



## **Avaliação da qualidade ambiental da água do Rio dos Sinos/RS em trecho urbano**

**Ana Lúcia Brunetta Cardoso<sup>1</sup>, Eloir Dutra Lourenço<sup>2</sup>, Luciana Rodrigues Nogueira<sup>3</sup>, Wyllame Carlos Gondim Fernandes<sup>4</sup>, Daniela Montanari Migliavacca Osorio<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup>Universidade Feevale (anabrunetta@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Feevale (eloirdl@feevale.br)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
(luciananogueira@ifsul.edu.br)

<sup>4</sup> Universidade Feevale (wyllame@ifce.edu.br)

<sup>5</sup> Universidade Feevale (danielaosorio@feevale.br)

### **Resumo**

O Rio dos Sinos é um dos principais rios do Rio Grande do Sul, apresenta 190 km de extensão, atravessa áreas urbanas como: Taquara, Sapiranga, São Leopoldo, Novo Hamburgo e Canoas. O aumento populacional nos grandes centros urbanos gera problemas de ordem sanitária devido à falta de saneamento, o que afeta principalmente o ecossistema hídrico. A fim de determinar a contribuição de poluentes domésticos orgânicos nas águas do Rio dos Sinos, avaliamos a qualidade da água do rio através dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e da quantificação de cafeína de 2 pontos e a partir desses resultados, estudaremos o impacto antrópico em suas águas. Foi observado índices de contaminação nos dois pontos analisados, sendo o ponto 2 com os maiores índices de contaminação fecal, acompanhado pelas análises físico-químicas. A análise de cafeína revelou que este é um bom marcador de contaminação antrópica, e apontou índices maiores no Ponto 1. Os resultados apontam que o rio está sendo contaminado por ação antrópica, reduzindo a qualidade ambiental de suas águas.

Palavras-chave: Rio dos Sinos. Ação Antrópica. Monitoramento.

Área Temática: Impacto Ambiental

## **Evaluation of environmental water quality of Rio dos Sinos/RS in urban stretch**

### **ABSTRACT**

Sinos River is one of the main rivers of Rio Grande do Sul, presenting 190m Km of extension and runs through urban areas as: Taquara, Sapiranga, São Leopoldo, Novo Hamburgo and Canoas. The population increase in major urban centres creates health problems due to poor sanitation, which mainly affects the water ecosystem. In order to assess the contribution of domestic organic pollutants in the Rio dos Sinos waters, we evaluate the river water quality through physical-chemical and microbiological parameters and the caffeine quantification in 2 points and from these results, evaluate the anthropic impact in its waters. Contamination rates were observed in the colon, and the point 2 had the highest rates of faecal contamination, supported by physical-chemical analysis. Caffeine analysis revealed that this is a good marker of anthropogenic contamination, however indicated higher indexes in point 1. The results



indicate that the river is being contaminated by anthropogenic action, reducing its waters quality.

Key words: Sinos River. Anthropogenic Action. Monitoring.

Thematic Area: Environmental Impact

## 1 Introdução

A degradação do meio ambiente tornou-se, nas últimas décadas, pauta de interesses nacionais e internacionais. Das mais diversas formas, países mobilizam-se na busca de soluções por intermédio de acordos e protocolos cujas intenções normatizam condutas quanto às suas práticas, políticas ambientais e conscientização da população. É notório que o crescimento populacional nas áreas de mananciais tem levado os ecossistemas aquáticos a níveis cada vez mais altos de degradação e de poluição. Eles têm sido alterados em função de múltiplos impactos ambientais advindos, além do crescente aumento populacional, de diferentes processos industriais e atividades antrópicas que, ao consolidarem-se às suas margens, constroem uma nova realidade de destruição e impactos de difícil reversão para o estado natural do ecossistema (TUNDISI, 2014).

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS) possui uma população de aproximadamente 1.000.000 habitantes, sua área urbana representa 90,6 % e a rural de 9,4 % e o seu rio principal, o Rio dos Sinos, apresenta 190 km de extensão, atravessando 32 municípios em áreas urbanas, destacando as seguintes cidades: Taquara, Sapiranga, São Leopoldo, Novo Hamburgo e Canoas, sendo o quarto rio mais poluído em todo o Brasil (IBGE, 2010).

A poluição no Rio dos Sinos tem contribuído de forma significativa para a redução na qualidade da água, tanto para os seres vivos que nela habitam como para consumo da população. Conforme Rebelo e Bavaresco (2008), as fontes de contaminação podem ser pontuais: lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais, aterros sanitários, entre outros e difusos: como aplicação de agrotóxicos em áreas agrícolas. Na Bacia do Rio dos Sinos, as indústrias e os esgotos domésticos representam as fontes pontuais.

