

Água no século XXI – visão para unidade sucroenergética

Silva, Fábio Cesar da
Masetto, Henrique César Pellegrino
Gomes, Wellington Feliciano Gusmão

Resumo

Com o objetivo otimizar e gerenciar a utilização da água em usinas sucroalcooleiras por meio de técnica de balanço hídrico, além da caracterização, dos vários usos das águas no processo produtivo avaliado. A seleção do tema atribui-se ao fator água ser limitante ambiental a atividade agroindustrial, sofre-se com problemas de estiagem e mau gerenciamento dos recursos hídricos do país. Tais problemas são provenientes do uso excessivo dos solos, a derrubada das matas ciliares e a descarga de poluentes de ordem industrial e sanitária nos corpos hídricos. O objeto de estudo foi uma unidade agroindustrial sucroalcooleira na cidade de Charqueada - SP, na região de Piracicaba a qual tem como sua atividade produção de álcool, aguardente (mercado interno e exportação) e xarope (melado). Utilizou-se de métodos matemáticos para a obtenção dos resultados de balanços de massa e quantificações pontuais de fluxos na fábrica, após análises dos dados, apresentaram-se soluções viáveis à usina como instalação de uma Estação de Tratamento de Água (E.T.A.) das captações externas para a melhoria de seus processos.

Palavras-Chave: usinas sucroalcooleiras; recursos hídricos.

Abstract

The objective of this work was to manage and optimize the use of water in sugarcane plants by means of a water balance technique, besides the characterization of several uses of the water in the productive process was evaluated. This theme was chosen because it suffers contemporaneously with problems of drought and mismanagement of water resources of the country. Such problems are from the predatory use, clearing of riparian forests and the discharge of pollutants from industrial and sanitary order in water bodies. For this work was chosen as an object of study plant sugar cane industry in the city of Charqueada - SP, Piracicaba region which has as its activity producing alcohol, spirits (domestic and export) and syrup (molasses). We used mathematical methods to obtain the results through them and introduced himself as viable solutions to plant installation of a Water Treatment Plant (WTP) of external funding to improve its processes.

Keywords: sugarcane mills, water resources

Resumen

El trabajo tuvo por objetivo gestionar y optimizar la utilización del agua en plantas sucroalcoholeras por medio de técnica de balance hídrico, además de la caracterización de varios usos de las aguas en el proceso productivo fue evaluado. La selección del tema se atribuye al factor agua ser limitante ambiental a la actividad agroindustrial, se sufre con problemas de sequía y mala gestión de los recursos hídricos del país. Tales problemas provienen del uso excesivo de los suelos, el derribo de las matas ciliares y la descarga de contaminantes de orden industrial y sanitario en los cuerpos hídricos. El objeto de estudio fue una unidad agroindustrial sucroalcoholera en la ciudad de Charqueada - SP, en la región de Piracicaba la cual tiene como su actividad producción de alcohol, aguardiente (mercado interno y exportación) y jarabe (melado). Se utilizó de métodos matemáticos para la obtención de los resultados de balances de masa y cuantificaciones puntuales de flujos en la fabricación, después de análisis de los datos, se presentaron soluciones viables a la usina como instalación de una Estación de Tratamiento de Agua (ETA) de las capturas externas para la mejora de sus procesos.

Palabras clave: plantas sucroalcoholeras; recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro apresenta uma cadeia produtiva com uma capacidade impar de gerar renda e movimentar a economia, mas tem vários aspectos a serem aprimorados no gerenciamento ambiental, principalmente associados à utilização sustentável do solo e a água.

Historicamente, há uma ideia de que o setor sucroalcooleiro é um grande consumidor de água, que de fato era uma realidade no século passado. Enfrenta-se contemporaneamente uma situação de grande preocupação com relação à disponibilidade de água no planeta, pois boa parte da água está se tornando imprópria para consumo devido ao descaso e a falta de conhecimento da população para um consumo sustentável. Por este motivo, muitas indústrias do setor estão adotando uma postura mais moderna e pressionada gradualmente por uma legislação restritiva. Há uma grande preocupação quanto à conservação e o uso racional da água, estabelecendo programas de gestão ambiental e de recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi realizar levantamento e apontar por meio de cálculos, soluções para as deficiências do uso da água como também reeducar todos os atores envolvidos para que o uso correto dos recursos faça parte da cultura à indústria.

IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO

O planeta Terra é constituído por 95% de água salgada e 5% de água doce, dos quais somente 0,3% é diretamente aproveitável para o consumo. Não é possível encontrá-la em estado de absoluta pureza. Conforme BRANCO (1993), há duas teorias do surgimento de água no planeta. Aprisionamento das águas congeladas dos cometas e, a mais aceita, formação conjunta com o planeta, com a liberação de moléculas de H₂O na forma de vapor no processo de formação dos minerais, principalmente silicatos.

A importância da água não pode ser apenas sob o ponto de vista biológico, mas também com relação às atividades produtivas, devendo o pleno acesso e o uso dos recursos hídricos. Faz-se necessário criar mecanismos e técnicas que contemplem as seguintes ações:

- Redução do desperdício de água;
- Pesquisa de desenvolvimento que minimiza o consumo e evita o desperdício de água;
- Tratamento e reuso de água;
- Preservação de mananciais e gestão de recursos hídricos.

Especialistas estão alertando que se o consumo continuar aumentando haverá um déficit hídrico no ano de 2100, tal déficit hídrico está associado a uma série de efeitos naturais, demográficos, socioeconômicos e até culturais. Devido ao Brasil possuir um clima intertropical tem em nosso país uma das mais vastas e densas redes de drenagem fluvial do mundo. Como consequência, nossa produção hídrica equivale um pouco mais que a metade do total da América do Sul. Embora não haja um consenso sobre o consumo, estima-se que nosso país detenha algo entre 12% a 15% dos recursos hídricos totais do mundo (OLIC, 2003).

