

## **II-476 – AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE VINHAÇA NO PREPARO DA CUBA E NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA ATRAVÉS DE AJUSTES CINÉTICOS DOS PERFIS TEMPORAIS DO CONSUMO DE AÇÚCAR**

**Luciano F. Novaes** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do curso de graduação em Engenharia Química na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Professor do curso de pós-graduação em Tecnologia Ambiental na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Thais J. Pereira** <sup>(2)</sup>

Engenheira Química pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Murilo D.M. Innocentini** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Engenharia Química pela UFSCar. Doutor em Engenharia Química pela UFSCar. Professor do curso de graduação em Engenharia Química na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Professor do curso de pós-graduação em Tecnologia Ambiental na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Endereço** <sup>(1-3)</sup>: Av. Costábile Romano, 2201 - Ribeirânia – Ribeirão Preto - SP - CEP: 14096-900 - Brasil - Tel: (16) 3603-6784 - e-mail: [luciano@thesis.eng.br](mailto:luciano@thesis.eng.br)

### **RESUMO**

A atenção mundial voltada à produção de combustíveis renováveis faz com que o mercado brasileiro se prepare para atender à demanda de álcool. No entanto, sua produção implica na alta geração de vinhaça como resíduo, cerca de 12 a 18 litros para cada litro de álcool produzido. Apesar deste resíduo ser composto de aproximadamente 94% de água na maioria dos casos, este contém sais e sólidos dissolvidos que são muito poluentes e ainda são difíceis de serem removidos. O objetivo principal deste estudo foi avaliar, através de ajustes de modelos cinéticos, a viabilidade da substituição parcial ou total da água por vinhaça no preparo do tanque de equalização (cuba) em processo industrial sucroalcooleiro. A vinhaça utilizada no presente trabalho foi proveniente do processo industrial da Usina CERP, localizada em Ribeirão Preto – SP. Os resultados obtidos permitiram concluir que: quanto a análise cinética, conclui-se que não houve diferenças significativas nos parâmetros estudados neste trabalho quando utilizado vinhaça in natura e vinhaça tratada biologicamente. Portanto, para a diluição de tanque de equalização em um ciclo de tratamento, alimentação e fermentação não é necessário o tratamento da vinhaça que foi estudado neste trabalho, basta utilizar a vinhaça in natura, uma vez que esta seja resfriada e utilizada em seguida na diluição e não armazenada. O armazenamento da vinhaça altera características físico-químicas desta que não foram estudadas neste trabalho. Desta forma, a fermentação alcoólica não sofreu alterações de rendimentos quando o fermento foi diluído em vinhaça tratada e vinhaça in natura comparada a fermentação que utilizou água na diluição.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reuso, Fermentação, Álcool.

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente, a atenção mundial está voltada para o álcool como fonte alternativa de energia em substituição parcial ou total do petróleo, para minimizar a dependência mundial sobre esta fonte não renovável. Os preços do álcool nas bombas de combustíveis têm intensificado o interesse da população em adquirir automóveis com motores *flex fuel*, aumentando gradativamente a demanda de álcool combustível.

O álcool é um combustível rentável na sua fabricação, com menor poder poluidor na sua utilização e principalmente uma fonte renovável de energia, viabilizando seu uso em vários aspectos econômicos e ambientais. Porém, na sua fabricação, a geração de vinhaça como resíduo industrial é muito alta comparada ao volume produzido de álcool. Esta relação pode chegar de 12 a 18 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido.

Sua composição, em princípio, por se tratar de 94% de água, aparenta ser mais inofensiva ao meio ambiente do que realmente é. Seus 6 % de sólidos dissolvidos consistem principalmente em matéria orgânica, potássio, nitrogênio e fósforo e seu remanejo não responsável pode causar danos irreparáveis ao meio ambiente, como, por exemplo, a alta mortalidade de peixes, caso despejado em corpos de água, ou a supersaturação do solo, podendo prejudicar a própria plantação de cana, pelo excesso de nutrientes, e também a contaminação do lençol freático por sua percolação (ROSSETTO, 1987).