Segundo Figueiredo (2010), foi realizado um estudo sobre a BHRS, mediante a interferência das questões econômicas e sociais na situação ambiental. No entorno do Rio, as atividades produtivas do trecho superior são no ramo madeireiro e mobiliário, turismo, hospedagem e compras. Já no trecho médio, encontram-se indústrias de couro, calçados e do setor industrial, que compreende o metal de alimentos, mecânica e petroquímica. Na parte inferior, localizam-se os grandes parques industriais da região, que caracterizam uma região de forte influência antrópica.

O aumento populacional nas grandes áreas urbanizadas gera problemas de ordem sanitária devido à falta de saneamento, o que afeta principalmente o ecossistema hídrico. As maiores fontes de contaminação hídrica nos centros populacionais são decorrentes de despejos de efluentes industriais, curtumes e esgoto doméstico não tratado (ALMEIDA et al., 2004). Por sua vez, o município de Novo Hamburgo produz grande carga orgânica através de efluentes domésticos que são lançados no curso hídrico de arroios e por fim são lançados no Rio dos Sinos sem tratamento adequado (COMUSA, 2006).

Segundo Cubas (2009), a água pode ser poluída basicamente por resíduos orgânicos e inorgânicos. Os resíduos orgânicos provem dos esgotos domésticos e de diversos processos industriais e agropecuários. São biodegradáveis, ou seja, são consumidos por microrganismos. Porém, esse processo de decomposição consome a maior parte do oxigênio dissolvido na água, o que afeta a sobrevivência de outros organismos aquáticos.

A falta de tratamento dos resíduos industriais e dos resíduos domésticos e o descaso da sociedade civil é uma combinação que provoca má qualidade da água no Rio dos Sinos. As



consequências desta agressão ambiental, que faz com que a bacia hidrográfica sirva como um catalisador, em 2006 foi confirmada a morte de mais de 90 toneladas de peixes no Rio. Este evento tragicamente mostrou o descaso em relação a tal fonte vital fornecida por recursos hídricos. Em suma, todos esses fatos têm impactos negativos sobre o meio ambiente e reduzindo a qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (FIGUEIREDO, 2010).

O monitoramento ambiental, seja qualitativo ou quantitativo, é uma excelente ferramenta para manutenção de ecossistemas naturais (LAM, 2009; MATSUURA, 2000). O Rio dos Sinos é um dos principais receptores de poluição doméstica e industrial sendo necessário identificar pontos de recebimento de maior carga de poluentes orgânicos, químicos emergentes e metais tóxicos.

Desta forma, destacam-se alguns indicadores secundários, como o teor de cafeína na água superficial, que é proposta como marcador de dejetos humanos (GARDINALI & ZHAO, 2002; PEELER *et al.*, 2006; WU *et al.*, 2008) com a vantagem de ser onipresente e quase que inteiramente humana, uma vez que praticamente não está em lançamentos agrícolas ou industriais. Algumas fontes vegetais naturais de cafeína existem, mas os níveis são geralmente insignificantes e podem, assim, ser desprezados (PEELER *et al.*, 2006). Como a cafeína degrada lentamente no ambiente (BENOTTI & BROWNAWELL, 2009) tem sido proposta como um marcador de contaminação sanitária doméstica (SAUVÉ *et al.*, 2012), pois, é uma das substâncias mais consumida por adultos mundialmente (SMITH, 2002).

As Bactérias do Grupo Coliformes habitam o trato intestinal de seres humanos e animais. Elas são encontradas em ambientes aquáticos, solo, vegetação e constituem um importante indicador de contaminação fecal (JOHNSON, 2011). Tais bactérias são monitoradas no abastecimento de água através de diferentes métodos, como o teste de presença-ausência e da técnica do Número Mais Provável (NMP) (EDGE & BOEHM, 2011). O uso de microrganismos indicadores, os Coliformes termotolerantes (fecais) dentre elas a *Escherichia coli* (*E. coli*), são usados para avaliar os níveis da qualidade microbiológica da água e poluição fecal humana nas águas (ASTRÖM *et al.*, 2007).