Segundo dados do Instituto de Recursos Mundiais (World Resources Institute – WRI) (2005) a disponibilidade no Brasil é de $8.233 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$, que comparada com a disponibilidade hídrica renovável mundial de $55.237 \text{ Km}^3 \text{ ano}^{-1}$, resulta em uma disponibilidade relativa de aproximadamente 15% destes recursos no mundo. Um dos fatores que podem favorecer o futuro déficit hídrico é fato de o Brasil possuir abundância de águas superficiais que não estão distribuídos equitativamente através de quatro grandes bacias hidrográficas: Amazônica, Tocantins-Araguaia, São Francisco e Paraná. Este fato faz com que se tenha a ilusão de que a água nunca acabará e acaba fomentando uma cultura baseada em desperdícios. Na Figura 1 verifica-se como a distribuição relativa dos recursos hídricos e da população é desigual.

Figura 1 - Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro



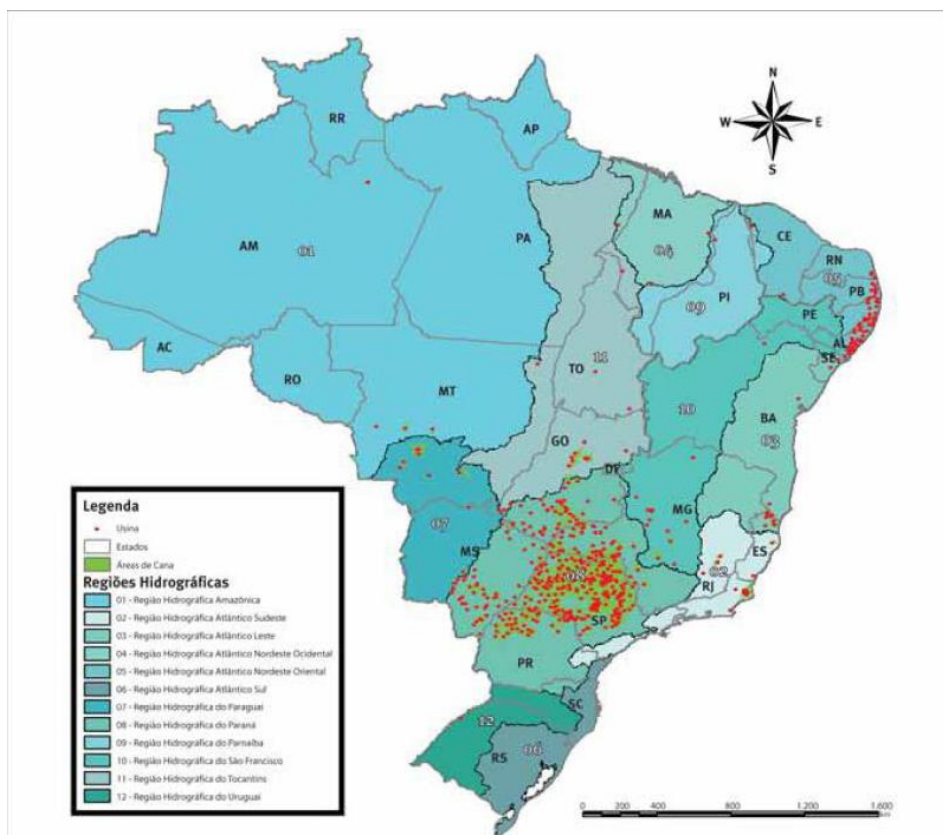
Fonte: adaptado de dados do DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007.

Consumo de água e as usinas de açúcar e álcool

Em média estima-se um consumo de $22 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ cana para uma usina com destilaria anexa tendo 50% da cana para produção de álcool e os outros 50% para açúcar (MANUAL). O consumo de água numa usina não é estático, pois se leva em conta as diversas variâncias nas operações unitárias e o layout da usina. Devem ser consideradas as reutilizações da água nos vários circuitos, com ou sem tratamento. Na Figura 2 tem-se um mapa elaborado pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) onde se pode visualizar a distribuição geográfica das unidades sucroenergéticas do país. Pode-se perceber que a maioria das unidades se concentra na bacia hidrográfica do Rio Paraná.

Na Figura 3 pode-se visualizar a distribuição geográfica das unidades produtoras sucroenergéticas paulistas em funcionamento por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH).

Figura 2 - Distribuição geográfica das usinas conforme as bacias hidrográficas da federação



Fonte: CTC em 2009.

No consumo médio de água pela usina se tem que levar em consideração as reutilizações da água nos vários circuitos, com ou sem tratamento.

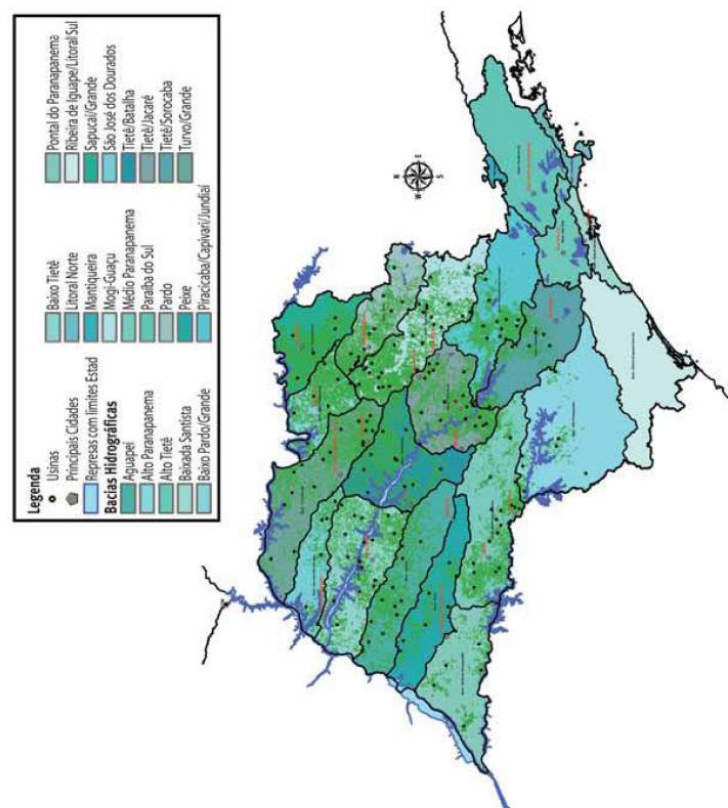
Dentro de uma usina, as fontes de captação de água podem ser de águas superficiais de mananciais e cursos d'água ou também de poços artesianos dentro da própria usina.

