metas Ambientais e Reenquadramento dos Corpos D'Água – Bacia do Rio Piracicaba**, São Paulo.

TUCCI, C. E. M.; HESPNHOL, I.; CORDEIRO NETTO O. M. **A gestão da água no Brasil**: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025 < http://w.w.w. unb.Br/ft/enc/recursoshídricos/relatório.pdf >, 28/11/2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.; **Hidrologia Aplicada**. McGraW-Hill do Brasil, São Paulo, 1975.

VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Climatic Variability

Ana Maria Heuminski de AVILA
Faculdade de Jaguariúna

Renata Ribeiro do Valle GONÇALVES
Faculdade de Jaguariúna

Resumo: Atualmente, a importância na determinação da variabilidade espaço-temporal da temperatura e precipitação tem maior destaque, devido a preocupação com as mudanças climáticas, que podem estar contribuindo para o aquecimento global causando profundas modificações na estrutura organizacional dos ecossistemas, em várias partes do mundo. O objetivo deste trabalho foi analisar os valores extremos anuais de temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta e precipitação máxima absoluta do município de Campinas no período 1890 a 2007. A partir da série histórica de dados diários das variáveis absolutas foram selecionados valores extremos ocorridos durante cada ano e fez-se uma análise de tendência dos dados. Os resultados obtidos pelas análises de tendência apresentaram um aumento significativo para a temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente.
Palavras-chave: mudança climática, temperatura extrema, precipitação extrema.

Abstract: Currently, the importance in determining the spatio-temporal variability of temperature and precipitation is more prominent, due to concern about climate change, which may be contributing to global warming causing profound changes in organizational structure of ecosystems in many parts of the world. The objective of this study was to analyze the extreme values of annual absolute maximum temperature, minimum temperature and absolute maximum precipitation of the municipality of Campinas through the period of 1890 to 2007. From the historical data of the absolute daily variables, extreme values were selected during each year and a trend analysis of the data was made. The results obtained by the trend analysis showed a significant increase of the absolute minimum temperature throughout the series, while for the absolute maximum and absolute maximum daily precipitation, there was an increase in frequency of extreme events in the last two decades and last decade, respectively.
Keywords: climate change, extreme temperature, extreme precipitation.

INTRODUÇÃO

O clima da terra passou por contínuas variações naturais ao longo de sua história evolutiva gerando e transformando novas organizações de ecossistemas. O último período de glaciação, por exemplo, terminou há 10 mil anos quando começou o atual período de interglaciação. Essas mudanças climáticas envolvem fatores internos e externos ao sistema. Os fatores internos incluem variações no sistema solar, efeitos astronômicos sobre a órbita da terra e atividades vulcânicas. Os fatores externos incluem a variabilidade natural do clima e sua interação com a atmosfera, oceanos e superfície da terra (LAMB, 1973).

A principal fonte de energia que atinge a superfície terrestre é o Sol. Essa energia, caminhando pelo espaço sob a forma de energia eletromagnética, tem como principal característica o seu comprimento de onda, entre 380 e 3.000nm, chamados ondas curtas. Ao penetrar na atmosfera, parte dessa energia é refletida pelos componentes da própria atmosfera, como os aerossóis, as nuvens e as partículas de poeira, chegando à superfície já atenuada. A fração absorvida das ondas curtas promove o aquecimento das superfícies que, por sua vez, passam a reemitir de acordo com a quarta potência de sua temperatura (CAMPBELL e NORMANN, 1998).

Para as temperaturas dos corpos existentes na superfície e na atmosfera, os comprimentos de onda emitida estão acima dos 4.000nm, faixa espectral denominada radiação de ondas longas (ROL). A radiação nesse comprimento de onda é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera como o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3), o óxido nitroso (N_2O) e o vapor d'água (H_2O), formando o efeito estufa natural, que mantém o planeta Terra a uma temperatura média de 15^oC, sem este efeito a temperatura da Terra ficaria em torno de -17℃ (BARRY e CHORLEY, 1998).

A atmosfera terrestre é uma mistura mecânica de partículas sólidas, gases e massas líquidas. Os principais gases são o Nitrogênio (78%) e o Oxigênio (21%), existindo ainda outros gases em menores quantidades. Os gases comportam-se como simples misturas mecânicas, mas em circunstâncias especiais como nas reações

fotoquímicas combinam-se entre si formando-se e dissociando-se. Outro componente importante é o vapor d'água que existe em quantidades variáveis, em torno de 4% por volume.

No Século XVIII com a Revolução Industrial, a utilização de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e derivados de Petróleo, tem-se intensificado. Com o uso crescente desses elementos a atmosfera começou a alterar sua composição, aumentando a quantidade de gases poluentes de longa vida, sendo o principal deles o CO_2. O aumento da concentração dos gases efeito estufa pelas atividades humanas causa o efeito estufa antrópico, formando uma espécie de barreira à radiação infravermelha mantendo-a próxima a superfície de terra.

Entre 1750 e 1995 a concentração de CO_2 na atmosfera aumentou 28%, passando de 280 para 358 ppm, a concentração de Metano (CH4) passou de 800 ppbv da era pré-industrial para 1,750 ppbv na década de 90, um aumento de aproximadamente 10ppbv anualmente. O Óxido Nitroso (N_2O) originário de queima de combustíveis fósseis e de biomassa, de automóveis, de processos industriais e do uso de fertilizantes químicos, teve sua concentração aumentada de 285 ppbv da era pré-industrial para 310 ppbv na década de 90. Destacam-se ainda os Clorofluorcarbonos, especialmente o Freon-11 ($CFCl_3$) e o Freon-12 (CF_2Cl_2) usados comumente em sistemas refrigeradores e aerossóis, presentes na atmosfera após 1930 e os HFCs e HCFCs usados em processos de lavagem a seco e em detergentes, os quais têm aumentado significativamente suas concentrações na atmosfera após a década de 80 (BARRY e CHORLEY, 1998).

Em termos simples, o aumento da temperatura induz a maior evapotranspiração (soma da evaporação da água à superfície com a transpiração das plantas), reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Esse fator pode por si só desencadear a substituição dos biomas existentes hoje por outros mais adaptados a clima com menor disponibilidade hídrica para as plantas (por exemplo, savanas substituindo florestas, caatingas substituindo savanas, semi-deserto substituindo caatinga). Ao aquecimento global deve-se levar em conta outras alterações que contribuem para criar as substituições de substituições de biomas. É o

caso das alterações de cobertura da vegetação que ocorrem em diversas partes do globo (SAMPAIO et. al., 2008)

Outro fator é o fogo, a combinação da fragmentação florestal, desmatamentos e aquecimento em razão dos próprios desmatamentos aliados à prática agrícola. A combinação sinérgica dos impactos climáticos regionais decorrentes dos desmatamentos com aqueles resultantes do aquecimento global, implicando climas mais quentes e possivelmente também mais secos, aliada a maior propensão a incêndios florestais, amplifica tremendamente a vulnerabilidade dos ecossistemas tropicais, favorecendo as espécies mais adaptadas a essas novas condições e que são tipicamente aquelas de savanas tropicais e subtropicais, naturalmente adaptadas a climas quentes, com longa estação seca e onde o fogo desempenha o papel fundamenta em sua ecologia.

Dessa forma, intensos impactos de longo prazo seriam sentidos nos solos, na biodiversidade e nos sistemas hídricos. Com relação ao último, além da forte mudança no ciclo hidrológico, haveria também um problema sócio-econômico. Primeiro porque a pesca é uma atividade bastante importante tanto para prover alimento quanto para manter o comércio porque os rios subsidiam grande parte da demanda hídrica da população. Além disso, haveria problemas com o mais importante meio de locomoção na região, o transporte fluvial.

As trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera são componentes cruciais nos ciclos de praticamente todos os elementos, como a água, o carbono e o nitrogênio. À medida que as trocas ocorrem, as concentrações desses elementos são alteradas no tempo e no espaço. As mudanças ambientais atuais, as drásticas alterações nas condições físicas do meio e as limitações do sistema biológico em absorver o excesso de gases lançados na atmosfera levarão a uma redistribuição da vida na biosfera terrestre. As espécies mais adaptadas às novas condições deverão sobressair às menos adaptadas, havendo um processo migratório entre as espécies e inclusive o homem buscaria recursos e condições necessárias a sua sobrevivência (SCHEFFER et al., 2001).

Atualmente, a importância na determinação da variabilidade espaço-temporal da temperatura e precipitação tem maior destaque, devido a preocupação com as mudanças do clima, que podem estar contribuindo para o aquecimento global causando profundas modificações na estrutura organizacional dos ecossistemas, em várias partes do mundo (IPCC, 2007a).

Estudos globais recentes têm demonstrado mudanças consistentes na temperatura do ar e na precipitação pluvial nos últimos anos, em várias partes do mundo (ALEXANDER et al., 2006; IPCC, 2007b). A temperatura média da terra poderá aumentar entre 1,8ºC e 4,0ºC nos próximos 100 anos (SOLOMON et al., 2007), com incrementos mais significativos sobre as temperaturas mínimas do ar, do que sobre as máximas, as quais não apresentam tendências consistentes, como no caso das análises realizadas para a América do Sul (VINCENT et al., 2005). Trabalhos científicos contemporâneos têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, indicando a ocorrência de mudanças globais, com conseqüências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (IPCC, 2007b).

As mudanças atuais vão muito além das mudanças climáticas, dentre os processos de alteração que o planeta vivencia, relacionados diretamente ao uso e ocupação do solo e às atividades humanas, destacam-se, poluição atmosférica e dos corpos d'água, perda de biodiversidade e concentrações urbanas. O aumento exponencial da população reflete-se diretamente no uso e exploração dos ecossistemas. A extensão da terra usada para a agricultura, a partir da segunda metade do século XX foi maior que a soma das áreas usadas nos dois séculos anteriores. Esse processo se deu essencialmente para suprir o aumento da demanda por alimento, água doce, madeira e combustível (RUDDIMAN, 2005)

O número de estudos sobre a resposta de espécies da flora e da fauna Amazônica e do Cerrado às mudanças climáticas é reduzidíssimo, mas estes indicam que, para um aumento de 2º C a 3º C na temperatura média, até 25% das árvores do Cerrado e até cera de 40% de árvores da Amazônia poderiam desaparecer até o final deste século (SAMPAIO et al. 2008).

A fim de evitar catástrofes irreversíveis, o aumento da temperatura do planeta tem sido objeto de preocupação de cientistas e governantes, os quais tentam estabelecer meios para adaptação ou mitigação de seus efeitos. O Protocolo de Quioto realizado no Japão em 1997 estabelece metas para que os países industrializados reduzam, entre 2008 e 2012, as emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990.

De forma geral, com o aquecimento global, em um futuro próximo espera-se cenário de clima mais extremo, com secas, inundações e ondas de calor mais freqüentes. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e conseqüentemente há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais freqüentes também poderá ser sentidos.

Baseado nas informações descritas anteriormente, o objetivo deste trabalho foi analisar os valores extremos anuais de temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta e precipitação máxima absoluta do município de Campinas no período 1890 a 2007.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi o município de Campinas, no estado de São Paulo, localizado entre as coordenadas geográficas 47°03'39" de longitude oeste e 22°54'21" de latitude sul, como ilustra a Figura 1. O clima de Campinas é classificado como Tropical de Altitude, com média de temperatura de 21°C, com predominância de chuvas no verão e com estiagens médias de 30 a 60 dias entre os meses de julho e agosto e estiagens agrícolas que podem chegar a 120 dias. É possível haver geadas: entretanto, a última geada ocorrida na cidade aconteceu em julho de 2000, quando se atingiu -1°C.

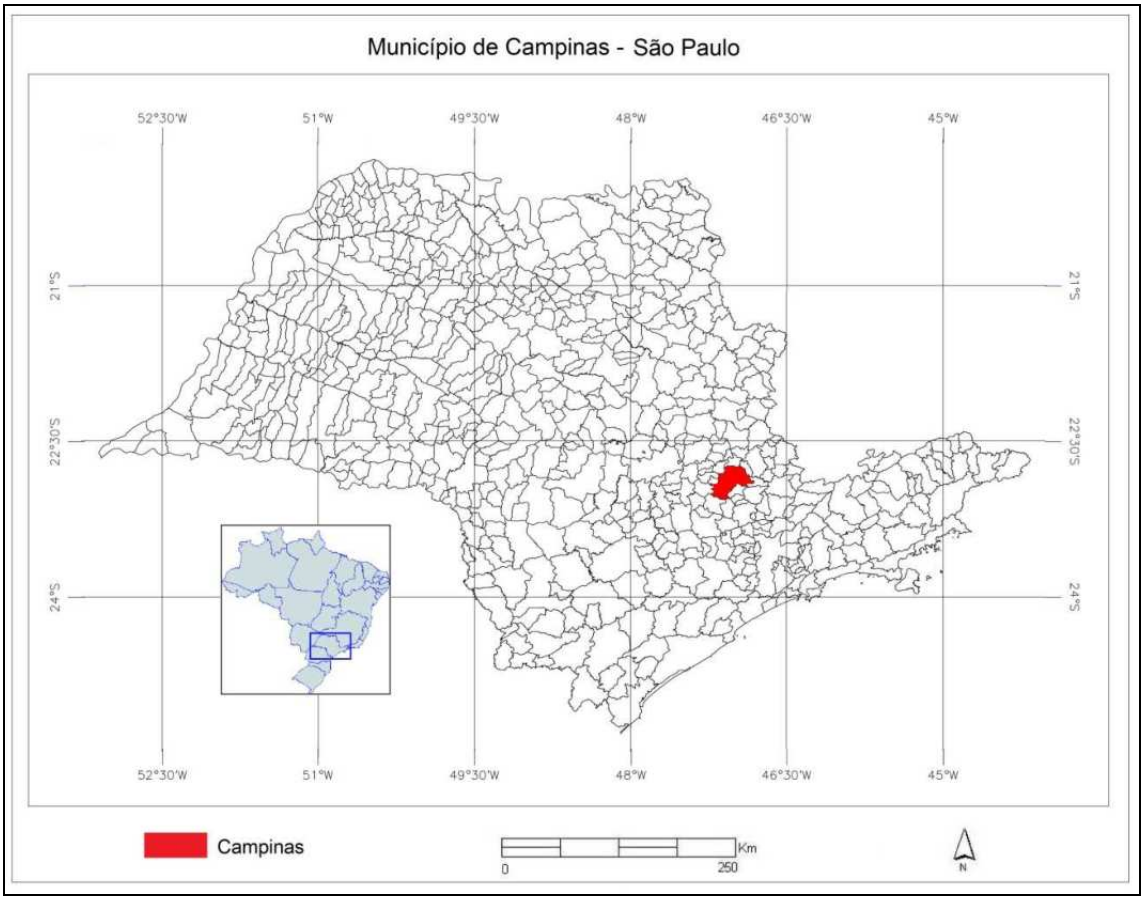


Figura 1. Município de Campinas, SP.

Para a realização destes trabalho foi utilizada uma série histórica de dados diários de temperatura máxima absoluta (°C), temper atura mínima absoluta (°C) do ar e de precipitação máxima absoluta (mm/dia) entre os anos 1890 a 2007, medidos na Estação Meteorólogica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

A partir da série de dados diários das temperaturas máxima absoluta e mínima absoluta do ar e da precipitação máxima absoluta foram selecionados valores extremos ocorridos durante cada ano e fez-se uma análise de tendência dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram gráficos com as tendências das séries históricas do município de Campinas de valores extremos de precipitação máxima absoluta (mm/dia), temperatura máxima absoluta (°C) e temper atura mínima absoluta (°C) no período de 1980 a 2007 como mostram as Figuras 2, 3 e 4.

De acordo com a Figura 2, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos de precipitação intensa na última década, em Campinas. Esses resultados podem ser comprovados com os estudos realizados por DUFEK e AMBRIZZI (2007), que analisaram tendências de extremos de chuva no Estado de São Paulo durante o período de 1950-1999 e concluíram que o aumento da precipitação total anual está associado ao aumento na intensidade da precipitação. Em particular, os resultados de GROISSMANN et al. (2005) indicam aumento na freqüência de chuvas intensas desde 1940 no sudeste do Brasil.

A Figura 3 mostra que houve um incremento de 2,3℃ nas temperaturas mínimas absolutas para a série histórica estudada, apontando uma tendência de noites mais quentes e diminuição de chances de geadas em Campinas. Esse resultado corrobora os resultados encontrados por MARENGO (2007) que também mostra tendências positivas de noites quentes no Sudeste do Brasil, que vão de 5% na década de 1950 até quase 35% no início do Século XXI. Por outro lado, a tendência de dias frios tem apresentado freqüência de 25-30% na década de 1970, chegando até 5-10% em 2001-2002. BLAIN et. al. (2007) analisando os dados de temperaturas máximas e mínimas médias para a região de Campinas, verificaram uma forte tendência contínua de elevação dos valores ao longo da série, demonstrando com isso, mudança na temperatura mínima média anual entre os anos de 1890 e 2006.

A análise de tendência mostrou um aumento mais expressivo na temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta (Figura 4) e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente. Esses resultados concordam com os relatórios divulgados pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) que aponta uma tendência de aumento na freqüência dos eventos extremos das variáveis estudadas, em todo o globo.

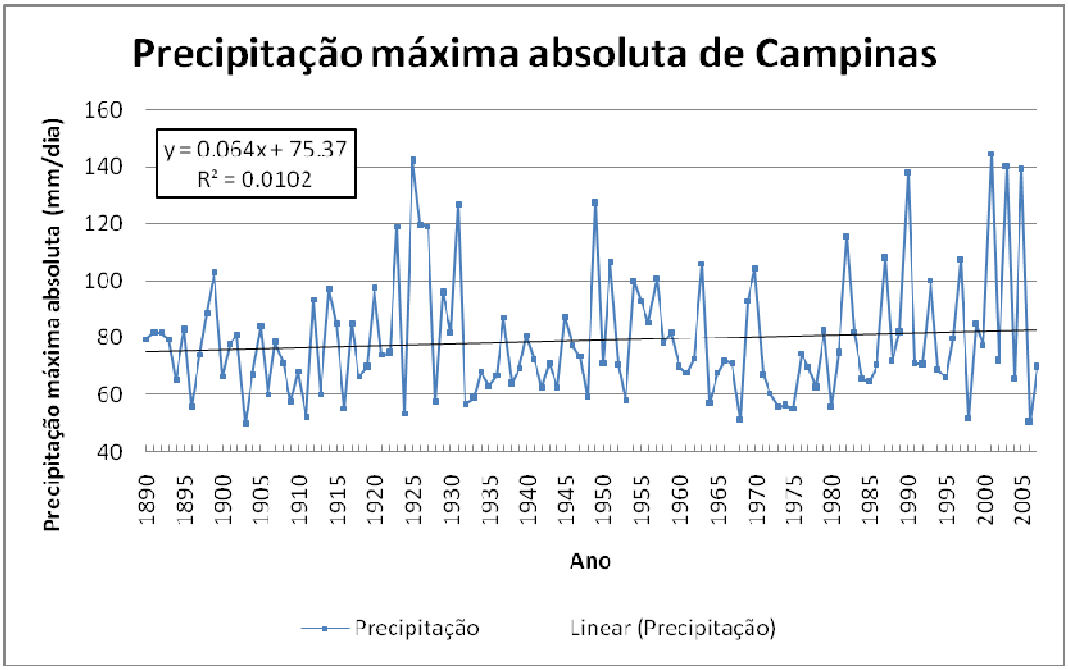


Figura 2. Gráfico de precipitação máxima de Campinas no período de 1890 a 2007.

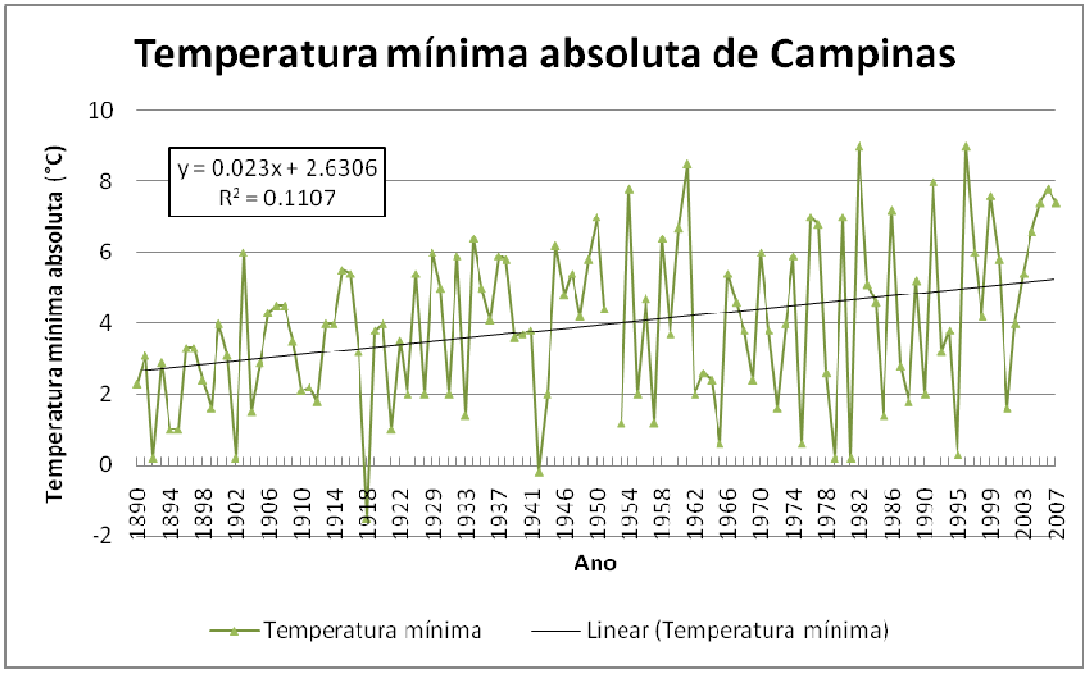


Figura 3. Gráfico de temperatura mínima de Campinas no período de 1890 a 2007.

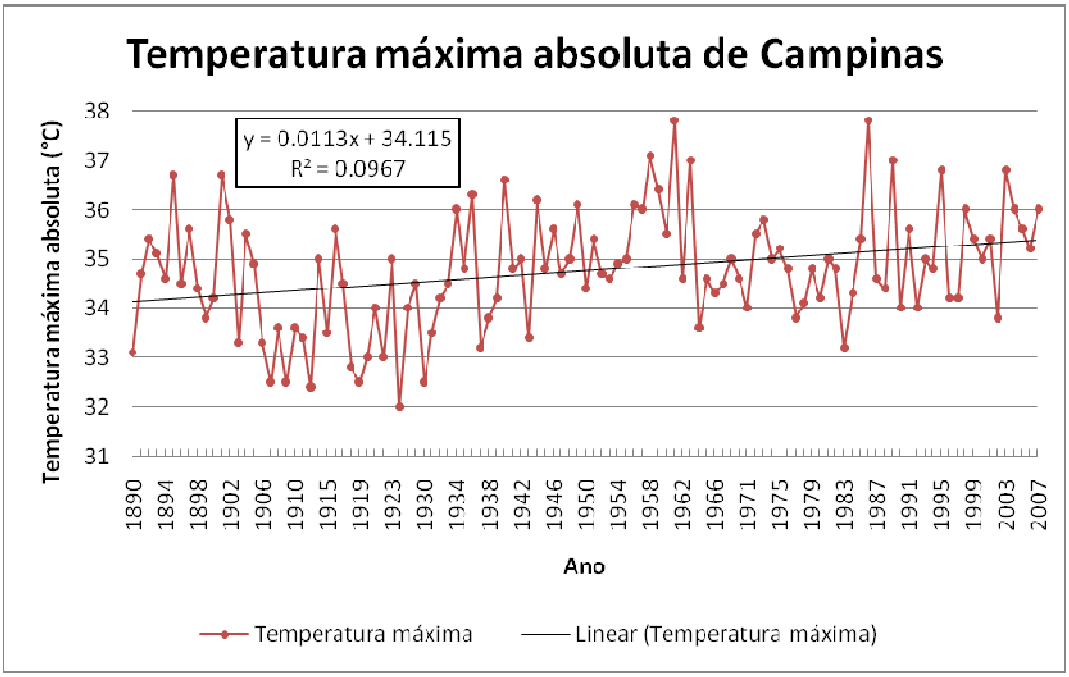


Figura 4. Gráfico de temperatura máxima de Campinas no período de 1890 a 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos pelas análises de tendência apresentaram um aumento significativo para a temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente.

Esses resultados apontam uma tendência de aumento na freqüência dos eventos extremos das variáveis estudadas, que se deve provavelmente à intensificação do efeito estufa, o qual tem sido apontado como causador do aquecimento global, por alterar o balanço de ondas longas, isto é, restringir a perda de calor pela superfície terrestre, afetando especialmente a temperatura do ar durante a noite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCET, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.;

ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, DO 5109, doi: 10.1029/2005 JD006290, March 2006.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 7th ed. London: Routledge, 1998. 409p.

BLAIN, G. C.; ROLIM, G.; SENTELHAS, P. C.; LULU, J. Variabilidade temporal da temperatura do ar em Campinas, SP: Análise de tendências e mudanças climáticas. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

CAMPBELL, G. S.; NORMANN, J. M. **An introduction to environmental**. Biophysics. Springer, 1998, 286p.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. 2007

GROISSMAN, P.; KNIGHT, R.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEV, V. Trends in Intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**. v.18, p.1326-1350, 2005.

IPCC Assessment Report, 4. 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: impacts, adaptation and vulnerability: summary for policymakers. [Genebra]: IPCC, 2007a. 16 p. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>.

IPCC Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: the physical science basis: summary for policymakers. [Genebra]: IPCC, 2007b. 18 p. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>.

LAMB, H. H. Appendixes to part I. In: **Climate: present, past and future**. London Methuen & Co., 1972. Part 1, 483p.

MARENGO, J.; CAMARGO, C. G. C. Trends in Extreme air temperatures in southern Brazil. **International Journal of Climatology**. 2007.

RUDDIMAN, W. F. How did humans first alter global climate? **Sci American**. v.292. n.3. p.34-41, 2005.

SAMPAIO, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. A atmosfera e as mudanças climáticas. In: BUCKERIDGE, M. S. **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. São Carlos: RiMa Editora, 2008. 316p.

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S.; FOLLEY, J.A.; FOLKE, C.; WALKER, B. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**. v.413, n.6856, p.591-696, 2001.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ALLEY, R. B.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N. L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; GREGORY, J. M.; HEGERL,G. C.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B. J.; JOOS, F.; JOUZEL, J.; KATTSOV, V.; LOHMANN, U.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T. F.; WHETTON, P.; WOOD, R. A.; WRATT, D. Technical summary. In: IPCC Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: the physical science basis. [Genebra]: IPCC, 2007. 74 p. A report accepted by Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change but not approved in detail. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>.

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extreme in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, Washington, v. 18, p. 5011-5023, 2005.

UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA EM ENGENHARIA, APLICADA AO ESTUDO ESTRUTURAL DE OSSOS

Utilization of mathematic resources modeling in engineering, applied to structural bones study

Márcio da Silva MOURA
Universidade Estadual de Campinas

Renato PAVANELLO
Universidade Estadual de Campinas

Resumo: Os métodos computacionais aliados às leis constitutivas e teorias de modelagem matemática do comportamento físico da matéria são importantes instrumentos para representação do comportamento mecânico de domínios multi-físicos sujeitos a carregamentos diversos. A representação dos materiais biológicos também não é diferente, mas neste caso, existem fatores ligados ao comportamento celular vivo. Assim fora estudado, através do método dos elementos finitos, os esforços que a região da cabeça de um fêmur apresenta devido às forças provenientes do caminhar de um homem de 70 kg. O modelo foi baseado nas teorias da poroelasticidade acoplada de Biot. Esse estudo, por ter sido realizado apenas no sistema plano, serve como indicação da potencialidade do uso do modelo poroelástico, todavia, futuros estudos em três dimensões poderão apresentar melhores indicadores.
Palavras-chave: Poroelasticidade; Método dos Elementos Finitos; Bioengenharia.

Abstract: The computation methods join to constitutive low and mathematic modeling theory of physic behaviour of materia are important for mechanic behaviour representation of multi-physics domain subordinate to several loads. The biologic materials representation is not also different, but in this case, there are factors join to live cellular behaviour. Thus were studied, through finite element method, the strength that head femur region show according to loads coming from human walk of 70 kg. The model was based by Biot poroelasticity theory. That estudy, to have been realized only on plane system, attend on indication of the potenciability use of poroelastic model, however, future studies on three dimensions will make show better results.
Key-words: Poroelasticity; Finite element method; Bioengineering

INTRODUÇÃO

A poroelasticidade é uma teoria desenvolvida para o estudo do comportamento de uma estrutura composta por duas fases, uma elástica e outra fluídica. Esse modelo representa a interação entre a deformação e o fluxo de fluido em um meio poroso. O

precursor destes estudos foi Biot (1935). Com o avanço tecnológico o modelo matemático dessa teoria pode ser cada vez mais utilizado em sistemas de geometria complexa (Rybicki et al., 1972). Neste sentido, este trabalho tem o intuito de apresentar uma comparação do comportamento dos ossos longos através da teoria da poroelasticidade acoplada com a teoria da elasticidade pura (Doblaré et al., 2002), através do método dos elementos finitos (Taylor, 2005), considerando o osso, na poroelasticidade um material poroso que contém interação entre uma porção sólida (cálcio) e fluída (sangue e fluído ósseo) (Cowin, 2004). O elemento poroso representa o acoplamento sólido-fluído. Suas respostas de deslocamento e pressão proporcionam indicar quais as regiões apresentam mais sensibilidade aos carregamentos, contribuindo assim, para o projeto de próteses e implantes, predição de falhas ósseas e intensidade de carregamento indicado para determinada morfologia. Tendo o osso geometria complexa, esta análise levou em conta as diferentes porosidades presentes no osso cortical e trabecular e a distribuição do fluido para um caso bidimensional. Fora realizada uma modelagem computacional do comportamento de uma parte de um fêmur submetido a carregamentos de uma pessoa caminhando, de forma a realizar as comparações necessárias.

