

# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E CUSTEIO DO CICLO DE VIDA DE EVAPORADORES PARA USINAS DE AÇÚCAR

Prof. Dr. Jorge Alberto Soares Tenório, Escola Politécnica-USP e Dr. Lino José Cardoso Santos, Consultor

## RESUMO

As usinas de açúcar no Brasil utilizam aço carbono, um material de barato, mas com pequena resistência a corrosão. No entanto, o aço inoxidável é o material mais adequado para a sua substituição. Foi realizada a avaliação ambiental e financeira de tubos para evaporadores de usinas de açúcar construídos em aço carbono e em aços inoxidáveis do tipo AISI 304, 444 e 439. Para a avaliação ambiental foi utilizada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que mostrou que os aços inoxidáveis são ambientalmente mais eficientes. Para a avaliação financeira foi utilizado o Custeio do Ciclo de Vida (CCV), que mostrou que os tubos em aços inoxidáveis são opções de investimento mais interessantes. O período de tempo destas avaliações foi de 30 anos. Os resultados obtidos mostram que ACV e CCV devem ser usados em conjunto, pois mostram que produtos mais seguros ambientalmente podem vir a ser opções de investimentos mais interessantes.

Palavras chave: ACV. Avaliação do ciclo de vida. CCV. Custeio do Ciclo de Vida. Tubos para evaporadores. Usinas de açúcar. Aço carbono. Aço inoxidável. Seleção de Materiais. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The evaporators of sugar plants in Brazil have used carbon steel intensively, a low price material which possesses inferior corrosion resistance. The material more indicated for the substitution of carbon steel is stainless steel. There were evaluated the environmental and financial performances of evaporators pipes constructed with carbon steel

and with types 304, 444 and 439 stainless steel. For the environmental evaluation it was used the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, which revealed that stainless steel is more environmentally efficient than carbon steel. The life cycle costing (LCC) technique was the tool chosen for the financial evaluation and showed that stainless steel is a better investment option compared to carbon steel. The results also indicate that LCA and LCC methodologies must be used together, therefore they show that safer environmental products can come to be the most profitable investment options.

Keywords: Life cycle assessment. LCA. Life cycle costing. LCC. Pipes. Evaporators. Sugar plant. Carbon steel. Stainless steel. Materials Selection. Sustainability

## 1 INTRODUÇÃO

As usinas fabricantes de açúcar ainda convivem com uma prática industrial ultrapassada, que vem a ser o uso maciço de aço carbono, um material de baixo custo, mas com pequena resistência a corrosão. O material mais adequado para a substituição do aço carbono é o aço inoxidável, com excelentes características mecânicas e inércia química (SUGAR, 2006). Os aços inoxidáveis são, entretanto, materiais de custo mais elevado.

Em uma usina de açúcar dois conjuntos de equipamentos são fundamentais aos seus resultados: o sistema de moagem ou de difusão e os evaporadores.

Nos evaporadores cabe salientar a importância dos tubos de troca térmica, onde o caldo de cana em concentração é aquecido por vapor.

O presente trabalho avaliou o desempenho ambiental e o financeiro de tubos para evaporadores para usinas de açúcar fabricados com aço carbono e em aços inoxidáveis AISI 304, 444 e 439. Para estas comparações foram utilizadas a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (CHEHEBE, 1998) e a técnica de Custeio do Ciclo de Vida (CCV) (MATERN, S.??? referência), respectivamente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Na elaboração deste estudo foram utilizados os procedimentos estabelecidos pelas normas ABNT NBR ISO 14040, ABNT NBR ISO 14041, ABNT NBR ISO 14042 e ABNT NBR ISO 14043, a seguir detalhados.

#### 2.1.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo deste estudo de ACV foi a avaliação ambiental de um evaporador para usinas de açúcar com cinco efeitos, cujos tubos foram fabricados em aço carbono com 2,65 mm de espessura e, comparativamente, com os aços inoxidáveis AISI 304, 444 e 439. Para os aços AISI 304 e 444 foram usados tubos com 1,20 e 1,50 mm de espessura, respectivamente. Para o estudo do aço AISI 439, foram usados tubos com 1,50 mm de espessura. Estes tubos possuem um diâmetro externo igual a 38,10 mm. Como os evaporadores são equipamentos de grande durabilidade, foi adotado um período de avaliação de trinta anos.

