

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZA POR MEIO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Mara Lucia Lemke-de-Castro*
Ellen Carla Francisca Alexandre**
Marcos Antonio Pesquero***
Alisson Vinícius Pereira****

RESUMO: O uso de águas cinza consiste no aproveitamento da água de chuveiro, lavatórios e máquina de lavar roupas mediante um sistema de tratamento e sua posterior canalização para os usos com fins não potáveis. O reuso de águas depende da qualidade física, química e microbiológica. Por isso é importante conhecer as características das águas residuárias ou poluídas. Para implantação de um sistema doméstico de reuso, primeiramente se faz necessário adotar uma metodologia de controle analítica que seja eficiente, com baixo custo e de fácil operação. Assim buscou-se substituir toda a gama de análises por uma única que fosse representativa e confiável. O trabalho teve por objetivo verificar se a condutividade elétrica pode ser utilizada como único parâmetro para controle da qualidade de águas cinza. Foram avaliados 19 parâmetros físico-químicos da água cinza de uma residência, sendo que a máquina de lavar roupas apresentou menor nível de poluição comparada com o lavatório do banheiro e o chuveiro. A condutividade elétrica foi sensível à variação dos principais parâmetros físico-químicos (correlação de Spearman) e diferiu significativamente (teste U de Mann-Whitney) da água da torneira, podendo ser aplicado para o controle da eficiência do processo de tratamento da água cinza.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem; Condutímetro; DQO.

THE QUALITY OF ASH WATER BY ELECTRICAL CONDUCTIVITY

* Graduação em Biologia; Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás – UFG; Bolsista do CNPq; E-mail: maralemke@uol.com.br

** Graduação em Biologia; Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO; E-mail: ellencarlabiologa@gmail.com

*** Graduação em Ecologia; Mestrado e Doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia); Pós-Doutor em Ecologia; Docente Titular na Universidade Estadual de Goiás - UEG Unidade Universitária Morrinhos, GO; E-mail: mapesq@ueg.br

**** Discente de Biologia na Universidade Estadual de Goiás - UEG Unidade Universitária Morrinhos, GO; E-mail: alisson_viny@hotmail.com

ABSTRACT: Ash water consists of bath, lavatory and washing machine water after treatment, for non-drinking purposes. Since the reuse of water depends on its physical, chemical and microbiological quality, the characteristics of waste and polluted water should be analyzed. The installation of a domestic usage system, an efficient analytic control methodology should be undertaken, featuring low cost and simple operability. A series of analyses had to be replaced by a single analysis that would be representative and reliable. Current investigation verified whether the electric conductivity might be used as the sole parameter to control the quality of ash water. Nineteen physical and chemical parameters of ash water in a home were evaluated. Water from the washing machine presented the lowest pollution level when compared with that from bath and lavatory water. Electrical conductivity was sensitive to variation of the main physical and chemical parameters (Spearman's correlation) and differed significantly (Mann-Whitney's U test) from tap water. In fact, it may be applied to control the efficiency of ash water treatment processes.

KEYWORDS: Recycling; Conductivity; Chemical Oxygen Demand (COD).

INTRODUÇÃO

Águas residuárias são todos os resíduos de natureza líquida, conhecidos como esgotos sanitários, efluentes industriais, águas pluviais e águas de infiltração (RAPOPORT, 2004). Elas são compostas por cerca de 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos, que são as proteínas, carboidratos e lipídios; os sólidos inorgânicos como amônia, nitrato, ortofosfatos; e os microrganismos como bactérias, fungos, protozoários, vírus, helmintos entre outros. O sistema de tratamento de águas residuárias é planejado e operado para atender os objetivos sanitários, evitando riscos para o meio ambiente. São agrupados de forma a compor o sistema, por meio de operações físicas unitárias, processos químicos e biológicos (PHILIPPI JÚNIOR; MALHEIROS, 2005).