A vinhaça, apesar de ser um resíduo líquido, é classificada como resíduo sólido pela dificuldade de tratamento dos apenas 6% de sólidos contidos nesta, por este motivo, não se pode subestimar o poder poluidor da mesma. Contudo, se bem administrado, este uso da vinhaça na lavoura pode representar uma substituição de um volume considerável de adubo no solo (SILVA, 2007).

Portanto, possíveis tratamentos que diminuam cargas poluidoras, ou que diminuam o volume a serem lançados no solo são de grande importância no quadro atual. Pois há um questionamento se o volume de geração de vinhaça com este aumento de produção de álcool está correspondente à área necessária para aplicação deste resíduo no solo, sem que cause impactos negativos ao meio ambiente. Isto é muito pouco provável, uma vez que se necessita área muito extensa de aplicação da mesma.

Outro fator relevante é que mesmo que haja a área necessária para aplicação, o custo de transporte da vinhaça para estas áreas mais distantes, será muito elevado, inviabilizando tal operação, pois sistemas de distribuição como tanques na lavoura seguidos de canais primários e secundários não serão suficientes para atender a todo o volume gerado.

Por outro lado, na fabricação de álcool, até em plantas industriais que possuem circuitos fechados de água, há uma alta captação desta de recursos naturais, a etapa da diluição do fermento na fermentação é uma delas. Em uma usina típica utiliza-se cerca de 90 a 95 litros de água para cada tonelada de cana moída, ou ainda de 1,3 a 1,5 litros de água por litro de álcool produzido somente na diluição de fermento; ou seja, se a usina produz 600.000 litros de álcool por dia, há uma captação aproximada de 830.000 litros de água potável nesta etapa do processo.

Portanto, estudos que analisam a possibilidade de reutilização de alguns resíduos, como vinhaça, para diminuição de captação de água são de grande importância no quadro mundial, onde há interesse de maior produção de álcool. Desta forma o objetivo principal deste estudo foi avaliar, através de ajustes de modelos cinéticos, a viabilidade da substituição parcial ou total da água por vinhaça no preparo do tanque de equalização (cuba) em processo industrial sucroalcooleiro

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho, foram realizados ensaios para a avaliação da viabilidade de substituição parcial ou total da água por vinhaça no preparo do tanque de equalização (cuba) em processo industrial sucroalcooleiro.

A vinhaça utilizada no presente trabalho foi proveniente do processo industrial da Usina CERP, localizada em Ribeirão Preto – SP, Brasil. Durante os experimentos foram utilizadas vinhaça in natura e vinhaça tratada por processo biológico, visando a substituição da água no preparo do tanque de equalização (cuba). Foram adotadas proporções de diluições diferentes de tal modo que se estudasse a substituição total e parcial da água por cada vinhaça. Na Tabela 1 são apresentadas as diferentes proporções de diluentes utilizados no ensaio. Na Tabela 2 são apresentadas os valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) das vinhaças tratada e in natura utilizadas no experimento.

No experimento foram realizados perfis ao longo de um ciclo para avaliação do comportamento dos ensaios relativo ao objetivo da investigação em operação. Neste perfil foram monitorados as concentrações de matéria orgânica na forma °Brix.

Os perfis temporais foram operados da seguinte forma:

- alimentação: adotou-se alimentação de mosto em intervalo 15 em 15 minutos totalizando o volume de mosto. A alimentação foi realizada com o auxílio de uma proveta de 500 mL, e os ensaios foram agitados

constantemente com o auxílio de bastões. Foi realizada a leitura da concentração de sólidos dissolvidos (°Brix) em intervalos de 5 minutos desde o início dos conjuntos de experimentos. A alimentação durou um tempo de 1 hora e 15 minutos à 2 horas.

- fermentação: os ensaios ocorreram em baldes de 5 litros cada, em banho-maria para manter temperatura de  $31^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , deixando-os parcialmente imersos na banheira com água aquecida. O processo de fermentação somada do tempo de alimentação pode variar de 6 a 8 horas.