Justificaram a realização deste estudo a pequena durabilidade dos tubos em aço carbono, a inexistência de estudos comparativos de ACV de equipamentos para usinas de açúcar construídos com diferentes tipos de aços e a avaliação ambiental ainda não ser comum no processo de decisão do usineiro quanto a investimentos ou reformas.

O público alvo deste trabalho são os empresários, profissionais, pesquisadores e

acadêmicos do setor açucareiro e do setor de aços inoxidáveis.

Cada evaporador em estudo passa a ser chamado de “sistema de produto”. Como a função de um evaporador é evaporar a água presente no caldo de cana clarificado, foi escolhida como unidade funcional desta ACV a massa de água igual a  $20 \cdot 10^6$  t (ou 20 Mt).

Para o cálculo da superfície de troca térmica destes evaporadores foram adotadas as seguintes considerações:

- Taxa de evaporação de um evaporador com cinco efeitos igual a  $30 \text{ kg/h/m}^2$  (? É essa a unidade?) (HUGOT,1977);
  - Período anual efetivo da safra de açúcar que é igual a 210 dias;
  - Período de tempo do estudo igual a trinta anos.
- Com estes dados, têm-se:

$$\begin{aligned} \text{SUPERFÍCIE TROCA TÉRMICA (m}^2\text{)} &= \\ &= 20 \cdot 10^6 \text{ t} / 210(\text{dias/ano}) \times 24 \text{ (h/dia)} \times 30 \text{ (anos)} \\ &\times 0,03 \text{ (t/h/m}^2\text{)} = 4.400 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Como superfície de troca térmica estende-se a superfície interna dos tubos. Com este valor de superfície de troca térmica, foi adotado um evaporador com cinco efeitos, sendo o primeiro com  $2.000 \text{ m}^2$  e os demais com  $600 \text{ m}^2$  de superfície de troca térmica cada um.

Para o cálculo das quantidades de tubos deste evaporador, no primeiro efeito foram usados tubos com 4.000 mm de comprimento total e nos demais efeitos, tubos com 3.000 mm. Foram considerados espelhos com 31,75 mm de espessura e altura de mandrilamento igual a 10 mm. Desta forma, o comprimento útil para troca térmica dos tubos passou a ser 3.916,5 e 2.916,5 mm, respectivamente.

Como vida útil “média” para os tubos fabricados em aço carbono e nos aços inoxidáveis foram adotados os períodos de seis e trinta anos, respectivamente. Estes valores foram obtidos após inúmeras visitas a usinas de açúcar no período de 2004 a 2006, bem como contatos com Professores e Pesquisadores do setor de açúcar. Para os tubos em aço inoxidáveis, predomina a experiência da Usina

Pumaty S.A., em Pernambuco, que utiliza tubos em aço AISI 304 com 1,60 mm de espessura desde 1974, sem evidência significativa de desgaste.

Para os aços inoxidáveis foi considerada a troca de 1% dos tubos a cada seis anos,

devido exclusivamente a falhas no mandrilamento.

A Tabela 1 apresenta dados relativos aos diferentes tipos de tubos em análise, bem como as massas de tubos utilizadas no período de trinta anos (SANTOS, 2007).

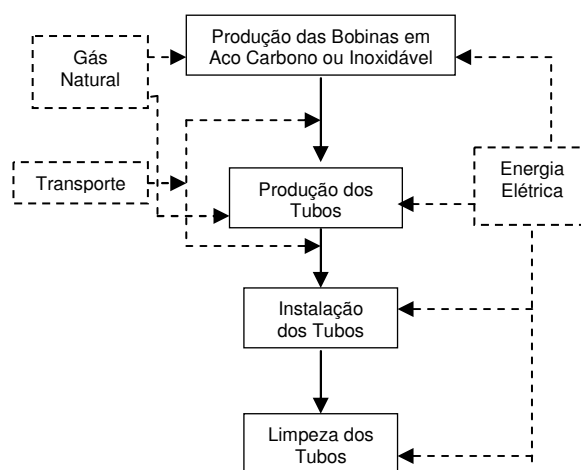
**Tabela 1 – Parâmetros característicos dos diferentes tipos de tubos**