O uso de águas cinza consiste no aproveitamento de água de chuveiro, lavatórios e máquina de lavar roupas mediante um sistema de tratamento e sua posterior canalização para os usos com fins não potáveis (HESPANHOL, 2003). O reuso de águas depende de sua qualidade física, química e microbiológica; por isso é importante conhecer as características das águas residuárias ou poluídas

(FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006). Os principais usos da água de reuso seriam: lavagem de vias públicas, pátios, veículos, irrigação de áreas verdes, abastecimento de fontes, incêndios, descargas sanitárias e limpezas exteriores em geral; em usos industriais como torres de resfriamento, caldeiras e água de processamento (RAPOPORT, 2004).

De acordo com Cohim et al. (2007, 2008); Jordão e Pessoa (1995); Rapoport (2004), Souza (2007) e Von Sperling (1996), seguem os principais parâmetros de controle das águas cinza:

- a) pH: a concentração hidrogeniônica determina a condição de alcalinidade, neutralidade e acidez, interferindo na coagulação química, no controle da corrosão e desinfecção, em processos de tratamento biológico, físico ou químicos de águas residuárias, nas velocidades de tratamento e nas eficiências de consumo de substrato pelos microorganismos.
- b) Turbidez: presença de partículas em suspensão que interferem na passagem da luz através da água. É esteticamente desagradável e o material particulado pode impedir a ação de alguns agentes desinfetantes como o Ultra Violeta (UV) e principalmente a reação com o cloro, desinfetante mais utilizado no país.
- c) Alcalinidade: é a quantidade de íons na água que reagirão com os íons hidrogênio, neutralizando-os. Os bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, na forma de sólidos dissolvidos, são os principais constituintes da alcalinidade.
- d) Condutividade elétrica: qualquer íon com carga elétrica presente em uma solução contribui para a condutância total. A condutividade elétrica é utilizada para determinar as concentrações iônicas.
- e) OD: representa a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Provém do contato da água com a atmosfera e da produção por organismos fotossintéticos. Durante a estabilização da matéria

orgânica, as bactérias utilizam o OD para respiração causando conseqüentemente sua redução no meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, surgem condições anaeróbias que ocasionam odores desagradáveis. A solubilidade do oxigênio varia com a temperatura e pressão.

f) DQO: a demanda química de oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio quimicamente utilizada para oxidação da matéria orgânica e inorgânica num período de duas horas, caso a DQO seja de refluxo. Sendo que, quanto maior o nível de contaminação ou poluição presente numa amostra maior será a demanda por oxigênio. A DQO é um parâmetro muito utilizado no controle de águas, pois quantifica todo tipo de substância capaz de consumir oxigênio na água, e, é uma análise realizada em curto período de tempo se comparada à demanda biológica de oxigênio (DBO).

g) Nitrogênio: pode ser encontrado sob várias formas e estados de oxidação no meio aquático entre elas: forma molecular (N_2), Amônia (NH_3), Nitrito (NO_2), Nitrato (NO_3) e íon amônio (NH_4). Entre as formas que servem como fontes de nitrogênio para os produtores primários estão o nitrato e o íon amônio. Altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações na dinâmica do oxigênio dissolvido do meio já que para oxidar 1,0 mg do íon amônio são necessários cerca de 4,3 mg de oxigênio.

h) Bactérias: são organismos procaríotas, unicelulares que se reproduzem por divisão binária simples. Uma fração importante da população de bactérias presente no esgoto sanitário faz parte da microbiota do trato intestinal dos seres humanos. Dentre elas, destaca-se o grupo das bactérias coliformes fecais, também denominadas termotolerantes, selecionadas por suas características como organismos indicadores de contaminação de águas de modo geral. Normalmente, os organismos indicadores não são causadores

de doenças, porém, estão associados às prováveis presenças de organismos patogênicos de origem fecal na água.

i) Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) - bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24 a 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

j) Coliformes termotolerantes - subgrupo das bactérias do grupo coliforme que tem como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal; bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae, ao grupo dos coliformes totais, caracterizada pela presença das enzimas β -galactosidase e β -glicuronidase e pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás em 24 horas à temperatura de $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em meios contendo sais biliares ou outros agentes tensoativos com propriedades inibidoras semelhantes. Fermenta lactose e manitol com produção de ácido e gás e produz indol a partir do aminoácido triptofano. É considerado o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos. Além de presentes em fezes humanas e de animais, podem, também, ser encontradas em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica.