**Tabela 1. Variações de diluição na simulação do preparo do fermento no tanque de equalização (cuba).**

Experimento	% Água	% Vinhaça in Natura	% Vinhaça Tratada
Água	100	-	-
VT50%	50	-	50
VT100%	-	-	100
V50%	50	50	-
V100%	-	100	-

Legenda: Água: 100% de água na diluição

VT 50%: 50% de vinhaça tratada + 50% de água na diluição

VT 100%: 100% de vinhaça tratada na diluição

V 50%: 50% de vinhaça in natura + 50% de água na diluição

V 100%: 100% de vinhaça in natura na diluição.

**Tabela 2. Valores de matéria orgânica presentes nas vinhaças utilizadas nos experimentos.**

Experimento		Demanda Química de Oxigênio – DQO (mg/L)	Demanda Biológica de Oxigênio – DBO (mg/L)
Experimento	Vinhaça <i>in natura</i>	32.950,00	19.983,30
	Vinhaça tratada	22.583,33	7.850,00

Após o término da alimentação, a leitura da concentração de sólidos dissolvidos (°Brix) continuou na frequência de 5 minutos até que a leitura se repetisse ao longo de 3 horas consecutivas, quando a fermentação é dada como finalizada.

Aos perfis temporais de consumo de açúcar foram ajustados modelo cinético de primeira ordem, considerando-se a concentração residual de açúcar. Este modelo cinético de primeira ordem é obtido pelo balanço de massa em um reator operado em batelada alimentada. A equação a seguir demonstra o modelo utilizado para simular o consumo de açúcar nos ensaios realizados.

$$\frac{dCa}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (C_{aF} - Ca) - k_1^{app} \cdot (Ca - C_{SR}) \quad (1)$$

em que:

Q	=	vazão de alimentação, $\text{L h}^{-1}$ ; e
$C_{aF}$	=	concentração de substrato na vazão de alimentação (expressa como Brix);
$C_a$	=	concentração de substrato (expressa como Brix);
$C_{SR}$	=	concentração residual de substrato (expressa como Brix);
$k_1^{app}$	=	constante cinética aparente de primeira ordem;
t	=	tempo de reação durante o ciclo; e
V	=	volume de líquido tratado.

## RESULTADOS

Nas Figuras 01 a 04 são apresentadas as variações do consumo de substrato durante as etapas de alimentação e fermentação, nos experimentos utilizando as quatro proporções de diluições diferentes de tal modo que se estudasse a substituição total e parcial da água por vinhaça no processo de fermentação. Verifica-se que no conjunto dos quatro experimentos que a vazão de alimentação, a concentração de substrato inicial e o tempo de alimentação são iguais, fazendo assim com que diminuísse as variáveis que interferissem na comparação entre os experimentos.

Analisando os modelos ajustados, observa-se que apenas um experimento apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) inferior a 0,98, sendo este o experimento que utilizou somente água como fonte de diluição. No entanto, o modelo apresentou para esta condição um coeficiente de determinação igual a 0,94. Comparando os quatro experimentos, verifica-se que todos apresentaram comportamento semelhante na etapa de fermentação, sendo observado valores sem diferenças significativas na concentração de substrato residual do processo de fermentação (aproximadamente 4,4 Brix). Verifica-se que o modelo também apresentou um bom ajuste para estimativa da concentração de substrato residual, apresentando valores próximos a 4,0 Brix.