O presente trabalho descreve uma sucinta avaliação do impacto antrópico na qualidade da água do Rio dos Sinos, através da quantificação de cafeína, parâmetros físico-químicos e microbiológicos em um trecho urbano banhado pelo Rio dos Sinos.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade da água do Rio dos Sinos/RS, em trecho urbano, visando caracterizar a influência antrópica e os impactos ambientais.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a contaminação antrópica através da quantificação de cafeína na água do Rio dos Sinos.
- Analisar a qualidade ambiental da água do rio utilizando parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Sinos está localizada no Rio Grande do Sul, Brasil. Encontra-se no norte da Serra Geral, onde limita o curso superior do



Rio Caí. O Vale do Caí corre para o Oeste até os dois sistemas se juntarem ao Delta de Jacuí. Para o sul é uma cadeia de colinas que cria a divisão da bacia hidrográfica entre os sistemas do rio Sinos e Gravataí, o segundo contribuindo para a formação da bacia hidrográfica do Guaíba. Para o Leste encontra-se a cadeia montanhosa, onde se situa o farol do rio Sinos, no interior do município de Caraá, a uma altitude de cerca de 600 metros (COMITESINOS, 2014).

As amostras foram coletadas em duplicata no Rio dos Sinos, no mês de outubro de 2017, em dois pontos (P1 e P2), localizados em área com intensa urbanização, entre os municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo no Rio Grande do Sul (Tabela 1).

Tabela 1 - Coordenadas Geográficas do Rio dos Sinos, RS, Brasil

PONTOS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
P1	S 29° 75' 59"	W 51° 14' 17"
P2	S 29° 75' 75"	W 51° 14' 61"

Fonte: Elaborado pelos autores

Bactérias do grupo Coliformes totais e termotolerantes foram avaliadas de acordo com as indicações do Kit Colilert® (método enzimático) aprovado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, seguindo a metodologia do fabricante. Os parâmetros físico-químicos utilizados para avaliar a qualidade de água do local foram pH, condutividade, DBO, OD e turbidez de acordo com metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Os valores obtidos foram analisados conforme valores de referência da Resolução 357/2005 (CONAMA 2005). As análises foram realizadas no Laboratório da Central Analítica da Universidade Feevale.

A análise de cafeína foi realizada através de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) segundo método previamente descrito (LINDEN *et al.*, 2015). O processamento e análise foram realizados nos Laboratórios de Toxicologia da Universidade Feevale.

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos para as análises de Bactérias do grupo coliformes, parâmetros físico-químicos e cafeína estão registrados na tabela 2.

Tabela 2 - Análises Microbiológicas, Parâmetros físico-químicos e Cafeína.

	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm <sup>2</sup> )	Turbidez (NTU)	pH	Cafeína (ng/L)
P1	57.940	8.330	5	4,48	43,6	28	7,06	1183,3
P2	365.400	262.000	13	1,68	273	64	7,30	414,8

Fonte: Elaborado pelos autores

## 6 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, foi observado impacto antrópico de contaminação fecal de alta relevância nas águas analisadas nos dois pontos de coleta, a qual se concentra em moradias e indústrias de pequeno e médio porte em torno do rio, bem como carregando os poluentes e carga orgânica no fluxo normal dos bairros as



margens do rio, em direção aos pontos de coleta P1 e P2. Um aumento da contaminação fecal já era esperado no P2, devido ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento adequado no curso hídrico seguindo até a foz na BHRS, corroborando com estudos realizados por Gomes; Esteves (2012) onde afirma que o trecho do Rio dos Sinos entre os municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo, situados na porção baixa da BHRS, é um local receptor de esgotamento, consequência do processo de urbanização e industrialização sem planejamento.

Em relação às análises microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes), o P1 apresentou 57.940 NMP/100mL de água de coliformes Totais, bactérias que habitam o trato intestinal podendo ser de seres humanos e animais e em relação às bactérias termotolerantes, *Escherichia coli*, resistentes a temperatura de 45°C, indicadores de contaminação fecal exclusivamente humana, encontrou-se 8.330 NMP/100mL de água na mesma amostra, o que demonstra uma grande contaminação de dejetos fecais humanos neste local onde inicia o aumento populacional.

O P2 apresentou 365.400 NMP/100mL de água de Coliformes Totais e 262.000 NMP/100mL de água de bactérias Termotolerantes, *Escherichia coli*, o que demonstra um aumento de bactérias do trato intestinal humano. Os resultados demonstram que no P2, houve um aumento significativo de contaminantes, provavelmente em função deste receber uma maior quantidade de dejetos humanos lançados no rio e também devido à movimentação da água, que pode influenciar nestes resultados, pois as bactérias acabam por ser levadas de “arraste” seguindo o próprio curso hídrico do P1 para o P2, seguindo em direção à foz do Rio dos Sinos. Assim, em comparação aos pontos de coleta, há um aumento crescente do P1 ao P2 em contaminação antrópica mesmo sabendo-se que muitos dos dejetos e poluentes podem permanecer nas margens e nos sedimentos, ficando expostos ao ambiente ou perdendo-se ao longo do curso hídrico.