FORMULAÇÃO NUMÉRICA

O modelo mecânico poroelástico deriva-se das equações fundamentais da elasticidade sujeito a uma pressão fluída, acoplada as equações do sistema fluído. Aplicando-se ao caso plano, tem-se:

$$
\begin{aligned}
&G\nabla^2 u + \frac{G}{1-2\upsilon}\frac{\partial e}{\partial x} - \alpha\nabla p = 0 \\
&G\nabla^2 v + \frac{G}{1-2\upsilon}\frac{\partial e}{\partial y} - \alpha\nabla p = 0 \\
&\kappa\nabla^2 p - \alpha\frac{\partial e}{\partial t} - \frac{1}{Q}\frac{\partial p}{\partial t} = 0
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

sendo G o módulo de elasticidade transversal, ν o coeficiente de Poisson drenado, α o coeficiente de Biot, p a pressão nos poros, Q a constante poroelástica de proporcionalidade, κ o coeficiente de permeabilidade do fluído, ∇ o operador nabla de

derivação, *e* a variação volumétrica e *u* e *v* os deslocamentos nas direções de *x* e *y*, respectivamente.

Reescrevendo a equação (1) em termos das tensões e pressão e aplicando a conservação do momento e massa na equação (1) tem-se:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_z}{\partial y}=0 \\ &\frac{\partial \tau_z}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}=0 \\ &\kappa\nabla^2 p-\alpha\frac{\partial e}{\partial t}-\frac{1}{Q}\frac{\partial p}{\partial t}=0 \end{aligned} \tag{2}$$

Sendo as tensões da forma:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2G\left(\varepsilon_x+\frac{\upsilon e}{1-2\upsilon}\right)-\alpha p \\ \sigma_y &= 2G\left(\varepsilon_y+\frac{\upsilon e}{1-2\upsilon}\right)-\alpha p \end{aligned} \tag{3}$$

Aplicando o método dos resíduos ponderados em (2) pode-se obter as seguintes equações:

$$\begin{aligned} &\int_\Omega\left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_z}{\partial y}\right)W d\Omega=0 \\ &\int_\Omega\left(\frac{\partial \tau_z}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}\right)W d\Omega=0 \\ &\int_\Omega\left(-\kappa\nabla^2 p+\alpha\frac{\partial e}{\partial t}+\frac{1}{Q}\frac{\partial p}{\partial t}\right)W d\Omega=0 \end{aligned} \tag{4}$$

sendo W a função peso e Ω o domínio do problema poroelástico.

Separando-se os termos da direção *x, y* e a componente de pressão têm-se as equações para cada um desses termos. Aplicando-se o método de resolução de

Galerkin e discretizando os termos derivados no tempo, por diferenças finitas e no espaço por elementos finitos, chega-se a seguinte expressão matricial:

$$\begin{bmatrix} [K] & -[Q] \\ 0 & [H] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ p_i \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ [Q_n]^T & [G] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta t} \\ \frac{p_{i+1} - p_i}{\Delta t} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f \\ q \end{Bmatrix} \tag{5}$$

sendo [*K*] a matriz de rigidez elástica, [*H*] a matriz de rigidez do fluído, [Q_n] a matriz de acoplamento, [*G*] a matriz de amortecimento do fluído, {*f*} vetor de cargas da parte elástica e {*q*} vetor dos fluxos (Moura, 2007).

As matrizes acopladas da equação (5) podem ser resolvidas diretamente por sistemas de solução não simétrica, mas neste trabalho foi utilizada a solução particionada que desacopla as matrizes de (5) e soluciona sistemas com matrizes simétricas, conforme equação seguinte.

$$\begin{aligned} [K]\{u_i\} &= \{f\} + [Q_n]\{p_i\} \\ [K_p]\{p_i\} &= [Q_n]^T \{\Delta u\} + [G]\{p_{i-1}\} + \{\Delta t q\} \end{aligned} \tag{6}$$

O elemento implementado para este trabalho foi o isoparamétrico quadrilateral linear para o sistema quase-estático (transiente).

O *solver* utilizado para o processamento do modelo poroelástico foi o MAFLAB, programa produzido em linguagem FORTRAN, pelo grupo de pesquisa em Fluído-Estrutura da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp (Moura et al, 2007).

RESULTADOS

Os carregamentos aplicados à cabeça do fêmur foram obtidas de Bertolo (2002). Neste caso, apresentado na Figura 1, para um homem de pé com 75 kg, andando, sem carregar nenhum peso, essas forças são de 703 N e 2317 N, respectivamente indicadas por F e f_c (Beaupré et al., 1990). Na base dos modelos foram consideradas restrições na direções vertical e algumas na horizontal e condições de contorno de

pressão prescrita de 6600 Pa. Este valor de pressão é referente a pressão sanguínea observada na micro-camada óssea (Cowin, 2001; Qin et al., 2003).

Foram consideradas as seguintes propriedades para a representação das diferentes regiões do fêmur: - A região cortical tem módulo de elasticidade de 20 GPa e Poisson de 0,325 e; - a região trabecular 18 GPa e Poisson de 0,242, conforme apresentado na Figura 2, onde mat 1 é a região cortical e a mat 2 a região trabecular. A malha foi construída utilizando o pré-processador GID.

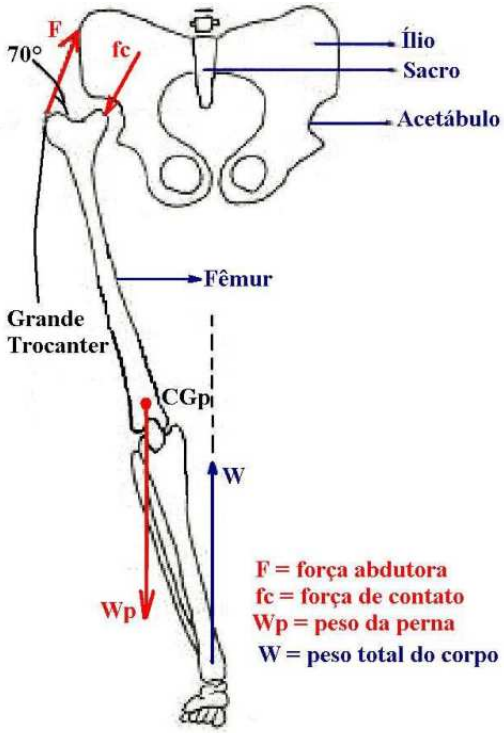


Figura 1. Condições de contorno sobre os ossos inferiores (Bertolo, 2002).

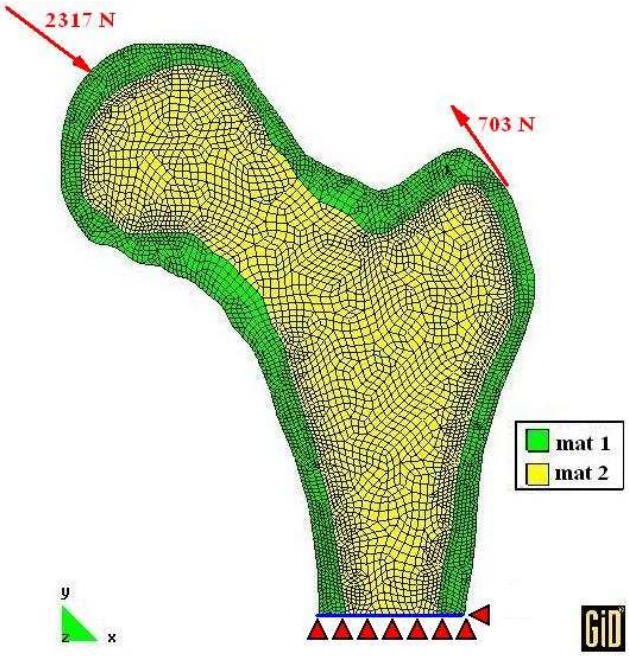


Figura 2. Malha de elementos finitos e carregamentos.

Os deslocamentos aparecem de forma uniforme, o que demonstra coerência dos resultados, visto que independente das deferentes regiões, o modelo deve conter o mesmo deslocamento em todo o seu perfil, Figura 3. Pode ser que este modelo seja mais rígido que os modelos analisados com a teoria da elasticidade pura, isto decorre da ação de resposta do fluido ao carregamento.

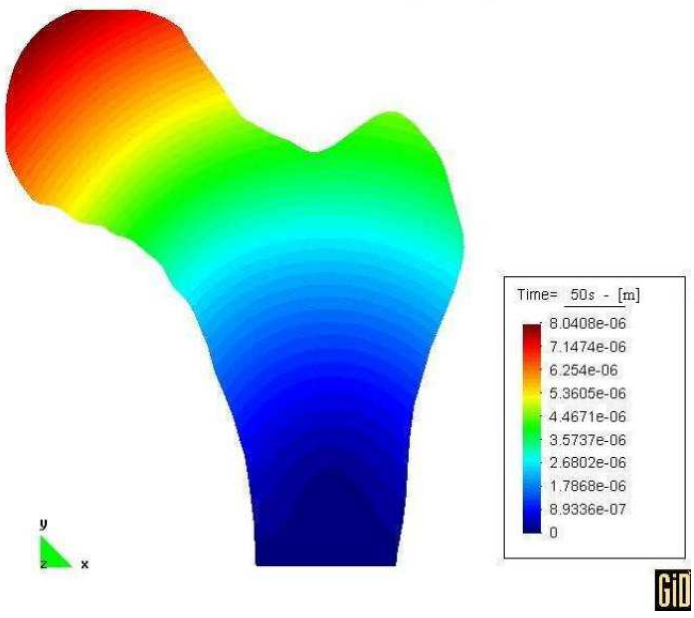


Figura 3. Deslocamentos provenientes do carregamento.

O efeito do fluido tende a acomodar melhor os carregamentos, fazendo com que as tensões para o modelo poroelástico possam ser menores que as do modelo elástico.

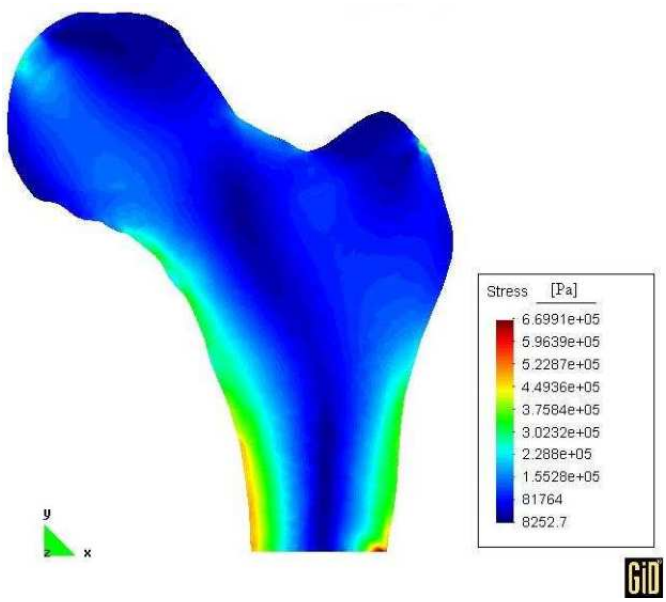


Figura 4. Tensões para o modelo poroelástico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo poroelástico tende acomodar melhor os carregamentos sobre o fêmur. Testes experimentais devem ser realizados para comprovação disso, pois se no modelo vivo isso realmente ocorrer, o estudo para o projeto de próteses e componentes de reabilitação devem levar isso em consideração. Estas análises servem como base para estudos atuais sobre o modelo ósseo tridimensional e a modelagem desses com implantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEAUPRÉ, G. S.; Orr, T. E.; and CARTER, D. R., **An approach for time-dependent bone modeling and remodeling-application: a preliminary remodeling simulation**, Journal Orthopaedic, vol. 8, p. 662–670, 1990.

BERTOLO, L. A., **Biofísica para Fisioterapia**. Apostila didática - FAFICA, Caruaru, 2002.

BIOT, M. A., **Le problème de la consolidation des matières argileuses sous une charge**. Annales de la Societé Scientifique de Bruxelles, B55, p. 110-113, 1935.

COWIN, S. C., **Bone poroelasticity**. Bone Mechanics Handbook. CRC Press LLC, Boca Raton, CA, 2001.

COWIN, S. C., **Anisotropic poroelasticity: fabric tensor formulation**. Mechanics of Materials, vol. 36, p. 665–677, 2004.

DOBLARÉ, M., GARCÍA, J. M., and CEGOÑINO, J., Development of an internal bone remodelling theory and applications to some problems in **orthopaedic biomechanics, Meccanica**, vol. 37, p. 365–374, 2002.

MOURA, M. S., **Elaboração de uma ferramenta computacional para modelamento de próteses e ossos através da poroelasticidade acoplada**, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, 2007.

MOURA, M. S., PAVANELLO, R., DUTRA, D. L., **Comparison between numeric solutions of direct method and staggered method applied to analyze poroelastic of bones**, 19th International Congress of Mechanical Engineering, Proceedings of COBEM 2007, p. 10, 2007.

RYBICKI, E. F., SIMONEN, F. A., and WEIS, E. B., **On the mathematical analysis of stress in the human femur**. Journal of Biomechanics, vol. 5, pp. 203–215, 1972.

Taylor, M. E., **Finite element analysis oh the resurfaced femoral head**. Journal of Engineering in Medicine, vol. 220, p. 289–297, 2005.

QIN, Y. X.; KAPLAN, T.; SALDANHA, A.; RUBIN, C., **Fluid pressure gradients, arising from oscillations in intramedullary pressure, is correlated with the formation of bone and inhibition of intracortical porosity**. Journal of Biomechanics, vol. 36, p. 1427–1437, 2003.

FERRAMENTAS PARA OTIMIZAÇÃO NO CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Tools for optimization in industrial process control

André STRIEDER
Faculdade de Jaguariúna
Faculdade Politécnica de Campinas

Cristina M. SCHUCH
Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda - Centro de Pesquisas de Paulínia

Alessandro R. FRIAS
Votorantim Celulose e Papel - VCP / Piracicaba

Resumo: Este trabalho aborda o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de variabilidade e sintonia de malhas de controle, através dos dados adquiridos, inicialmente, em uma Planta Piloto de controle de temperatura e, posteriormente, na otimização e controle de uma malha de fluxo de refugo em uma planta industrial de papel. Como resultado obteve-se uma demonstração da importância do controle e sintonia das malhas do processo para a redução de custos variáveis no processo industrial e diminuição na geração de efluentes, contribuindo para a implantação da política de 3R's em uma grande planta industrial.
Palavras-chave: controle, sintonia, variabilidade.

Abstract: We described the development of a methodology for the calculation of variability and tuning of control loop, through the utilization of process simulation tools coupled to 6-σ statistics data treatment. In a first time, the data acquisition was made in the temperature control of a pilot plant and after in paper industrial plant. As results we obtained a practical demonstration of the importance of tuning and control loop to reduce variable costs in the industrial process. Additionally, we achieved the decreasing in the environment impact in the paper industrial plant, through the minimization of effluent generation, and also contributed to improve the 3R´s policy implementation.
Key-words: control, tuning, variability.

INTRODUÇÃO

Atualmente, as indústrias possuem metas anuais para redução de custos e na maioria das vezes essas metas focam a redução de custos fixos porque são mais fáceis de controlar. Certamente, chegará um momento em que não será mais possível

reduzir custos fixos e o foco passará para a redução dos custos variáveis. Esses estão diretamente ligados ao processo, ou seja, para reduzir custos variáveis tem-se que diminuir a variabilidade no processo de produção. Neste sentido, a indústria tem demandado recursos no monitoramento do desempenho em tempo real dos sistemas de controle, tanto de variáveis discretas quanto de analógicas, sendo que nestas últimas é aplicada a avaliação de desempenho (FONSECA,SILVA,TORRES, 2005). Para que a redução ocorra é necessário fazer uma análise geral de todas as variáveis do processo, para identificar as possíveis causas de custos desnecessários. A partir desses dados, será possível adotar métodos de cálculo de variabilidade e, sendo constatados altos índices, deverá ser realizada uma auditoria nas malhas de controle para determinar as suas causas. De uma maneira geral, pode-se dizer que em processos industriais a alta variabilidade está diretamente ligada ao mau funcionamento das malhas de controle.

Neste contexto, uma das metodologias mais utilizadas hoje nas indústrias para o estudo e o cálculo da variabilidade é a “Metodologia 6-Sigma (6-σ, que consiste na aplicação de métodos estatísticos de análise do processo, orientada pela meta de eliminar defeitos. Trata-se de uma maneira objetiva de medir o desempenho e a capacidade de processos ou produtos em “Nível σ” e compará-los entre si. Assim, é possível designar um valor de σ que represente seu nível de qualidade e a quantidade de não conformidades ou defeitos produzidos. Tradicionalmente, o 6-σ focaliza a prevenção de defeitos, a redução nos tempos de ciclo e a economia de custos.

Este artigo descreve o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de variabilidade e sintonia de malhas de controle, através dos dados adquiridos em uma Planta Piloto de controle de temperatura. Como aplicação prática na indústria, foi utilizado o Sistema PIMS (*Plant Information Management System*), uma das mais poderosas ferramentas de aquisição de dados, para coletar dados reais do processo produtivo, possibilitando aplicar uma metodologia para otimização e controle de uma malha de fluxo de refugo numa planta industrial de papel.

METODOLOGIA

Com o auxílio de uma planta piloto para simulação de experimentos práticos, foi possível conseguir uma configuração para diferentes tipos de processos (STRIEDER, SCHUCH, 2005).

Para o cálculo de variabilidade foi utilizado o software MINITAB. Para a aquisição dos dados experimentais, foi utilizada uma placa de aquisição com micro-controlador AVR, disponível na Planta Piloto de Controle de Temperatura, e o Sistema PIMS para aquisição de dados reais de uma malha de controle de fluxo de uma planta industrial.

Empregando métodos de sintonia de malhas, foram determinados os parâmetros otimizados para os controladores das malhas. Além disso, foram determinados os níveis 6-σ do processo, através das ferramentas de análise estatística do Software MINITAB.

RESULTADOS

Determinação dos Parâmetros de Processo

Para determinar os parâmetros do processo, foi analisada a resposta do sistema ao degrau dado na entrada do processo, obtendo-se um sistema de primeira ordem (OGATA,1982), conforme mostrado pela curva exponencial de resposta apresentada na Figura 1.

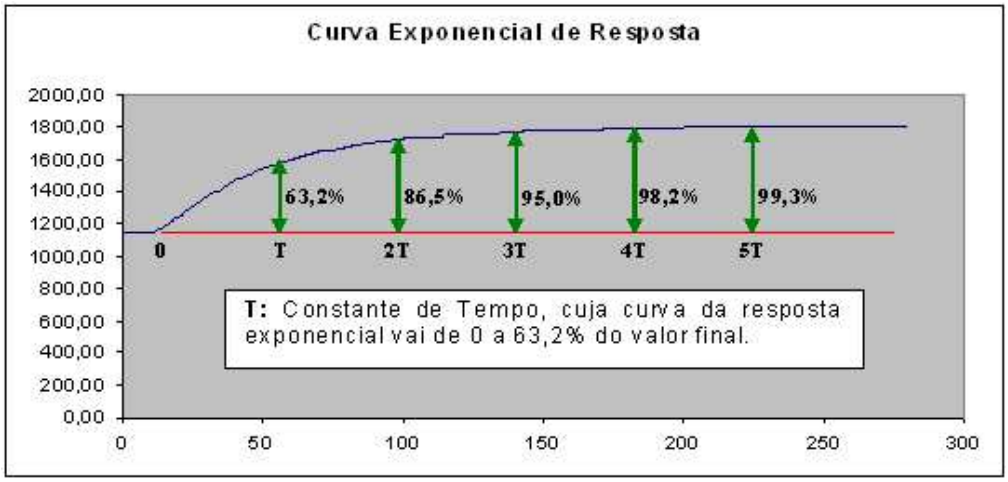


Figura 1. Curva Exponencial de Resposta.

Para determinar os parâmetros do processo, a regra utilizada foi de um processo auto-regulado de 1ª ordem em malha aberta, ou seja, para degrau em modo de controle manual, conforme a Figura 2.

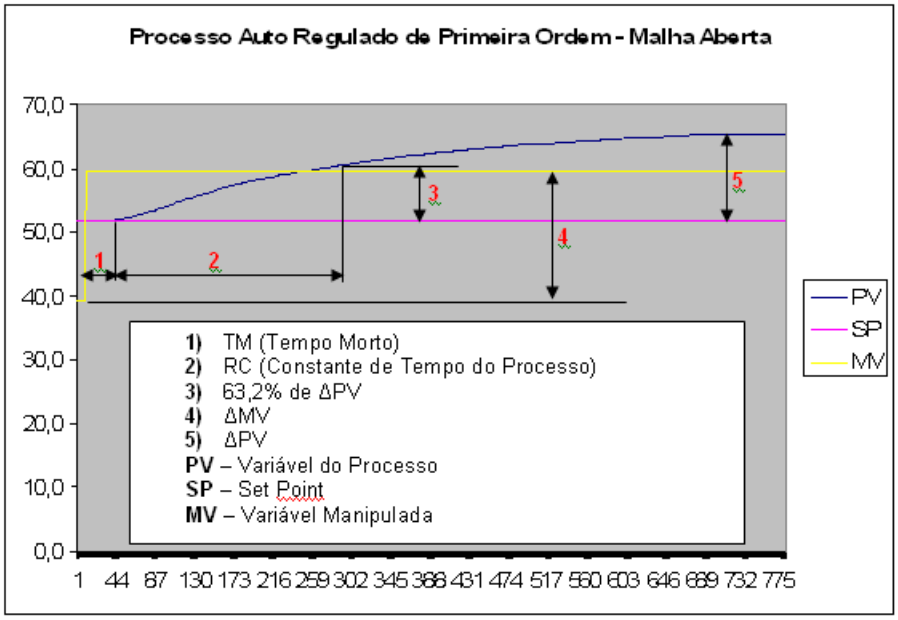


Figura 2. Regra para determinação de parâmetros de Sistemas de 1ª Ordem.

Através de experimentos realizados na Planta Piloto de Controle de Temperatura (Figura 3) e dos testes na Malha de Controle de Fluxo de Refugo de uma Planta Industrial de papel (Figura 4), foram determinados os parâmetros de processo para otimizar as malhas de controle.

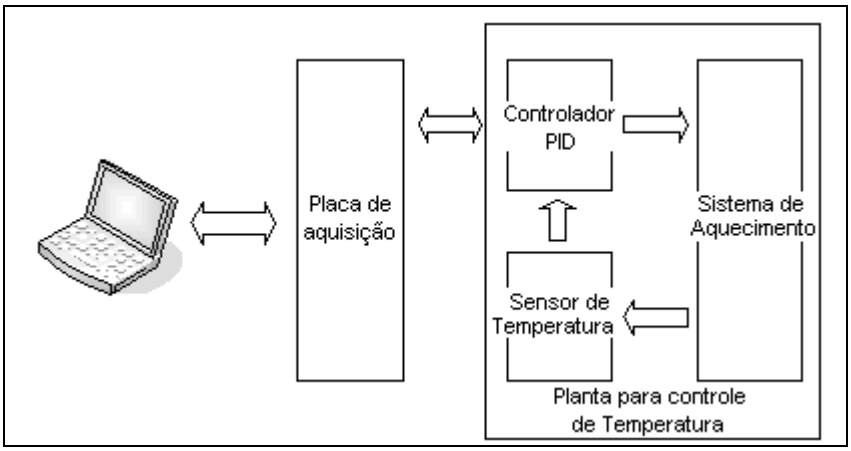


Figura 3. Esquema da Planta Piloto de Controle de Temperatura.

Primeiramente, foi verificada a condição inicial do processo, ou seja, qual era o comportamento do controle automático da malha.

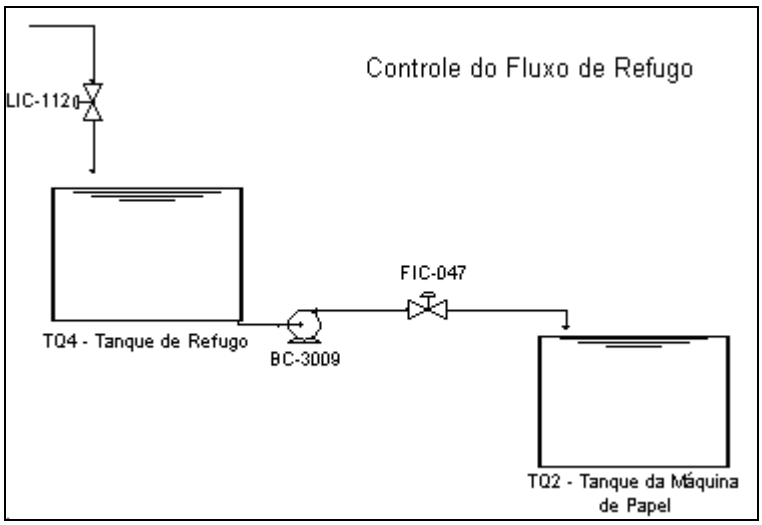


Figura 4. Esquema da Malha de Controle de Fluxo de Refugo.

Posteriormente, realizou-se um distúrbio no processo estando o controle em modo manual, alterando a saída de controle com um degrau, para assim obter os parâmetros das malhas visando a otimização, conforme ilustram as Figuras 5 e 6 e a Tabela 1.

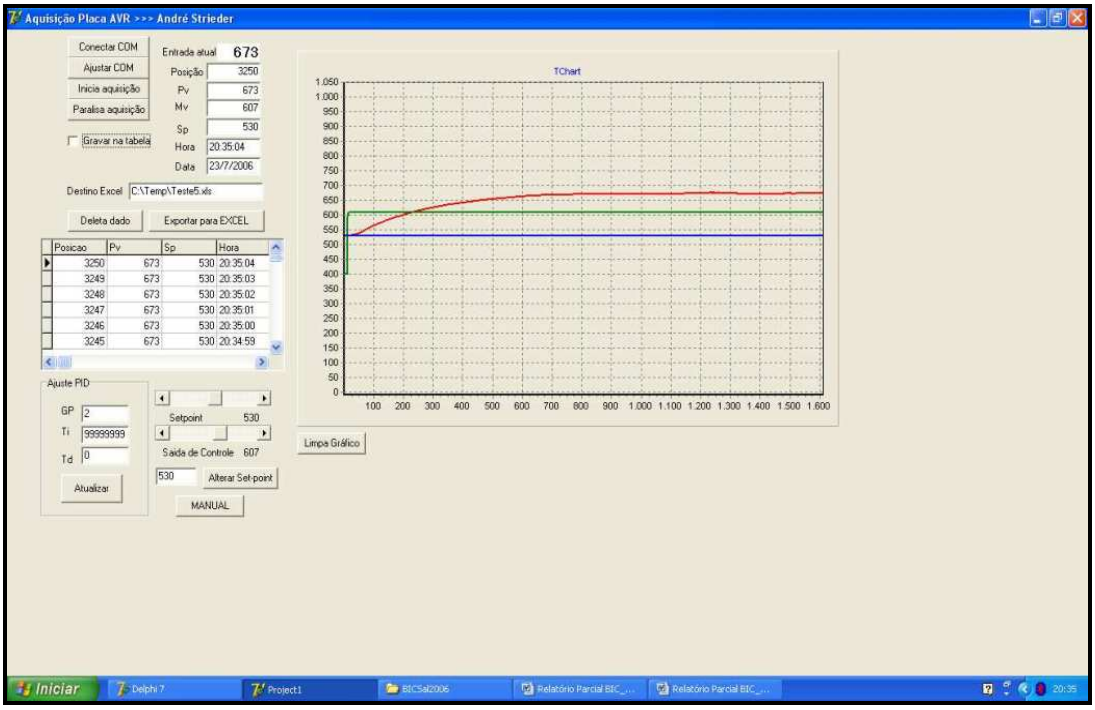


Figura 5. Distúrbio no controle de temperatura em modo manual.

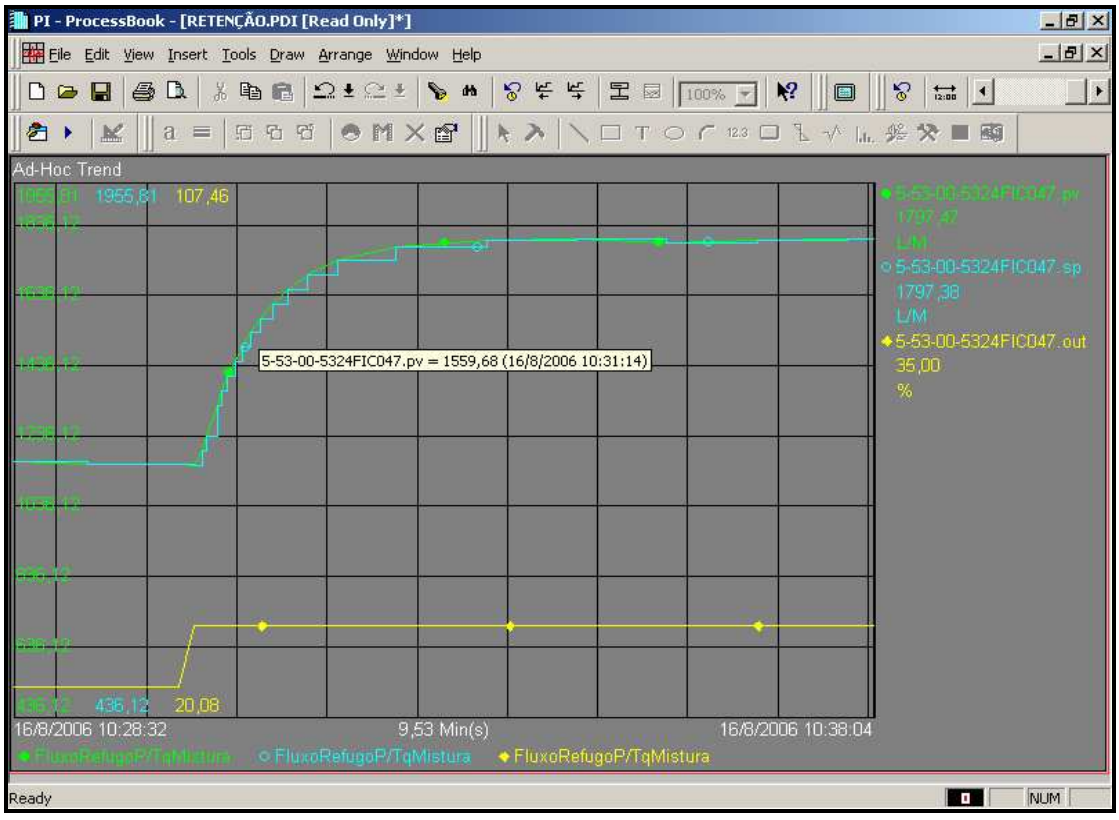


Figura 6. Distúrbio no controle de fluxo de refugo em modo manual.