Pode-se ainda, fazer uso das duas fontes de captação conforme a necessidade de consumo e localização geográfica da planta industrial.

As principais formas de captação de água (SILVA *et al.*, 2011) podem ser através de:

- Bombas afogadas;
- Bombas em sucção;
- Tipo misto;
- Captação flutuante.

Figura 3 – Distribuição geográfica das usinas e destilarias conforme as UGRHIs de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo CTC em 2009.

O acionamento das bombas pode ser realizado por meio de motores elétricos, uma vez que existe a produção de energia elétrica dentro da planta física, a partir de geradores movidos com vapor produzido com a combustão do bagaço da cana, e motores que utilizam como combustível o óleo diesel. Este último de uso menos corriqueiro tendo em vista a utilização de um combustível derivado de petróleo com alto custo financeiro e ambiental.

Um ponto importante a ser levantado é o conceito de reuso da água no qual se pode definir como reuso toda a água tratada ou não que seja utilizada para o mesmo ou para outro fim da qual se destinou.

Conforme (MORAES; MENDES, 2005; SILVA *et al.*, 2011) a classificação para estas águas de reuso podem ser:

- Reuso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).
- Reuso indireto planejado da água: ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado.
- Reuso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.
- Reciclagem de água: é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Essas tendem, assim, como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este é um caso particular do reuso direto planejado.

Balanço hídrico industrial

O balanço hídrico industrial pode ser definido como o processo aplicado para melhorar a utilização e a reutilização da água nos diversos processos na indústria.

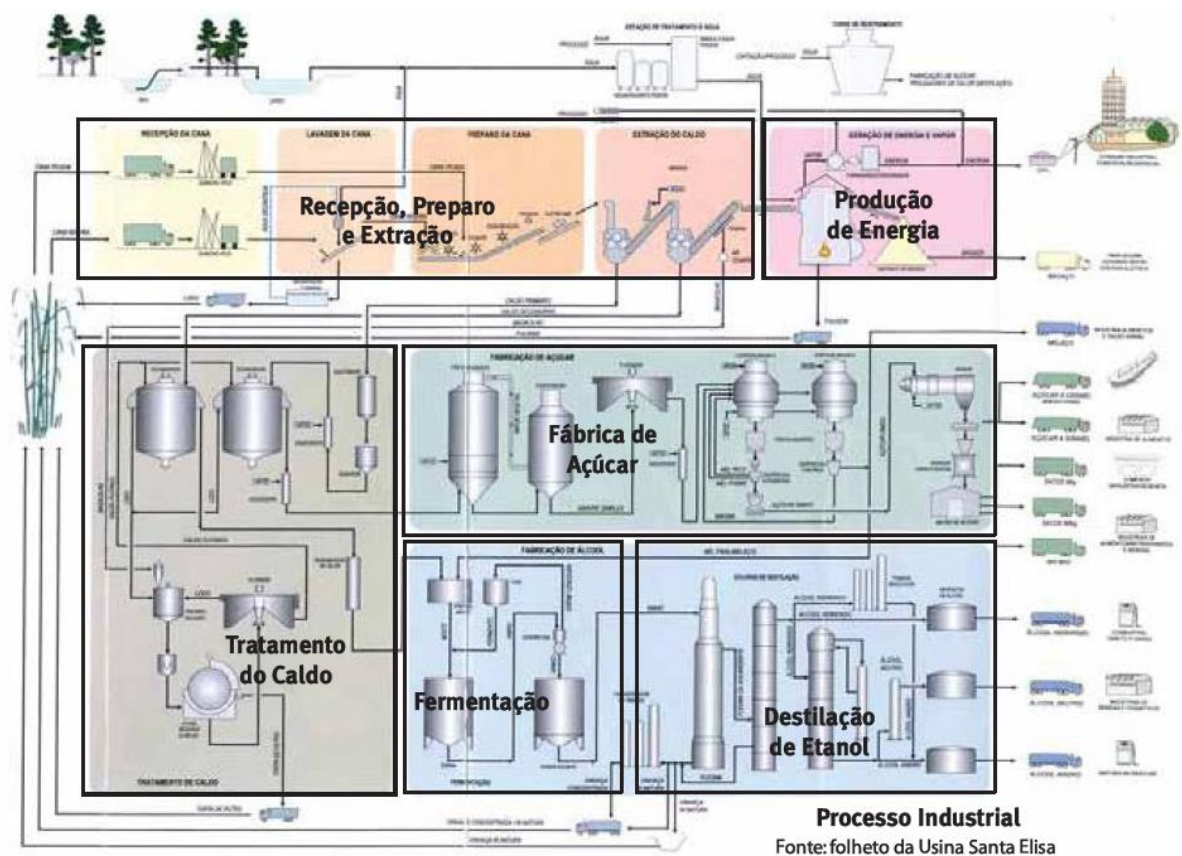
O balanço material de água de uma atividade industrial, ou mais comumente conhecido como balanço hídrico industrial, é uma excelente ferramenta para iniciar o processo para maximizar o uso e reuso de água, pois permite diagnosticar visualmente a situação atual da indústria e os pontos aonde se possa intervir prontamente para se obter a pretendida redução da captação. Pode-se agir no tipo de equipamento, no processo ou ainda simplesmente na cultura da empresa e de seus funcionários, sendo este conjunto de procedimentos atualmente denominado: “Produção mais Limpa” (P + L) (ELIA NETO; SHINTAKU, 2006, p. 69).