A presença de bactérias do Grupo Coliformes, incluindo coliformes fecais indica que a água está contaminada com poluentes domésticos. Contudo, a presença de bactérias Coliformes Totais por si só não indicam especificamente a origem de contaminantes fecais, isto é, se a mesma provém de origem humana ou animal, sendo necessária uma comparação entre as quantidades de bactérias coliformes e cafeína, isso pode ser útil na identificação da origem dos resíduos (KURISSERY *et al.*, 2012), no presente estudo não houve uma relação direta entre os resultados, uma vez que a concentração de cafeína foi maior no ponto 1, já a concentração de coliformes fecais foi maior no ponto 2. Acredita-se estar relacionado ao fato de o ponto 1 estar em local que apresentou maior concentração urbana. Estudo semelhante realizado na Europa, também indicou valores maiores de cafeína em áreas urbanas (SILVA *et al.*, 2014). Confirmando assim a vantagem de ser um bom marcador de dejetos humanos e assim, não estar contido em lançamentos industriais e agrícolas (PEELER *et al.*, 2006; LINDEN *et al.*, 2015), uma vez que este local possui maior concentração de áreas residenciais.

Nos locais de coleta, o curso d'água do presente estudo passa por bairros extremamente urbanizados ao longo de seu trajeto, sendo afluente de todo esgoto doméstico e de poluentes industriais de pequeno e médio porte, ocasionando um risco para o meio ambiente.

Foi possível observar nos parâmetros físico-químicos, que existe conexão entre os resultados analisados nos valores de DBO, OD e condutividade elétrica, pois no P2 encontrou-se maior número de bactérias termotolerantes (*E. coli*), principal marcador de contaminação fecal humana, bem como maiores valores na DBO, OD e condutividade em relação ao P1. Tais bactérias utilizam o oxigênio dissolvido na água, o que acarreta em menor valor de OD onde foi encontrada a quantidade maior de coliformes termotolerantes (P2), e consequentemente, ocorre um aumento na DBO que se caracteriza pelo consumo de oxigênio





através de reações biológicas e químicas do metabolismo bacteriano, logo, temos uma diminuição de OD e aumento de DBO (VON SPERLING, 2005), confirmando assim maior concentração de coliformes fecais (*E.coli*) no P2. No parâmetro da condutividade, o P2 demonstrou também maior valor em relação ao P1 devido a maior quantidade na concentração de íons, podendo estar relacionada a maiores concentrações de poluentes. A classificação das amostras de acordo com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces, em relação aos parâmetros físico-químicos foi enquadrada na classe 4, com exceção dos valores obtidos para oxigênio dissolvido e DBO, que se enquadram na classe 3. Em relação aos parâmetros microbiológicos, os resultados obtidos estão acima dos valores estabelecidos para qualquer classe.

## 7 CONCLUSÃO

O Rio dos Sinos é, infelizmente, um receptor de efluentes sem tratamento adequado, tanto doméstico quanto industrial, os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados sugerem à ocorrência de impacto antrópico no ambiente, por sua vez, a quantidade de pontos amostrais estudados é escassa para determinar a qualidade ambiental de um Rio. Sendo necessário ampliar o número de pontos, para que se possa determinar com maior certeza a degradação da qualidade ambiental do Rio dos Sinos em trecho urbano, desta forma, acredita-se que os estudos realizados neste trabalho servem como alerta para a degradação ambiental do Rio dos Sinos e mostram a necessidade de mais estudos na área. A quantificação da cafeína, encontrada em maiores valores no ponto de maior concentração urbana, pode ser considerada como um bom marcador de contaminação antrópica, mesmo não estando presente na Legislação, vindo a acrescentar mais uma ferramenta de avaliação da qualidade ambiental em águas superficiais, como a água da BHRS.

## Referências

ALMEIDA, R.M.; HUSSAR, G.J.; PERES, M.R.; JUNIOR, A.L.F. “Qualidade microbiológica do córrego “*Ribeirão dos porcos*” no município de Espírito Santo do Pinhal – SP”. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, janeiro 2004, pg. 51 – 56.

ANA - **Agência Nacional de Águas**, 2009. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 27/11/2017.