PARÂMETROS		TIPOS DE TUBOS					
		Aço-C	AISI 304		AISI 444		AISI 439
Espessura da Parede (mm)		2,65	1,20	1,50	1,20	1,50	1,50
Superfície Interna para Troca Térmica (m <sup>2</sup> /m)		0,1030	0,1122	0,1103	0,1122	0,1103	0,1103
Massa por Metro Linear (kg/m)		2,32	1,11	1,37	1,09	1,35	1,32
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		7,8	8,1		7,8		7,7
1º Efeito	Nº Tubos	4.958	4.551	4.630	4.551	4.630	4.630
	Massa do 1º Efeito (t)	46,0	20,2	25,4	19,8	24,8	24,5
2º - 5º Efeitos	Nº Tubos	7.989	7.334	7.461	7.334	7.461	7.461
	Massa dos 4 Efeitos (t)	55,6	24,4	30,7	24,0	30,2	29,6
Número total de Tubos		12.947	11.885	12.091	11.885	12.091	12.091
Massa dos Tubos por Vida Útil (t)		101,6	44,6	56,1	43,8	55,0	54,1
Massa dos Tubos em 30 Anos (t)		508,0	46,8	58,9	46,0	57,8	56,8

### 2.1.2 Sistemas de produtos dos tubos em aço

Em um estudo de ACV devem ser considerados todos os aspectos ambientais relacionados ao material de interesse, desde a extração das matérias-primas da natureza, transporte, beneficiamento, produção, uso, reciclagem, desativação, etc.

Neste trabalho foram considerados os seis subsistemas mais significativos relacionados aos tubos usados em evaporadores de usinas de açúcar. A Figura 1 apresenta um fluxograma representativo para estes subsistemas.



**Figura 1 – Fluxograma do sistema de produto dos tubos em aço (Formatação da figura??)**

Nesta figura, os subsistemas informados em caixas assinaladas por linhas cheias referem-se ao fluxo principal do sistema de produto, enquanto que os assinalados em linhas tracejadas representam os subsistemas auxiliares, que podem ser comuns a mais que um subsistema principal.

### 2.1.3 Inventário do ciclo de vida (ICV)

O ICV tem como objetivo quantificar todos os aspectos ambientais representativos relativos às entradas e saídas de um sistema de produto, as categorias de impacto, as fronteiras e relacionando estes dados à unidade funcional.

Como os sistemas de produto apresentam estruturas semelhantes, a coleta dos dados foi feita por subsistemas.

#### 2.1.3.1 Subsistema produção de aço carbono e aços inoxidáveis

Para este subsistema foi utilizado o ICV para lâminas de aço carbono fabricadas via rota de alto forno, por 1000 kg de produto. Estes dados foram extraídos do *Appendix 7A, B: System Expansion vs. No Allocation, BF Route for Hot Rolled Coil and HDG*, que faz parte da publicação “*World Steel Life Cycle Inventory*”, do *International Iron and Steel Institute (IISI)*, *Appendix 5, Application of the IISI LCI data to Recyclings Scenarios*, publicada em 2002. Estes dados tem sido utilizados em todo o mundo como resultados “médios” mundiais (*global average*), em projetos de melhoria de processos e de reciclagem (formatação da referência??? Isso não é referência).

Para o aço inoxidável AISI 304 foi utilizado o ICV apresentado no “*Inventory: Stainless Steel World 304 2B for 1000 kg Product*”, que faz parte do estudo *LCI/LCA of stainless steel: ISSF HLE Project 2003/2004, ISSF*.

Os dados de ICV das bobinas dos aços 444 e 439 foram calculados a partir dos valores apresentados no “*Inventory: Stainless Steel World 430 2B for 1000 kg Product*”, que faz parte do estudo citado anteriormente, com os acertos de composição necessários e correções para alguns aspectos ambientais, tomando como base informações disponíveis na literatura especializada.