Para se calcular o balanço hídrico, há que se conhecer, o balanço de massa e de vapor do processo juntamente com os circuitos de água e efluentes.

Para que se tenha um bom resultado precisa-se analisar a usina dividindo-a por setores e com base nesta informação, segue os setores (processos) onde se utiliza água em usina que tenha todos os processos de fabricação de álcool e açúcar: recepção e preparo da cana e extração do caldo; tratamento do caldo; fábrica de açúcar; fermentação; destilação do etanol e produção de energia (SILVA *et al.*, 2011).

Na Figura 4 observa-se um fluxograma com caráter didático no qual são apresentados os grandes setores de uma usina de açúcar com destilaria de etanol anexa.

Figura 4 – Fluxograma do processamento industrial da fabricação de açúcar e etanol



Fonte: ELIAS NETO *et al.*, 2009.

Realizar um estudo de caso tem por objetivo, em uma unidade agroindustrial localizada em Charqueada, no interior de São Paulo, na região de Piracicaba, analisando seu balanço hídrico industrial, podendo assim estimar quais são os pontos frágeis no sistema, e assim sugerir melhorias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local e empresa selecionada

A Empresa agroindustrial sucroalcooleira estudada localiza-se no município de Charqueada, na região de Piracicaba. O Estado de São Paulo é líder na produção de açúcar e

álcool, Piracicaba, cidade vizinha de Charqueada é um grande pólo de tecnologia na indústria canavieira.

Na caracterização da unidade, constatou-se um efetivo de 60 trabalhadores, somando-se os 03 turnos, dos quais 04 são da área administrativa, sua capacidade de moagem é de 3.600 t dia⁻¹, no período estudado conforme dados fornecidos sua moagem foi de 2.400 t dia⁻¹ e tem como sua atividade produção de xarope (melado), álcool e aguardente (mercado interno e exportação), sua produção, remuneração aos produtores de cana, controle de perdas são feitos utilizando do indicador ATR (Açúcares Totais Recuperáveis). A partir da medição do ATR é um indicador valioso para a gestão financeira e dos negócios para quem trabalha com cana, álcool e açúcar. Está inserido na própria sacarose da matéria-prima, na forma de ATR - Açúcar Total Recuperável, que é empregado para pagamento de fornecedor, administração de custos e até na realização de contratos com instituições financeiras.

Na quantificação de perdas e eficiência no processamento da cana-de-açúcar para a fabricação de açúcar e álcool, mensuram-se as perdas ocorridas nas várias etapas do processo, no final a quantidade total de açúcar, denominada de Açúcar Total Recuperável (ATR), é inferior ao recebido na matéria-prima. Para o cálculo do ATR, além das características tecnológicas do caldo e da cana (Brix, Pol, Pureza, Fibra e Açúcares Redutores) é necessário conhecer as perdas no processo de açúcar e as eficiências de fermentação e destilação no processo de obtenção do álcool. Adotou-se o indicador de ATR divulgado pela Única (União da Indústria de cana-de-açúcar) é calculado a partir do volume de cana-de-açúcar moída e da produção de açúcar e de etanol em determinado período, considerando algumas premissas em relação às perdas industriais, eficiências de fermentação e de destilação (chamado de "ATR produto"). Outro indicador de concentração de ATR na cana que é chamado "ATR cana" e provém de análises laboratoriais de amostras de cana-de-açúcar coletadas no momento de sua entrega na unidade industrial. Estas análises seguem rígidas normas operacionais estabelecidas pelo Sistema - ATR, desenvolvido pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA - SP).

Segundo o Diretor técnico da União da Indústria (Única), Sr. Antonio de Padua Rodrigues, no site da Única em notícias de 14.10.2010, "os dois indicadores de ATR mensuram a mesma coisa e geralmente apresentam valores semelhantes no final da safra; entretanto, o ATR produto sofre distorções durante períodos com elevada precipitação pluviométrica e essas distorções precisam ser entendidas para a realização de qualquer análise" apenas diferenças no tempo de resposta, mas os valores finais deverão ser equivalentes, concluiu o executivo.

A Usina em estudo utiliza-se deste indicador conforme tabela 1, onde demonstra a produção dos meses Agosto e Setembro de 2010, por tonelada de “ATR” referenciando os produtos álcool, aguardente e melado (xarope).

Tabela 1. Produção da Usina em Charqueada, com álcool, aguardente e xarope nos meses de Agosto e Setembro de 2010, por “tonelada de ATR”.

Produto	Agosto 2010			Setembro 2010		
	Por tonelada de ATR (ATR = 154,52)			Por tonelada de ATR (ATR = 161,75)		
	Estimado	Produzido	% Perda	Estimado	Produzido	% Perda
Álcool (L)	91,36	89,62	1,9	95,63	90,37	5,5
Aguardente (L)	190,33	186,71	1,9	199,24	188,28	5,5
Xarope (Kg)	583,92	572,82	1,9	592,34	559,76	5,5

Amostragem e quantificação hídrica na fábrica

Foram selecionados dentro da usina os pontos de utilização dos recursos hídricos, sendo eles:

1. Recepção, preparo e extração de caldo: onde água é utilizada para lavagem da cana-de-açúcar ao chegar à usina, para remoção de terras e outras impurezas vinda do campo, utilizada também na embebição e na água de resfriamento de equipamentos (mancais das moendas e resfriamento do óleo das turbinas e equipamentos)
2. Tratamento de caldo: basicamente têm-se quatro usos diretos de água nesta etapa, a água para formar o leite de cal, a água para preparo de polímero, a água de lavagem de torta e água dos condensadores barométricos dos filtros rotativos com vácuo;
3. Fermentação: nesta etapa utiliza-se água no preparo do mosto, diluição do fermento e resfriamento;
4. Destilação: a água é utilizada para remoção do calor latente das colunas destilação, retificação e desidratação e também para remoção do calor sensível do etano condensado produzido, para posterior armazenamento;
5. Produção de energia: nesta etapa as águas das caldeiras são aquecidas, formando vapores de média e alta pressão, gerando força motriz utilizada para movimentos dos equipamentos e demais consumo próprio da usina.