Para implantação de um sistema doméstico de reutilização de águas cinza, primeiramente se faz necessário adotar uma metodologia de controle analítica que seja eficiente, com baixo custo e de fácil operação. Assim, buscou-se substituir toda a gama de análises físico-químicas e microbiológicas por uma

única análise que fosse representativa e confiável.

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2010; RIOS et al., 2007).

Vários testes podem ser utilizados para avaliação da qualidade em sementes para análises de vigor. O teste de condutividade elétrica, como único controle, responde muito bem devido a sua eficiência, rapidez, baixo custo e ser de fácil manuseio, pois não precisa de muito treinamento (ALVES; SÁ, 2009; SOUZA et al., 2009; VANZOLINI; NAKAGAWA, 2005; GASPAR; NAKAGAWA, 2002).

A condutividade elétrica também é largamente utilizada para controle de solos (OLIVEIRA et al., 2002; SILVA et al., 2000). Em estudo verificando a concentração indireta de nutrientes em águas amarelas, Rios et al. (2007) utilizaram a CE como um dos principais métodos de controle. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo verificar se a CE pode ser utilizada como único parâmetro para controle da qualidade de águas cinza.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras separadamente nas seguintes unidades hidro-sanitárias (UHS): água do chuveiro, máquina de lavar e lavatório do banheiro em uma residência do município de Morrinhos/GO. As amostras foram analisadas separadamente com o auxílio de um condutivímetro digital marca Advantage Controls. Uma amostra composta também foi obtida, misturando-se amostras de todas as UHS em igual volume. Como as UHS não receberam contribuição pluvial, acredita-se que não houve influência de sazonalidade nas amostras.

Os parâmetros físico-químicos utilizados para caracterização das águas cinza estão de acordo com Jordão e Pessoa (1995); Rapoport (2004); Souza (2007) e Von Sperling (1996). A metodologia de coleta e a preservação das amostras

seguiram as orientações descritas pelos guias desenvolvidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1987) e as recomendações de APHA (2005).

Uma vez caracterizada a água cinza, por UHS, foi determinado um único local de coleta, cujo critério de escolha foi pela UHS com menor contaminação microbiológica e menores índices de nitrogênio amoniacal, uma vez que a filtração não se mostra eficiente para redução destes parâmetros.

Foi realizada análise de correlação de Spearman em planilha Excel Microsoft Windows 2007 para avaliar o comportamento da CE em função da variação dos parâmetros físico-químicos da água cinza nas três UHS avaliadas individual e conjuntamente. A correlação de Spearman em medida não paramétrica que pode descrever a relação entre duas variáveis sem fazer nenhuma suposição sobre a distribuição das frequências. Não requer que a suposição de que a relação entre as variáveis seja linear e nem que as variáveis sejam medidas em intervalos de classe, sendo, portanto mais adequada que a correlação de Pearson, neste caso. A determinação da condutividade elétrica foi feita através do método eletrométrico (potenciométrico), utilizando-se para isso um condutivímetro digital, marca Advantage Controls, com resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1}$ e precisão de duas casas após a vírgula.