OBS a forma de apresentação das referências está incorreta, as referências indicadas no artio não aparecem no texto)

#### 2.1.3.2 Subsistema produção dos tubos

Na fabricação destes tubos foram usados dados representativos de uma indústria localizada na grande São Paulo. Estes dados foram:

- Perda na produção de tubos em aço carbono: 18%;
- Perda na produção de tubos em aço inoxidável: 6%;
- Consumo energia elétrica: 329,0 MJ / 1000 tubos e,
- Consumo gás natural: 24,0 kg / 1000 tubos.

#### 2.1.3.3 Subsistema instalação dos tubos

A fixação dos tubos nos espelhos superior e inferior da calandra é realizada com o auxílio de um mandril movido a energia elétrica. O consumo energético é:

- Para 1000 tubos em aço carbono: 7.950 MJ; e,
- Para 1000 tubos em aço inoxidável: 6.912 MJ.

Esta diferença deve-se a maior resistência mecânica à deformação dos tubos em aço carbono (eles são mais espesso, portanto a resistência é maior, não foram apresentadas as propriedades mecânicas dos materiais estudados, não é possível fazer comparações).

#### 2.1.3.4 Subsistema limpeza dos tubos

Para a limpeza mecânica de um evaporador com 18.480 tubos, são necessários:

- 120.000 l de água tratada;
- 558 MJ de energia elétrica.

Para os tubos em aço carbono e nos aços inoxidáveis foi admitida uma frequência de limpeza de dez e quinze dias, respectivamente. Esta diferença deve-se ao maior polimento interno dos tubos em aço inoxidável.

#### 2.1.3.5 Subsistema gás natural

O gás natural entra como fonte de energia e emissor de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>. Neste trabalho foi considerado um gás natural com 2% V/V de N<sub>2</sub>, 70 mg/m<sup>3</sup> de S e um poder

calorífero igual a 57,6 MJ/kg. Foi admitida a combustão completa do gás natural.

#### 2.1.3.6 Subsistema transporte

Foi considerada a transferência das bobinas de aço das siderúrgicas até a fábrica de tubos localizada na grande São Paulo e o transporte dos tubos até uma usina de açúcar distante 430 km de São Paulo, via transporte rodoviário. Para o transporte das bobinas foram usadas carretas para 24 t que percorrem 2 km/l (Problemas com a representação das unidades no SI, há necessidade de verificação das unidades) de diesel. As bobinas de aço inoxidável são fabricadas a 770 km de São Paulo, enquanto que as de aço carbono a 250 km.

Os tubos são transportados em caminhão tipo “truck” que transporta 12 t e percorrem 3,2 km/l de óleo diesel.

A composição química típica do óleo diesel brasileiro é:

C: 87%      H: 12,6%      O: 0,04%      N: 0,006%  
e      S: 0,22%

Foi considerado que o poder calorífero inferior deste óleo diesel era igual a 12.882 kcal/l e que a sua combustão era completa.

#### 2.1.4 Resultados (Não seria outro tópico ? Essa estrutura é não é a usual, o trabalho apresenta 2 resultados e 2 discussões, sugiro que seja reestruturada esta parte do artigo)

##### 2.1.4.1 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Concluída a fase de ICV, todos os dados referentes aos subsistemas foram agrupados por sistema de produto. Os resultados relativos a cada sistema de produto foram consolidados em uma nova planilha, onde é possível comparar a desempenho ambiental de cada sistema de produto.

Nos estudos desenvolvidos pelo IISI (de um modo geral as siglas não são descritas, sugiro que isso seja feito) e pelo ISSF relativos aos ICV's das lâminas de aço carbono e dos aços inoxidáveis foram computados mais que quarenta aspectos ambientais que atenderam às demandas de matéria-prima, emissões sólidas, líquidas e gasosas e os diferentes tipos de energias utilizadas. Independente deste levantamento tão completo, na avaliação dos impactos ambientais deste estudo, foram considerados apenas nove aspectos ambientais, justamente os mais representativos ambientalmente para o setor siderúrgico e que representam mais que 90% das demandas ambientais dos sistemas de produtos considerados.

A Tabela 2 apresenta estes dados consolidados para todos os sistemas de produto (SANTOS, 2007).