Material e equipamentos

Os materiais utilizados para quantificação do volume de água a ser utilizado em cada processo se deram utilizando-se:

Recipiente plástico com volume graduado conhecido de 20 litros, aferido através de balões volumétricos de 2 litros cada e confirmado através de cálculos aritméticos e métodos gravimétricos (peso/densidade= volume);

Recipiente plástico com volume graduado de 40 litros, confirmado através de cálculos aritméticos gravimétricos (peso/densidade= volume);

Trena de capacidade 5 metros;

Calculadora com quatros operações básica;

Cronometro;

Blocos para anotações;

Phmetro: um dos parâmetros mais importantes para análise da água é o pH, portanto abaixo se têm uma descrição do que é o pH e como medi-lo: O pH faz parte dos parâmetros químicos da água para alimentação da caldeira.

Métodos

Entre os diversos métodos existentes na Hidrometria (medição de vazão) para nosso fluido a água, encontramos:

- Método direto (volumétrico e gravimétrico);
- Método flutuador;
- Método vertedor (triangular, retangular, sem contração lateral, trapezoidal e circular).
- Medidor “WSC FLUME” (calha / represamento)
- Molinete

Grande parte dos resultados obtidos veio através de métodos direto, gravimétricos (utilizados na aferição dos materiais a serem utilizados) e volumétricos utilizando-se de cálculos aritméticos. Basicamente trabalhou-se com as variações de escalas volumétricas de um sistema ou equipamento, e escalas de tempo, correlacionando as horas de uso ou funcionamento diário.

As fórmulas abaixo foram utilizadas nos mais variados casos na determinação de vazão:

- a) Fórmula de determinação da Vazão

$$\text{Vazão} = \text{Volume} / \text{Tempo}$$

- b) Fórmula de determinação de Volume do Cilindro

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Águas captadas de fonte externa (captações)

A captação de água para usina advém de dois sistemas sendo um “sistema da lagoa” constituída por duas bombas, e outra de um poço artesiano, sua utilização diária ocorre sempre com a bomba pequena da lagoa “ou” o poço artesiano ligado por 24 horas diárias (Vazões similares diferença de qualidade), e a bomba grande ligado de acordo com as necessidades do sistema da Usina (permanece ligada em média de 18 horas/ dias), conforme característica de cada uma descrita abaixo:

a) Bomba pequena da Lagoa:

Marca Schenaiders Tipo: centrifuga

Modelo BC

Motor: 15 Hp

Vazão cubicada: 23,84 m³ h⁻¹

Utilizando de volume conhecido (balde 20 litros), foram retirados 10 tempos necessários para encher esse volume; com a média aritmética desses tempos, obtém o tempo para esse volume, utilizando-se de cálculos aritméticos encontra-se o volume de 23,84 m³ / hora, no ponto de abastecimento do reservatório de água bruta (centro da Usina - há uma distancia de aproximadamente 600 metros do ponto de sucção).

Média 10 tempos = 3,02 segundos para encher 20 litros

$$Q_{L/s} = 20 / 3,02 = 6,62251 \text{ L s}^{-1}$$

$$Q_{m^3/h} = Q_{L/s} \times 3,6 = 6,62251 \times 3,6 = \underline{23,84 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}$$

b) **Bomba grande da Lagoa:**

Marca Darka Tipo: centrífuga

Modelo: CV 16

Motor: 30 Hp

Vazão encontrada: 49,00 m³ / hora

Tabela 2 - Dada da Bomba centrífuga CV 16 – Darka

	Bocal Suc	Bocal Rec	MCA	Vazão	Rotor	RPM	Nível Agua
30	2 ½	2	45	84	SIM	3500	0
30	2 ½	2	50	83	SIM	3500	0
30	2 ½	2	55	80	SIM	3500	0
30	2 ½	2	60	73	SIM	3500	0
30	2 ½	2	65	65	SIM	3500	0
30	2 ½	2	70	55	SIM	3500	0
30	2 ½	2	75	38	SIM	3500	0
30	2 ½	2	80	17	SIM	3500	0

Utilizando de volume conhecido, como os reservatórios de água bruta no centro da Usina (dois de 75 m³ cada), conhecendo as vazões de entrada no momento da leitura do tempo sendo, 20 m³ h⁻¹-retorno da sobra do reservatório da caldeira + 23 m³ h⁻¹ Poço artesiano + 35 m³ h⁻¹ no retorno água de refrigeração mancais moendas, somando obtém o valor de 78 m³ de entrada, e também conhecendo as vazões de saída no mesmo momento sendo 60 m³ h⁻¹-alimentação do reservatório da caldeira + 35 m³ h⁻¹ de água na refrigeração dos mancais da moenda, totalizando 95 m³ no momento do teste, obtém déficit de 17 m³ h⁻¹, portanto os níveis dos reservatórios estão abaixando. Ligando a bomba grande, parte da vazão (17 m³ h⁻¹) estabiliza o nível e o restante altera esses níveis subindo, no intervalo de 10 minutos começando ao ligar a bomba grande o nível subiu 17 cm (0,17m), conhecendo o diâmetro do reservatório de 2,24 m (cada), através de

cálculos aritméticos chegou à vazão de $49,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, diferente da curva da bomba pela pressão (70mca) que deveria ser de $55 \text{ m}^3/\text{hora}$, provavelmente devido a vários problemas dentre eles desgaste da bomba.