Tabela 1. Parâmetros de Processo.

Parâmetros de Processo			
Parâmetros	**Descrição**	**Planta Piloto**	**Planta Industrial**
PV0	Variável do Processo (antes do distúrbio)	51,8	1155,13
PV1	Variável do Processo (após o distúrbio)	65,8	1798
ΔPV	Variação da Variável do Processo (ΔPV=PV1-PV0)	14,0	642,87
MV0	Variável Manipulada (antes do distúrbio)	39,1	25
MV1	Variável Manipulada (após o distúrbio)	59,3	35
ΔMV	Variação da Variável Manipulada (ΔMV=MV1-MV0)	20,2	10
RC	Constante de Tempo do Processo (seg)	251	42
TM	Tempo Morto (seg)	12	5
RC/TM	Relação Constante de Tempo/Tempo Morto	20,9	8,4
Gs	Ganho Estático do Processo (Gs=ΔPV/ΔMV)	0,6908	0,0833

Método de Sintonia das Malhas de Controle

Após serem calculados os parâmetros das malhas de controle, foram determinados os algoritmos de controle em função das características do processo (CARRETONI,2005). O algoritmo de controle foi determinado pela relação RC/TM, ou seja, a relação constante de tempo real (RC) pelo tempo morto (TM). No caso da planta piloto é 20,9 e com isso seguindo a sugestão de BHALY (Tabela 2) encontra-se o algoritmo ON/OFF, porém sabendo que este tipo de controle mantém um erro entre o SP e a PV foi escolhido um algoritmo PI.

Tabela 2: Sugestão de Algoritmo de Controle – BHALY.

Sugestão de Algoritmo de Controle para Processos Auto-Regulados						
Algoritmo	SDC	MM	PID	PI	P	ON/OFF
RC/TM	até 1	1 à 2	2 à 5	5 à 10	10 à 20	acima de 20
Descrição dos Algoritmos						
SDC - Sistemas Digitais de Controle						
MM - Controle por Multi-Malhas						
PID - Controle Proporcional+Integral+Derivativo						
PI - Controle Proporcional+Integral						
P - Controle Proporcional						
ON/OFF - Controle Tudo ou Nada						

Foi utilizado o método de sintonia, Ziegler e Nichols - Malha Aberta - para calcular os parâmetros Proporcional (Kp) e Integral (Ti) para o controlador, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Métodos de Sintonia – Controlador PID Misto.

Método de Sintonia - Controlador Misto Ziegler e Nichols (Malha Aberta)		
Malha de Controle de Tempetura - Planta Piloto		
Algoritmo	**Kp**	**Ti**
PI	Kp=(0,9/Gs)*(RC/TM)	Ti=3,33*TM
	Kp = 27,25	**Ti = 39,96**
Malha de Controle de Fluxo - Planta Industrial		
Algoritmo	**Kp**	**Ti**
PI	Kp=(0,9/Gs)*(RC/TM)	Ti=3,33*TM
	Kp = 0,118	**Ti = 0,277**

Análise Estatística

A capabilidade do processo (TRIOLA,2005), ou seja, a probabilidade de gerar defeitos foi medida em nível 6-$\tilde{\sigma}$ De uma maneira geral, altos valores de capabilidade (representada por Z) refletem em menores variabilidades de processo.

Análise estatística da Planta Piloto não otimizada

A malha de temperatura apresentava uma variabilidade alta estando em controle automático com os parâmetros iniciais do controlador, conforme mostrado no gráfico de tendência do comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP (valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 7. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 0,28, tem-se: Z = 2,34.

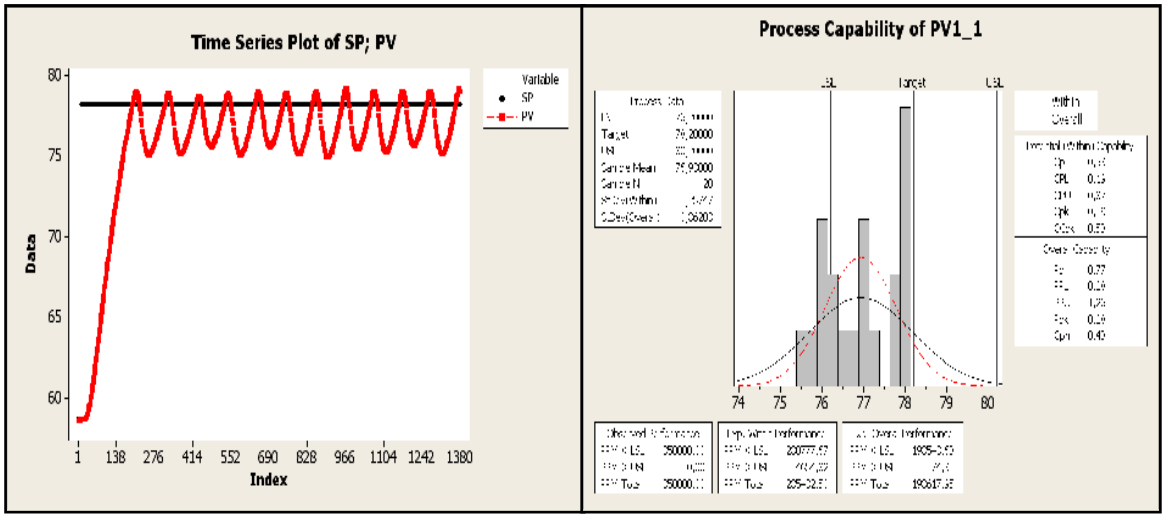


Figura 7. Planta piloto não otimizada.

Análise estatística da Planta Piloto otimizada

Após a sintonia descrita anteriormente, a malha de temperatura apresentou um pequeno sobre-sinal e uma variabilidade praticamente nula com o controle automático, mostrado no gráfico de tendência do Comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP(valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), na figura 8. Neste caso, a capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 12,75 tem-se: Z = 39,75.

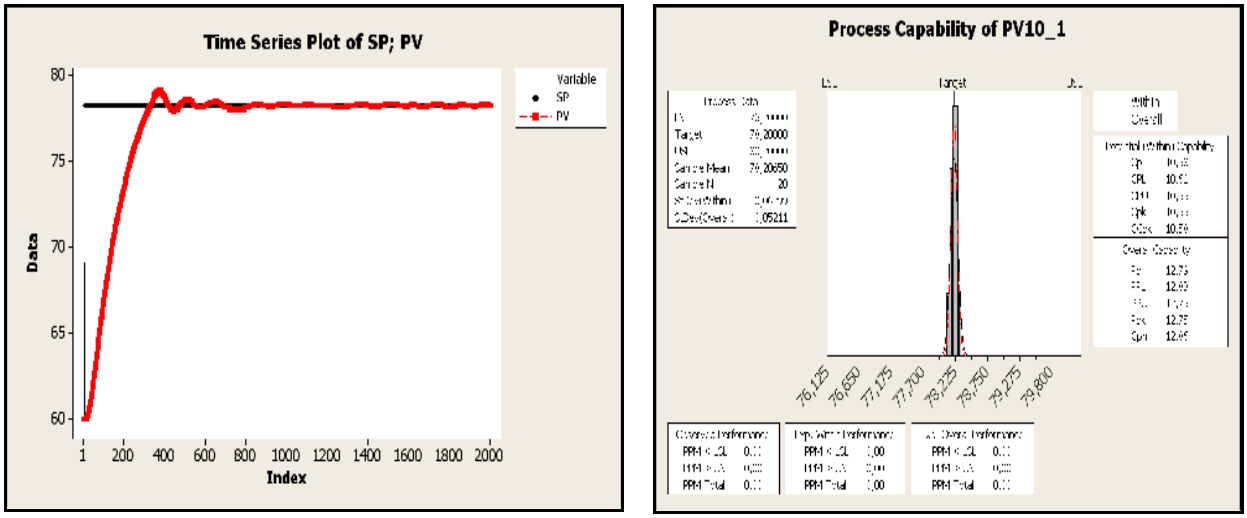


Figura 8. Planta piloto otimizada.

Análise estatística da malha de controle de fluxo de refugo não otimizada

A malha de fluxo de refugo apresentava uma variabilidade muito alta quando em controle automático com os parâmetros iniciais e utilizados até então no controlador, conforme mostra o gráfico de tendência do comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP (valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 9. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 0,00 tem-se: Z = 1,50.

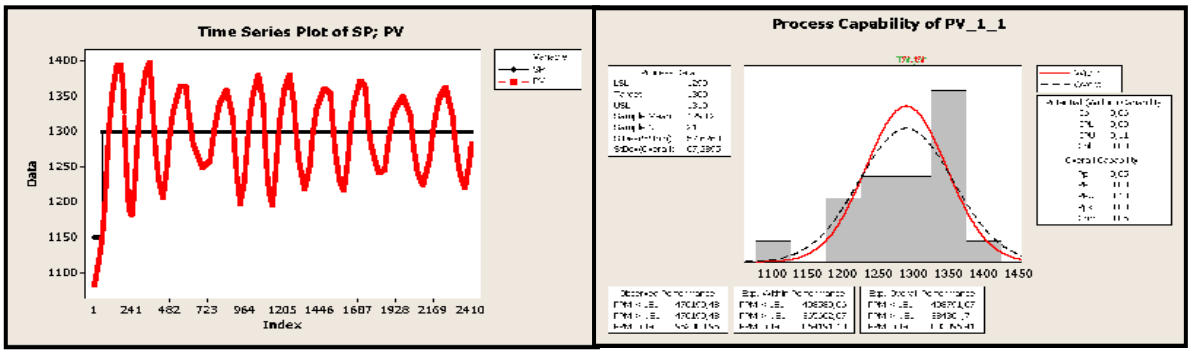


Figura 9. Controle de fluxo de refugo não otimizado.

Análise da Malha de Controle de Fluxo de Refugo otimizada

A malha de fluxo de refugo, após a sintonia do controlador com o uso do método apresentado teve um pequeno sobre-sinal e uma variabilidade pequena com o controle automático, conforme mostrado no gráfico de tendência do comportamento da PV(variável de processo) em relação ao SP(valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 10. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 2,70 tem-se: Z = 9,60.

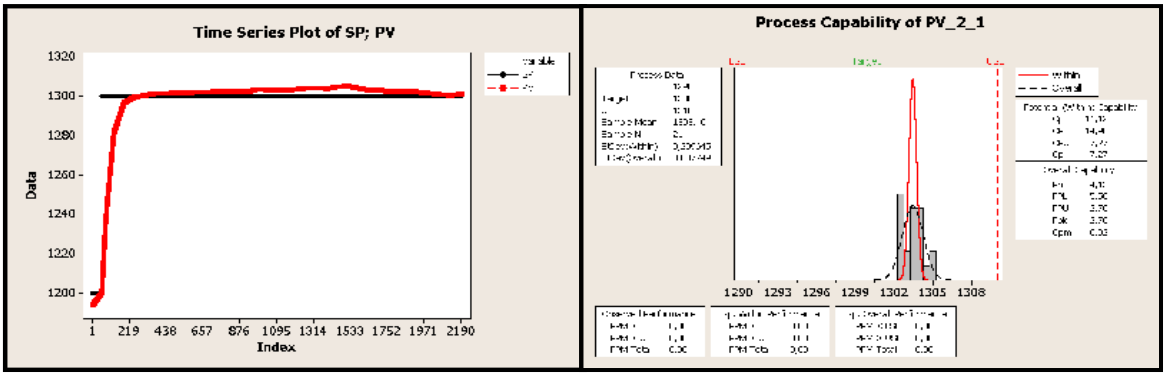


Figura 10. Controle de fluxo de refugo otimizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas utilizadas para determinação dos parâmetros da malha de controle de temperatura da Planta Piloto e o Método de Sintonia Ziegler e Nichols, mostraram-se eficazes e de fácil aplicação para otimização de malhas de controle. Outra ferramenta versátil é o MINITAB, pois, após a otimização das malhas de controle foram calculadas as capabilidades dos processos que representam o seu nível 6-σ. Com isso, a variabilidade das malhas pode ser monitorada, realizando a aquisição de dados em regime estacionário e analisando o intervalo adquirido no MINITAB para determinar a nova capabilidade e comparar com o nível 6-σ padrão da malha (PEZEIRO,2005).

A metodologia utilizada para otimização e controle das malhas em questão mostrou ser eficiente com as ferramentas adotadas para sintonia dos controladores PID, obtendo-se capabilidades da ordem de 39,75 para a planta piloto otimizada e 9,60 para a malha de controle de fluxo, após a otimização. O destaque deste projeto foi o sucesso das ferramentas utilizadas primeiramente para teste na Planta Piloto e posteriormente numa Planta Industrial, onde a malha de controle de fluxo de refugo estava com uma variabilidade alta que praticamente foi anulada com a utilização das ferramentas estudadas e aplicadas na sintonia do Controlador PID.

Outro fator importante é que a otimização da malha de fluxo de refugo permitiu gerar uma estabilidade no processo onde está inserida e, também, um melhor controle na quantidade de resíduos sólidos oriundos do refugo que eram descartados pela água

do processo. Na prática, após a implementação do controle otimizado, a melhoria mais significativa foi na redução de efluente de processo de fabricação de papel que é descartado na ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), reduzindo-se custos e diminuindo-se o impacto no meio ambiente, de acordo com os padrões exigidos pela política de 3R implementada na empresa (RICKLEFS,1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRETONI Jr, E. **Controle Automático de Processo**. Campinas: SENAI, 2005.

FONSECA, Marcos de O.;SILVA,Constantino;TORRES, Bernardo S. **Avaliação de desempenho e auditoria de malhas de controle**.Revista INTECH Brasil , ISA Distrito 4, Número 63, 2005, p. 32-37.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1982.

PEZEIRO, A. **Treinamento Green Belts Industrial**. São Paulo: SGV - Votorantim, 2005.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza.** Rio de Janeiro, Guanabara, 1996.

STRIEDER, A.; SCHUCH, C.M. **EDUFLUID – Software para o ensino de medição de vazão por perda de carga através de Tubo Venturi**. Revista Ciência e Tecnologia, Ano VII, n°13, 2005, p. 111-116.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

UMA CONTRIBUIÇÃO À UNIFICAÇÃO DA TEORIA QUÂNTICA COM A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

A Contribution to the Unification of quantum Theory and the Special Relativity

Ricardo Ferreira ARANTES
Universidade Paulista

Rodrigo Gontijo de ALVARENGA
Faculdade de Jaguariúna

Resumo: Este estudo teórico é uma contribuição aos esforços de unificação da teoria Quântica com a Relatividade Especial. Partindo do estudo do movimento unidimensional de uma partícula livre e das suas funções de onda, após modificações matemáticas, quatro novas funções foram identificadas. Essas, além de solucionarem a equação de Schroedinger apresentaram produtos relacionados com a correção relativística de Einstein. Isto permitiu convergir em uma equação que unifica as duas citadas teorias.

Palavras-chave: Quântica, Relatividade, Unificação

Abstract: This theorical study is a contribution to the efforts' unification of Quantum and Special Relativity theories. Starting of study of the unidimentional movement of a free particle and their wave functions, and after mathematical modifications, four new functions were identificated. These are Schroedinger solutions and shows products relations with the Einstein relativistic correction. This allows to converge in a new equation that unify both theories.

Keywords: Quantum, Relativity, Unification

INTRODUÇÃO

Considerações iniciais sobre a Quântica

Sabemos da Teoria Quântica que as possíveis soluções da equação de Schroedinger são do tipo funções de onda complexo-conjugadas ψ e ψ^* quaisquer, desde que satisfaçam, entre outras, às seguintes condições e restrições:

a) O tratamento dado às ondas-partículas, ao menos usando-se a equação de De Broglie ou a de Schroedinger, não é relativístico[1];
b) A Energia Potencial[2], V ou simplesmente Potencial V(x,t) envolvido no problema é uma grandeza física escalar e real. E no caso de uma partícula livre, o potencial V deverá ser constante;
c) A função $\Psi(x,t)$ que satisfaz a equação de Schroedinger pode ser obtida de combinações lineares de diferentes outras soluções;
d) O produto $\Psi\,\Psi^*$ é igual a *densidade de probabilidade* P(x,t), sendo esta última caracterizada por um número positivo e real[3].

Estas condições são usualmente empregadas na dedução da Equação de Schroedinger[4]:

$$\frac{-\hbar^2}{2m}.\frac{\partial^2\Psi\ (x,t)}{\partial x^2}+V(x,t)\cdot\Psi(x,t)-i\hbar\frac{\partial\Psi\ (x,t)}{\partial t}=0 \qquad (1)$$

cujo estudo no caso particular de funções de ondas associadas a partículas livres[5], leva a soluções do tipo combinações lineares de cossenóides, tais como:

$$\Psi=\cos(kx-wt)+i.sen(kx-wt) \qquad (2)$$

$$\Psi^*=\cos(kx-wt)-i.sen(kx-wt) \qquad (3)$$

Sendo:

---

[1] Devem ser consistentes com os postulados de De Broglie-Einstein: $\lambda = h/p$ e $\nu = E/h$ onde: λ é o comprimento de onda associada a partícula, *p* é a quantidade de movimento da partícula, ν é a freqüência da onda , *E* é a energia e *h* a constante de Planck.

[2] Satisfaz a relação $E=\frac{p^2}{2m}+V$, onde m é a massa da partícula associada a onda.

[3] Postulado enunciado pela primeira vez em 1926 por Max Born, segundo Eisberg & Resnick.

[4] SCHROEDINGER (1926) e EISBERG & RESNICK (1988, P174 a P179).

[5] Por simplicidade didática e matemática, generaliza-se o uso da equação de Schroedinger para os casos de partículas *não livres*, sem maiores deduções e através de postulados, baseados em experimentações, conforme indicado em Eisberg & Resnick.

k : *vetor de onda* (para 2 ou mais dimensões) é um valor associado ao *número de onda angular* e sua unidade é o inverso do comprimento (m^{-1}).

w : a *freqüência angular* com unidade de radianos por segundo (*rad/s*).

m : a massa da partícula associada a função de onda.

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$: uma relação com a constante de Planck (h).

Note que o "ângulo" em radianos corresponde a fase de uma onda progressiva ou regressiva, conforme o sinal negativo (-) ou positivo (+) usado em:

$\theta = (kx - wt)$ (progressiva)

$\theta = (kx + wt)$ (regressiva ou retrógrada) (4)

A combinação linear das ondas ocorre de forma construtiva e/ou destrutiva, conforme a interferência das ondas progressivas ou regressivas a partir de um mesmo referencial de observação.

Demonstra-se facilmente pelo tipo de equações em (2) e (3) das soluções complexo-conjugadas que o produto entre elas é sempre um valor unitário, independente do "ângulo" ou "fase" da onda:

$$\Psi\ \Psi^* = \cos^2\theta + \text{sen}^2\theta = 1 \quad (5)$$

Entretanto, a *densidade de probabilidade*, segundo Born, ao ser integrada ao longo de uma direção ***x*** qualquer, independentemente do tipo de função de onda usada, deve resultar em um valor *unitário* para que exista uma partícula associada à essa função de onda, ou seja:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P(x,t)\cdot dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\ \Psi^* \cdot dx = 1 \quad (6)$$

Por outro lado, se existir a partícula associada, então a probabilidade de localizá-la entre as coordenadas ***x*** e ***x+dx*** num dado instante ***t*** poderá ser obtida pelo produto da *densidade de probabilidade* pelo intervalo de espaço ***dx*** :

$$P(x,t)\cdot dx = \Psi\ \Psi^{*}\cdot dx \qquad (7)$$

E similar à equação (6), a integração da equação (7) no intervalo **dx** também deverá ser unitária, ou seja:

$$\int_{x}^{x+dx} P(x,t)\cdot dx = \int_{x}^{x+dx} \Psi\ \Psi^{*}\cdot dx = 1 \qquad (8)$$

Assim, pela equação (5) e (8) conclui-se que as funções de onda complexo-conjugadas conduzem à uma *normalização* do espaço-tempo em que ocorre a observação ou medição da relação dual onda-partícula, de forma a preservar o princípio da incerteza de Heisenberg e a correspondência entre a mecânica quântica e a clássica. Comparando as equações (5) e (7) podemos definir a *Relação de Probabilidade Unitária* ou *Normalizada* dada por:

$$P(x,t) = \Psi\ \Psi^{*} = 1 \qquad (9)$$

CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A RELATIVIDADE

A Física teórica do século XIX era fundamentada nas equações de Newton, de Maxwell e nas transformações de Galileu, sendo explicado que os fenômenos mecânicos eram equivalentes entre sistemas de referências com movimentos relativos e uniformes uns aos outros. Entretanto, quando se falava em fenômenos eletromagnéticos, eles não eram equivalentes e havia um único referencial, o éter, no qual a velocidade da luz era constante e com valor em módulo igual a *c* (3.10^{+8} m/s). Em 1887 a experiência de Michelson-Morley descartou a possibilidade de um éter como sistema de referência privilegiado ou especial, e evidenciou o que atualmente é

aceito: *a velocidade da luz no vácuo independe do movimento do observador e do movimento da fonte.*[6]

Porém, em 1905, Albert Einstein revolucionou a Física através da teoria da Relatividade na qual definitivamente abandonava-se o conceito de éter e aceitava-se a velocidade da luz como constante e igual a *c*. Novos conceitos foram acrescentados: o de *simultaneidade*[7], o de *sincronicidade*[8] e *não-localidades*[9] a eventos físicos medidos em sistemas referenciais distintos.

Experiências imaginárias[10] idealizadas por Einstein foram utilizadas para exemplificar a nova teoria e as definições sobre *tempo-próprio*, *comprimento-próprio* que conduziam às novas percepções de *contração* e *dilatação* do espaço-tempo quando medidas por observadores situados em dois sistemas de referência: um móvel (S'x'y'z') em relação a outro fixo (Sxyz). Os efeitos de contração do espaço, também conhecido como *contração de Lorentz*[11], e de dilatação do tempo formavam a base das equações de transformação de variáveis espaço-tempo da relatividade de Einstein:

---

[6] EISBERG & RESNICK (PP834).

[7] Eventos físicos que acontecem em espaço-tempo distintos são simultâneos se compartilharem de alguma característica de mesma sincronicidade.

[8] Conceito geralmente associado a um tipo de sinal-luminoso que é observado ao mesmo tempo no ponto médio geométrico de dois observadores espacialmente separados, ou seja, situados em suas posições x_1 e x_2 distintas.

[9] Eventos físicos que ocorrem em locais distintos no espaço-tempo.

[10] *Gedanken experiment* em alemão ou *thought experiment* em Inglês, segundo EISBERG & RESNICK (PP835).

[11] KRAUS & CARVER (PP721).

Tabela 1 – Equações das transformações 3D de coordenadas entre os sistemas de referência S em repouso e S' em movimento na direção do eixo x.

Transformação 3D de Lorentz	
Sistema S' para S	**Sistema S para S'**
$x = \gamma(x'+vt')$	$x' = \gamma(x - vt)$
$y = y'$	$y' = y$
$z = z'$	$z' = z$
$t = \gamma(t'+\frac{v}{c^2}x')$	$t' = \gamma(t - \frac{v}{c^2}x)$

Assim, as dimensões observadas **x** e **x'** em cada sistema passaram a ser corrigidas por um fator adimensional γ de correção relativística[12] proporcional à velocidade relativa **v** entre os sistemas móvel e fixo, dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (10)$$

Aonde:

v: é a velocidade constante do sistema em movimento (referencial S'x'y'z')

em relação ao fixo (referencial Sxyz).

c: é a velocidade limite de um sistema (partícula) em movimento.

Quanto aos efeitos sobre a massa e a energia dos sistemas (partículas) em movimento, isso também foi objeto de estudo da teoria da Relatividade e resultou na *Mecânica Relativística*. Esta última explorou os conceitos de *massa de repouso* e *massa relativística* bem como estabeleceu um novo princípio, o de conservação da *energia relativística total* em sistemas isolados.

[12] EINSTEIN (1905).

Unificando os conceitos

As equações desenvolvidas pelos físicos buscam atingir uma unidade ao representar os fenômenos da natureza, ou seja, elas não devem sofrer grandes mudanças, por exemplo, quando "migramos" de um sistema de referência fixo para outro móvel, nem quando saímos das micro-dimensões para as macro-dimensões[13].

Dentro de um princípio de equivalência é aceito que as equações-postulados de De Broglie e de Einstein devem permanecer as mesmas tanto para macro quanto para micro-sistemas, apesar de não sermos necessariamente capazes de observar os efeitos ou fenômenos da natureza quântica em macro-sistemas.

Da mesma forma, a dualidade onda-partícula também permanece válida para micro ou macro-sistemas, a despeito de nossas incapacidades observacionais.

Embora seja difícil afirmar que uma correlação entre a quântica e a relatividade[14], aparentemente desconexas em seus princípios científicos, converta-se em um novo paradigma, senão por deficiências: observacional, experimental ou tecnológica, pelo menos em termos teóricos será exatamente o propósito deste trabalho.

Esta proposta de um novo paradigma parte do princípio de equivalência entre macro e micro sistemas e baseia-se na idéia de que "*a natureza é uma só*", ou seja, que ela existe fenomenologicamente em um *continuum* entre micro e macro dimensões espaço-temporais. Portanto, partindo das funções de onda associadas ao movimento de uma partícula livre, após algumas modificações e estendendo os limites de velocidade da teoria quântica aos domínios relativísticos, acreditamos ter atingindo a *unificação* das duas teorias (quântica e relativística), como será demonstrado à seguir.

---

[13] Essa afirmação é dentro de um contexto puramente mecanicista ou cinemático. Logicamente há diversos efeitos que são potencializados no mundo micro em relacão ao macro e vice-versa, existindo sim, diferenças fenomenológicas. Um exemplo são os efeitos da própria microgravidade quando comparados com os da macrogravidade.

[14] Ver nossas considerações iniciais sobre a Quântica e sobre a Relatividade.

MODIFICANDO E COMPREENDENDO AS FUNÇÕES DE ONDA

As equações (2), (3) e (4) combinadas nas funções de ondas associadas a uma partícula com movimento unidimensional e velocidade **v** constante, podem ser resumidas como:

$$\Psi = \cos\theta + i.\mathrm{sen}\theta \tag{11}$$

$$\Psi^{*} = \cos\theta - i.\mathrm{sen}\theta \tag{12}$$

Lembrando que na relatividade, a relação entre a velocidade do movimento unidimensional de um corpo ou partícula se movendo com velocidade constante **v** e o limite das velocidades, ou seja **c**, é uma razão atribuída a uma tangente trigonométrica de um ângulo, geralmente associado aos eixos espaço-tempo S e S' entre os sistemas referenciais fixo e móvel adotados no estudo do movimento, temos:

$$\tan\theta = \frac{\mathrm{sen}\theta}{\cos\theta} = \frac{v}{c} \tag{13}$$

Desta forma, as equações (11) e (12) ficam:

$$\Psi = \cos\theta \cdot (1 + i.\tan\theta) = \cos\theta \cdot (1 + i \cdot \frac{v}{c}) \tag{14}$$

$$\Psi^{*} = \cos\theta \cdot (1 - i.\tan\theta) = \cos\theta \cdot (1 - i \cdot \frac{v}{c}) \tag{15}$$

Portanto, com as modificações sugeridas, observa-se que as funções de onda são na realidade projeções de dois vetores espaço-temporais funções complexo-conjugados, dentro de um sistema referencial 3D ou 4D relativístico, a saber:

$$\psi_{+} = (1 + i \cdot \frac{v}{c}) \tag{16}$$

$$\psi_{+}^{*} = (1 - i \cdot \frac{v}{c}) \tag{17}$$

E o produto entre os vetores funções complexo-conjugados será dado por:

$$\psi_+ \cdot \psi_+^* = (1+i\cdot\frac{v}{c})\cdot(1-i\cdot\frac{v}{c}) = (1-i^2\cdot\frac{v^2}{c^2}) = (1+\frac{v^2}{c^2}) \quad (18)$$

As projeções dos vetores no sistema 3D relativístico

À partir da equação (16) e (17) substituindo nas equações (14) e (15) encontramos:

$$\Psi = \cos\theta\cdot\psi_+ \quad (19)$$

$$\Psi^* = \cos\theta\cdot\psi_+^* \quad (20)$$

E sabendo que o produto das funções de ondas deve ser unitário, conforme indicado na equação (9), juntando as equações (18), (19) e (20) temos:

$$\Psi\cdot\Psi^* = \cos^2\theta\cdot\psi_+\cdot\psi_+^* = \cos^2\theta\cdot(1+\frac{v^2}{c^2}) = 1 \quad (21)$$

Logo, a equação (21) será satisfeita caso em um sistema relativístico referencial 3D tivermos:

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{(1+\frac{v^2}{c^2})}} \quad (22)$$

Com os conhecimentos das relações trigonométricas de funções circulares sabemos que a equação (22) é correta se a relação **tan θ → v/c** for válida.