**Tabela 2 – Avaliação ambiental dos sistemas de produto tubos em aço carbono e aços inoxidáveis 304, 444 e 439**

Aspecto Ambiental	Unidade	Tipos de Tubos					
		Aço-C	304		444		439
		2,65	1,20	1,50	1,20	1,50	1,50
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	t	1.370	311	390	265	337	338
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	t	2,38	0,78	0,98	0,71	0,89	0,87
Materiais Particulados	t	1,07	0,35	0,44	0,28	0,35	0,35
Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> )	t	1,45	2,31	2,93	1,11	1,40	1,40
Materiais Suspensos	kg	108,0	2,0	2,5	6,6	8,3	8,2
Resíduos Totais	t	956	167	210	68	86	84
Energia Total	10 <sup>6</sup> MJ	16,1	2,9	3,7	2,5	3,0	3,2
Recursos Naturais não Renováveis Consumidos	t	1.550	124	157	117	140	142
Água Usada Total	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	85,6	51,3	51,5	51,4	51,6	51,6

Como “recursos naturais não renováveis consumidos” foi considerado o somatório das quantidades de carvão metalúrgico, lignita, óleo, gás natural, calcita, dolomita e os minérios de ferro, cromo, manganês e molibdênio. “Energia Total” corresponde ao somatório das energias “renováveis” e “não renováveis”.

### 2.1.5 Discussão

A Tabela 2 permite formular uma avaliação ambiental objetiva e de fácil execução. Os dados desta tabela mostram que o sistema de produto tubos em aço carbono com 2,65 mm de espessura, quando comparado com os valores “médios” (médios qualitativos ???) ??? (sugiro que seja tomado mais cuidado com a precisão do vocabulário) relativos aos sistemas de produto tubos em aços inoxidáveis emite mais que aproximadamente:

- 4,2 vezes a quantidade de CO<sub>2</sub>;
- 2,8 vezes a quantidade de NO<sub>x</sub>;
- 3,1 vezes a quantidade de materiais particulados;
- 13 vezes a quantidade de materiais suspensos;
- 4,5 vezes a quantidade de resíduos totais.

De forma semelhante, o sistema de produto tubos em aço carbono consome mais que:

- 11,4 vezes a quantidade de recursos naturais não renováveis;
- 1,7 vezes a quantidade total de água utilizada;
- e,
- 5,3 vezes a quantidade total de energia.

O sistema de produto tubos em aço carbono revelou-se menos impactante ao meio ambiente quando comparado com os sistemas de produto tubos em aço inoxidáveis AISI 304 ao emitir a metade das quantidades de óxidos de enxofre.

É importante salientar que as emissões de óxidos de enxofre dos sistemas de produtos relativos aos tubos em aços inoxidáveis informadas neste estudo estão superestimadas, já que os aços inoxidáveis consomem mais energia elétrica que o aço carbono e a matriz energética dos países em desenvolvimento que estes dados foram coletados têm uma predominância da termoeletricidade, gerada a partir de carvão mineral que contém teor mais elevado de enxofre.

## 2.2 CUSTEIO DO CICLO DE VIDA (CCV)

O objetivo do CCV é oferecer ao engenheiro, ao empresário e ao homem público uma ferramenta gerencial para a seleção de materiais ou produtos, que contabiliza os custos totais do sistema em análise, desde a sua concepção até o fim de sua vida útil, ou seja, *ao longo do seu ciclo de vida* (MATERN, S. ???). Nesta abordagem são considerados os custos relativos ao projeto, aquisição, produção, transporte, instalação, operação, manutenções, desativação, reposição, reuso ou reciclagem dos materiais residuais, valores obtidos pela venda destes materiais, bem como o que se deixou de ganhar em termos financeiros ou dano ao público usuário pelas horas não trabalhadas. O somatório de todos estes custos permitirá selecionar a alternativa mais adequada econômica e financeiramente. Como o ciclo de vida de um sistema pode durar décadas, todos os custos incorridos neste período precisam ser tratados dentro do conceito do custo do dinheiro no tempo<sup>3</sup>.

### 2.2.1 Elaboração do inventário

De forma semelhante à ACV, foi montado um inventário que considerou os principais componentes de custo incorridos ao longo do período de tempo adotado para este estudo, que foram trinta anos.