Cálculos:

$$Q_{\text{deficit}} = (+20) + (+23) + (+35) + (-60) + (-35) = 17 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ (antes de ligar a bomba)}$$

Tempo 10 minutos ou 600 segundos (após ligar a bomba)

Altura (h) : 17 cm ou 0,17 m

Portanto:

$$(3,1416) \times (2,24)^2 \times (0,17) \times (02) = 5,36 \text{ m}^3 / 600 \text{ segundos}$$

$$(\pi) \times (r)^2 \times (h) \times (n^\circ \text{ tqs}) = 5,36 \text{ m}^3 / 600 \text{ segundos}$$

$$5,36 \text{ m}^3 \times 1000 / 600 \text{ segundos} = 8,93 \text{ L s}^{-1} \text{ (conversão para L s}^{-1}\text{)}$$

$$8,93 \text{ L/s} \times 3,6 = 32,148 \text{ m}^3/\text{hora} \text{ (conversão para m}^3/\text{hora)}$$

$$Q_{\text{bgrande}} = Q_{\text{deficit}} + 32,148 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$Q_{\text{bgrande}} = 17 \text{ m}^3/\text{hora} + 32,148 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\underline{Q_{\text{bgrande}} = 49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}$$

c) Bomba Poço artesiano:

Utilizando-se do ponteiro do hidrômetro com medida conhecida (100 litros por volta completa do ponteiro), realizado 10 repetições para obter a média para cada ciclo, com esses valores, obtém-se através de media aritmética um valor único (15,65s) para 100 litros, utilizando de cálculos aritméticos obtém a vazão de $23 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.



Figura 07: Foto hidrômetro poço artesiano da usina em estudo – Out.2010

Tabela 3 - Resumo Capacidade de Captação Externa / tonelada cana / dia

Fonte	Vazão (m ³ h ⁻¹)	Horas dias ⁻¹	Vazão (m ³ dia ⁻¹)
Bomba grande Lagoa	49,00	18	882
Bomba pequena da Lagoa	23,84	24	572
Poço Artesiano	23,00	24	552
Total em m ³ de água captada para 2400 toneladas de cana dia.			1454 (máxima)

Conforme tabela 3, resumo do volume de captação externa reflete o consumo de água da Usina em estudo, em torno de 1454 m³ de água provinda de manancial superficial e subterrâneo, sem retorno ao corpo em que foi captado.

Com a resolução SMA - 88, de 20 de dezembro de 2008, pela qual se definem as diretrizes para o licenciamento de empreendimento sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, as usinas que estiverem localizadas em áreas classificadas como adequadas para o plantio de cana terão que utilizar 1 m³ TC⁻¹ – meta possível de alcançar com as tecnologias disponíveis para redução deste consumo. A Usina em estudo considerando o volume captado diário (aproximadamente 1454 m³ dia⁻¹) dividido pela produção diária de 2400 tc dia⁻¹, resultando um consumo de 0,59 m³TC⁻¹, o que estaria dentro das diretrizes da resolução SMA – 88, sendo necessário somente a apresentar, a cada dois anos, à CETESB, um cronograma de estudo de água para reduzir mais ainda a captação, o Programa de Redução de Uso de Água (PRUA).

Reutilização interna da água

Os pontos de consumo de água seguem abaixo, com as devidas explicações e apontamentos.

- a) Sistema de lavagem de cana: a quantificação se deu nos bicos da tubulação de lavagem superior (Figura 08) e inferior de acordo com a regulação do registro de

distribuição (superior e inferior) no momento, medindo um volume de 20 litros, de uma das ponteiros, tirando cinco leituras, e usando-se de media aritmética determinou o tempo, dividindo o volume de 20 litros pelo tempo encontrado (média aritmética) encontra-se a vazão em litros por segundo de uma ponteira, multiplicando pelo numero de ponteiros (desconsiderando as entupidas) encontra-se a vazão da tubulação superior e da mesma forma a inferior, somando-se as vazões superior e inferior obtém-se a vazão de lavagem da cana, transformando aritmeticamente de $L s^{-1}$ para $m^3 h^{-1}$, encontrou-se a vazão $379 m^3 h^{-1}$ que é 9,76% inferior a nominal da placa da bomba, possivelmen te devido a desgaste na bomba devido ao tempo de uso. Com o volume conhecido nos dez metros e tempo que o corpo de prova levou para percorrer o mesmo trecho, dividiu-se o volume pelo tempo, assim chegando a um valor em metros cúbicos por segundo, promovendo a projeção para metros cúbicos por horas;

Figura 8 – Foto da esteira de lavagem da cana, parte superior, na Usina em estudo, em out. 2010



- b) Reposição do sistema de lavagem de cana: ao se promover a limpeza;
- c) Um decantador o mesmo é drenado e o lodo é retirado após secagem, com a caixa limpa e vazia, a mesma é reabastecida por água bruta da quarta lagoa (provinda dos Evaporadores) e assim sucessivamente a cada 04 dias em média. O volume das caixas denominadas neste trabalho como lagoa nº01(Figura 9) e lagoa nº02 respectivamente são: $40 m^3$ cada.