As projeções dos vetores no sistema 4D relativístico

Por outro lado, se considerarmos um sistema relativístico referencial 4D, o eixo *ct* será trocado por um eixo *imaginário* (*ct.**i***) e as relações trigonométricas deverão ser substituídas por relações hiperbólicas, desta forma podemos reescrever a equação (22) como :

$$\cosh(\theta_i) = \frac{1}{\sqrt{(1+\frac{v^2}{c^2}i^2)}} \quad \text{ou} \quad \cosh(\theta_i) = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}} \tag{23}$$

Se a relação **tanh(θi) → i.v/c** for válida, a equação (23) estará correta. O mesmo se aplica se efetuarmos a sua substituição na relação da equação (21):

$$\Psi \cdot \Psi^* = \cosh^2(\theta_i) \cdot \psi_+ \cdot \psi_+^* = \frac{(1+\frac{v^2}{c^2})}{(1-\frac{v^2}{c^2})} = 1 \tag{24}$$

A relação da equação (24) é uma relação conhecida pelos estudiosos da relatividade nos diagramas de Minkowiski[15] como sendo a relação entre os comprimentos x'_0 e x_0 da mesma "norma" ou "comprimento-próprio" visto em cada sistema de referência S' e S. Então, eles podem ser considerados iguais e com relação de razão unitária, ou seja:

$$\frac{x'_0}{x_0} = \sqrt{\frac{1+\frac{v^2}{c^2}}{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 1 \tag{25}$$

As novas funções de onda:

Os vetores funções das equações (16) e (17) são complexo-conjugados e junto com os seus respectivos simétricos forneceram meios para que encontrássemos 4 funções de ondas especialmente "projetadas" [16] , a saber:

---

[15] KRAUS & CARVER (PP719).

[16] Por simplificação de notação faremos:

$\Psi_K = \Psi_K(x,t)$, $\Psi_K^* = \Psi_K^*(x,t)$, $\Psi_{KK} = \Psi_{KK}(x,t)$ e $\Psi_{KK}^* = \Psi_{KK}^*(x,t)$

$$\Psi_K = \left(-i - i\frac{v}{c} \right) \tag{26}$$

$$\Psi_K^* = \left(i - i\frac{v}{c} \right) \tag{27}$$

$$\Psi_{KK} = \left(-i + i\frac{v}{c} \right) \tag{28}$$

$$\Psi_{KK}^* = \left(i + i\frac{v}{c} \right) \tag{29}$$

Essas 4 funções projetadas nos permitiram encontrar o equacionamento de unificação das teorias quântica e relativística, através do estudo do movimento unidimensional de uma partícula livre, conforme veremos adiante.

A localização das funções

As 4 novas funções obtidas à partir do nosso estudo do movimento unidimensional de uma partícula livre podem ser localizadas sobre um sistema de coordenadas baseado em dois e não apenas um eixo imaginário, ou seja, um plano bi-complexo ortogonal e perpendicular a um eixo real.

A este espaço demos o nome de Espaço Tri-ortogonal Bi-complexo e nele as 4 funções de ondas ficam como mostrado na Figura 1.

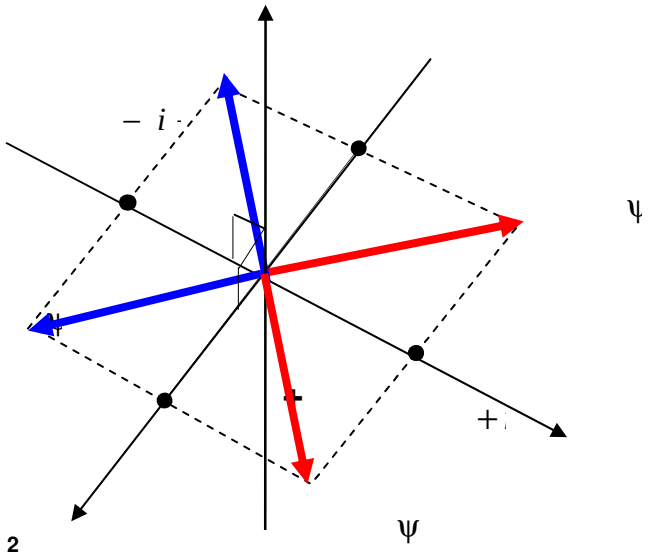


Figura 1. As 4 funções e suas respectivas localizações em um Espaço Tri-ortonogonal Bi-complexo, sendo I_1 e I_2 os eixos imaginários e R o eixo real.

O ENFOQUE QUÂNTICO

Aplicando cada uma das funções à equação (1) de Schroedinger obtemos as soluções mostradas na tabela 2. Essas funções são baseadas no movimento unidimensional de uma partícula livre com velocidade constante dada pela relação **v**= x/t.

Geralmente, ao se solucionar a equação de Schroedinger obtêm-se um Potencial escalar, real e constante chamado de V(x,t).

Entretanto, as novas soluções indicam que os Potenciais encontrados são energias, porém de natureza complexa.

Tabela 2 – Potenciais complexos V(x,t) encontrados com as funções de onda aplicadas na equação de Schroedinger.

Funções de Onda	**Potenciais Complexos**
$\Psi_K = -i\cdot\left(1+\frac{x}{ct}\right)$	$V(x,t)=\frac{i.\hbar x}{t(ct+x)}$
$\Psi_K^* = +i\cdot\left(1-\frac{x}{ct}\right)$	$V(x,t)=\frac{i.\hbar x}{t(ct-x)}$
$\Psi_{KK} = -i\cdot\left(1-\frac{x}{ct}\right)$	$V(x,t)=\frac{-i.\hbar x}{t(ct-x)}$
$\Psi_{KK}^* = +i\cdot\left(1+\frac{x}{ct}\right)$	$V(x,t)=\frac{-i.\hbar x}{t(ct+x)}$

Além disso, uma das condições iniciais da quântica é que as possíveis soluções da equação de Schroedinger também satisfaçam a relação de conservação da energia total E, dada por:

$$E=\frac{p^2}{2m}+V(x,t) \qquad (30)$$

onde:

p : é o momento linear da partícula livre.

A primeira parcela da soma da equação (30) é conhecida como energia cinética da partícula, sendo esta uma quantia real dada por:

$$K(v)=\frac{p^2}{2m} \qquad (31)$$

Desta forma, podendo o potencial V(x,t) ser uma quantia complexa, concluímos que a energia total E também pode ser complexa.

O ENFOQUE RELATIVÍSTICO

Até hoje, dentro da visão quântica, o produto de funções complexo-conjugadas do tipo $\Psi\ \Psi^*$ deve ser unitário, conforme visto nas equações (5), (9), (21) e (24).

Com as 4 novas funções propostas podemos gerar até 6 produtos, já que elas são todas funções complexo-conjugadas entre si, como mostrado a seguir:

1º. Produto $\Psi_K.\Psi_K^*$

$$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = \left(-i - i\frac{v}{c}\right)\cdot\left(i - i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = -i^2 + \frac{v}{c}i^2 - \frac{v}{c}i^2 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = 1 - \frac{v^2}{c^2} \qquad (32)$$

2º. Produto $\Psi_{KK}.\Psi_{KK}^*$

$$\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^* = \left(-i + i\frac{v}{c}\right)\cdot\left(i + i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^* = 1 + \frac{v}{c} - \frac{v}{c} - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^* = 1 - \frac{v^2}{c^2} \qquad (33)$$

Observe que o resultado dos produtos das funções acima apresentados nas equações (32) e (33) são todos iguais, apesar de serem produtos de pares de funções distintas. Comparando esses resultados com a equação (10) notamos que aí surge a correlação entre as funções quânticas e o fator de correção relativística γ, como será mostrado na tabela 3. Por enquanto, vamos continuar demonstrando os outros produtos com as funções restantes.

3º. Produto $\Psi_K.\Psi_{KK}$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK} = \left(-i - i\frac{v}{c}\right) \cdot \left(-i + i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK} = -1 + \frac{v}{c} - \frac{v}{c} + \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK} = -1 + \frac{v^2}{c^2} \qquad (34)$$

4º. Produto $\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^*$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^* = \left(+i - i\frac{v}{c}\right) \cdot \left(i + i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^* = -1 - \frac{v}{c} + \frac{v}{c} + \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^* = -1 + \frac{v^2}{c^2} \qquad (35)$$

5º. Produto $\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^*$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^* = \left(-i - i\frac{v}{c}\right) \cdot \left(i + i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^* = 1 + \frac{v}{c} + \frac{v}{c} + \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^* = \left(1 + \frac{v}{c}\right)^2 \qquad (36)$$

6º. Produto $\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK} = \left(+i - i\frac{v}{c}\right) \cdot \left(-i + i\frac{v}{c}\right)$$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK} = 1 - \frac{v}{c} - \frac{v}{c} + \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK} = \left(1 - \frac{v}{c}\right)^2 \qquad (37)$$

Finalmente, podemos resumir o resultado dos produtos em função do fator de correção relativístico $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, como na Tabela 3.

Tabela 3 – Os resultados dos produtos em função do fator relativístico γ.

	Resultado dos produtos	**Resultados do produtos em função de γ**
1º. Produto	$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = 1-\frac{v^2}{c^2}$	$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = +\frac{1}{\gamma^2}$
2º. Produto	$\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^* = 1-\frac{v^2}{c^2}$	$\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^* = +\frac{1}{\gamma^2}$
3º. Produto	$\Psi_K \cdot \Psi_{KK} = -1+\frac{v^2}{c^2}$	$\Psi_K \cdot \Psi_{KK} = -\frac{1}{\gamma^2}$
4º. Produto	$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^* = -1+\frac{v^2}{c^2}$	$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK}^* = -\frac{1}{\gamma^2}$
5º. Produto	$\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^* = \left(1+\frac{v}{c}\right)^2$	$\Psi_K \cdot \Psi_{KK}^* = \left(1+\frac{v}{c}\right)^2$
6º. Produto	$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK} = \left(1-\frac{v}{c}\right)^2$	$\Psi_K^* \cdot \Psi_{KK} = \left(1-\frac{v}{c}\right)^2$

Desta forma, fica evidenciado que a relatividade poder ser correlacionada com as novas funções quânticas e que os nossos 6 produtos geram a unicidade prevista em baixas velocidades. Aparentemente, isso está bem caracterizado para os 1º.e 2º. Produtos, pois são funções simétricas em relação ao eixo imaginário I_1. Porém, apesar do sinal negativo, também vale para os 3º.e 4º. Produtos que são simétricos em relação ao eixo imaginário I_2, conforme visto na figura 1.

O fato dos 3º.e 4º. Produtos apresentarem um sinal negativo é uma novidade ainda a ser mais bem compreendida, a simetria ocorre em relação ao eixo I_2 que foi especialmente criado para gerar o plano bi-complexo neste estudo.

Já os 5º.e 6º. Produtos apenas se mostrarão correlacionados com o fator γ quando multiplicados entre si, por serem simétricos em relação à origem (ver a figura 1) e conforme mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedade comutativa entre os produtos das 4 novas funções.

1º. Produto X **2º. Produto**	
$\left(\Psi_K.\Psi_K^*\right).\left(\Psi_{KK}.\Psi_{KK}^*\right)=\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^2$ Ou $\left(\Psi_K.\Psi_K^*\right).\left(\Psi_{KK}.\Psi_{KK}^*\right)=\frac{1}{\gamma^4}$	
3º. Produto X **4º. Produto**	**5º. Produto** X **6º. Produto**
$\left(\Psi_K.\Psi_{KK}\right).\left(\Psi_K^*.\Psi_{KK}^*\right)=\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^2$ ou $\left(\Psi_K.\Psi_{KK}\right).\left(\Psi_K^*.\Psi_{KK}^*\right)=\frac{1}{\gamma^4}$	$\left(\Psi_K.\Psi_{KK}\right).\left(\Psi_K^*.\Psi_{KK}^*\right)=\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^2$ ou $\left(\Psi_K.\Psi_{KK}\right).\left(\Psi_K^*.\Psi_{KK}^*\right)=\frac{1}{\gamma^4}$

Note que o produto de todas elas fornece sempre o inverso da quarta potência do fator γ, isso era de se esperar, pois trabalhamos com eixos complexos. Logo, essas funções se comportam como soluções de uma equação de 4º.Grau[17], ou seja, são como raízes reais ou complexas aos pares (conjugadas) quando a velocidade **v** tende ao limite **c**:

[17] De acordo com as relações de Girard, um polinômio de grau maior que 2 pode ser fatorado em suas raízes. O produto delas é igual ao termo independente do polinômio com o sinal igual a $(-1)^{grau}$.

$$\frac{1}{\gamma^4}=\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^2=1-2\frac{v^2}{c^2}+\frac{v^4}{c^4} \qquad (38)$$

A EQUAÇÃO DE UNIFICAÇÃO ENTRE A QUÂNTICA E A RELATIVIDADE

O 1º. e o 2º. Produtos, simétricos em relação ao eixo imaginário I_1, são especiais, pois eles naturalmente geram a relação que unifica as teorias quântica e relativística.

Note que não importa se o produto ocorre entre $\Psi_K \cdot \Psi_K^*$ ou entre $\Psi_{KK} \cdot \Psi_{KK}^*$, a equação é sempre a mesma, assim, à partir da tabela 3, podemos escrever :

$$\Psi_K \cdot \Psi_K^* = 1-\frac{v^2}{c^2}=\frac{1}{\gamma^2} \qquad (39)$$

Acreditamos que a relação fornecida pela equação (39) possa ser extrapolada para outros pares de funções soluções, que sejam complexo-conjugados entre si.

Então, reescrevendo genericamente a equação (39), obtemos a equação unificadora abaixo:

$$\underbrace{\Psi.\Psi^*}_{\text{Fator Quântico}} \;.\; \underbrace{\gamma^2}_{\text{Fator } \textit{R}\text{elativístico}} = 1 \qquad (40)$$

Nesta equação, observamos os fatores Quântico (probabilístico) e Relativístico (determinista) correlacionados por meio de um produto cujo resultado é a unidade. Esse produto pode ser interpretado graficamente através de uma *hipérbole*, tal qual a Figura 2.

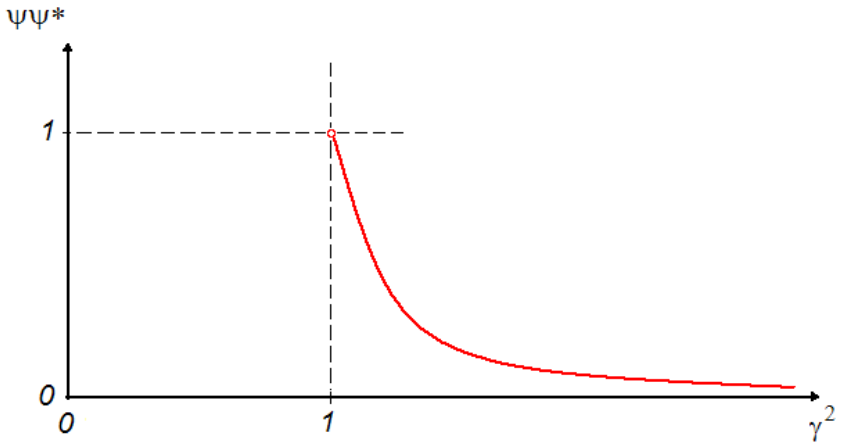


Figura 2. A hipérbole quantum-relativística.

O Fator Quântico que é probabilístico, apresenta valores entre 0 e 1, já o Fator Relativístico que é determinístico, apresenta valores entre 1 e ∞ (infinito), conforme a velocidade **v** da onda-partícula.

Assim, quando a velocidade (v) de uma onda-partícula se aproxima da velocidade limite de propagação (c), ou seja **v**/**c** → 1, o Fator quântico[18] tende a zero, enquanto que o Fator Relativístico tende ao infinito. Por outro lado, quando a velocidade (v) da partícula tende a um valor muito baixo, ou seja **v**/**c** → 0, o Fator quântico tende a 1, enquanto que o Fator Relativístico também tende a 1, como observamos na Figura 3.

[18] Que está relacionada à probabilidade de se localizar uma partícula associada a uma onda.

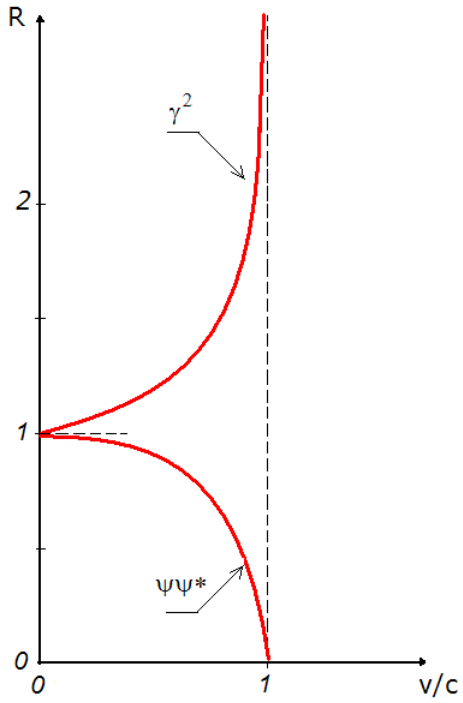


Figura 3. A relação entre os fatores e a velocidade da onda.

De uma maneira simples, podemos dizer que:

- quanto mais baixa for a velocidade v, maior será a probabilidade de localização da partícula e menores serão as suas características relativísticas;
- quanto maior for a velocidade v, menor será a probabilidade de localizar a partícula e maiores serão as suas características relativísticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditamos que este trabalho cumpriu a sua meta em apresentar uma possível unificação entre as teorias Quântica e Relativística, pelo menos, em uma primeira abordagem unidimensional e estritamente teórica.

Essa unificação partiu do princípio de equivalência entre macro e micro sistemas, baseando-se na idéia de que "*a natureza é uma só*" e que fenomenologicamente a mesma deva existir em um *continuum* entre as dimensões espaço-temporais. Isto fez com que a partir de algumas modificações matemáticas nas

funções de onda, percebêssemos o caráter hiperbólico inerente ao produto entre fatores por nós identificados e denominados como quântico e relativístico.

O produto entre esses fatores preserva a *Unicidade* fenomenológica da natureza, através da correta compreensão e junção das visões: *Probabilista* e *Determinista*.

Pelo menos, podemos imaginar que ocorre uma quebra de velhos conceitos quando a *Unicidade* evidencia a compatibilidade e complementaridade das, até então ditas desconexas, características de efeitos probabilísticos e determinísticos da natureza.

Há ainda muito a ser feito em termos de experimentos e desenvolvimentos, porém, com tranquilidade podemos prever que alguns resultados experimentais, no futuro, poderão ser mais bem interpretados à partir da nova visão apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EINSTEIN, A., **Zur Elektrodynamik bewegter Körper.** Annalen der Physik. Adp.17 pp 891-921, 1905. disponível no site http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/Einstein-in-AdP.htm acessado em ABR 09.

EISBERG, Robert & RESNICK, Robert. **Física Quântica**. 14ed. – Rio de Janeiro: Campus, 1988.

KRAUS, J. D. & CARVER, K. R. **Eletromagnetismo**. 2ed. – Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

SCHROEDINGER, Erwin (December 1926). **"An Ondulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules"**. Phys. Rev. 28 (6):1049-1070.

ZABBIX: GERENCIAMENTO EFICIENTE DE REDES LOCAIS

Efficient management of local area networks

Rodrigo Ortiz de CAMPOS
Faculdade Politécnica de Campinas

Carlos Alessandro Bassi VIVIANI
Faculdade Politécnica de Campinas

Resumo: Este artigo descreve o uso de um software de monitoramento em seus aspectos principais como: seu poder e conteúdo de fornecimento de informações para o administrador. Atualmente é necessário para o perfeito controle dos processos decorrentes em um host (microcomputador servidor) um software ágil, prático e de fácil percepção por parte dos administradores. O Zabbix é uma ferramenta que apresenta esses aspectos, podendo demonstrar ao administrador os problemas de um mau funcionamento, possíveis falhas físicas que podem ser ignoradas na ausência deste. A falta de praticidade de um determinado software de gerenciamento em relação ao monitoramento e a administração pode causar prejuízos incalculáveis, para isso a escolha deve ser precisa e sábia.
Palavras-chave: Gerenciamento e Administração de Redes.

Abstract: This article describes the use of management software in their main aspects such as its power and content to provide information to the administrator. Currently it is necessary for the perfect control of the processes resulting in a host (PC Server) software agile, practical and easily perceived by the administrators. The Zabbix is a tool that presents these issues and can demonstrate the problem to the administrator of a malfunction, possible physical failures that can be ignored in his absence. The lack of practicality of a management software for the monitoring and administration can cause incalculable damage, so the choice must be precise and wise.
Keywords: Network Management and Administration.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de informática têm ganhado grande importância e hoje são considerados fatores críticos do mundo dos negócios. A ampla difusão e importância vital de tais sistemas atribuem papel de destaque ao gerenciamento dos mesmos: sua eficiência é necessária não apenas como garantia de produtividade, mas da própria sobrevivência de muitas empresas, dada à natureza do comércio eletrônico, onde a competitividade está, literalmente, a um click.

Os sistemas de informações dependem basicamente de um conjunto de hardware e software que estão sempre sujeitos a falhas. As falhas podem ser provocadas por uma série de situações que devem estar previstas por seus administradores, pois esse é o único meio de detê-las.

Para sistemas não gerenciados pelos seus administradores, falhas em servidores podem significar conseqüências desagradáveis. Para solucionar um problema com exatidão é dever conhecê-lo bem antes de qualquer atitude, a ferramenta de gerenciamento para servidores passa a entregar ao administrador o poder de análise de todo e qualquer processamento de um determinado equipamento.

FERRAMENTA ZABBIX

O Zabbix é uma ferramenta de gerenciamento de host criada por Alexei Vladishev onde atualmente está sob responsabilidade da empresa Zabbix SIA (Zabbix, 2008).

O sistema utiliza para o armazenamento de informações os bancos de dados MYSQL, ORACLE, POSTGRESQL ou SQLITE. Foi criado em PHP, sendo um sistema com interface Web, facilmente acessado de qualquer máquina (Wikipédia, 2008).

O Zabbix pode monitorar inúmeros parâmetros como: desempenho da rede, integridade e a performance de um servidor, além de permitir a configuração de alertas que podem ser enviados através de e-mails em uma eventual casualidade (Zabbix, 2008).

Além desses aspectos essa ferramenta suporta o protocolo de rede SMNP, com este é possível criar estatísticas que são transformadas em gráficos na margem do tempo, para itens como uso da placa de rede, uso do processador, uso da memória, informações do disco rígido e muitos outros (Gentoo, 2008).

Este software é livre de qualquer custo e foi desenvolvido sobre a licença GPL General Public License version 2, ou seja, ele é distribuído gratuitamente sendo de responsabilidade da Empresa Zabbix SIA seu suporte e manutenção (Zabbix, 2008).

ESTRUTURA DO ZABBIX

A Figura 1 mostra o modelo da estrutura do Zabbix.

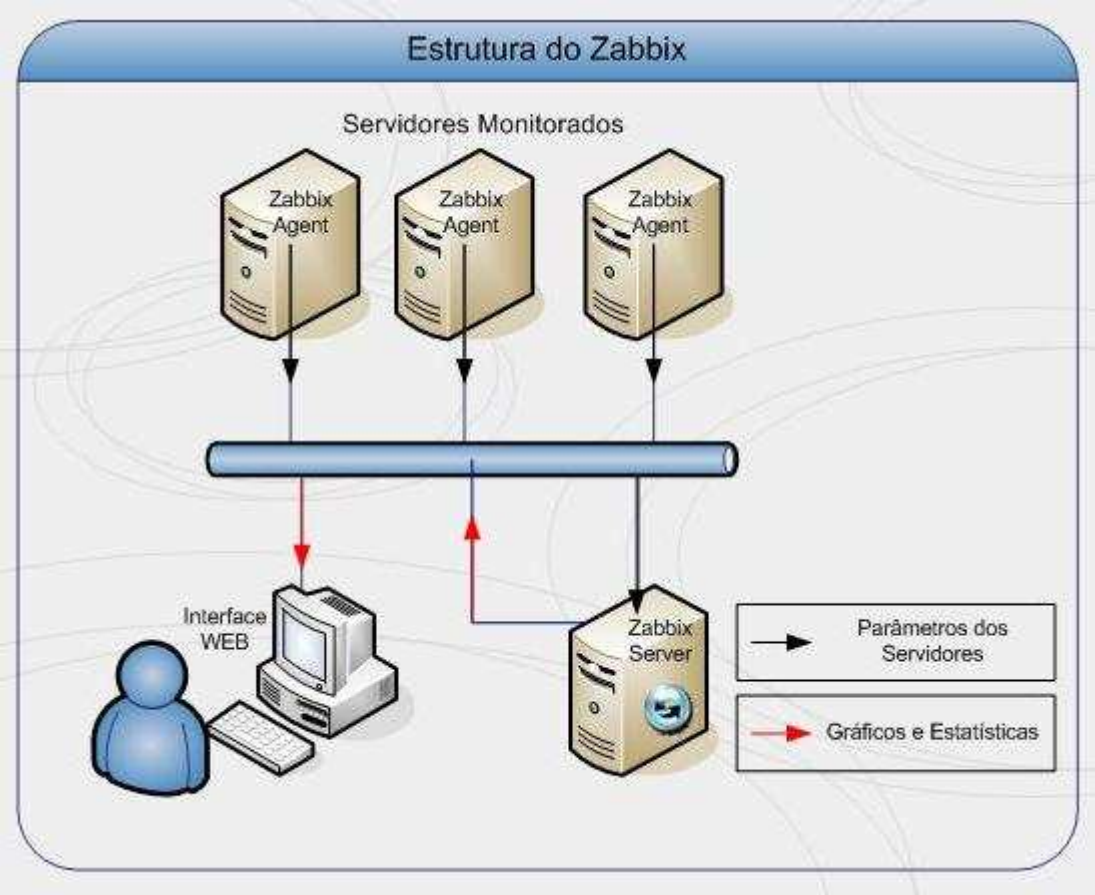


Figura 1. Estrutura do Zabbix

Como mostra a Figura 1, três componentes principais formam a estrutura do Zabbix, a seguir uma abordagem sobre eles.

Zabbix Server

É o principal componente do Zabbix, é o item que checa os serviços analisados remotamente. Esse sistema é “avisado” por seus agentes, que por sua vez passam informações sobre o item analisado para que o Server possa criar relatórios e estatísticas sobre estes sistemas monitorados (Zabbix, 2008).

O Server é a figura central, onde todas as configurações, estatísticas e dados operacionais são processados. Além disso, o Zabbix irá criar os alertas para que os administradores possam analisá-las (Zabbix, 2008).

Zabbix Agent

Para que haja o monitoramento de aplicações e serviços em um sistema operacional é necessário que o Zabbix Agent (agente do Zabbix) esteja instalado para enviar as informações ao servidor. O Zabbix Agent é uma aplicação que absorve vários parâmetros do Sistema Operacional repassando-os para o Zabbix Server, para que esse possa processar esses dados, transformando-os em estatísticas e gráficos (Zabbix, 2008).

Interface WEB

O Zabbix possui uma interface WEB, que pode ser facilmente acessada de qualquer máquina, nela existem funções para que o usuário administrador possa configurar de um modo simples, para que fique prático o trabalho de visualização e monitoramento (Wikipédia, 2008). A Interface é considerada parte do Zabbix Server, mas não é necessariamente acessada da máquina em que ele está instalado por ser uma aplicação WEB (Zabbix, 2008).

INSTALAÇÃO DO ZABBIX

O Zabbix Server suporta os seguintes sistemas operacionais: AIX, FreeBSD, HP-UX, Linux, Mac OS/X, OpenBSD, SCO Open Server, Solaris, o tópico de instalação será abordado com exemplos em um sistema Linux, o Zabbix Agent por sua vez pode ser instalado em um Sistema Operacional com plataforma Win32 (Zabbix, 2008).

Para a instalação do Zabbix Server é aconselhável que a máquina contenha as especificações mínimas de 128 MB de memória Ram Física e 256 MB de espaço livre em disco, o espaço em disco dependerá de quantas máquinas serão monitoradas (Zabbix, 2008).

Softwares Necessários

São necessários alguns softwares para que o Zabbix possa funcionar adequadamente:

- Banco de Dados: o Zabbix suporta Mysql, Oracle, PostgreSQL ou SQLite, na demonstração de instalação será utilizado o Mysql.
- Servidor Web: como a instalação será realizada no Linux, será utilizado o Apache.
- PHP: será instalado o PHP em sua última versão com os módulos GD, necessário para eventos gráficos, e o módulo para uso do Mysql com o Apache.
- Algumas Bibliotecas serão necessárias também como o NET-SNMP ou o UCD-SNMP.