Os componentes de custo considerados foram:

- a) preço dos tubos;
- b) transporte dos tubos;
- c) instalação e substituição dos tubos nos evaporadores;
- d) limpeza dos tubos; e,
- e) venda da sucata.

Para todos estes componentes de custo foram considerados valores levantados em março de 2007.

Os valores relativos aos itens a, b e e foram fornecidos por uma usina de açúcar de grande porte localizada no Estado de São Paulo.

Como os diferentes componentes de custo acontecem ao longo de trinta anos, eles foram corrigidos no tempo pela inflação. Estas análises financeiras precisam comparar cenários homogêneos e, assim sendo, todos os gastos e receitas foram trazidos ao valor presente (VP) (NÚCLEO INOX,1999). Para isto foi utilizada a taxa nominal de juros, já que um montante não gasto num determinado momento poderia ter sido aplicado no mercado financeiro. Em março de 2007 a previsão de inflação medida pelo Índice de

Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) era de 3,8% e a taxa nominal de juros medida pela Selic era de 11,5%.

## 2.2.2 Resultados

A Tabela 3 apresenta os valores presentes para os diferentes componentes de custos relativos aos diferentes sistemas de produto, também chamados nos meios financeiros de unidades (SANTOS, 2007). Como na elaboração desta Tabela foi utilizado o conceito de fluxo de caixa, os desembolsos são apresentados entre parênteses (valor negativo), enquanto que as receitas correspondem a crédito (valor positivo).

**Tabela 3 – Valores presentes relativos às unidades e componentes de custo em estudo**

UNIDADES	VALOR PRESENTE (R\$)					
	Compra dos Tubos	Transporte dos Tubos	Instalação / Substituição dos Tubos	Limpeza dos Tubos	Venda Sucata	Valor Presente Líquido (VPL)
Tubos Aço Carbono, 2,65 mm	(801.761,00)	(22.703,00)	(323.628,00)	(453.242,00)	58.518,00	(1.542.816,00)
Tubos Inox 439, 1,50 mm	(800.841,00)	(8.000,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	5.696,00	(1.168.241,00)
Tubos Inox 444, 1,20 mm	(861.827,00)	(7.540,00)	(81.613,00)	(276.361,00)	4.613,00	(1.222.728,00)
Tubos Inox 444, 1,50 mm	(1.069.915,00)	(9.412,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	5.791,00	(1.438.783,00)
Tubos Inox 304, 1,20 mm	(1.209.032,00)	(9.339,00)	(81.613,00)	(276.361,00)	41.676,00	(1.534.669,00)
Tubos Inox 304, 1,50 mm	(1.517.359,00)	(11.731,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	52.422,00	(1.841.764,00)

Foi utilizado nesta Tabela o conceito de fluxo de caixa. Os desembolsos são apresentados entre parênteses (valor negativo). As receitas correspondem a crédito (valor positivo).

### 2.2.3 Discussão (outra discussão ?)

A Tabela 3 relaciona os valores presentes para as unidades que compõe este estudo, discriminadas pelos componentes de custo utilizados. A última coluna à direita VPL, apresenta o somatório destas atualizações financeiras ao tempo zero do estudo, para cada unidade. Estes valores representam a oportunidade relativa para cada

tipo de tubo, ou seja, a unidade que apresenta o maior VPL é a melhor opção de escolha para investimento.

## 3 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivos as comparações dos desempenhos ambiental e

financeiro de um sistema de evaporação para usinas de açúcar, cujos tubos de troca térmica foram construídos em aço carbono com 2,65 mm de espessura e, comparativamente, com os aços inoxidáveis AISI 304, 444 e 439. Para os dois primeiros aços inoxidáveis foram usados tubos com 1,20 mm e 1,50 mm de espessura, respectivamente. Para o aço AISI 439 foram usados tubos com 1,50 mm. O período de tempo desta análise foi de trinta anos.