Figura 9 – Foto da lagoa 01 de decantação da Usina em estudo, em out. 2010



d) Lavagem de pisos e equipamentos: ocorre com uma frequência aleatória de acordo com cada área e sua situação no momento, fazendo uso de água bruta da bomba para resfriamento dos mancais das moendas, quantificando-se o volume gasto em tempo necessário para encher um volume conhecido (20 litros) utilizando a mangueira padrão de limpeza, com a média aritmética dos tempos medidos obtém o tempo médio, utilizando de cálculos matemáticos foi estabelecido valor gasto em litros por segundo, projetando para metros cúbicos por hora. Como o procedimento é controlado, levantando a informação do tempo gasto para a lavagem (20 minutos) e quantas vezes este fato ocorre ao dia (Seis vezes em média), obtém-se o consumo diário de $7,2 \text{ m}^3/\text{dia}$. A água utilizada é do reservatório de água bruta e não retorna para nenhum processo, é descartada.

e) O leite de cal tem um consumo de 04 tanques ao dia, multiplicando-se o volume do tanque (4m^3) pelo número de preparos, atinge-se o volume gasto em 24 horas, ou seja, de $16 \text{ m}^3/\text{dia}$. A água utilizada é do evaporador. Retorna para lagoa nº04.

f) O preparo do polímero tem um consumo de 200 litros por vez, multiplicando pelo consumo diário de 10 cargas dia, resulta em consumo de $2 \text{ m}^3/\text{dia}$. A água utilizada é do evaporador.

Em relação aos pontos de consumo citados, a limpeza dos pisos e equipamentos onde a utilização é pequena relativamente ao todo e a lavagem da cana onde recirculando durante quatro

dias, depois a água é trocada, a água descartada nestas citações não retorna ao corpo receptor, portanto faz parte do consumo total da empresa.

Determinação de vazão por características técnicas e operacionais dos equipamentos

Partes dos pontos não apresentaram possibilidades de determinação de vazão por método do uso de fórmulas e cálculos matemáticos. Neste caso se fez uso de especificação do projeto do equipamento ou sistema, incluindo as vazões nominais de bombas, visto que a maioria se torna circuito fechado devido ao retorno ao mesmo ponto de partida com o volume total e mais um pouco devido à evaporação da água do caldo.

Os pontos em que se fez uso dos valores nominais das bombas são:

- Bombeamento de água para resfriamento do fermento $60 \text{ m}^3/\text{hora}$, sai e retorna no tanque de água bruta (circuito fechado, perdas somente em vazamentos de gaxetas na bomba);
- Bomba de alimentação do reservatório da caldeira, $60 \text{ m}^3/\text{hora}$, sai do reservatório de água bruta e retorno de aproximadamente $1/3$ ($20 \text{ m}^3/\text{hora}$), já que a caldeira utiliza também água de retorno do evaporador;
- Bomba para resfriamento dos mancais das moendas, $35 \text{ m}^3/\text{hora}$, sai do reservatório de água bruta;
- Bomba retorno da água de resfriamento dos mancais das moendas $35 \text{ m}^3/\text{hora}$ retorna para reservatório de água bruta (a perda somente de conexões com vazamentos);
- Bomba de embebição das moendas, $30 \text{ m}^3/\text{hora}$, sai do tanque de água (capacidade de 75 m^3) que vem dos evaporadores (água aquecida);
- Bomba do sistema pequeno de resfriamento do fermento, de $60 \text{ m}^3/\text{hora}$, saindo e retornando da terceira lagoa (sistema fechado);
- Bomba do sistema de resfriamento do xarope para fermentação, $100 \text{ m}^3/\text{hora}$, saindo e retornando da terceira lagoa (sistema fechado);
- Bomba do sistema resfriamento e condensação do álcool, $100 \text{ m}^3/\text{hora}$, saindo e retornando para terceira lagoa;
- Bomba para xaropeira (pressão de vácuo) sendo duas bombas uma de $500 \text{ m}^3/\text{hora}$ e outra de $250 \text{ m}^3/\text{hora}$, saindo da quarta lagoa (vazamentos nas gaxetas/selos);

- Reposição de água no tanque de resfriamento por aspersão dos multi-jatos (água do circuito fechado entre a produção de vácuo pelos multi-jatos nas colunas de vácuo e tanque de aspersão) sendo duas bombas uma de 280 m³/hora e outra de 200 m³/hora;
- Bombas de alimentação da caldeira, bomba 37m³/hora e outra de 50m³/hora sendo as duas alimentadas pela água do reservatório para caldeira que recebe água do reservatório água bruta e do evaporador;

Em relação aos esses pontos, as águas são captadas em locais que retornam para o mesmo ponto, havendo somente perdas por vazamentos e evaporações, não há tantas perdas de água.

Comparativo hídrico da usina em estudo em relação ao manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética (FIESP, ÚNICA, CTC E ANA).

O “MANUAL DE CONSERVAÇÃO E REUSO DE ÁGUA NA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA” de 2009, formulada pela Agencia Nacional de Água (ANA), Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), União da Indústria de cana-de-açúcar (ÚNICA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e o Ministério do Meio Ambiente apresenta diretrizes do uso e conservação da água para agroindústrias sucroalcooleiras, os quais enfatizaram sua tabela base de utilização de água nos sistemas para compararmos com a realidade da Usina em estudo.

Tabela 4 - Análise comparativa de índices hídricos obtidos na Usina em estudo, em relação ao manual de conservação de água na agroindústria sucroenergética (FIESP, UNICA, CTC e ANA, 2009).