Instalação do Zabbix Server

O primeiro passo é fazer o download do Zabbix Server no site http://www.zabbix.com/download.php (Zabbix SIA, 2008), será utilizada uma versão do Linux da distribuição Ubuntu para a instalação, com o arquivo em mãos os próximos passos são:

- Instalar o banco de dados Mysql.

```
# apt-get install mysql-5.0-server
```

- Criar um usuário no SO (Sistema Operacional) para o Zabbix.

```
# adduser --system --group zabbix
```

- Instalar o SNMP e os headers files do Mysql e do SNMP

```
# apt-get install snmp libmysqlclient14-dev libsnmp5-dev
```

- Descompactar o arquivo da seguinte maneira

```
# tar -xzvf zabbix.tar.gz
```

- Criar uma base de dados para o Zabbix

```
# mysql -u -p
mysql> CREATE DATABASE zabbix;
mysql> QUIT;

# cd create/mysql
# cat schema.sql | mysql -u -p zabbix
# cd ../data
# cat data.sql | mysql -u -p zabbix
```

- Entrar no diretório dos arquivos do Zabbix descompactados, configurar e compilar o código da seguinte forma:

```
# ./configure with-mysql with-net-snmp
# make
```

Deve-se mover os arquivos binários criados no diretório /bin/ para a pasta /usr/local/bin, as seguintes linhas devem ser inseridas no arquivo /etc/services:

```
zabbix_agent 10000/tcp
zabbix_trap 10001/tcp
```

Para finalizar deve-se colocar a seguinte linha de comando no arquivo /etc/inetd.conf: “zabbix_trap stream tcp nowait.3600 zabbix /usr/local/bin/zabbix_trapper” (Antunes, 2008).

Deve ser instalado o Apache, PHP, PHP GD, após esse processo no arquivo /frontends/php/include/db.inc.php deverá ser adicionado as seguintes linhas:

```
$DB_TYPE        ="MYSQL";
$DB_SERVER      ="localhost";
$DB_DATABASE    ="zabbix";
$DB_USER        ="usuariodobanco";
$DB_PASSWORD    ="senhadobanco";
```

E finalmente, copiar os arquivos do diretório “php” do Zabbix para o apache:

```
# cp -R * /var/www/zabbix (Antunes, 2008).
```

Instalação do Zabbix Agent

O primeiro passo é fazer o download do Zabbix Agent no endereço http://www.zabbix.com/download.php (Zabbix SIA, 2008), após esse procedimento deve-se descompactar o arquivo, configurar e compilar no SO como mostra os passos a seguir (Zabbix, 2008):

```
# tar -xzvvf zabbix-1.0.tar.gz
# ./configure
# make
```

Após esse processo deve-se adicionar as linhas “zabbix_agent 10000/tcp” e “zabbix_trap 10001/tcp” no arquivo /etc/services, e a linha “zabbix_agent stream tcp nowait.3600 zabbix /opt/zabbix/bin/zabbix_agent” no arquivo /etc/inetd.conf (Antunes, 2008).

Os arquivos de configuração do Zabbix Agent estão no diretório /etc/zabbix, eles são o zabbix_agent.conf e o zabbix_agentd.conf que ambos devem ser configurados com o IP do Zabbix Server (Antunes, 2008).

Para iniciar o Agente Zabbix basta executar o arquivo zabbix_agentd (Antunes, 2008).

O ZABBIX EM FUNCIONAMENTO

A interface Web do Zabbix pode ser executada de qualquer máquina que contenha o MS Internet Explorer ou o Firefox Mozilla, esses dois navegadores são compatíveis com esta interface (Zabbix, 2008).

Após o processo de instalação o Zabbix está apto para ser executado, no WEB Browser, basta digitar o IP do servidor e o caminho em que os arquivos do Zabbix se encontram como mostra a Figura 2 (Gentoo, 2008).

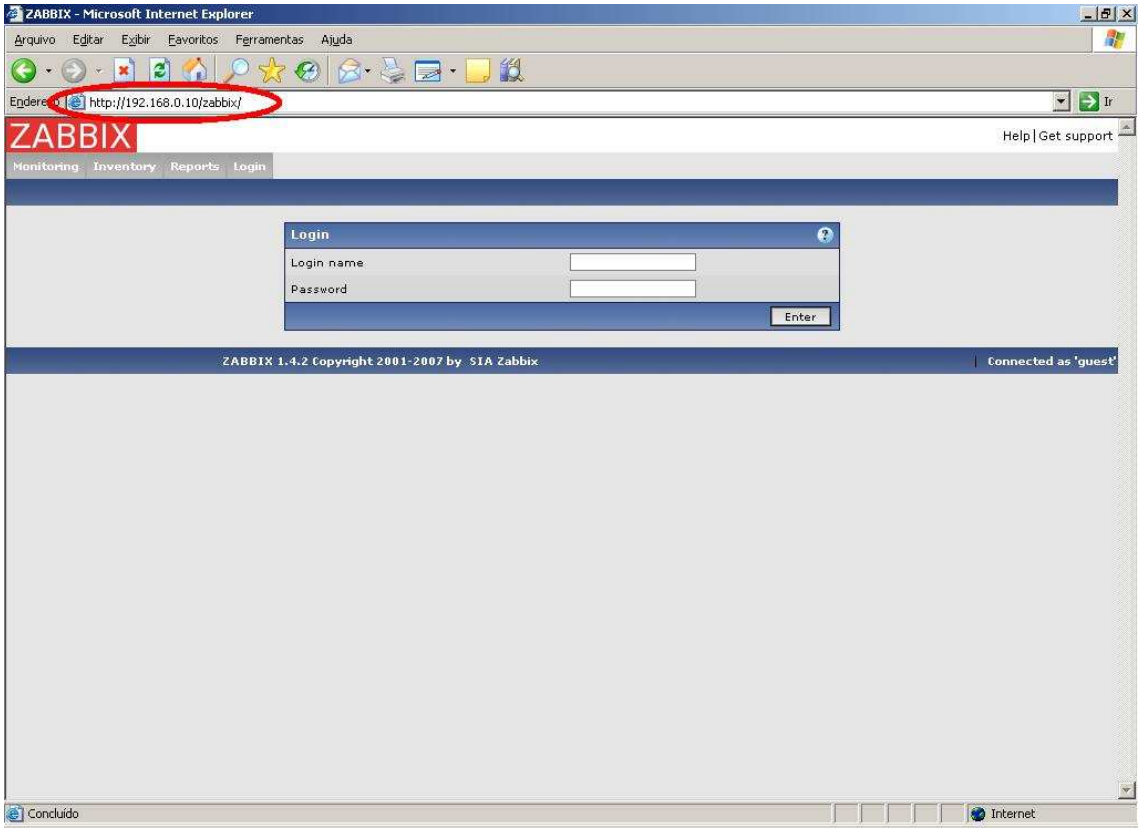


Figura 2. Tela Inicial.

Parâmetros e Gráficos

Assim que o Zabbix Server entra em funcionamento juntamente com seus agentes, o sistema começa a receber os parâmetros dos servidores monitorados.

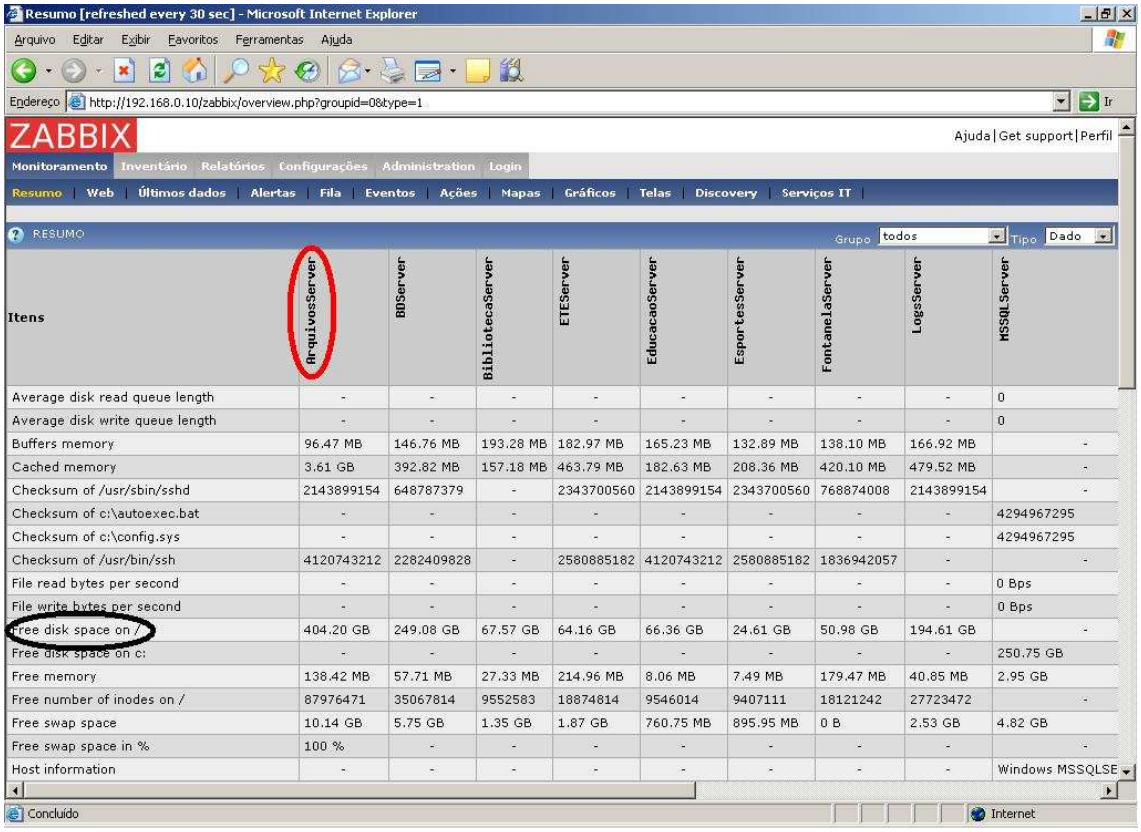


Figura 3. Parâmetros Recebidos.

A Figura 3 mostra com o contorno de cor vermelha o nome de um dos servidores que estão sendo monitorados, e o contorno de cor preta um dos dados que estão sendo recebidos pelo Zabbix Server através do Zabbix Agent.

Cada parâmetro recebido é armazenado no banco de dados, sendo que o Zabbix Server projeta estes dados através de um gráfico, para a fácil percepção dos administradores, um monitoramento através de gráficos é muito mais prático do que a análise de dados puros (Zabbix, 2008).

É possível através da interface a configuração de telas de monitoramento de vários itens e de vários servidores ao mesmo tempo como mostra a Figura 4 (Gentoo, 2008).

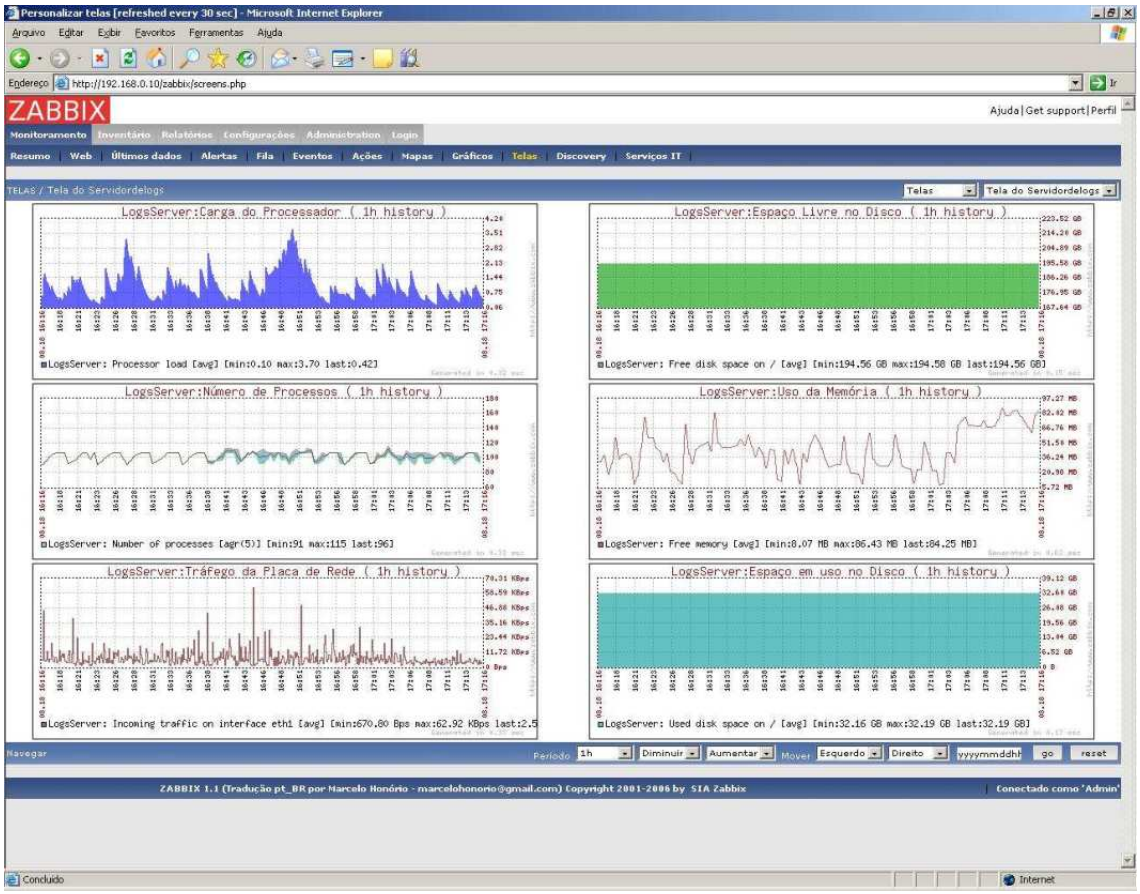


Figura 4. Telas.

Na Figura 4 existem seis gráficos configurados para a análise do administrador, esses gráficos podem ser personalizados, sendo que o item tempo pode ser ajustado de acordo com a necessidade de estudo de um determinado parâmetro (Zabbix, 2008).

Alertas

Na interface do Zabbix é possível a configuração de alertas entre os parâmetros de monitoramento (Zabbix, 2008).

É possível usar simples comandos de programação para que se algum parâmetro ultrapasse o valor desejado pelo administrador, este seja imediatamente avisado (Tech-Faq, 2008; Systura, 2008).

A configuração de um alerta irá depender fundamentalmente do host monitorado e da necessidade do administrador, pois cada máquina tem um limite de parâmetro

diferente de outra. Um exemplo de alerta pode ser dado a partir de um limite no disco rígido que o administrador não deseje que seja ultrapassado, mesmo esse não estando em sua capacidade máxima (Tech-Faq, 2008).

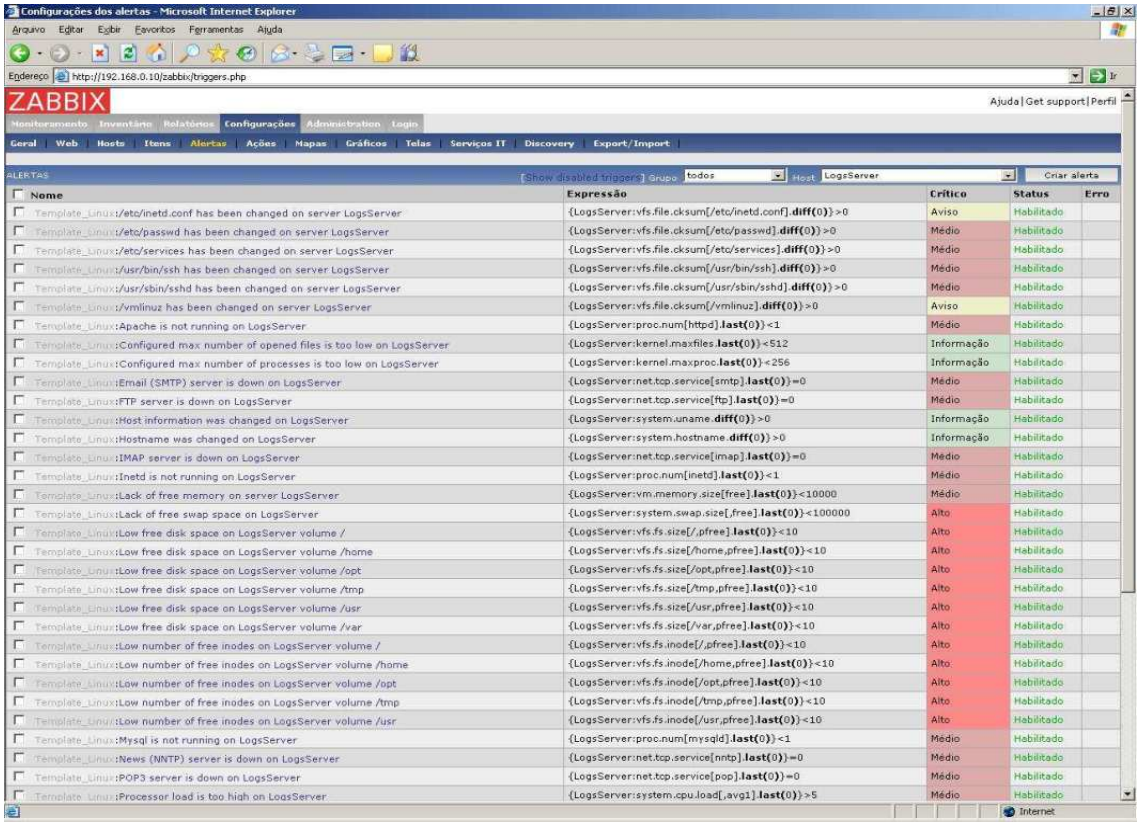


Figura 5. Alertas.

A Figura 5 mostra a tela de alertas que pode ser configurada pelo administrador. A configuração de alertas pode ser acompanhada pelo recurso de ações, que podem executar arquivos dentro dos hosts monitorados ou até mesmo enviar e-mails diretamente para ao administrador do sistema (Antunes, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de redes ganharam muita importância no mundo dos negócios e são considerados peça fundamental para toda e qualquer organização. Como peça chave para esse mundo esses sistemas não podem parar seu funcionamento.

Os servidores que regem um sistema de rede são o cérebro de uma grande estrutura muito bem organizada, todo o funcionamento de uma rede seria em vão caso

não houvesse um simples processo dentro dela. E, portanto, em uma rede de dados o servidor deve ser administrado com segurança e muita atenção, e até mesmo, porque não, com prevenção.

O Zabbix é um software prático e ágil para o administrador, ele mostra todos os dados em forma de gráficos, monitorando seu SO de forma a reunir todos os detalhes de um possível risco de parada, além de possuir alertas configuráveis para que o administrador possa tranquilamente precaver possíveis falhas.

A parada de um host em um sistema de rede, nem sempre pode ser precavida, mas para que não haja perda de tempo na tentativa de descoberta de possíveis causas é essencial um software de monitoramento para este.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, Michel**. Instalando o Zabbix**. Disponível em: <http://www.vivaolinux.com.br/artigo/Instalando-o-Zabbix/?pagina=2>. Acesso em: 08 agosto 2008.

GENTOO, Linux Wiki**. Zabbix**. Disponível em: <http://gentoo-wiki.com/ZABBIX>. Acesso em: 06 agosto 2008.

SYSTURA, Sean. **Zabbix Alerts** Disponível em: <http://www.systura.com/node/14>. Acesso em: 18 agosto 2008.

TECH-FAQ, **O que é o software de gestão de rede?**. Disponível em: <http://www.tech-faq.com/lang/pt/network-management-software.shtml&usg=ALkJrhiUhuy0fvsggkMYN69yzQFBh4HFVg>. Acesso em: 19 agosto 2008.

WIKIPÉDIA, A Enciclopédia Livre. **Zabbix**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Zabbix>. Acesso em: 05 agosto 2008.

ZABBIX SIA. Manual do Zabbix. **Zabbix Manual V 1.4**. Disponível em: <http://www.zabbix.com/>. Acesso em: 02 agosto 2008.

ZABBIX SIA. Download do Zabbix. **Download**. Disponível em: <http://www.zabbix.com/download.php>. Acesso em: 05 agosto 2008.

WEB SERVICES SOAP E REST

The SOAP and REST web services

Daniel Adorno GOMES
Faculdade Politécnica de Campinas

Peter JANDL JR
Faculdade Politécnica de Campinas
Faculdade de Jaguariúna

Resumo: Uma das tecnologias que mais se discutem atualmente são os w*eb services*. Isso ocorre principalmente porque os w*eb services* são o meio mais apropriado para a implementação de um inovador conceito de arquitetura que envolve tanto tecnologia quanto negócios. Está-se falando da SOA, *Service Oriented Architecture* ou Arquitetura Orientada a Serviços, outro assunto muito abordado nos dias de hoje. Mas, voltando ao tema dos w*eb services*, a questão a ser apresentada diz respeito a todo esse foco que está sendo direcionado aos w*eb services*, o qual fez surgir uma discussão quentíssima em torno destes: qual a melhor maneira ou o melhor padrão para se implementar *web services*? Quando se busca uma resposta para essa questão, basicamente se está colocando em pauta se a melhor maneira para se criar w*eb services* é seguindo o padrão SOAP ou o padrão REST.

Palavras-chave: SOAP, REST, web services.

Abstract: One of the technologies that are most discussed currently is the web service. This is happening mainly because the web service is the most appropriate means for the implementation of an innovative concept of architecture that involves both technology and business. We are talking about SOA, Service Oriented Architecture, another much discussed topic nowaday. But back to the issue of web services, the question that I would submit, relates to all this focus being directed to web services, which gave rise to a discussion around these theme: what is the best or the best method to implement web services? When we seek an answer to this question, basically we are putting on the work if is the best way to create web services is following the standard SOAP or REST.

Key-words: SOAP, RESP, web services.

INTRODUÇÃO

Quando se busca no Google algo relacionado à *web services* SOAP e REST, é muito comum encontrar artigos, notícias, discussões em fóruns, normalmente com o seguinte título: “SOAP versus REST” ou “SOAP x REST”, etc. Para fugir desse clichê,

optou-se por desenvolver o artigo de uma forma que não confrontasse esses dois padrões, evitando produzir a idéia de se definir qual deles é o melhor caminho para o desenvolvimento de *web services*. SOAP pode ser o melhor para o sistema X e REST para o sistema Y, dependendo das características de cada sistema e do que se deseja garantir a eles.

A intenção aqui é apresentá-los de forma clara e imparcial, exibindo suas propostas de arquitetura, como eles realmente funcionam, seus pontos fortes e fracos, e, acima de tudo, mostrar os padrões de forma didática. Tudo isso, para que o leitor possa decidir qual desses padrões é o mais adequado para a criação de *web services*, levando-se em conta o domínio do problema que deve ser informatizado.

O SURGIMENTO DOS PADRÕES

Diante da perspectiva do modelo de computação distribuída, na segunda metade da década de noventa, deparou-se com o surgimento de várias tecnologias como o RMI, o DCOM e o CORBA, que foram bem sucedidas na integração de aplicações em ambientes de redes locais e "homogêneos".

Com a expansão da Internet para o mercado corporativo, surge a necessidade de integração de aplicações, além das redes locais e em ambientes heterogêneos. A solução encontrada nesse momento da história da computação, já em meados da década de noventa, foi a utilização de aplicações Web (JSP, ASP, PHP), juntamente com XML. Porém, como não havia um padrão para o desenvolvimento de tais aplicações, cada empresa criava seus próprios protocolos e cada protocolo possuía suas próprias definições para questões de robustez, segurança, transações, etc, tornando assim complicada a interação entre aplicações que haviam sido criadas para serem interoperáveis.

Diante desse contexto, grandes empresas como IBM, Microsoft, BEA, entre outras participantes do W3C, decidem padronizar a implementação desse tipo de aplicação, objetivando uma total interoperabilidade entre elas, iniciando assim a criação do que conhecemos como conjunto de padrões WS-* (lê-se WS asterisco). Que

constituem os padrões para o desenvolvimento de *web services* baseados no protocolo SOAP.

A partir desse momento, os pesquisadores do W3C começaram a criar especificações para *web services*, envolvendo todo tipo de padronização que julgavam interessante para essa tecnologia. Isso fez com que surgisse uma quantidade enorme de especificações para *web services*, pois eram criados documentos de padronização para situações que nunca haviam sido implementadas ou se mostrado necessárias até aquele momento, a não ser teoricamente. O ponto interessante é que, para praticamente todos os tipos de problemas que possam surgir, já existe uma especificações SOAP criada. A Tabela 1 lista algumas das especificações para *web services*, criadas pelo W3C.

Tabela 1. Especificações do conjunto WS-*.

Especificação	Descrição
WS-Addressing	Especifica mecanismos (ou protocolos) de transporte que permitem aos web services efetuarem trocas de mensagens.
WS-Eventing	Define um protocolo que permite a troca de mensagens entre web services. Dessa forma, um web service pode tanto enviar como receber mensagens de outros web services.
WS-Security	Protocolo que fornece meios para a aplicação de segurança aos web services.
WS-SecureConversation	Proposta que visa permitir conversas seguras entre sites que utilizam web services para se comunicar.
WS-Trust	É uma especificação que provê extensões para o WS-Security, lidando especificamente com emissão, renovação, e validação de tokens de segurança, assim como formas de estabelecer, avaliar a presença de, e manter relações de confiança entre os participantes de uma troca segura de mensagens.
WS-ReliableMessaging	Descreve um protocolo que permite que mensagens SOAP sejam entregues de maneira confiável entre aplicações distribuídas na presença de falhas de software, sistema ou rede.
WS-Coordination	Define um framework extensível para prover protocolos que coordenam as ações de aplicações distribuídas, incluindo transações distribuídas.
WS-AtomicTransaction	Define dois tipos de coordenação de transações: Atomic Transaction (AT) para operações individuais e o Business Activity (BA), para transações de longa duração.
WS-Policy	Especificação que permite aos web services usar XML para publicar suas políticas (políticas de segurança, qualidade de serviços, etc.), e para consumidores de web services especificarem suas políticas.

Agora, fica mais compreensível o porquê da denominação WS-*, citado anteriormente. O asterisco é utilizado nesse caso como um caractere curinga para representar as inúmeras especificações criadas pelo W3C para os *web services* baseados no protocolo SOAP.

No caso do REST, pode-se dizer que o seu surgimento percorreu um caminho inverso ao do padrão SOAP.

Antes de tudo, é conveniente salientar que, quando o padrão REST foi proposto, no ano de 2000, o padrão SOAP já existia. Portanto, o REST constituía uma forma diferente, uma maneira alternativa de se desenvolver *web services*.

O REST ou *Representional State Transfer* foi proposto por Roy Fielding (2000), um dos autores do protocolo HTTP, em sua tese de doutorado. Aqui se tem outro ponto importantíssimo. O padrão REST não foi proposto pelo W3C, nasceu de uma tese de doutorado. Dessa maneira, ao contrário do SOAP, não foi criada uma quantidade enorme de especificações para o protocolo REST, aliás, não foi criada nenhuma especificação.

Em sua tese, Fielding (2000) propunha que os w*eb services* fossem implementados com base na utilização dos recursos oferecidos pelo protocolo HTTP. O que havia de fato era um conjunto de regras que mostravam como os w*eb services* baseados na proposta de Fielding deveriam ser implementados. Assim, conforme a abordagem REST ia chegando ao conhecimento dos profissionais e empresas de TI, novas implementações iam surgindo com base nessa linha de desenvolvimento de *web services*. Os casos de sucesso foram surgindo, e com eles veio também a necessidade de padronizar, de tornar as idéias reutilizáveis. Enfim, pode-se dizer que a evolução do padrão REST se deu de uma forma “natural”, ou seja, bastante gradativa em relação ao padrão SOAP. Pois, as normas e padronizações foram sendo criadas à medida que as experiências práticas expunham essa necessidade. Diferentemente do SOAP, que possui muitas especificações que foram criadas com base no que foi “imaginado” que seria uma necessidade para o mercado.

A seguir, serão expostos os dois caminhos para a criação de *web services*. Mas antes de continuar, é importante fechar esse tópico com o esclarecimento de que o padrão REST é uma arquitetura *web*, uma forma alternativa de se criar *web sevices*. Já o conjunto de especificações WS-*, ou *web services* baseados no padrão SOAP, constituem um padrão W3C.

COMO FUNCIONAM OS WEB SERVICES SOAP

Na Figura 1 é apresentado um esquema que ilustra quais são os componentes envolvidos numa chamada a um *web service* SOAP e a sequência em que essa chamada acontece:

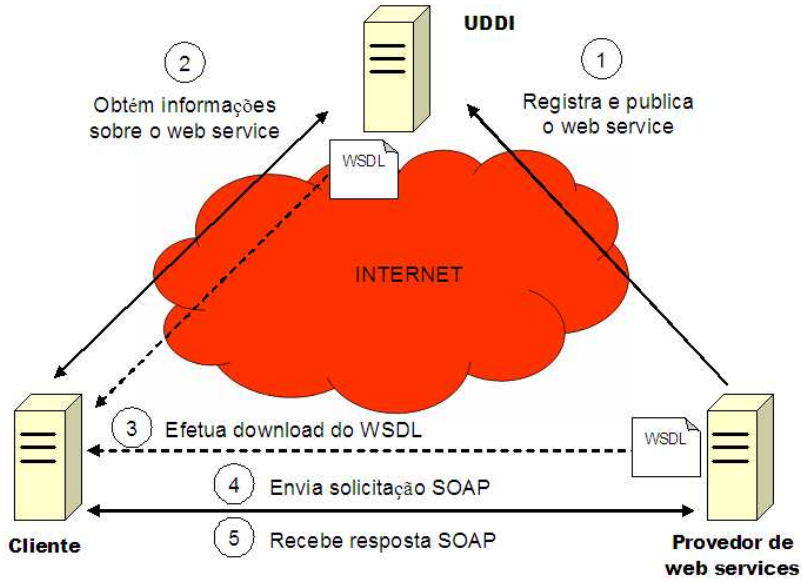


Figura 1. Arquitetura dos *web services* SOAP especificada pelo W3C.