APHA - **American Public Health Association**. - Standard methods for examination of water and wastewater. 22 nd ed.; 2012

ASTRÖM, J.; PETTERSSON, T.J.; STENSTRÖM, T.A. “Identification and management of microbial contaminations in a surface drinking water source”. *J Water Health*, v. 5 (Suppl 1) 2007, pg. 67 – 79.

BENOTTI, M.J.; BROWNAWELL, B.J. “Microbial degradation of pharmaceuticals in estuarine and coastal seawater”. **Environmental Pollution**, v. 157, 2009, pg. 994 – 1002.

BRASIL 2005. **Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional do Meio Ambiente**: Resolução 357, de 17 de março de 2005. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p.1-23.



Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

COMITÊSINOS -**Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos** – 2014. Disponível em: <[www.comitesinos.com.br](http://www.comitesinos.com.br)> acesso em: 25 nov 2017.

COMUSA - **Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo** – 2006. Disponível em: <<http://www.comusa.com.br>> Acesso em: 27 nov. 2017.

CUBAS, A. V. **Poluição Ambiental**. Livro didático. Palhoça, SC: Unisul Virtual, 2009. Unidade 3 p.20.

EDGE, T.A.; BOEHM, A.B. **Classical and molecular methods to measure fecal bacteria**. M.J. Sadowsky, R.L. Whitman (Eds.), *The fecal bacteria*, American Society for Microbiology, Washington, DC (2011), pg. 241–273.

FIGUEIREDO, J. A. S.; DRUMM, E.; RODRIGUES, M. A. S.; SPILKI, F. R. The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. **Brazilian Journal of Biology**, n.4, v.70, p.1131-1136, 2010.

GARDINALI, P.R.; ZHAO, X. “Trace determination of caffeine in surface water samples by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry (LC-APCI-MS)”. **Environment International**, v. 28, 2002, pg. 521–528.

GOMES, L. P.; ESTEVES, R. V. R. Análise do sistema de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde nos municípios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17 n.4, 2012, pg. 377-384.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas** - 2010. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431340&search=||info%20gr%20E%20f%20is:-informa%20E%20F5es-completas>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

JOHNSON, T.J. “Impacts of fecal bacteria on human and animal health – pathogens and virulence genes”. M.J. Sadowsky, R.L. Whitman (Eds.), *The fecal bacteria*, American Society for Microbiology, Washington, DC, 2011, pg. 135–164.

KURISSERY, S; KANAVILLIL, N; VERENITCH, S.; MAZUMDER, A. “*Caffeine as an anthropogenic marker of domestic waste: A study from Lake Simcoe watershed*”. **Ecological Indicators**, v. 23, 2012, pg. 501–508.

LAM, P.K.S., 2009. Use of biomarkers in environmental monitoring. **Ocean and Coastal Management**, vol. 53, no. 7, pp. 348-354. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.04.010>

LINDEN, R.; ANTUNES, M.V; HEINZELMANN, L.S.; FLECK, L.D.; STAGGEMEIER, R.; FABRES, R.B.; VECCHIA, A.D; NASCIMENTO, C.A.; SPILKI, F.R. “*Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the Sinos River: a preliminary study*”. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n. 2 supl., São Carlos -May, 2015.

MATSUURA, K. **Bioindicadores em ecossistemas**. Brasília: Unesco. 2000



PEELER, K.A.; OPSHAL, S.P.; CHANTON, J.P. “*Tracking anthropogenic inputs using caffeine, indicator bacteria, and nutrients in rural freshwater and urban marine systems*”. **Environmental Science and Technology**, v. 40, 2006, pg. 7616 - 7622.

REBELO, Silene; Bavaresco, Carlos. **Saúde Ambiental**: Livro didático. Palhoça, SC: Unisul Virtual, 2008. Unidades 3 e 4

SILVA, C.P.; LIMA, D.L.; SCHNEIDER, R.J.; OTERO, M.; ESTEVES, V.I. “*Evaluation of the anthropogenic input of caffeine in surface waters of the north and center of Portugal by ELISA*”. **Science of the Total Environment**, v. 479 - 480, 2014, pg. 227–232.

SMITH, A. Effects of caffeine on human behavior. **Food and Chemical Toxicology**, v. 40, 2002, pg. 1243 – 1255.

TUNDISI, J. G. (Coord.) **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Oficina de textos, 2014. 92p

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3a Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

WU, J.; YUE, J.; HU, R.; YANG, Z.; ZHANG, L. “Use of caffeine and human pharmaceuticals compounds to identify sewage contamination”. **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 34, 2008, pg. 438 – 442.