A constante cinética aparente de primeira ordem ( $k_1^{app}$ ) representa a taxa de degradação de substrato. Assim, quanto maior o seu valor, mais rápido tende a ser o processo de degradação. Verifica-se que nos experimentos utilizando vinhaça a constante apresentou valores próximos a  $0,6h^{-1}$ , não apresentando portanto diferenças significativas no processo de degradação. Já o modelo estimado para o experimento utilizando somente água como diluente, esta constante cinética foi igual a  $1,2h^{-1}$ , o dobro da evidenciada nos outros experimentos. Em uma análise preliminar constata-se que quando se utiliza vinhaça no processo de produção, o tempo de fermentação torna-se mais lento. No entanto esta conclusão está errada, pois analisando os quatro gráficos da decomposição do substrato, verifica-se comportamentos totalmente similares na degradação do substrato, ou seja, apresentando picos de concentrações em torno de 12 Brix próximos a 60 minutos de ensaios, valores de 5 Brix próximo a 200min de ensaio e 4,4 Brix no término do ensaio. Desta forma, conclui-se que a constante cinética apresentada foi menor no experimento utilizando somente água como diluente devido ao ajuste cinético nestas condições não ter expressado fielmente a degradação do substrato ao longo do tempo. Verifica-se que na curva do modelo usando somente água na diluição, este sempre subestimou as concentrações de substratos obtidos nos experimentos.

Através dos ajustes cinéticos é possível também constatar que com 250 minutos de alimentação e fermentação já foi possível obter a concentração de substrato residual, não sendo necessário, portanto os outros 100 minutos para degradação do substrato.

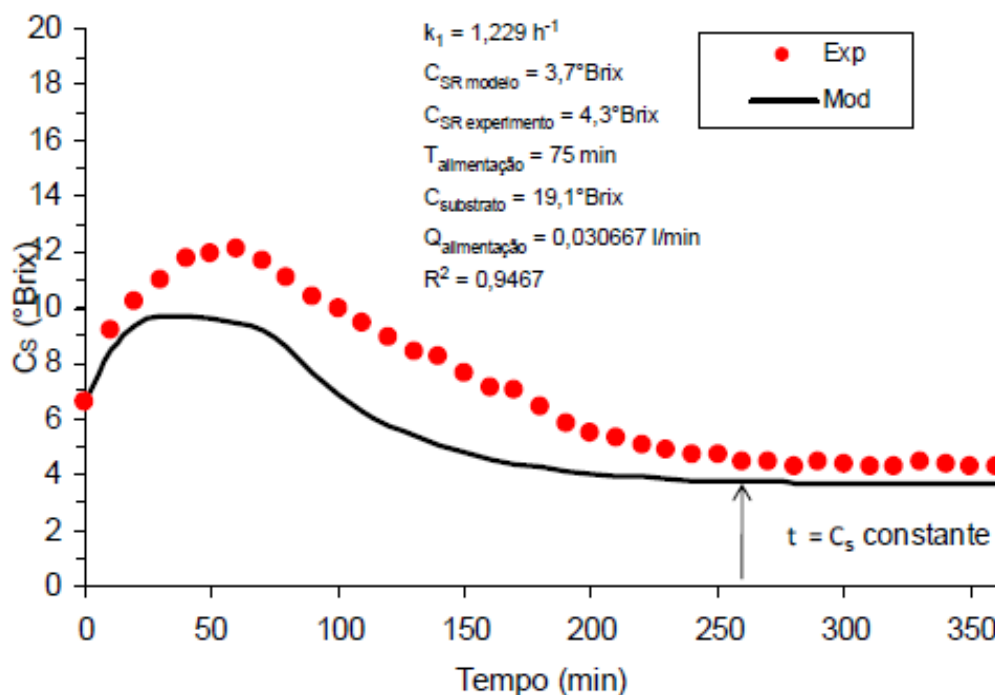


Figura 1. Variação do consumo de substrato durante as etapas de alimentação e fermentação, no experimento utilizando somente água como diluente.