Primeiramente, serão descritos os componentes envolvidos nesse esquema, individualmente:

- **SOAP** (*Simple Object Access Protocol*): protocolo padrão para transmissão de dados quando se fala em *web services* pertencentes ao conjunto de especificações WS-*. Baseado no XML, o SOAP segue o modelo REQUEST-RESPONSE do HTTP. Ele é um dos pilares de sustentação dessa arquitetura criada pelo W3C. É tão importante que muitas vezes os web services do padrão WS-* são referidos como “web services SOAP”.

- **WSDL**: (*Web Services Description Language*): arquivo, padrão XML, que tem por finalidade fornecer uma descrição detalhada do *web service*, ao solicitante ou cliente. Essa descrição envolve a especificação das operações que compõem o serviço, definindo claramente como deve ser o formato de entrada e saída de cada operação. Como mostrado na figura 1, o WSDL pode tanto estar armazenado no Provedor de *web services*, quanto no UDDI.

Listagem 1. Trecho de um arquivo WSDL

```
<types>
<xsd:schema>
<xsd:import namespace="http://webservices.soap.ws.policamp/"
schemaLocation="http://localhost:8080/ContasAPagarWSService/ContasAPaga
rWS?xsd=1" />
</xsd:schema>
</types>
<message name="inserirConta">
<part name="parameters" element="tns:inserirConta" />
</message>
<message name="inserirContaResponse">
<part name="parameters" element="tns:inserirContaResponse" />
</message>
<message name="excluirConta">
<part name="parameters" element="tns:excluirConta" />
</message>
<message name="excluirContaResponse">
<part name="parameters" element="tns:excluirContaResponse" />
```

- **UDDI** (*Universal Description, Discovery and Integration*): mecanismo que atende tanto ao cliente de *web services*, quanto ao provedor. Ao provedor de *web services* o UDDI tem que fornecer recursos para que os *web services* sejam registrados e publicados, para que dessa forma, possam ser pesquisados e localizados pelos clientes de *web services*. O UDDI também pode ser utilizado para o armazenamento de arquivos WSDL.
- Cliente: é um consumidor de *web service*, ou seja, um software que irá utilizar as operações de um determinado *web service*. Porém, na figura anterior é importante ressaltar que o cliente está representando várias etapas do ciclo de vida desse software. Desde sua pré-existência, quando o arquivo WSDL é obtido por um desenvolvedor, até o momento em que o

software já está operando, onde ele faz solicitações e recebe os resultados dos *web services*.

- Provedor de *web services*: é possível ser bastante claro quanto a esse componente. Ele é um *application server* ou um *web container*, dependendo do caso onde o *web service* ficará armazenado. Como se pode verificar no esquema mostrado anteriormente, ele pode armazenar também os arquivos WSDL.

Nos itens seguintes, discute-se como se dá a integração dos componentes descritos na Figura 1. Porém, antes de prosseguir com a explicação, é essencial observar que toda essa arquitetura tem como base a linguagem XML. Portanto, todas as informações trocadas entre qualquer uma das partes são enviadas e recebidas através de mensagens no padrão XML. A seguir, é explicitada a sequência de operações realizadas por cada um dos componentes da arquitetura, utilizando os números referenciados na Figura 1.

1. **Registra e publica o *web service*:** o provedor é o local onde os *web services* ficam armazenados, juntamente com os seus respectivos descritores, os arquivos WSDL. Quando um determinado *web service* é criado, ele é disponibilizado para utilização no provedor. Porém, para que ele possa ser utilizado por algum cliente, ele e o seu WSDL precisam ser localizados, ou seja, o cliente precisa saber qual o endereço do serviço ou o seu URI (*Uniform Resource Identifier*). Dessa forma, após a criação e armazenamento de um *web service* no provedor, ele deve ser registrado e publicado num diretório de registro de *web services* ou UDDI.
2. **Obtém informações sobre o *web service*:** um cliente de *web services*, quando necessita utilizar um determinado serviço, primeiramente irá pesquisar em diretórios de registro de *web services* (UDDI), pelo tipo de serviço desejado. Por exemplo, um *web service* que retorne a cotação do dólar. Os recursos de pesquisa e de localização de *web services* foram incluídos na arquitetura do W3C, pois diversos *web services* de fornecedores de software diferentes podem disponibilizar a mesma operação. Sendo assim, o cliente precisa obter a informação que dirá onde

está o *web service* que ele deseja utilizar e o seu respectivo arquivo WSDL. Traduzindo, o UDDI irá fornecer o endereço (URI) do *web service* e do seu WSDL.

3. **Efetua download do WSDL:** após a obtenção dos URI's do *web service* e do seu descritor (WSDL), o cliente poderá efetuar o download do arquivo WSDL e prosseguir com a utilização do *web service* desejado. Não se deve esquecer que o arquivo WSDL pode estar disponível para download tanto no provedor de *web services*, quanto no UDDI. A partir da obtenção do arquivo WSDL e do URI do *web service*, um desenvolvedor terá condições de criar um software cliente que irá fazer uma chamada ao *web service* em questão e, em seguida, obter uma resposta.
4. **Envia solicitação SOAP:** com o desenvolvimento do software cliente, este irá enviar solicitações no padrão SOAP ao *web service*, referenciando o serviço através do seu URI.
5. **Recebe resposta SOAP:** após o envio da solicitação SOAP ao *web service*, normalmente o software cliente irá receber uma resposta, também no padrão SOAP, como resultado da solicitação anterior.

A arquitetura descrita anteriormente mostra o funcionamento do que foi "especificado" pelo W3C. Porém, como já citado no início do texto, todas essas especificações foram criadas na teoria, sem ter por base nenhuma experiência prática. O ponto onde se pretende chegar é o seguinte, no "mundo real" a utilização dos *web services* não se dá exatamente como foi descrito até aqui, apesar de ser perfeitamente possível. O que ocorre é que normalmente não se tem a figura do UDDI, de forma que a comunicação se dá entre o cliente e o provedor de *Web sevices*, sem intermediações.



Figura 2. Arquitetura dos *web services* SOAP utilizada no "mundo real".

Outro fator importante, que deve ser ressaltado com relação ao que foi projetado e o que de fato acontece no "mundo real", refere-se ao protocolo sobre o qual as mensagens do tipo SOAP podem ou devem trafegar. As mensagens enviadas aos *web services* SOAP ou emitidas por eles são independentes do protocolo usado para transportá-las. Ou seja, podem trafegar sobre HTTP, SMTP, FTP, TCP puro ou qualquer outro protocolo. Essa característica deve-se ao fato de que as mensagens SOAP são auto-contidas, todas as informações necessárias para que um *web service* desse tipo possa executar um processamento estão dentro de um único arquivo XML, garantindo essa independência e permitindo que as mensagens SOAP sejam enviadas, por exemplo, por e-mail ou softwares de mensagens instantâneas. No entanto, o que se vê na prática é a combinação SOAP + HTTP. Pode-se dizer que praticamente 100% das implementações SOAP profissionais (excluindo aqui as experiências) são feitas sobre o protocolo HTTP. A preferência pelo HTTP tem motivos óbvios. Esse protocolo de transporte domina praticamente toda a Web, sendo suportado por praticamente todo tipo de plataforma de software/hardware, há muito tempo. Portanto, muito maduro, confiável e sem problemas com restrições por firewalls.

O envio de mensagens de um cliente de *web services* SOAP (*Sender*) para um *web service* SOAP (*Receiver*) propriamente dito pode ocorrer de duas maneiras:

- **One-Way Messaging:** também conhecida como *fire-and-forget*, é uma forma de envio de mensagens unilateral, onde o cliente envia a mensagem sem se preocupar com o retorno, conforme Figura 3. O *web service* irá executar um determinado processamento e não enviará um retorno ao cliente.

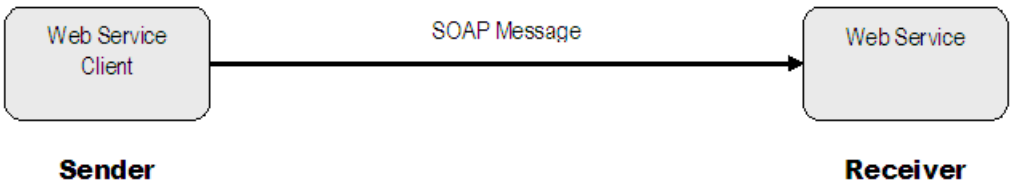


Figura 3. One-Way Messaging (Fire and Forget).

- **Resquest-Response Messaging:** é uma forma de envio de mensagens que se assemelha ao formato HTTP, ou seja, é bilateral, ocorrendo o envio de mensagens ao *web service* por parte do cliente, um processamento qualquer, e o retorno, resultante deste processamento, que será enviado ao cliente pelo *web service*. A Figura 4 ilustra o processo. Esse tipo de envio de mensagens pode ser síncrono ou assíncrono.

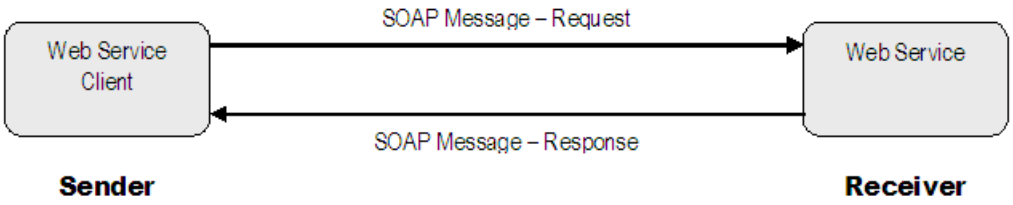


Figura 4. Resquest-Response Messaging.

Para o desenvolvimento de *web services* SOAP, conta-se com uma grande quantidade de *frameworks* Java como o Apache Axis, Apache Axis2, Java WS Dev Pack e XFire. Os principais IDE's utilizados, como Eclipse e Netbeans, também contam com ferramentas que, baseadas nos frameworks citados, ajudando a criar *web services* SOAP de maneira bastante ágil. É importante destacar esse ponto, pois, atualmente, seria muito improdutiva a criação de tais *web services* sem a ajuda de qualquer um desses recursos.

No paradigma SOAP, cada serviço corresponde a uma atividade ou tarefa, normalmente um processamento enxuto e bem definido, como por exemplo, "Verificar CPF", "Calcular Imposto de Renda" ou "Obter Cotação do Dólar", etc.

Tecnicamente, na linguagem Java, cada serviço equivale a um método de uma determinada classe, também chamado de "*web method*". Uma classe pode conter um ou mais "*web methods*".

COMO FUNCIONAM OS WEB SERVICES REST

Descrevendo de forma gráfica a comunicação entre os componentes envolvidos numa chamada à *web services* do padrão REST, como na Figura 5, nota-se facilmente que se trata de uma arquitetura de comunicação mais simples do que a arquitetura proposta pelo W3C (Gregório, 2009A).



Figura 5. Arquitetura dos *web services* REST.

Normalmente, os componentes envolvidos são o "Cliente de *web services*", o "Provedor de *web services*" e o protocolo "HTTP". Pode-se considerar um componente a mais para os *web services* REST, denominado "*Web Application Description Language*" (WADL). Esse recurso é equivalente ao WSDL para os *web services* do padrão SOAP. Porém, pelo fato de ser um recurso relativamente novo e ainda com pequena adesão, neste artigo não será considerado como parte dessa arquitetura.

Com esse cenário, basicamente tem-se o cliente enviando mensagens de solicitação a um determinado *web service* disponível no provedor. O *web service* em questão irá realizar um determinado processamento e retornar uma mensagem de resposta ao cliente solicitante. O protocolo que determina o formato das mensagens enviadas e recebidas é o HTTP, o qual, nesse caso, também será o protocolo de transporte das mensagens.

A diferença entre os protocolos que ditam o formato das mensagens SOAP e REST será exposto mais adiante. Agora, discute-se como são arquitetados os serviços REST.

No paradigma REST os serviços correspondem à recursos. Cada recurso corresponde a uma URI que deve ser única e deve estar armazenada em um único local.

É um pouco complexo entender essa visão, pois, em geral, tem-se em mente que os serviços são atividades e não recursos, o que condiz com a maneira de se enxergar os serviços do ponto-de-vista SOAP, que é mais familiar até pelo seu tempo de existência.

Para facilitar, a explicação é colocada em termos práticos. Por exemplo, convém relembrar do velho amigo “Sistema Comercial”. Como é de praxe, esse tipo de sistema tem que contar com informações sobre clientes, produtos, funcionários, vendas, etc. Mas, da ótica dos *web services* REST, o que seria um recurso dentro desse contexto? Em primeiro lugar, limita-se aqui a utilização dos “clientes” para a explicação, deixando de lado os demais componentes de um sistema com esse perfil.

Para um sistema comercial baseado na arquitetura REST, cada “cliente” corresponde a um recurso, ou seja, para cada cliente tem-se uma URI. É possível imaginar que nesse sistema os clientes sejam identificados unicamente por um código. O código que identifica o cliente “João da Silva Moreira” é o código “0000125”. Nesse caso a URI que o identificaria poderia ser: **http://www.sistemacomercial.com.br/cliente/0000125**.

Traduzindo para o idioma REST, a URI acima identifica o recurso “cliente” correspondente ao código “0000125”. Querendo executar qualquer operação para a manipulação dos dados desse cliente, tem-se que, obrigatoriamente, utilizar essa URI.

Outra situação que se poderia imaginar seria a listagem de todos os clientes cadastrados. Nesse caso, também tem-se que enxergar esse conjunto composto por todos os clientes, como um novo recurso e, portanto, ele também teria que possuir uma

URI que o identificasse unicamente. Por exemplo: **http://www.sistemacomercial.com.br/clientes**.

Essa estruturação provém do fato dos *web services* REST serem totalmente baseados no HTTP, em seus métodos e em seus códigos de retorno.

A princípio, o HTTP define como os dados que trafegam entre os *web services* e seus solicitantes serão "envelopados", o que será visto mais adiante. Os métodos do HTTP correspondem às operações para a manipulação de dados relacionada a cada "recurso" de um determinado sistema. E os códigos de retorno do HTTP funcionam como um resultado da execução das operações de cada recurso.

Na Tabela 2 são apresentados os métodos do HTTP e a operação relacionada a cada um deles. Na Tabela 3 os principais códigos de retorno do HTTP mais utilizados em aplicações REST.

Tabela 2. Métodos do HTTP.

Método	Descrição
GET	usado para obter um recurso ou uma lista deles
POST	usado para incluir um recurso
PUT	usado para editar um recurso
DELETE	usado para excluir um recurso

No momento em que se projeta um sistema baseado na arquitetura REST, primeiramente define-se os recursos envolvidos, posteriormente os métodos relacionados a cada um dos recursos, suas representações que farão parte da URI e, por fim, quais são os códigos HTTP retornados, que serão considerados para cada um dos métodos (Gregório, 2009A). A Tabela 4 mostra como ficariam essas definições para os recurso "cliente", que corresponde à um único cliente de um sistema comercial, e para o recurso clientes, que corresponde ao conjunto de todos os clientes desse sistema.

Tabela 3. Códigos de retorno do HTTP.

Código	Significado
200	Sucesso
201	Criado
204	Sem conteúdo
400	Requisição inadequada
401	Não autorizado
403	Acesso negado
404	Não encontrado
412	Falha na pré-condição
500	Erro Interno no servidor
501	Não implementado

Tabela 4. Mapeamento de recursos, métodos e códigos de retorno do HTTP.

Recurso	Método	Representação	Retorno	Significado
Cliente	GET	cliente	200	Recurso encontrado e retornado com sucesso
			404	Recurso não encontrado
	PUT	cliente	200	Recurso encontrado e atualizado com sucesso
			400	Requisição com formato inválido
			404	Recurso não encontrado
	DELETE		200	Recurso encontrado e excluído com sucesso
			404	Recurso não encontrado
	POST	cliente	201	Recurso criado com sucesso
			400	Requisição com formato inválido
Clientes	GET	clientes	200	Recurso encontrado e retornado com sucesso
			404	Recurso não encontrado

Um ponto importante a ser destacado sobre os métodos do HTTP é que todos eles, com exceção do POST, são idempotentes. Ou seja, se uma operação GET, PUT ou DELETE não for adiante ou se não se souber se a operação em questão seguiu ou não adiante, o procedimento correto é enviar a requisição novamente. Nesse caso, mesmo que várias requisições idênticas sejam feitas em sequência, isto não deve causar danos ao servidor.

Com relação à construção de *web services* REST, o ideal é contar com o auxílio de *frameworks*, como o *Restlet*, que permite mapear conceitos REST para classes Java. Outro exemplo mais recente é a API JAX-RS, Java API for RESTful *Web Services* (JCP, 2009), e sua implementação de referência, o projeto Jersey. Basicamente, através dessa nova API, pode-se criar *web services* REST através de classes, onde uma classe corresponde a um recurso REST e cada método dessa classe equivale a um dos métodos do HTTP.

PONTOS FORTES E FRACOS ENTRE OS WEB SERVICES SOAP E REST

Os *web services* SOAP são utilizados, em sua maioria, com o protocolo “HTTP POST”, para o envio e recebimento de suas mensagens, as quais constituem arquivos no padrão XML. Nesse caso, o HTTP serve única e exclusivamente para transportar as mensagens XML. Já os *web services* REST são totalmente baseados nos recursos oferecidos pelo HTTP, ou seja, o HTTP constitui ao mesmo tempo o protocolo de transporte da mensagem, assim como o próprio recipiente dessa mensagem, podendo ser utilizado com qualquer um dos seus métodos GET, PUT, DELETE e POST, permitindo também a utilização de *cachê* (Gregório, 2009B).

A principal discussão em torno desses dois padrões para construção de *web services* é exatamente a grande quantidade de recursos consumida pelos *web services* SOAP, por causa do peso do XML em relação aos *web services* REST que, para a obtenção dos mesmos resultados, consomem uma quantidade de recursos muito menor, pois, o *parsing* XML nesse caso é bem menor ou mesmo nenhum, dependendo do *Content-Type* definido nas mensagens. Pode-se definir qualquer uma das seguintes opções de *Content-Type* para *web services* REST:

- *application/xml*
- *applicatio/json*
- *text/plain*
- *text/xml*
- *text/html*

Para se compreender melhor essa questão, ou seja, como ocorre o envio de uma mensagem a um *web service*, e o retorno de uma mensagem de resposta, gerada por esse *web service*, ao cliente solicitante. Obviamente, serão explicados nos dois padrões, SOAP e REST, para que se possa analisar o "esforço" que tem de ser realizado para a execução do serviço em cada um dos casos. O HTTP é um protocolo orientado à mensagens, ou seja, as solicitações e as respostas HTTP são "mensagens". Define-se uma mensagem como sendo um envelope com um conteúdo dentro. No caso do REST, o envelope onde será colocado o conteúdo que se quer enviar a um *web service* é o corpo de uma mensagem HTTP. Dessa forma, o conteúdo da mensagem viaja no próprio corpo do protocolo de transporte da mensagem. A Figura 6 ilustra o processo.

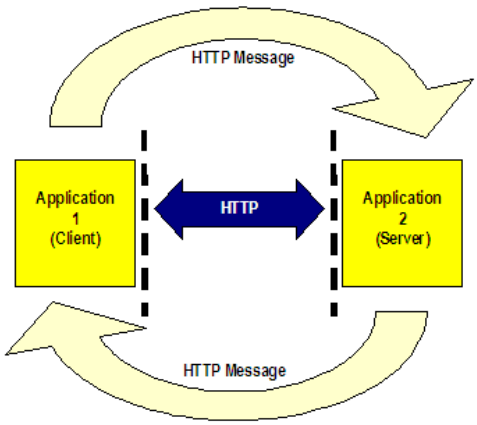


Figura 6. Troca de mensagens HTTP.

O *web service* irá ler o conteúdo que está dentro do envelope HTTP, processar de alguma forma, e retornar uma resposta ao cliente no mesmo padrão, colocando o resultado dentro de outro envelope HTTP, ou seja, no corpo da solicitação HTTP enviando uma resposta ao solicitante. Aqui, pode-se pensar: "Isso se parece com uma solicitação *Resquest/Response* padrão". Na verdade, é uma solicitação

Request/Response padrão, pois o REST se baseia exclusivamente em recursos HTTP, e o funcionamento padrão do HTTP, desde o início de sua utilização na Web é esse.

Listagem 2. Exemplo de envelope HTTP de solicitação.

```
GET http://localhost:8080/ContasAPagarWSRest/resources/pagaments/2/
Protocol HTTP/1.1
Host localhost:8080
User-Agent Mozilla/4.0
Accept      application/xml
Accept-language pt-br
Accept-encoding gzip, deflate
Connection Keep-Alive
```

Listagem 3. Exemplo de envelope HTTP de resposta.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> version="1.0" encoding="UTF-8"
standalone="yes"
<pagament
uri="http://localhost:8080/ContasAPagarWSRest/resources/pagaments/2/">
<cedente>SABESP</cedente>
<descricao>CONTA DE AGUA</descricao>
<dpagto>
<dvenc>10/11/2008</dvenc>
<ndoc>2</ndoc>
<valor>34.5</valor>
</pagament>
```

Mas, o que muda na troca de mensagens SOAP? Para o entendimento, deve-se observar a Figura 7.

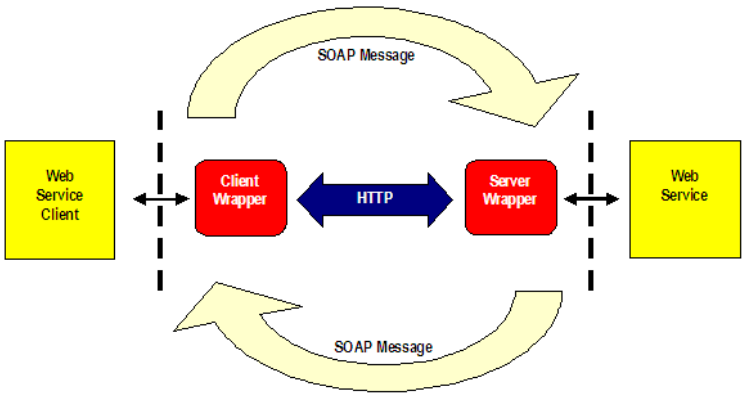


Figura 7. Troca de mensagens SOAP.

No caso SOAP, as informações que serão enviadas ao *web service* devem ser colocadas dentro de um envelope no padrão SOAP, portanto no formato XML. Posteriormente, esse envelope SOAP será colocado dentro de um envelope HTTP, e

somente então a mensagem será enviada. Esse “envelopamento” no padrão SOAP é feito pelo “*wrapper*”, no caso o que faz parte da aplicação cliente. Quando a mensagem chega ao *web service* também há um *wrapper* para “desenvelopar” as informações, que serão processadas pelo *web service* e “envelopadas” novamente no padrão SOAP, e depois em HTTP, para retornarem ao solicitante do serviço. Esse último, quando recebe a resposta do *web service*, executa o mesmo processo descrito anteriormente, para obter as informações contidas no envelope SOAP e processá-las em seguida.

Listagem 4. Exemplo de envelope SOAP de solicitação.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<S:Envelope xmlns:S="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
<S:Header/>
<S:Body>
<ns2:listarConta xmlns:ns2="http://webservices.soap.ws.policamp/">
<nDoc>2</nDoc>
</ns2:excluirConta>
</S:Body>
</S:Envelope>
```

Listagem 5. Exemplo de envelope SOAP de resposta.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<S:Envelope xmlns:S="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
<S:Body>
<ns2:listarContaResponse
xmlns:ns2="http://webservices.soap.ws.policamp/">
<return>
<cedente>SABESP</cedente>
<descricao>CONTA DE AGUA</descricao>
<dpagto/>
<dvenc>10/11/2008</dvenc>
<ndoc>2</ndoc>
<valor>34.5</valor>
</return>
</ns2:listarContasResponse>
</S:Body>
</S:Envelope>
```

É fácil perceber com essa explicação que a troca de mensagens no padrão SOAP é relativamente mais “pesada” que no REST. Esse *parsing* XML, imposto pelo padrão SOAP, causa um grande consumo de recursos computacionais.

Apesar da longa explicação anterior para expor o peso do XML nos *web services* SOAP, e como os *web services* REST são leves, fazendo essa comparação, não se pode esquecer questões como segurança, transações e até mesmo o envio de

mensagens de forma confiável, que são áreas em que as especificações e implementações SOAP estão muito mais avançadas em relação ao HTTP nativo. Tem-se, portanto, esses pontos que pesam a favor do SOAP e contra o REST, pois, em qualquer sistema que deva considerar em primeiro lugar a segurança das informações transportadas, certamente o pesado *parsing* XML do não será um problema.

ATIVIDADES E RECURSOS

Além das diferenças técnicas já apresentadas entre os *web services* SOAP e REST, a partir de agora será abordada a forma como se deve olhar para um determinado domínio de problema, de acordo com o tipo de *web services* que se deseja implementar.

Se a intenção é implementar um sistema dentro dos padrões SOAP, então estuda-se o domínio do problema tentando identificar “atividades”, ou seja, “o quê” ou “quais atividades” devem ser disponibilizadas pelo sistema. Por isso, os *web services* SOAP são denominados como “Orientados a Atividades”. Em termos práticos, após a implementação, teremos o cliente de *web services* invocando as “atividades” que na verdade serão métodos de um determinado *web service*. A Figura 8 ilustra o processo.

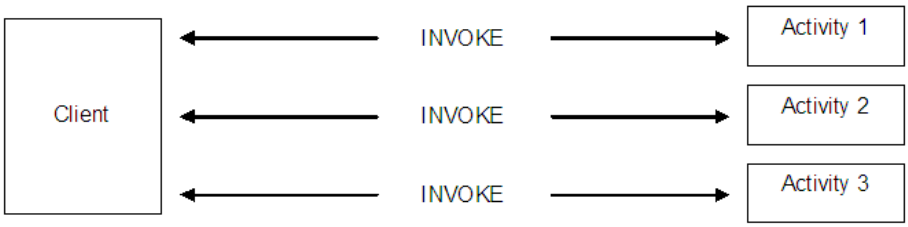


Figura 8. SOAP: web services orientados à atividades.

Por outro lado, querendo implementar o sistema seguindo os padrões REST, o domínio do problema deve ser estudado de forma que sejam identificados “recursos”. Dessa forma, a pergunta que se deve tentar responder é: “Quais recursos compõem esse sistema?”. É por esse motivo que os *web services* REST são conhecidos também como “Orientados à Recursos” (IBM, 2009). Após a implementação, o que se tem é o cliente de *web services* utilizando o “recurso” através da chamada aos métodos do HTTP, como GET, PUT, DELETE e POST, conforme mostrado na Figura 9.

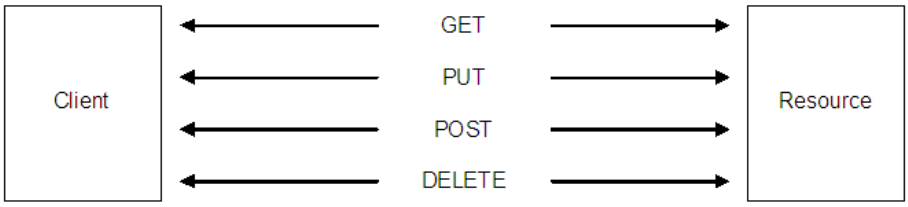


Figura 9. REST: *web services* orientados à recursos.

Para tornar essa explicação mais palpável, será apresentado um domínio de problema e, partir dele, a identificação das “atividades” para um sistema SOAP, e dos “recursos” para um sistema REST, apresentando em seguida uma alternativa de implementação para cada um dos padrões.

DEFININDO WEB SERVICE

Parte-se de uma proposta simples e pequena, para que seja didática. Dessa forma, o leitor poderá compreender exatamente o que foi e como foi produzido, podendo a partir daí, criar propostas de implementação mais elaboradas.

O sistema consiste em um controle de contas a pagar, e deve permitir ao usuário listar todas as contas lançadas, inserir novas contas, excluir contas e alterar os dados de uma conta. As informações das contas que devem ser consideradas pelo sistema são: Número do Documento, Descrição, Cedente, Data de Vencimento, Valor, Data de Pagamento e Valor Pago. Com base nessas informações, foi criado o seguinte diagrama use-case, Figura 10, para auxiliar na definição dos *web services*.

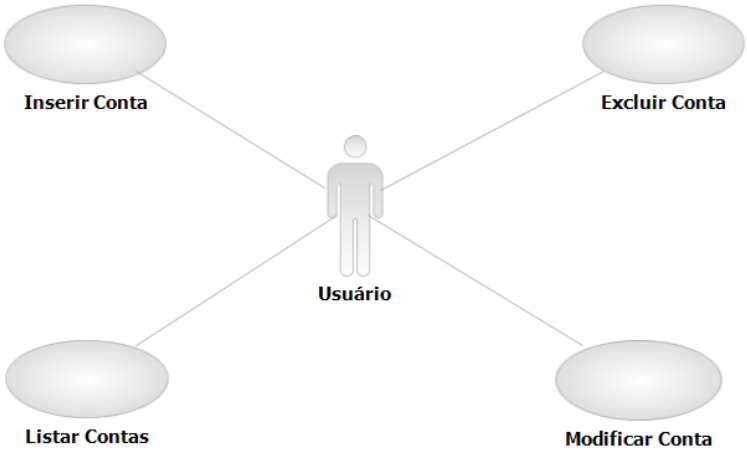


Figura 10. Diagrama Use-Case do sistema de conta a pagar.

Do ponto de vista SOAP, é necessário identificar quais são as atividades que deverão ser disponiblizadas pelo sistema. Basicamente, cada um dos *use-cases* correspondendo a uma atividade. As atividades definidas são:

- Inserir Conta
- Listar Contas
- Modificar Conta
- Excluir Conta

Como o sistema será implementado em Java (Sun, 2009), há que se criar uma classe, que corresponderá ao *web service*. Essa classe será composta por métodos, também conhecidos como "*web method*", os quais representarão as quatro atividades identificadas.

Listagem 6. Exemplo *web service* SOAP implementado em Java.