Concluiu-se que:

1) O sistema de produto tubos em aço carbono com 2,65 mm de espessura apresentou um desempenho ambiental inferior aos sistemas de produto tubos em aços inoxidáveis AISI 304, 444 e 439, nas espessuras de 1,20 e 1,50 mm, pois emitiu mais que:

- 4,2 vezes a quantidade de dióxido de carbono;
- 2,8 vezes a quantidade de óxidos de nitrogênio;
- 3,1 vezes a quantidade de materiais particulados;
- 13 vezes a quantidade de materiais suspensos;
- 4,5 vezes a quantidade de resíduos totais.

2) O sistema de produtos tubos em aço carbono consumiu mais que:

- 11 vezes o total de recursos naturais não renováveis;
- 1,8 vezes a quantidade de água utilizada;
- 5 vezes a quantidade de energia primária total.

3) Os tubos fabricados em aço carbono e em aços inoxidáveis AISI 444 e 439 emitiram quantidades semelhantes de óxidos de enxofre.

4) Os tubos fabricados em aço carbono são menos impactantes ao meio ambiente quando comparados com os tubos fabricados em aço inoxidável AISI 304 quanto à emissão de óxidos de enxofre, já que emitiram a metade deste poluente, aproximadamente.

5) Os tubos fabricados com os aços inoxidáveis 439 e 444 apresentaram-se como

opções de investimento mais interessantes que os tubos fabricados em aço carbono, já que apresentaram custos trazidos ao valor presente ( $VP_L$ ) menores, nas seguintes proporções:

- Tubos em aço AISI 439 com 1,50 mm igual a 0,76;
- Tubos em aço AISI 444 com 1,20 mm igual a 0,79; e,
- Tubos em aço AISI 444 com 1,50 mm igual a 0,93.

5) Os tubos fabricados com aço carbono e tubos fabricados com aço inoxidável AISI 304 com 1,20 mm de espessura mostraram que ambos são opções de investimento semelhantes.

6) Os tubos fabricados com aço inoxidável 304 com 1,50 mm de espessura são opções de investimento menos atraentes que os tubos em aço carbono com 2,65 mm de espessura, já que apresentaram custos trazidos ao valor presente ( $VP_L$ ) 1,19 vezes maior.

7) As metodologias de ACV e CCV devem ser usadas em conjunto, pois mostram que produtos mais seguros ambientalmente podem vir a ser opções de investimento também mais interessantes, quando avaliadas ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço em avaliação.

## 4 AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado com a colaboração do Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável – NÚCLEO INOX.

## 5 REFERÊNCIAS:

- 1) CHEHEBE, J. R. B. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14.000. Rio de Janeiro: qualitymark, 1998.
- 2) HUGOT, E. **Manual da engenharia açucareira**. São Paulo: Mestre Jou, 1977.
- 3) INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. **Application of the IISI data to recycling scenarios**: appendix 5. Brussels: IISI. 2002. (Life cycle inventory methodology report).

4) INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM. Brussels. 2005. **LCI and LCA data to stainless steel production**. Disponível em: <[www.extranet.worldstainless.org/worldstainless/portal/categories/lci\\_lca/](http://www.extranet.worldstainless.org/worldstainless/portal/categories/lci_lca/)>. Acesso em: 11.06.2006.

5) MATERN, S. **Life cycle cost LCC: a new approach to materials selection: engineering and economy**. Avesta Sheffield, Information 9763. Disponível em: <[www.avestashffield.com](http://www.avestashffield.com)>. Acesso em: 13.05.2002

6) GITMAN, L.J. **Princípios de administração financeira**. 7. ed. São Paulo: Harbra, 1997. 841 p.

7) SANTOS, L. J. C. S. **Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar**. 2007. Tese (Doutorado). Disponível na internet: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-08012008-151424/>

8) SUGAR ENGINEERS' LIBRARY. **Sugar factory tubes for heating, evaporating and crystallising**. Disponível em: <[www.sugartech.co.za](http://www.sugartech.co.za)>. Acesso em: 20.05. 2006.

**Os interessados neste trabalho poderão acessar o documento completo em:** <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-08012008-151424/>

Jorge Alberto S. Tenório: [jtenorio@usp.br](mailto:jtenorio@usp.br)  
Lino José C. Santos: [crescimentosustentavel@gmail.com](mailto:crescimentosustentavel@gmail.com)