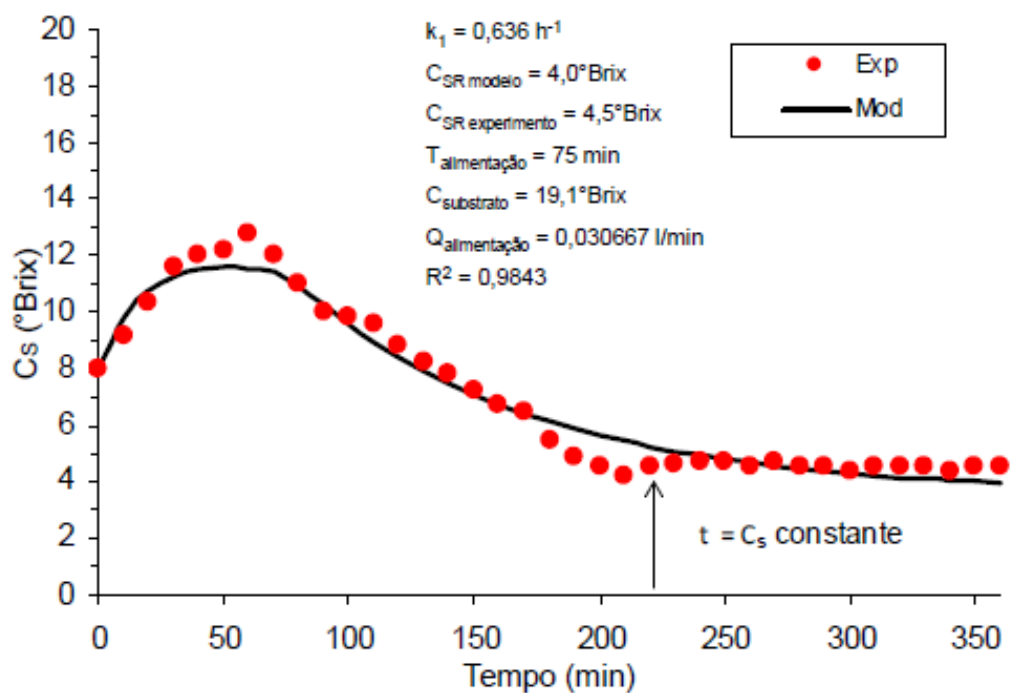


Figura 2. Variação do consumo de substrato durante as etapas de alimentação e fermentação, no experimento utilizando somente vinhaça tratada como diluente.

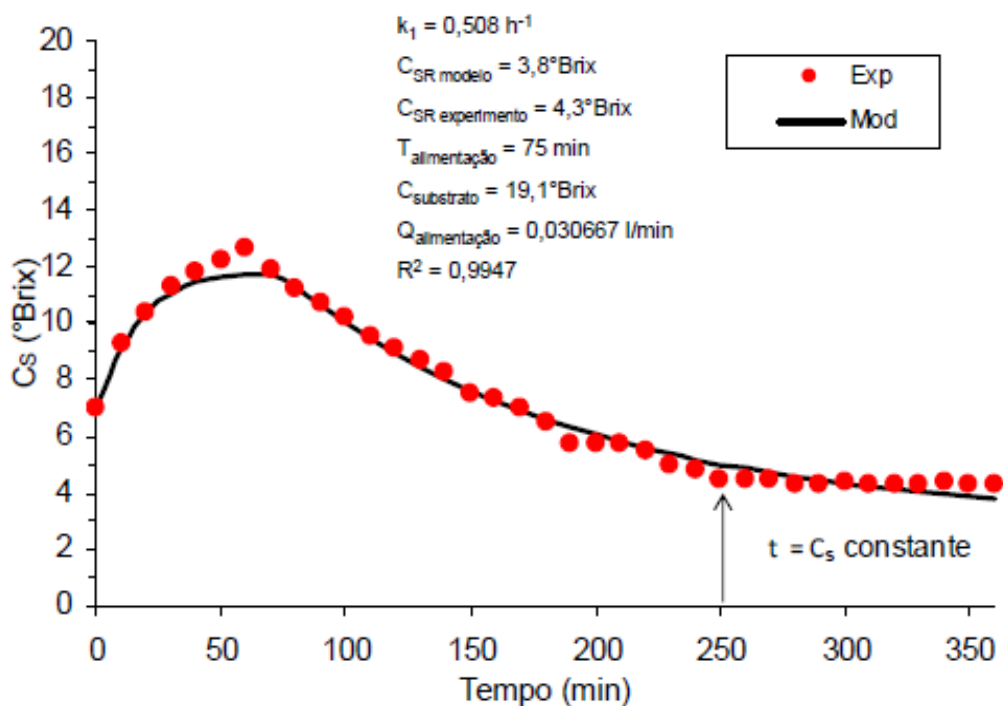


Figura 3. Variação do consumo de substrato durante as etapas de alimentação e fermentação, no experimento utilizando 50% de água e 50% de vinhaça *in natura* na diluição.