```
@WebService()
@Stateless()
public class ContasAPagarWS {
    @EJB
    private PagamentFacadeRemote pagamentFacadeBean;

    @WebMethod(operationName = "inserirConta")
    public void inserirConta(
                @WebParam(name = "descricao")String descricao,
                @WebParam(name = "cedente")String cedente,
                @WebParam(name = "dVenc")String dVenc,
                @WebParam(name = "valor")double valor){
       pagamentFacadeBean.adicionar(descricao,cedente,dVenc,valor);
```

```
    }
}
```

Quando se fala em REST, tem-se que identificar quais recursos compõem o sistema e, a partir dos recursos definir quais métodos HTTP (GET, PUT, POST e DELETE) agirão sobre cada um. Nesse caso, tem-se dois recursos, “Conta”, que representa uma única conta cadastrada, e “Contas”, que corresponde à todas as contas cadastradas. Segue a Tabela 5, na qual há o mapeamento dos recursos, seus métodos, status de resposta e suas representações:

Tabela 5. Mapeamento de recursos, métodos, representações e códigos de retorno do HTTP.

Recurso	Método	Representação	Status
Conta	GET	Pagament	200
			404
	PUT	Pagament	200
			404
	POST	Pagament	201
	DELETE		200
			404
Contas	GET	Pagaments	200
			404

Cada recurso definido na tabela será implementado por uma classe Java, com os seus respectivos métodos.

Listagem 7. Exemplo *web service* REST implementado em JAVA

```
public class PagamentResource {
    private Integer id;
    private UriInfo context;

    public PagamentResource(Integer id, UriInfo context) {
        this.id = id;
        this.context = context;
    }

    @GET
    @ProduceMime({"application/xml", "application/json", "text/xml",
                  "text/plain, "text/html"})
    public PagamentConverter get() {
```