A eficiência da condutividade elétrica em descrever as águas cinza da máquina de lavar foi avaliada (teste U de Mann-Whitney) comparando a condutividade elétrica da água antes (torneira) e após o processo de lavagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A demanda química de oxigênio (DQO) é muito utilizada nos testes de controle de qualidade de águas cinza (COHIM; KIPERSTOK, 2007; BAZZARELLA et al., 2005; RAPOPORT, 2004), porém possui algumas desvantagens como alto custo, precisa de pessoal treinado para realizar as análises e consome muito tempo para realização dos testes e leituras. A condutividade elétrica

demonstrou alto índice de correlação com a DQO tanto neste trabalho (0,85) quanto na pesquisa realizada por Bazzarella et al. (2005), fazendo a caracterização de águas cinza em diversas UHS (0,81). Além da DQO, a condutividade elétrica demonstrou alto índice de correlação com a temperatura (0,95), dureza (0,90), oxigênio consumido (0,90) e óleos e graxas (0,82) (Tabela 1), podendo assim, ser utilizada como único parâmetro de controle das águas cinza.

Tabela 1. Correlação entre a condutividade elétrica e os demais parâmetros analisados em amostra conjunta de todas as UHS avaliadas.

Parâmetros	Correlação CE* n** = 4
Temperatura da amostra	0,95
Dureza	0,90
Oxigênio consumido	0,90
Alcalinidade parcial em fenoftaleína	-0,86
Alcalinidade parcial em verde de bromocresol	0,60
Alcalinidade total	0,46
Cloretos	-0,89
pH	-0,90
Turbidez	0,55
DBO5	0,56
Oxigênio Dissolvido	-0,39
DQO	0,85
Sólidos Totais	0,32
Sólidos Suspensos	0,07
Óleos e Graxas	0,82
Sulfeto	0,47
Sulfato Total	0,78
Fósforo Total	0,34

*CE = condutividade elétrica; **n = universo amostral.

Nos trabalhos desenvolvidos por Cohim et al. (2007, 2008), avaliando águas cinzas sintéticas, do banho e da máquina de lavar a CE foi utilizada como um dos parâmetros de controle e demonstrou 0,99 de correlação com o teor de

sólidos totais dissolvidos (STD), sendo que a água da máquina de lavar apresentou os maiores índices de CE e STD.

De acordo com as figuras 1 e 2, os resultados de condutividade elétrica das águas da máquina de lavar ($> 50 \mu\text{S cm}^{-1}$, com picos de até $400 \mu\text{S cm}^{-1}$) foram maiores do que os encontrados na água da torneira ($< 50 \mu\text{S cm}^{-1}$), (Teste U de Mann-Whitney $z = -5.78$, $p < 0.00001$), sendo que a água da máquina de lavar apresentou grande variação, provavelmente em função dos tipos de tecidos lavados (roupa, pano de prato, tapete, roupa de cama, etc). A água da torneira deve manter-se num padrão de qualidade para distribuição pública. Portanto, estes resultados eram previstos. Mas o experimento demonstrou que a CE variou bastante após passar pela máquina de lavar, sendo, portanto, o teste sensível para detectar esta variação.

No trabalho desenvolvido por Bordonalli e Mendes (2009), verificando o reuso de águas cinza e pluviais numa indústria de reciclagem de plásticos, foi constatado que o tratamento físico-químico por coagulação/precipitação e posterior filtragem reduziu a turbidez, DBO, DQO, óleos e graxas, surfactante e a maioria do teor de sólidos, porém a condutividade elétrica foi elevada no decorrer do processo. O reuso de águas cinza por tempo indeterminado, em circuito fechado, não é recomendado, pois há a concentração de sais dissolvidos, elevando assim o valor da CE, conforme verificado por Bordonalli; Mendes (2009). Estes autores recomendaram a renovação da água do sistema numa frequência semestral.