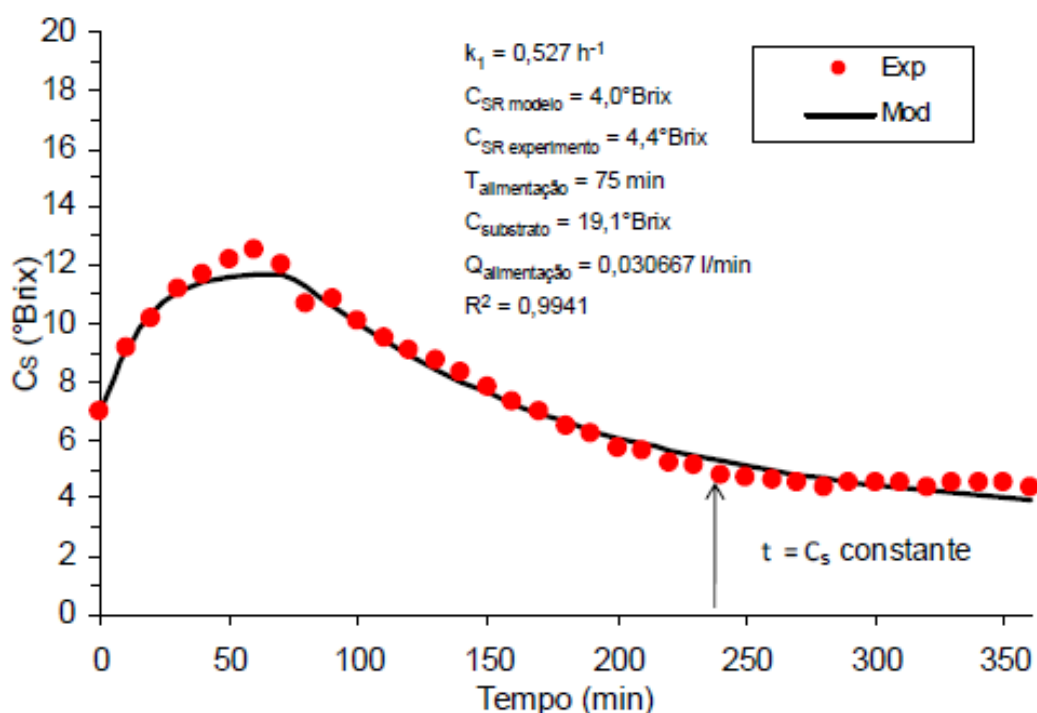


Figura 4. Variação do consumo de substrato durante as etapas de alimentação e fermentação, no experimento utilizando somente vinhaça *in natura* diluente.

## CONCLUSÕES

Quanto a análise cinética, conclui-se que não houve diferenças significativas nos parâmetros estudados neste trabalho quando utilizado vinhaça *in natura* e vinhaça tratada biologicamente. Portanto, para a diluição de tanque de equalização em um ciclo de tratamento, alimentação e fermentação não é necessário o tratamento da vinhaça que foi estudado neste trabalho, basta utilizar a vinhaça *in natura*, uma vez que esta seja resfriada e utilizada em seguida na diluição e não armazenada. O armazenamento da vinhaça altera características físico-químicas desta que não foram estudadas neste trabalho. Desta forma, a fermentação alcoólica não sofreu alterações de rendimentos quando o fermento foi diluído em vinhaça tratada e vinhaça *in natura* comparada a fermentação que utilizou água na diluição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rossetto, A.J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas:Fundação Cargill, 2, pp.435-504, 1987.
2. Silva, M.A.S., Griebeler, N.P., Borges, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11(1), pp.108-114, 2007. Disponível na página: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf>. Acesso em 23 de setembro de 2007.