Finalidade	Uso específico (manual)	Uso médio (Usina em Estudo)
Lavagem da cana	2,200 m ³ t ⁻¹ cana	3,790 m ³ t ⁻¹ cana
Embebição	0,250 m ³ t ⁻¹ cana	0,300 m ³ t ⁻¹ cana
Resfriamento mancais	0,035 m ³ t ⁻¹ cana	0,035 m ³ t ⁻¹ cana

Preparo de leite de cal	0,030	0,007
	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$
Preparo de polímero	0,015	0,0008
	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$
Resfriamento do caldo para fermentação	30	1,6
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ etanol}$	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$
	(2,7 $\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$)	
Resfriamento dos condensadores destilaria	80 a 120	1,0
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ etanol}$	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$
	(7,2 á 10,8 $\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$)	
Limpeza pisos e equipamentos	0,050	0,003
	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$

Em comparação com a tabela de referencia podemos observar nos resultados obtidos que a Usina em estudo trabalha de acordo com as referencias, a diferença, mas significativa no item lavagem da cana, considerando que sua capacidade total ($3600 \text{ tcanadia}^{-1}$) resultaria no valor de $2,53 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{cana}$, muito próximo da tabela sendo necessários pequenos ajustes. Essa similaridade em referencia a tabela, na Usina em estudo se dá principalmente por se tratar de uma “agroindústria familiar”, muito bem administrada, procurando se atualizar e modernizar dentro do setor, através de estudos sobre as necessidades e tecnologias atuais, como este, e dentro do possível investindo de acordo com as necessidades e avanços tecnológicos.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados quantitativos mensurados para o uso de sustentável do recurso hídrico, a Usina estudada apresenta dentro dos parâmetros de referencias das Agroindústrias sucroalcooleira preconizados pela CETESB, porém, há problemas que podem ser solucionados, como no período de estiagem ou período chuvoso que afeta a qualidade tornando

imprópria para o uso e também a própria disponibilidade de água da região. Deste modo, sugerem-se práticas para melhoria desse processo:

✓ Primeiramente uma ETA ciclo completo (tanque de contato, mistura rápida, floculador e filtros rápido de dupla camada), pois a água captada necessita de correção na época da estiagem, devido principalmente à quantidade de microorganismo na lagoa, como também próximo às chuvas, quando turva a água aumentando o número de partículas em suspensão (turbidez), deixando a água imprópria para o uso agroindustrial em vários setores;

✓ Em relação a todos os sistemas de bombeamentos, sugerimos sistema reservas, no qual cada bomba em uso tem uma reserva já instalada, com isso facilitaria a manutenção preventiva e não corretiva, com isso eliminaria risco de parada em sistema, essa melhoria ajudaria realmente a utilizar a bomba com sua vazão nominal, economizando nesta parte energia elétrica, pois hoje a nominal é uma e a vazão real é outra, porém o consumo de energia é real da nominal; e as energias excedentes poderiam ser negociadas com as companhias.

REFERÊNCIAS

Aferindo o sistema de remuneração da tonelada de cana pelo modelo Consecana/SP. In: *UNLÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA*. Disponível em:

<http://www.udop.com.br/index.php?item=cana&op=tonelada> acesso em: 21/10/2016.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria Sucroenergética: ano base 2009 – Brasília: ANA, 2009.

AGRO ANALYSIS. A Revista de Agronegócio da FGV. *Consecana*. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/index.php?area=conteudo&esp_id=3&from=especial&epc_id=10>. Acesso em 21/10/2013.

ATR Futuro revoluciona economia no setor. In: *JORNALCANA. ADMINISTRAÇÃO & LEGISLAÇÃO*. Jan. 2007. Disponível em: <<http://www.canaweb.com.br/pdf/157/%5Cadmleg.pdf>>. Acesso em 14/11/2011. nwsCode= {A880808D-9A96-4E35-9DC6-EC1A9E4DE6D8} >. Acessado em: 21/10/2014.

BRANCO, S. M. *Água, origem, uso e preservação*. São Paulo: Editora Moderna, 1993. (coleção Polêmica)

Concentração de ATR por tonelada de cana atinge 170 kg. In: *Investimento e notícias*. 14/10/2010. Disponível em: <<http://www.investimentosenoticias.com.br/ultimas-noticias/tempo-real/concentração-de-atr-por-tonelada-de-cana-atinge-170kg.html>>. Acesso em 21/10/2011.

Cultivo cana hoje. In: *UNLÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA)*. Setor Sucroenergético. Histórico. Disponível em:

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 2, p.98 - 119 , jul./dez. 2017.

Silva, Fábio Cesar da; Masetto, Henrique César Pellegrino; Gomes, Wellington Feliciano Gusmão
Água no século XXI – visão para unidade sucroenergética

<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=9E97665F-3A81-46F2-BF69-26E00C323988>. Acesso em 15/11/2010.

ELIA NETO, A. & SHINTAKU A. *Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria Sucroenergética*. Agência Nacional das Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília, p. 69 – 73, 2009.

Qualidade da matéria prima. In: *UNLÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA)*. Notícias. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?>

OLIC, Nelson Bacic. Recursos hídricos das regiões brasileiras: aspectos, usos e conflitos. *Revista Pangea*, 05/05/2003. Disponível em:

http://www.clubemundo.com.br/revistapangea/show_news.asp?n=188&ed=4. Acesso em: 15/11/2009.

Reuso da água. In: *UNIVERSIDADE DA ÁGUA*. 04/02/03 – Disponível em: http://www.uniagua.org.br/public_html/website/default.asp?tp=3&pag=reuso.htm acesso em 15/11/2010.

SEVERO, J. R. *Cana de açúcar: como calcular o valor da tonelada*. Disponível em:<<http://www.gape-esalq.com.br/portal/Como%20calcular%20o%20valor%20da%20tonelada%20de%20cana.pdf>>. Acesso em: 21/10/ 2012.

SETTI, Arnaldo Augusto *et al.*. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001.

SILVA, F. C. da; CESAR, M. A. A. MORAES, J. de; VILELA, M. Mendes. C. Diagnóstico hídrico em destilarias de álcool em São Paulo. *Bioenergia em revista: diálogos*. V. 1, n.1, 2011. 1-12p.

TSUNECHIRO, ALFREDO *et al.* Valor da produção Agropecuária do Estado de São Paulo em 2004. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 61-71, abr. 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS-UFLA. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA. Aula prática 6. *Hidrometria (Medição de vazão)*. Disponível em: http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_187/aulas%20praticas/6.pdf. Acessado em 14/11/2012.