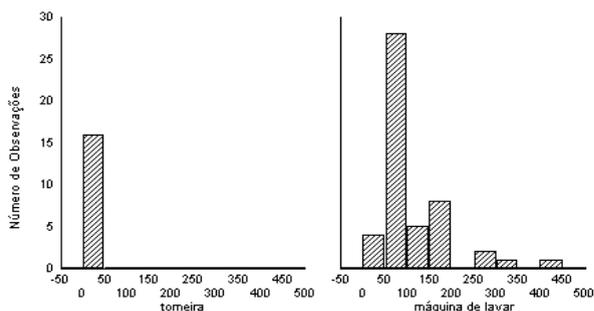


Figura 1. Frequências de valores de condutividade elétrica em classes de 50 unidades, segundo o tipo de água.

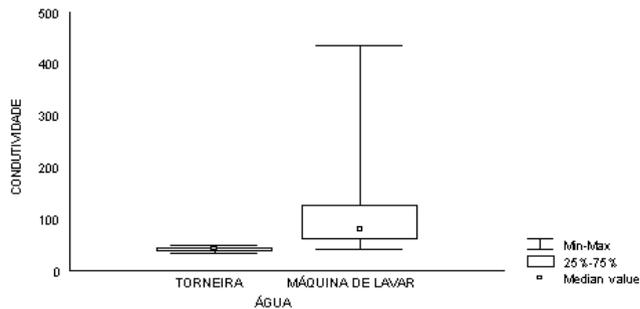


Figura 2. Valores medianos de condutividade elétrica ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) de água de torneira e de água da máquina de lavar.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O teste de condutividade elétrica demonstrou sensibilidade suficiente para o controle deste tipo de resíduo.
- A condutividade elétrica não substitui por completo todas as análises, sendo necessário fazer toda a gama de análises físico-químicas e microbiológicas antes de se iniciar o processo de reuso de águas cinza, e depois, periodicamente repetir esta operação. O teste pode ser aplicado para o controle de rotina da eficiência do processo de tratamento.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa da primeira autora. E à Saneago, pela realização das análises físico-químicas.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. Z.; SÁ, M. E. Teste de condutividade elétrica na avaliação do vigor de sementes de rúcula. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 203-215,

2009.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BAZZARELLA, B. B. et al.. Caracterização e tratamento de águas servidas e origem residencial (águas cinza) com vista para reuso. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23., 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005, v. 1, p.186-187.

BORDONALLI, A. C. O; MENDES, C. G. N. Reuso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n. 2, p. 235-244, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). **Condutividade da água**, disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 07 de março de 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, SP: 1987. 150 p.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Uso de água cinza para fins não potáveis: um critério racional para definição da qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG: ABES, 2007, v. 2, p. 164.

COHIM, E. et al. Avaliação da qualidade de águas cinzas sintéticas, durante armazenamento. In: CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 31., 2008, Santiago-Chile. **Anais...** Santiago, Chile: AIDIS, 2008.

COHIM, E. et al.. Comportamento de águas cinzas sintéticas durante armazenamento. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL, 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE: ECOSAN, 2007.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reuso de águas cinza em edificações. **Ambiente construtivo**, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

GASPAR, C. M.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em função do número de sementes e da quantidade de água para sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 70-76, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.). **Reuso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003. Cap. 3, p. 37-95.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de efluentes domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1995. 720 p.

LIVEIRA F. C. et al.. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 505–519, 2002.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. In: PHILIPPI JUNIOR, A.(Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. Cap. 6, p. 181-219.

RAPOPORT, B. **Águas cinza: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial**. 2004. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2004.

RIOS, E. C. S. V. et al. Utilização de águas amarelas como fertilizante natural no cultivo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG: ABES, 2007.

SILVA E. F. F. et al.. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 785–789, 2000.

SOUZA, C. N. **Tratamento primário de efluentes brutos de curtume quimicamente aprimorado por sedimentação**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

SOUZA, L. A. et al. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 60-67, 2009.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 151-158, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: DESA-UFMG, 1996.

Recebido em: 10 março 2011.

Aceito em: 16 maio 2011.