```
            try {
                return new PagamentConverter(getEntity(),
                                context.getAbsolutePath());
            } finally {
                PersistenceService.getInstance().close();
            }
        }
    }
```

É óbvio que outras classes terão de ser criadas para a composição dos sistemas como um todo, tanto para o caso SOAP quanto para o REST.

IMPLEMENTANDO WEB SERVICES ATRAVÉS DO NETBEANS 6.1

Para a implementação dos *web services* SOAP e REST propostos foram utilizados o *Netbeans* 6.1, o *Glassfish* V2 e o Java DB.

No caso do *web service* SOAP, foi criado um projeto do tipo "EJB Module", selecionando o "*Glassfish V2*" como servidor. A criação do *web service* foi realizada clicando-se com o botão direito do mouse sobre o projeto, selecionando a opção "*New > web service* ". Os *web methods* podem ser adicionados ao *web service* através de uma interface gráfica ou diretamente ao código da classe. A Figura 11 ilustra a interface gráfica para criação.

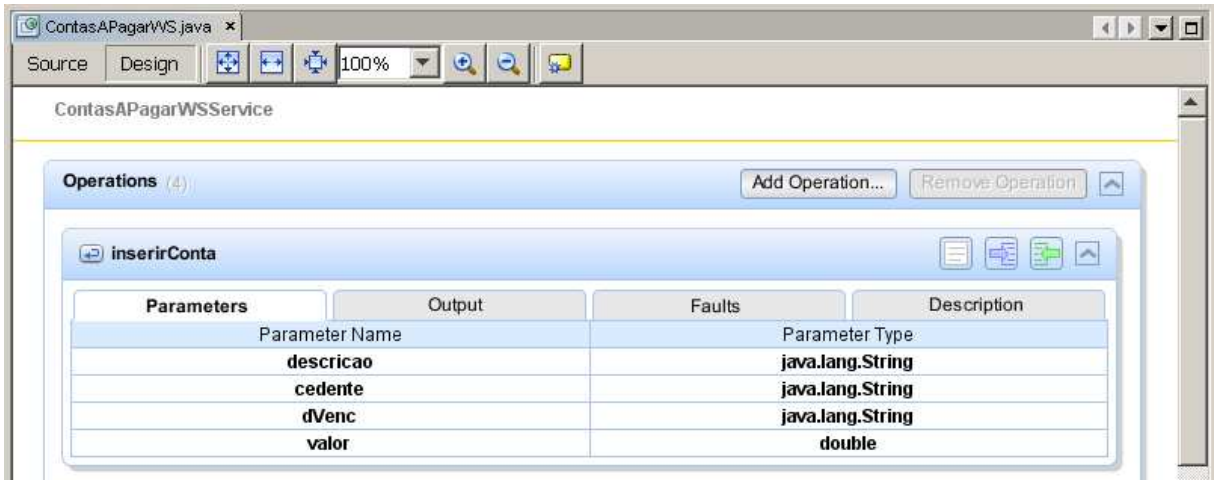


Figura 11. Interface gráfica para a criação de *web services.*

O cliente do *web service* SOAP foi implementado através de um projeto do tipo "*Web Application*" e o "Glassfish V2" como servidor. Clicando com o botão direito do mouse sobre o projeto e selecionando a opção "*New > Web Service Client*", basta

informar qual projeto contém o *web service* que se deseja consumir, e todas as classes (*stubs*) necessárias para o acesso a esse *web service* serão criadas, com base no WSDL do serviço informado (Figura 12).

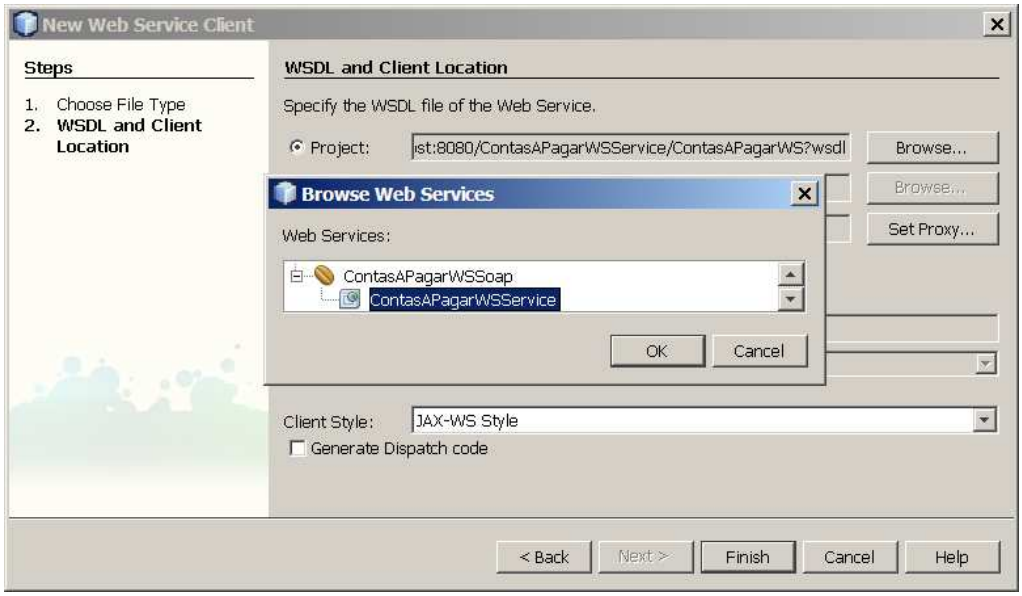


Figura 12. Criando um SOAP *web service client*.

O *web service* REST foi criado a partir de um projeto "*Web Application*", tendo o "*Glassfish* V2" como servidor. Em seguida, foi criada uma classe de entidade baseada numa tabela denominada "*Pagament*", exibida mais adiante. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre o projeto e selecionando a opção "*New > Entity Classes from Database*". A geração do *web service* foi realizada clicando-se com o botão direito do mouse sobre o projeto, e escolhendo a opção "*New > RESTful Web Services from Entity Classes*", conforme Figura 13.

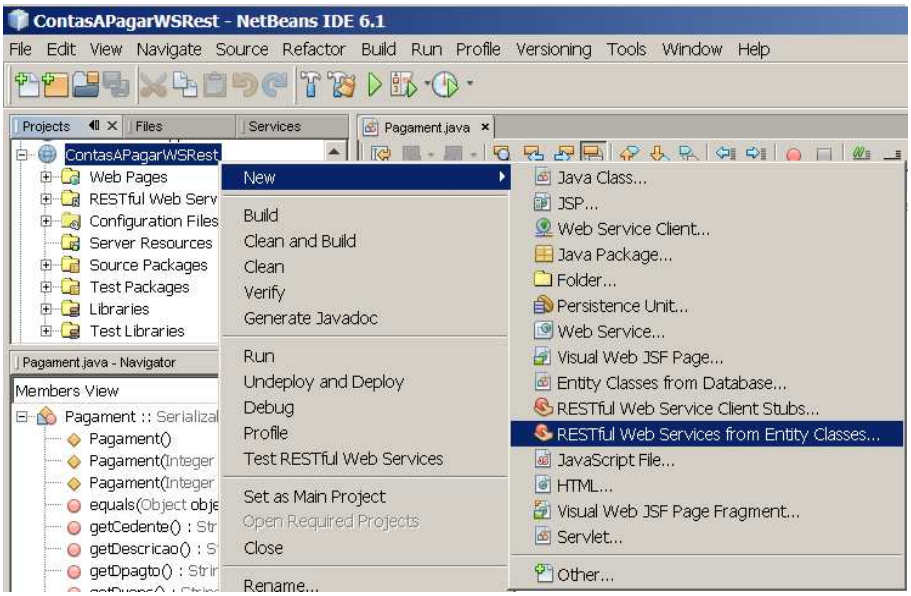


Figura 13. Criando um *web service* REST baseado em *Entity Classes.*

O cliente para o *web service* REST foi desenvolvido através de um projeto do tipo "*Web Application*", tendo o "*Glassfish V2*" como servidor. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre o projeto e selecionando a opção "*New > RESTful Web Service Client Stubs*", basta informar o nome do projeto que contém o *web service* a ser consumido pelo cliente. Nesse caso, serão criados arquivos "*Java Script*" que permitirão o acesso e o consumo do *web service* em questão, conforme ilustrado na Figura 14.

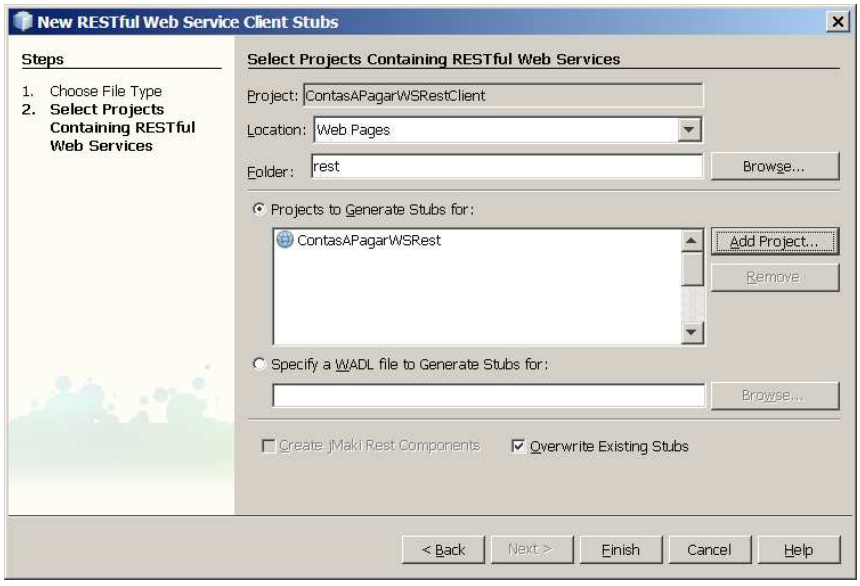


Figura 14. Criando um *web service* cliente para REST.

É importante ressaltar que ambos os projetos foram criados com a utilização de um banco de dados Java DB, chamado “FINANCE”, contendo uma única tabela denominada “PAGAMENT”, cuja estrutura é mostrada na Figura 15.

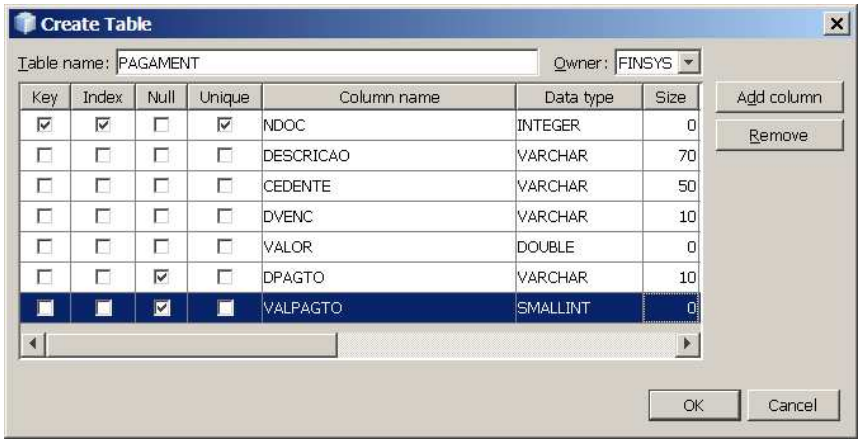


Figura 15. Estrutura da tabela “PAGAMENT”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como antecipado, a intenção deste artigo era expor ao máximo as características de cada um dos padrões e não confrontá-los. De acordo com o que foi apresentado, pode-se observar o que realmente acontece quando *web services* SOAP e REST são executados. Também pode-se apontar quais suas melhores e piores características, em vários aspectos. Dessa forma, o leitor, com base nesse texto, tem totais condições de definir qual o melhor padrão a ser utilizado diante de um determinado domínio de problema. Por exemplo, optando pelo REST, quando se deseja alcançar um melhor desempenho, ou, colocando a segurança das informações antes de qualquer outra coisa, e definindo o SOAP como opção de implementação. Essa maneira de conduzir o desenvolvimento de software é extremamente coerente, deixando de lado as “bandeiras” e procurando sempre definir a melhor solução para o problema em questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIELDING, Roy Thomas. **Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures**. Tese de Doutorado, Univ. da Califórnia, 2000. Disponível em: http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm, recuperado em 10/06/2009.

GREGORIO, Joe. **BITWORKING How to create a REST protocol**. Disponível em: http://www.bitworking.org/news/How_to_create_a_REST_Protocol, recuperado em 10/06/2009A.

GREGORIO, Joe. **BITWORKING REST and WS**. Disponível em: http://bitworking.org/news/125/REST-and-WS, recuperado em 10/06/2009B.

IBM**. Resource-oriented vs. activity-oriented web services.** Disponível em: http://www.ibm.com/developerworks/xml/library/ws-restvsoap/, recuperado em 10/06/2009.

JCP. JSR 311: The Java API for RESTFul Web Services. Disponível em: https://jsr311.dev.java.net/, recuperado em 10/0-6/2009.

SUN MICROSYSTEMS. **Overview: The JavaEE 5 Tutorial**. Disponível em: http://java.sun.com/javaee/5/docs/tutorial/doc/bnaaw.html, recuperado em 10/06/2009.

SINTERIZAÇÃO DE CERÂMICAS DE ALTA ALUMINA COM INCLUSÕES DE ZRO_2

Sintering of high alumina ceramics with ZrO_2 inclusions

Sylma C. MAESTRELLI
Faculdade de Jaguariúna
Faculdade Politécnica de Campinas

Elíria M. J. A. PALLONE
Universidade São Francisco

Fabio R. PASSADOR
Universidade Federal de São Carlos

Mariana S. NASCIMENTO
Universidade Federal de São Carlos

R. TOMASI
Universidade Federal de São Carlos

Resumo: Cerâmicas técnicas de alta alumina que apresentam alto desempenho são utilizadas em diversas aplicações como: selos mecânicos, guias-fio, polias, camisas, pistões entre outras; são geralmente produzidas com aluminas comerciais oriundas do processo Bayer e sinterizadas com aditivos formadores de fases vítreas. Os compósitos de alumina-zircônia pertencem à outra categoria de produtos de maior desempenho. O ZrO_2 em pequenas quantidades de uma segunda fase insolúvel, presente nos contornos de grãos, atuam durante a sinterização como inibidores do crescimento de grãos e assim são aditivos de sinterização que permitem obter densidades próximas à teórica. Neste trabalho procura-se obter compósitos de Al_2O_3 com inclusões de ZrO_2 visando melhoria de desempenho em composições típicas das aluminas técnicas mais convencionais. Foram utilizadas duas aluminas comerciais de características distintas, sendo que uma obtida pela moagem de uma alumina calcinada comum do processo Bayer, visando o aumento de sinterabilidade e outra uma alumina de alta reatividade e baixa soda. Foram preparadas composições com adições de talco e zircônia (2% e 5%) e as sinterizações foram realizadas a 1500, 1550 e 1600°C. As amostras foram caracterizadas quanto à densidade e análise microestrutural. Foi mostrado que os efeitos benéficos de cada tipo de aditivo são complementares e que uma pequena quantidade de zircônia é efetiva na prevenção do crescimento de grãos e em aumentar a densificação final.
Palavras-Chaves: Alumina; Sinterização; Zircônia

Abstract: High performance technical ceramics of high alumina are used in several applications such as mechanical seals, thread guides, pulleys, cylinder jackets, pistons, among others. They are usually produced with alumina powders obtained by the Bayer process and sintered with additives that forms vitreous phases. The composites of alumina-zirconia belong to a class of higher performance stands products. The ZrO_2 added in small amount to high alumina ceramics, as a insoluble second phase in the grain boundaries, acts during sintering as a grain growth inhibitor and accordingly, they are additives of sintering that improve final densification to near the theoretical density. This work aims to obtain alumina composites with zirconia inclusions in order to improve the performance of conventional technical ceramics of high alumina. Two commercial alumina powders were used in the experimental work, one of then obtained from a coarse normal soda calcined Bayer alumina by milling to increase sinterability and the other a reactive low soda alumina. Compositions were prepared with talc (1%) and zirconia (2 and 5%) additions and sintered at 1500, 1550 e 1600°C. The samples were characterized by density measurements and microstructure analyses. It was shown that the beneficial effects of each type sintering additive are complementary and that a small amount of zirconia is effective in prevent grain growth and increase final densification.
Key-words: Alumina; Sintering; Zirconia

INTRODUÇÃO

As cerâmicas de alta tecnologia têm encontrado um grande campo de aplicações industriais como elementos estruturais. Cada vez mais, componentes cerâmicos têm sido introduzidos como parte de sistemas automotores, como elementos de corte em tornos, além de selos mecânicos, guias-fio, polias, camisas e pistões devido às suas características particulares, tais como elevados limites de resistência à compressão, dureza, isolamento térmico e elétrico, entre outras (Tjong, Ma & Li, 1999; Krell, Klaffke, & Am, 1996).

Num corpo cerâmico, a obtenção de uma microestrutura constituída de grãos uniformes com tamanhos sub micrométricos pode resultar num aumento considerável da resistência mecânica, tenacidade e da resistência à abrasão e desgaste (Tjong, Ma & Li, 1999; Krell, Klaffke, & Am, 1996).

A alumina é uma das cerâmicas quimicamente mais puras dentre os pós comercialmente disponíveis com tamanhos de partículas submicrométricas. A utilização de alumina com menor tamanho de grão e pequenas quantidades (menor que 5% em peso) de inclusões de zircônia, têm mostrado maior desempenho no que concerne

principalmente a resistência mecânica, já que estas inclusões atuam durante a sinterização como inibidores do crescimento de grãos.

No que concerne a adição de talco, estudos a década de 50 já comprovavam a eficiência do MgO no controle do crescimento de grãos de alumina. Desde então, muitas pesquisas foram feitas com o intuito de explicar quais os mecanismos responsáveis pela inibição do crescimento de grãos na alumina com a adição de MgO (Johnson, Coble & Am, 1978; Ikegami, Eguchi & Mater, 1999); segundo alguns autores (Benninson & Harmer, 1990), a alumina reage à presença de MgO de diferentes maneiras, dependendo do nível e tipos de impurezas presentes; mas, apesar destas, o efeito mais importante do MgO é a redução da mobilidade de contornos, através do mecanismo de ancoragem por soluto, mantendo os poros juntos aos contornos de grãos e possibilitando a eliminação desses poros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas duas aluminas de pureza e granulometrias distintas, a alumina calcinada S3G (ALCAN - Brasil) e alumina MR 70 (Martinswerk – Alemanha). Como aditivos de sinterização foram utilizadas a zircônia (DAIICHI-KIGEWSO EP-GRADE) e o talco (Minasolo). As aluminas, como recebidas, tinham como especificações dos fornecedores, d_{50} (tamanho abaixo do qual encontram-se 50% em peso das partículas), respectivamente de 2-3 μm e 0,6-0,8 μm. Outra importante diferença entre as duas aluminas é o grau de pureza. Enquanto a alumina S3G apresenta um teor de óxido de sódio de até 0,35% em peso, típico de uma alumina do processo Bayer não submetida a qualquer processo especial de purificação, a alumina MR 70 apresenta teor total de impurezas - inferior a 0,05% em peso.

Após prévio estudo da otimização do processo de moagem (Pallone et. al., 2002), a alumina S3G foi moída em moinho vibratório por 28 horas visando o aumento de sinterabilidade do pó, utilizando-se razão bola:material de 10:1, 60% de água e 1% peso de defloculante (Drew) em relação à massa de alumina. A secagem do pó foi realizada em Spray Dryer (Niro Atomizer). Esse pó foi caracterizado quanto à

distribuição de tamanhos de partículas, utilizando-se o equipamento Sedigraph 5100 (Micromeritics), determinando-se o valor de d_{50} de cerca de 1,0μm. Devido ao menor tamanho médio de partículas da alumina MR 70 (menor que 1 μm), a etapa de moagem não se fez necessária, trabalhando-se diretamente com o pó fornecido pelo fabricante.

A Tabela I mostra as composições estudadas no presente trabalho bem como suas respectivas identificações. As composições apresentadas são referentes ao dois tipos de alumina utilizados e as quantidades de aditivos utilizadas são dadas em porcentagem em peso.

Para a preparação das composições supracitadas as misturas foram feitas em moinho de bolas via úmida por 6 horas, com adição de Polietilenoglicol e Ácido Oléico como defloculante e lubrificante de prensagem, respectivamente. As suspensões obtidas foram secas em ”spray dryer”.

Tabela I. Composições estudadas utilizando os dois tipos de alumina e suas respectivas identificações.

Código	Composição estudada
A	Alumina pura
AT	Alumina + 1% Talco
A2Z	Alumina + 2% Zircônia
A2ZT	Alumina + 1% Talco + 2% Zircônia
A5Z	Alumina + 5% Zircônia
A5ZT	Alumina + 1% Talco + 5% Zircônia

Pastilhas de 12mm de diâmetro e 3,5mm de altura foram obtidas através de prensagem uniaxial (50MPa), seguida de prensagem isostática (200MPa). Foi determinada a densidade a verde dos corpos de prova. Após calcinação, as amostras foram sinterizadas em forno de resistência “Super Kantal” marca LINN HIGH THERM, nas temperaturas de 1500º, 1550º e 1600ºC, usando taxa e aquecimento de 10°C/min e patamar de 2 horas. A caracterização das amostras sinterizadas foi feita através de medidas de densidade aparente e porosidade aparente, utilizando-se o princípio de

Arquimedes e de análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura em superfícies polidas e atacadas termicamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as curvas de distribuição de tamanho de partículas da alumina S3G após moagem em moinho vibratório durante 28 horas e da alumina MR70 como recebida. Como mencionado anteriormente, a alumina S3G apresentou d_{50} de aproximadamente 1μm após moagem, enquanto que para a alumina MR70 o valor de d_{50}, em torno de 0,4μm.

A Figura 2 a seguir mostra os resultados de densidade a verde obtidos para as diferentes composições estudadas variando-se, para uma mesma composição, o tipo de alumina. Pode-se observar que todas as composições da alumina S3G apresentaram maior densidade a verde quando comparadas às respectivas composições da alumina MR70. Apesar desta diferença, todas as amostras apresentaram elevados valores de densidade a verde, já que os menores valores estão em torno de 57% do valor da densidade teórica. Além disso, de um modo geral, pode-se assumir que as diferenças de densidade a verde entre as amostras não são significativas quanto à influência que possam ter sobre o comportamento das mesmas na sinterização.

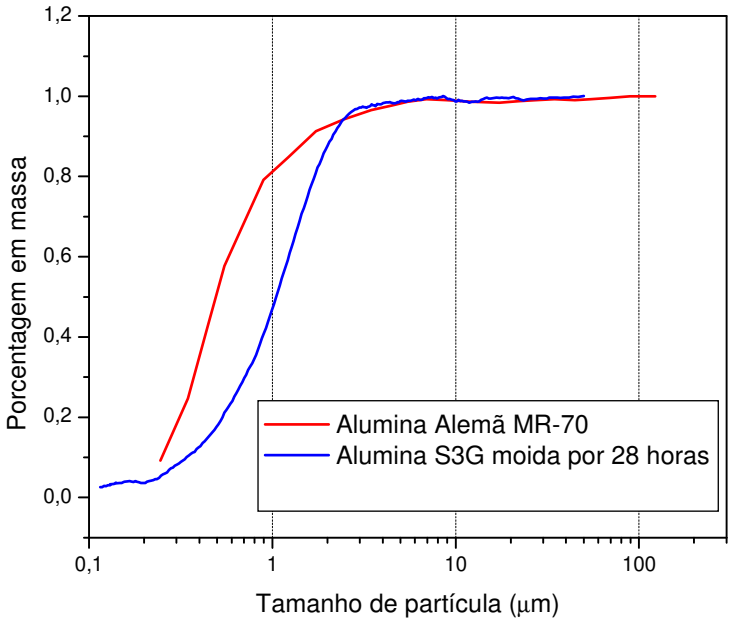


Figura 1. Curvas de distribuição de tamanho de partículas da alumina S3G após moagem em moinho vibratório durante 28 horas e da alumina MR-70 sem moagem.

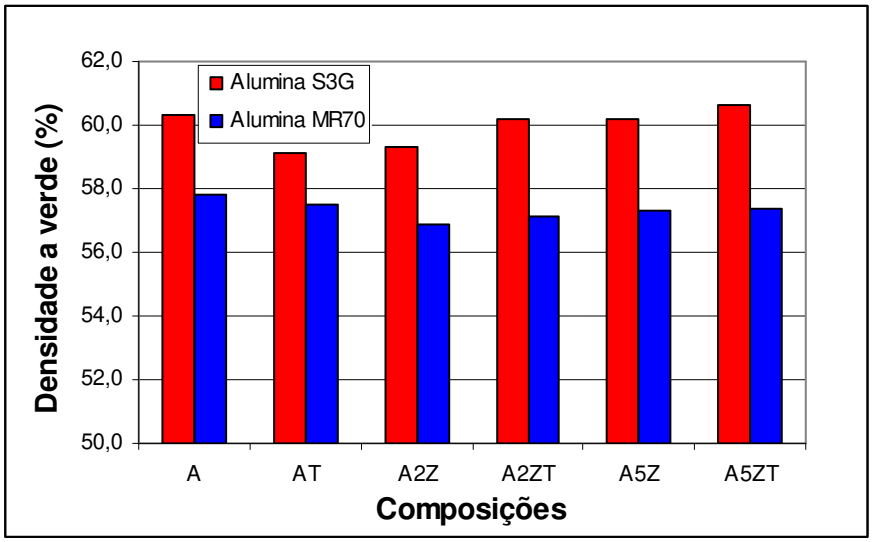


Figura 2. Medidas de densidade a verde das diferentes composições estudadas.

A Figura 3(a) e (b) mostra, respectivamente, os resultados de densidade aparente das amostras obtidas com as aluminas S3G e MR70 sinterizadas a 1500, 1550 e 1600°C com patamar de 2 horas. Para todas as composições estudadas e sinterizadas a temperaturas distintas, observa-se que a alumina MR70 atinge maiores

densidades do que a alumina S3G, em toda a faixa de temperatura estudada. Tal comportamento se deve ao menor tamanho médio de partículas da alumina MR70, o que implica numa maior reatividade do pó. Isso fica evidente nas amostras sem aditivos de sinterização. Nessas, a alumina S3G atinge densidade pouco acima de 80 %DT em sinterização a 1600°C enquanto a alumina MR70 resulta em densidades superiores a 95 %DT mesmo com sinterização a 1500°C.

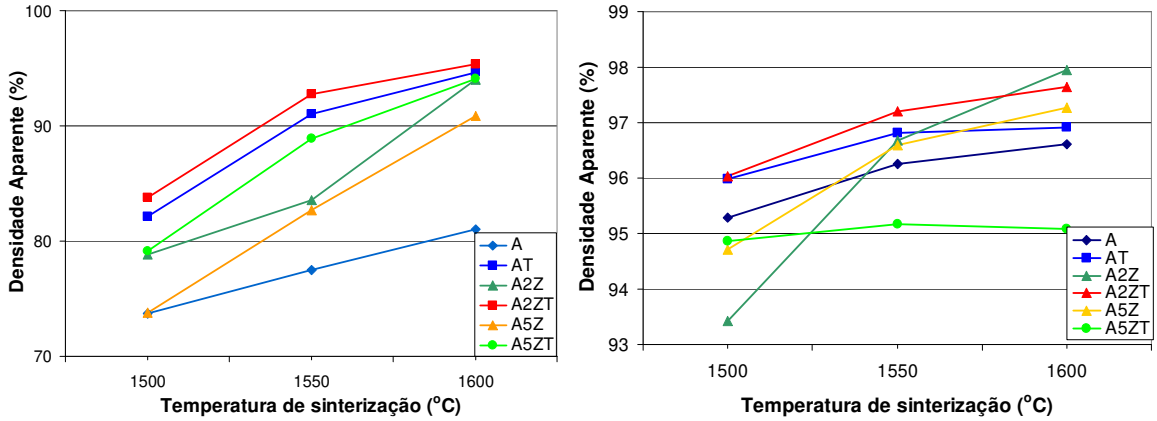


Figura 3. Densidade aparente (g/cm^3) das aluminas: (a) S3G e (b) MR70, sinterizadas a 1500, 1550 e 1600°C com patamar de 2 horas.

Observa-se ainda na Figura 3, que os aditivos de sinterização atuam de modo diferenciado sobre os diferentes tipos de aluminas. Para a alumina S3G o efeito da adição de talco é bem acentuado mesmo na menor temperatura de sinterização. Nesse caso deve-se considerar a presença do sódio na alumina que, na presença da sílica e da magnésia fornecidas pelo talco, promove a formação de fase líquida durante a sinterização a baixas temperaturas. O efeito das adições de zircônia também é significativamente benéfico para o aumento da densidade de sinterização, sendo a adição de 2% mais efetiva que a de 5%. É bem conhecido o efeito de teores entre 10% e 20% de zircônia na sinterização de aluminas usuais quando se deseja o efeito de tenacificação por transformação de fase. Nesses casos, a presença da zircônia eleva significativamente a temperatura de sinterização. Aqui vemos que pequenos teores de zircônia têm efeito contrário, aumentando a densidade das amostras sinterizadas. Como a zircônia tem pouca ou nenhuma solubilidade na alumina, o seu efeito é provavelmente devido a uma atuação de ancoramento do movimento dos contornos de

grãos, atuando assim, de modo similar ao da adição de MgO. A presença de talco junto com a zircônia resulta em aumento adicional da densidade.

A Figura 4 mostra as micrografias da alumina S3G somente moída e com adições de talco e de zircônia, sinterizadas a 1550ºC por 2 hs. Essas micrografias mostram o aumento de densidade como resultado dos aditivos e a presença dos poros junto aos contornos de grãos.

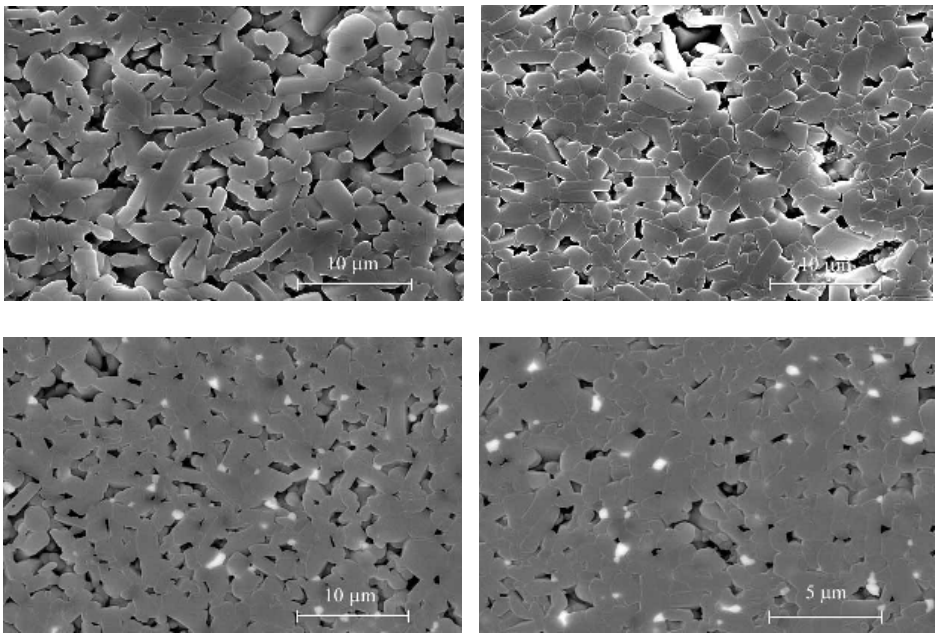


Figura 4. Micrografias de alumina S3G: (a) somente moída, (b) com 1% peso de talco, (c) com 2% peso de ZrO_2 e (d) com 2% peso de ZrO_2 e 1% peso de talco, sinterizadas a 1550ºC por 2hs.

Para ambas aluminas, as composições Alumina+2% de zircônia+1% de talco apresentaram os melhores resultados, sendo que o efeito mais pronunciado ocorre para a alumina S3G, já que esta, sem aditivos, apresenta baixa sinterabilidade. Por outro lado, para a alumina MR 70, que apresenta alta sinterabilidade devido ao menor tamanho de partículas, a adição de talco é pouco efetiva em aumentar a densidade após sinterização. Nesse caso, com a baixa porosidade a tendência a ocorrer crescimento de grãos é maior e o talco atua de modo a favorecer o crescimento de grãos e o aparecimento de poros no interior dos grãos, como mostra a Figura 5. Este último efeito é prejudicial à continuidade do processo de densificação e às

propriedades mecânicas do corpo cerâmico obtido. A adição de 2% de zircônia nessas amostras atua prevenindo o crescimento de grãos.

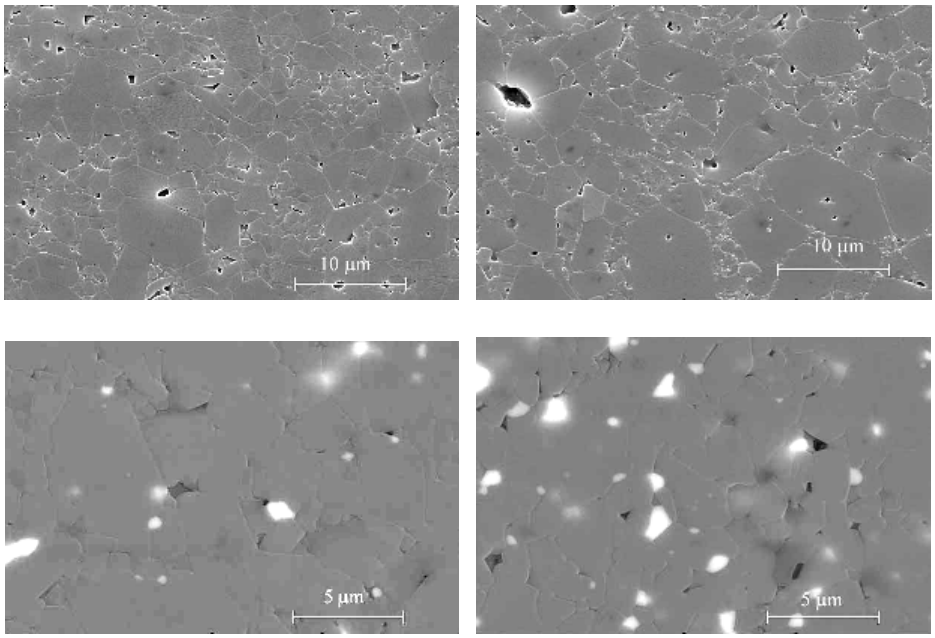


Figura 5. Micrografias de alumina MR70: (a) somente moída, (b) com 1% peso de talco, (c) com 2% peso de ZrO_2 e (d) com 2% peso de ZrO_2 e 1% peso de talco, sinterizadas a 1550ºC por 2 horas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de talco e ZrO_2 (2% peso) nas duas aluminas estudadas melhoram a densificação, sendo que para a alumina S3G, após moagem, esse efeito é muito mais pronunciado. Assim, para essa alumina observou-se que os valores de densidade e as características microestruturais se aproximam das obtidas com a alumina MR 70, que uma alumina de maior qualidade e mais cara. Para a obtenção desse resultado com a alumina S3G, o talco se mostrou mais efetivo em aumentar a densidade final de sinterização enquanto a adição de apenas 2% em peso de zircônia foi mais importante como inibidor do crescimento de grãos. Para a alumina MR 70, que originalmente já apresenta alta sinterabilidade, o efeito da zircônia parece ser mais importante ao prevenir o crescimento de grãos nos estágio finais de sinterização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da FINEP, através do projeto CTPetro e do CNPq/RHAE e a ENGECER Ltda., pela colaboração.

BIBLIOGRAFIA

TJONG, S.C., MA, Z.Y., LI, R.K.Y.. **Materials Letters**, 38, 39-44 (1999).

KRELL, D., KLAFFKE, AM, J.. **Ceram. Soc**., 70[5], 1139-46 (1996).

JOHNSON, W.C., COBLE, R.L., AM, J.. **Ceram. Soc**., 61, nº 3-4, 110-14 (1978).

HEUER, H., AM, J. **Ceram. Soc**., 62, nº 5-6, 317-18 (1979).

BENNINSON, S.J., HARMER, M.P., AM, J.. **Ceram. Soc**., 68, nº 1, C22-C24 (1985).

IKEGAMI, T., EGUCHI, K., MATER, J.. **Res**., 14, nº 2, 509-517 (1999).

BENNINSON, S.J., HARMER, M.P.. **Ceramic transaction**, 7, 13-19 (1990).

PALLONE, E.M.J.A., PASSADOR, F.R., GUERRA, R.E.C., NASCIMENTO, M.S. e TOMASI, R.. **Anais do 46°Congresso Brasileiro de Cerâmica**, (2002).

ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLI(ε-CAPROLACTONA) (PCL) COM A ADIÇÃO DE UM AGENTE EXPANSOR

Change the mechanical properties of Poli(ε-caprolactone) (PCL) with the addition of an expander agent

Patrícia MATTIAZZO PANTANO
Faculdade Politécnica de Campinas
Faculdade de Jaguariúna
Faculdade Max Planck

Derval dos Santos ROSA
Universidade Federal do ABC

Rubens PANTANO FILHO
Faculdade Max Planck

Resumo: Este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações das propriedades mecânicas do Poli(ε-caprolactona) (PCL), um polímero não natural, pertencente à família dos poliésteres alifáticos, muito estudado como substrato de biodegradação e utilizado no campo médico por suas características de biocompatibilidade, com a adição do bicarbonato de sódio, uma substância utilizada como agente expansor em bases poliméricas. A finalidade da adição do bicarbonato é a geração de poros abertos na malha do filme para facilitar a incorporação de substâncias que podem ser transportadas por este polímero para sistemas biológicos.
Palavras-chave: Agente expansor, Poli(ε-caprolactona), ensaios mecânicos.

Abstract: This study aims to evaluate changes in mechanical properties of Poli (ε-caprolactone) (PCL), a unnatural polymer, belonging to the family of aliphatic polyesters, much studied as a substrate for biodegradation and used in the medical field for its characteristics of biocompatibility, with the addition of sodium bicarbonate, a substance used as an expander-based polymer. The purpose of adding bicarbonate is the generation of opened pores in the fabric of the film to facilitate the incorporation of substances that can be carried by the polymer for biological systems.
Key-words: Expander-based, Poli(ε-caprolactone), mechanical tests.

INTRODUÇÃO

Atualmente, pode se encontrar uma variedade de produtos farmacêuticos voltados à utilização na forma tópica ou transdérmica para diversos tratamentos

médicos. Em geral, esses tratamentos utilizam uma base polimérica na qual o medicamento é inserido. A maioria das bases poliméricas utilizadas para este fim é formulada com polímeros que apresentam boa compatibilidade com a pele humana.

Visto que os polímeros, de um modo geral, apresentam alta resistência à degradação, os produtos formulados com base nesses materiais apresentam a durabilidade como importante característica. Nas sociedades contemporâneas, as utilizações desses materiais, com os mais variados fins, têm provocado sérios impactos ambientais. Então, também no contexto dos produtos farmacêuticos, não pode ficar em segundo plano a preocupação com o comportamento desses materiais poliméricos depois de descartados no meio ambiente.

O Poli(ε-caprolactona) (PCL) é um polímero não natural, também chamado de sintético, pertencente à família dos poliésteres alifáticos, sendo muito estudado como substrato de biodegradação. É um polímero derivado da ε-caprolactona, altamente cristalino, tenaz, flexível e possui baixa temperatura de transição vítrea (entre -60 e -70°C), É um polímero semicristalino, com grau de cristalinidade de 50%, apresentado uma forma pastosa (Rosa & Pântano, 2003).

Uma das características mais importante do PCL é sua biocompatibilidade, o que torna seu uso possível no campo médico (Chandra & Rustgi, 1998). O PCL é utilizado com freqüência em sistemas de liberação de fármacos, pois além de ser biodegradável, sua decomposição não é tóxica, sendo expelida facilmente pelo organismo humano (Rusu, Urso & Rusu, 2006; Méier, Kans & Soldi, 2004). Além disso, é um polímero miscível com diversos polímeros (Lin, Flanagan & Linhart, 1994), possui alta hidrofobicidade (Li, Chen, Gross & McCarthy, 2000) e é compatível com polímeros que apresentam um caráter de cristalização elevado (Rosa, Guedes, Casarin e Bragança, 2005).

A Figura 1 ilustra a estrutura química do PCL e sua reação de obtenção.

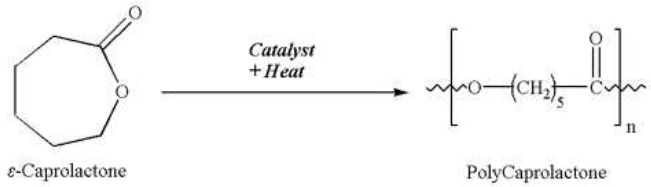


Figura 1. Reação de obtenção e a estrutura química do PCL.

O poli (ε-caprolactona) (PCL) é geralmente obtido por meio da abertura do anel de polimerização do ε-caprolactona, resultando como produto um poliéster alifático. Esta polimerização requer o uso de um iniciador alcoólico em combinação com um ácido de Lewis, que é o catalisador da reação (Jones, Kange, Moller & Trollsas, 2002). A abertura do anel do monômero é relativamente fácil e se dá por compostos que possuem átomos ativos de hidrogênio, como alcoóis, entre eles o etanol, propanol e também o etileno glicol, além de outros solventes orgânicos (Freitas, 2004).

Por ser um polímero biodegradável, o poli (ε-caprolactona) (PCL) oferece significativa vantagem sobre os materiais não biodegradáveis nas suas aplicações médicas. A função regeneradora dura por um tempo limitado, evitando problemas específicos como reações inflamatórias de encapsulamernto, rejeição, fadiga do material, degradação por exposição a fluidos corpóreos e conseqüente reposição do artefato (Ishaug et. al. 1997).

Outra característica importante é que dentre os principais polímeros biodegradáveis e bioreabsorvíveis encontram-se os poliésteres alifáticos sintéticos, dos quais fazem parte o poli (ácido glicólico) (PGA), poli (ácido láctico) (PLA), poli (ácido láctico-co-ácido glicólico) (PLGA), poli (ε-caprolactona) (PCL), seus copolímeros e outros. Exposto aos fluidos aquosos do corpo, inicialmente os materiais sofrem hidratação. Com a presença das moléculas de água, o processo de degradação dá-se por meio da hidrólise das ligações ésteres, originando produtos na forma de oligômeros, ou monômeros, solúveis e não tóxicos. A degradação prossegue então por processos biologicamente ativos ou pela clivagem hidrolítica passiva (Huang et. al., 2004). O processo de hidrólise do PCL pode ser esquematizado conforme a Figura 2.

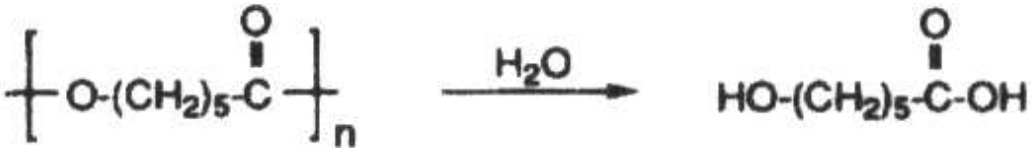


Figura 2 - Reação de hidrolise do Poli (ε-caprolactona).

Além da importante degradação sofrida pelo Poli(ε-caprolactona) quando usado como biomaterial, este é um polímero que apresenta boa biodegradação quando avaliado em solo simulado e simulado de ambiente marinho. Estudos demonstram que a diferença na biodegradação das amostras de polímeros, em ambiente marinho em e solo simulado, pode ser explicada pelo maior crescimento dos microrganismos na superfície do polímero no solo e pela maior temperatura do solo comparada com a água do mar, visto que a taxa de hidrólise, que se constitui numa das etapas iniciais para a ocorrência da biodegradação, aumenta com o aumento da temperatura (Calil, Gabiardi, Guedes & Rosa, 2006).

O bicarbonato de sódio, ou hidrogeno-carbonato de sódio é um composto cristalino de cor branca, muito solúvel em água. Uma de suas principais características é sua capacidade de liberar CO_2 quando aquecido. Essa característica de sal permite que sua utilização esteja espalhada por diversas áreas industriais, tais como: alimentícia, farmacêutica, química, entre outras.

A Figura 3 ilustra a estrutura química do bicarbonato de sódio.

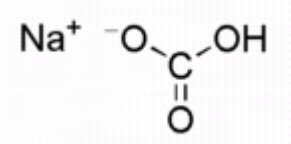


Figura 3 – Ilustração da estrutura química do hidrogeno carbonato de sódio.

Os agentes expansores são compostos químicos que se decompõem nas condições de processamento, muitas vezes no estado fundido (Sampaio, 2004). Estes compostos, tipicamente no estado sólido, são misturados com o polímero, e quando aquecido se decompõe termicamente, provocando a expansão do material. Os agentes expansores químicos endotérmicos necessitam de fornecimento de energia e

produzem CO_2, que é o gás que auxilia na expansão e formação de bolhas no polímero.

Para materiais poliméricos, os agentes expansores podem ser classificados em:

- Agentes expansores físicos: de baixo custo como o azoto, dióxido de carbono, hélio ou hidrogênio e com aplicação direta no polímero fundido por compressão;
- Agentes expansores voláteis: tipicamente líquidos, com baixas temperaturas de ebulição, como os clorofluorcarbonados ou a água, utilizados na produção de espumas de baixa densidade;
- Agentes expansores químicos: químicos puros que se decompõem nas condições de processamento do fundido.

Dentro desta classe de compostos, o hidrogeno-carbonato de sódio, também chamado de bicarbonato de sódio, é um sal muito utilizado para a geração de poros na estrutura do filme polimérico. O bicarbonato de sódio pode ser usado como agente expansor com a adição e mistura física na forma de pó, no momento de confecção do filme polimérico.

Existem dois tipos de poros que podem ser formados: poros abertos e poros fechados. Os poros abertos ou também chamados de interligados são aqueles que têm contato com a superfície externa do material e entre si. Os poros fechados são aqueles sem conexão tanto com a superfície externa do material como com os outros poros (Vlack & Hall, 1973). Os poros abertos permitem a incorporação de substâncias com ação farmacológica no filme polimérico e também permitirá a troca gasosa da pele lesionada com o ambiente externo, uma das características citadas por Turner como fatores de escolha para a cobertura apropriada para manter o ambiente propício para a reparação dos tecidos lesionados na pele humana.

OBJETIVOS

Para a avaliação das propriedades mecânicas do PCL foram confeccionados filmes poliméricos com diversas concentrações de bicarbonato de sódio, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Proporção dos reagentes na confecção dos filmes poliméricos.

PCL	$NaHCO_3$
% em massa	% em massa
100	0
95	5
90	10
85	15
80	20

Foram realizadas misturas de 10g dos reagentes (polímero mais bicarbonato de sódio), nas proporções indicadas na Tabela 3.1, com 60 mL de acetona. A mistura foi agitada por 6 horas na temperatura de 60ºC, sob agitação durante 6 horas. Após o tempo descrito, as soluções foram colocadas em placas de vidro, em ambiente saturado com acetona, e deixados por 24 horas até a formação total dos filmes poliméricos. A acetona foi escolhida, pois foi utilizada em trabalho prévio, bem como neste solvente o PCL apresenta uma excelente solubilidade (Calil, Gaboardi, Bardi, Rezende & Rosa, 2007).

Para avaliar as propriedades mecânicas dos filmes confeccionados, foram utilizados corpos-de-prova de formas e dimensões segundo a ASTM D-638/99 (ASTM, 1999). Para realização dos ensaios foi utilizada uma máquina de ensaio universal, modelo DL 2000 NS 5921 EMIC, fabricada pela empresa Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. (São Jose dos Pinhais, PR, Brasil), com programa de controle Mtest LBP versão 3,00 e célula de carga com capacidade de 20.000 kgf, de acordo com a norma ASTM D-638/99. A distância utilizada entre as garras foi de 25mm, com extensômetro, e velocidade de ensaio de 50 mm/min. As propriedades de resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade foram determinados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos ensaios de tração realizados estão mostrados nas Figuras 4, na Figura 5 e na Figura 6.

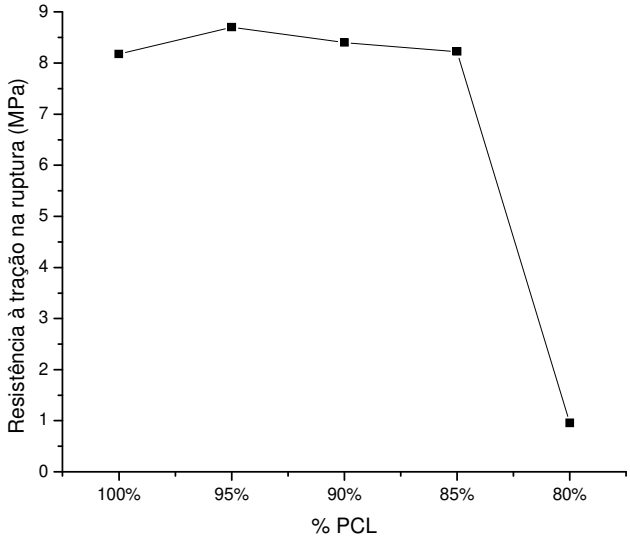


Figura 4 – Resistência à tração na ruptura para cada formulação contendo PCL e suas misturas com bicarbonato de sódio.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que ocorre uma alteração pouco significativa na resistência à tração na ruptura do polímero, na medida em que o bicarbonato de sódio é acrescentado à formulação. As formulações com 95%, 90% e 85% de PCL apresentaram menores valores. Na formulação com 80% de PCL e 20% de $NaHCO_3$ a resistência à tração na ruptura foi muito menor que os demais valores obtidos. Possivelmente, a interface entre o bicarbonato de sódio e a matriz polimérica se mostra frágil o que interferiu no comportamento mecânico da amostra.

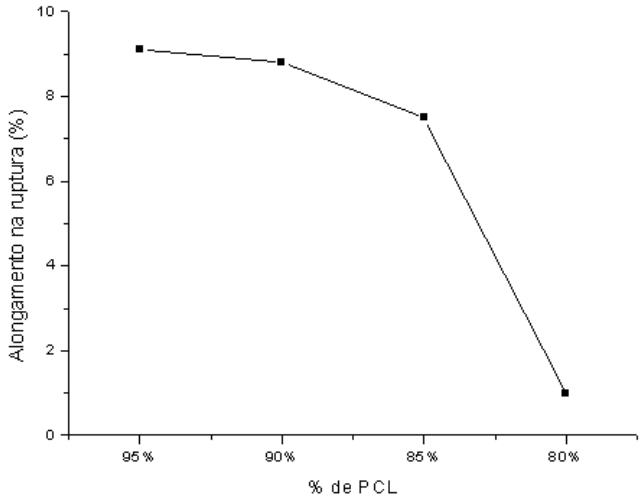


Figura 5 – Alongamento na ruptura para cada formulação em % de PCL.

Na Figura 5 pode-se observar que a inclusão do bicarbonato de sódio no polímero altera o alongamento na ruptura do polímero. O valor do alongamento na ruptura das formulações variou de acordo com o aumento da concentração de bicarbonato. Ocorreu uma diminuição no alongamento quando o $NaHCO_3$ foi acrescentado aos filmes de PCL.

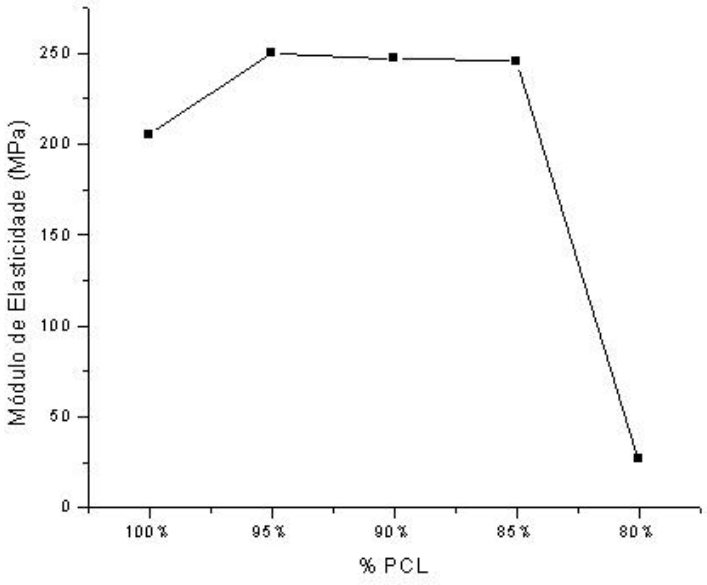


Figura 6 – Módulo de elasticidade para cada formulação em % de PCL.

Pela Figura 6 foi possível observar que a inclusão do bicarbonato de sódio no polímero alterou o módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade das formulações

variou de acordo com o aumento da concentração de bicarbonato. Ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade quando o $NaHCO_3$ foi acrescentado ao PCL. Porém, com a adição de 15% de $NaHCO_3$ aumentou-se também a rigidez do material, superando o valor de módulo de elasticidade do PCL puro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio dos ensaios mecânicos realizados nas formulações de PCL e bicarbonato de sódio permitem concluir que ocorreu uma alteração pouco significativa na resistência à tração na ruptura do polímero, na medida em que o bicarbonato de sódio é acrescentado à formulação excetuando a formulação com 80% de PCL e 20% de $NaHCO_3$, na qual a resistência à tração na ruptura foi muito menor que os demais valores obtidos. Possivelmente, a interface entre o bicarbonato de sódio e a matriz polimérica se mostra frágil o que interferiu no comportamento mecânico da amostra. No ensaio de alongamento na ruptura pode-se observar que a inclusão do bicarbonato de sódio altera a propriedade no polímero. A inclusão do bicarbonato de sódio também alterou o módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade das formulações variou de acordo com o aumento da concentração de bicarbonato. Ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade quando o $NaHCO_3$ foi acrescentado ao PCL. Na formulação com 15% de $NaHCO_3$ a rigidez do material foi aumentada.

O presente trabalho demonstrou que o acréscimo de um agente expansor no PCL altera suas propriedades mecânicas, demonstrando macroscopicamente que houve uma incorporação do bicarbonato de sódio e que os poros abertos foram gerados na malha polimérica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia. Standard Method for Tensile Properties of Plastics: **ASTM D 638-99**, Annual Book of ASTM Standards, v. 08. 01, 1999.

CALIL M. R., GABOARDI F., GUEDES C. G. F., ROSA, D. S. Comparação de três metodologias de avaliação de biodegradação de blendas de poli(ε-caprolactona) com acetato de celulose. **Polymer Testing,** v: 25, p: 597-604, 2006.

CALIL M. R., GABOARDI, F., BARDI, M.A.G. REZENDE, M.L., ROSA, D.S.. Enzymatic degradation of poly (e-caprolactone) and cellulose acetate blends by lipase and a-amylase, **Polymer Testing**, V: 26 p: 257–26, 2007.

CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable polymers. **Prog. Polym. Sci.,** London, v.23, p. 1273-1335, 1998.

FREITAS, J. Estudo das propriedades termomecânicas e morfológicas de blendas biodegradáveis de poli (ε-caprolactona) (PCL) com amido de milho natural e modificado. Tese de Mestrado, 2004, Universidade de Campinas, Brasil.

HUANG, M. H.; LI, S.; HUTMACHER, D. W.; SCHANTZ, J. T.; VACANTI, C. A.; BRAUD, C. & VERTt, M. **J. Biomed. Mater. Res**., v: 69A, p.417, 2004.

ISHAUG, Susan, L.; CRANE, Genevieve M; MILLER, Michael J.; YASKO, Alan W. et al. Bone formation by three-dimensional stromal osteoblast culture in biodegradable polymer scaffolds. **J Biomedical Materials Research,** v: 36, p: 17-28, 1997.

JONES, T; KANGE, R.; MOLLER, M.; TROLLSAS, M; et al. Optimization of living Ring-opening polymerization of ε-caprolactone. IBM Almaden Research Center, San Jose, CA and center for Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies (CPIMA), J.W. Labadie Argonaut Technologies, San Carlos, CA, 2002, 3p.

LI, S.M; CHEN, X.H; GROSS, R.A; McCARTHY, S.P., **Journal of Materials Science**: Materials in Medicine, v: 11, p: 227-233, 2000.

LIN, W.J; FLANAGAN, D. K.; LINHARDT, R, J., **Pharmaceutical Research**, v: 7, p. 1030-1035, 1994.

MEIER, M. M., KANIS, L. A. and SOLDI, V.; **International J. Pharmaceutics**, p: 278 a 99, 2004.

ROSA, D. S., GUEDES, C.G.F., CASARIN, F; BRAGANÇA, F.C., **Polymer Testing**, v: 24, p: 542-548, 2005.

ROSA, D. S.; PANTANO, R. F. **Biodegradação: Um Ensaio com Polímeros**. Itatiba: Editora Moara, 2003. 112 p.

RUSU, M., URSU, M. and RUSU, D.; J. **Thermoplastic Composite Materials**, v: 19, p: 173, 2006.

SAMPAIO, M. C. R. R. Influência das condições de processamento na estrutura e comportamento mecânico de espumas estruturais injetadas com agentes expansores químicos. **Tese de Mestrado, 2004.** Universidade do Minho, Portugal.

VLACK, V, HALL, L.. **Propriedade dos materiais cerâmicos**. Editora Edgard Blucher, SP, Brasil, 1973, 220p.