

Estrutura da apresentação



- Geração de energia elétrica no Brasil e emissões de CO₂
- Como estimar as emissões de CO₂ dos materiais de construção
- Aplicação de ACV: O caso do aquecedor solar



Geração de energia elétrica no Brasil e CO₂

Vanessa M. Taborianski Bessa

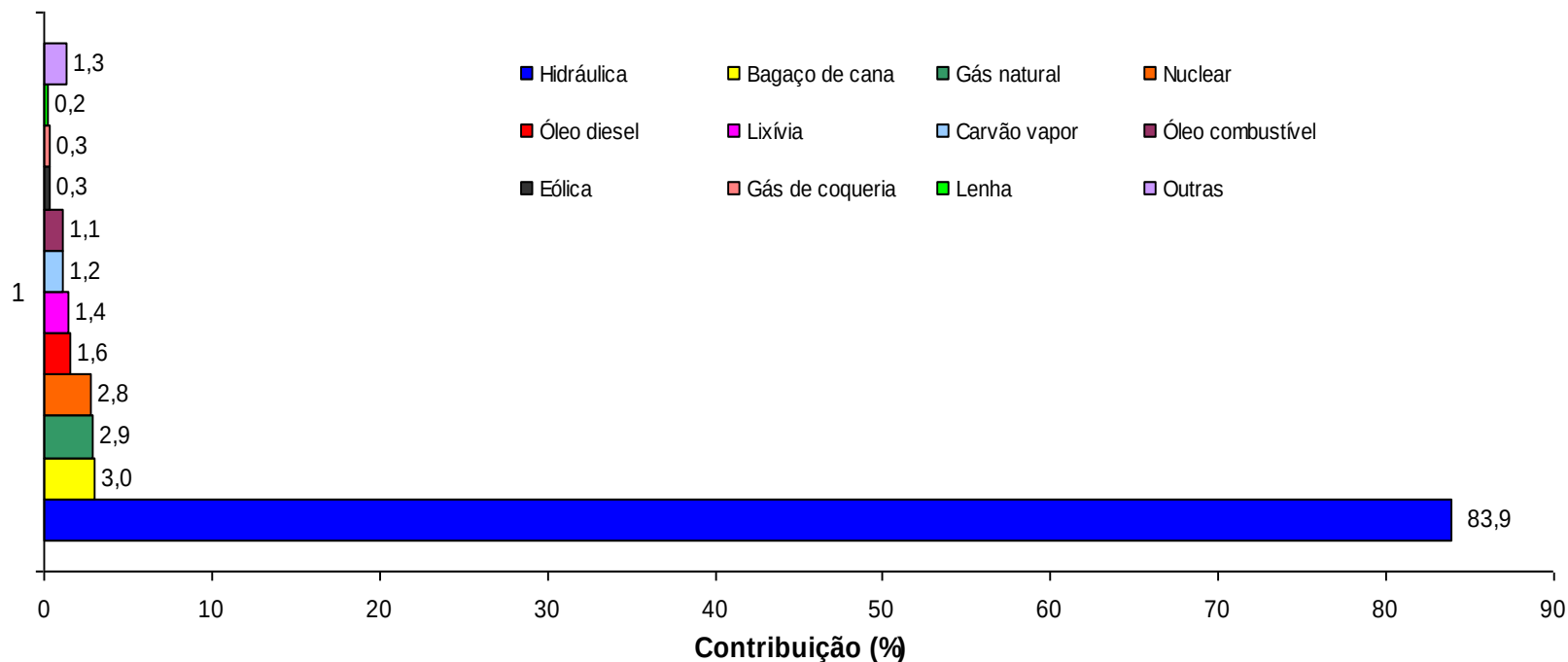


SBBCS10 | SB10 Brazil

3º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável

Sustentabilidade nos Negócios e Instrumentos de Mudança

Geração de energia elétrica no Brasil



Fonte: MME, 2010

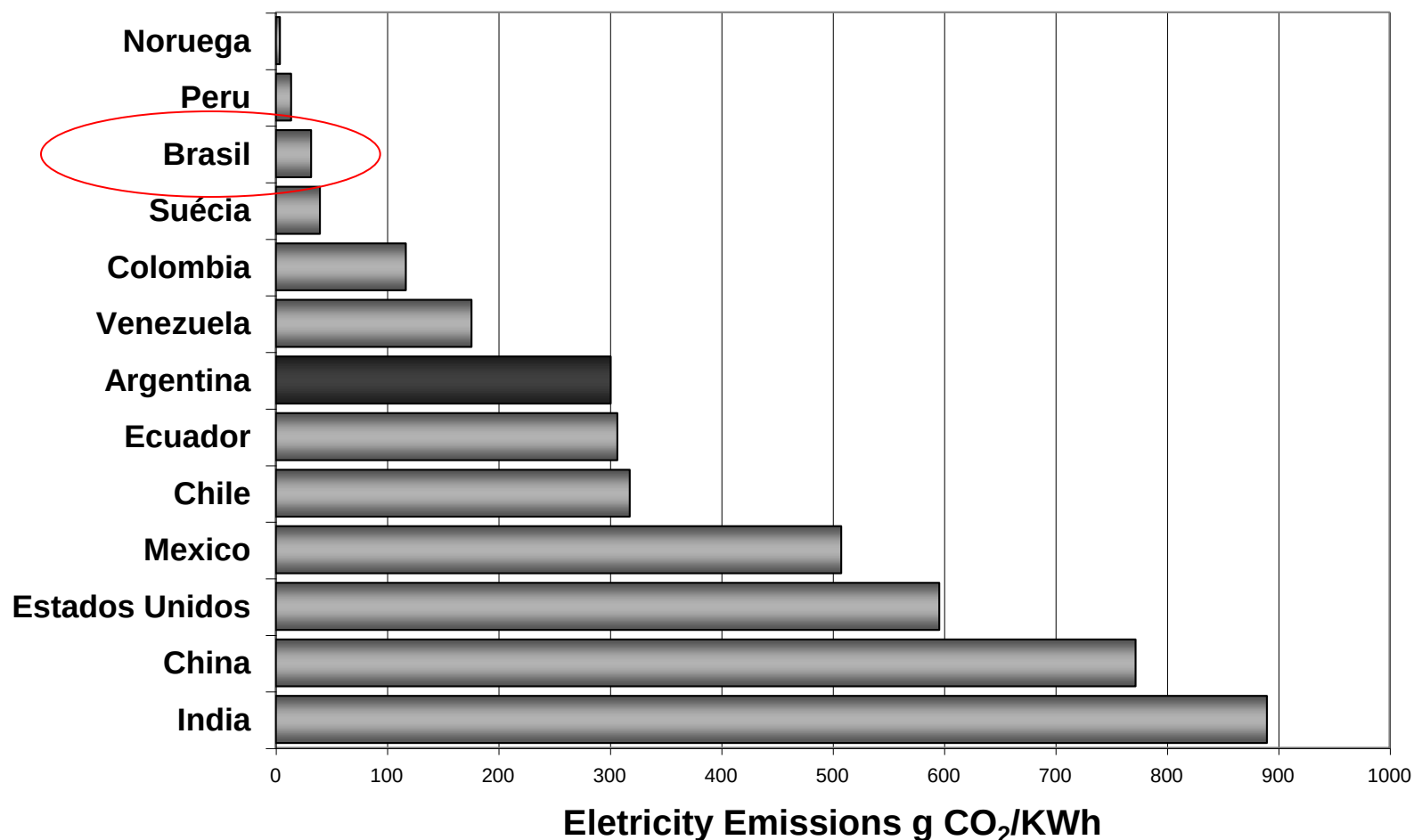
Geração de energia elétrica
Dividida em 3 sistemas

- Sistema isolado
- Sistema interligado sul/sudeste/centro-oeste
- Sistema interligado norte/nordeste

Geração de energia elétrica no Brasil



Emissão de CO₂ e energia elétrica no contexto mundial



Geração de energia elétrica no Brasil



Emissão de CO₂ por termelétricas

Emissão de CO₂ por tipo de termelétrica (Adaptado de MCT, 2006)

Combustível	Tecnologia	Eficiência (%)	Emissão (gCO ₂ /kWh)
Carvão mineral	Ciclo simples	37	340
Óleo combustível	Ciclo simples	30	280
Óleo diesel	Ciclo simples	30	270
Gás natural (1)	Ciclo combinado	50	200 x 1,27

(1) Incluem o fator 1,27 devido a 4,7% de perdas fugitivas.

Emissão de CO₂ por hidrelétricas

Emissões médias de CO₂ para hidrelétricas brasileiras (Rosa, 2000)

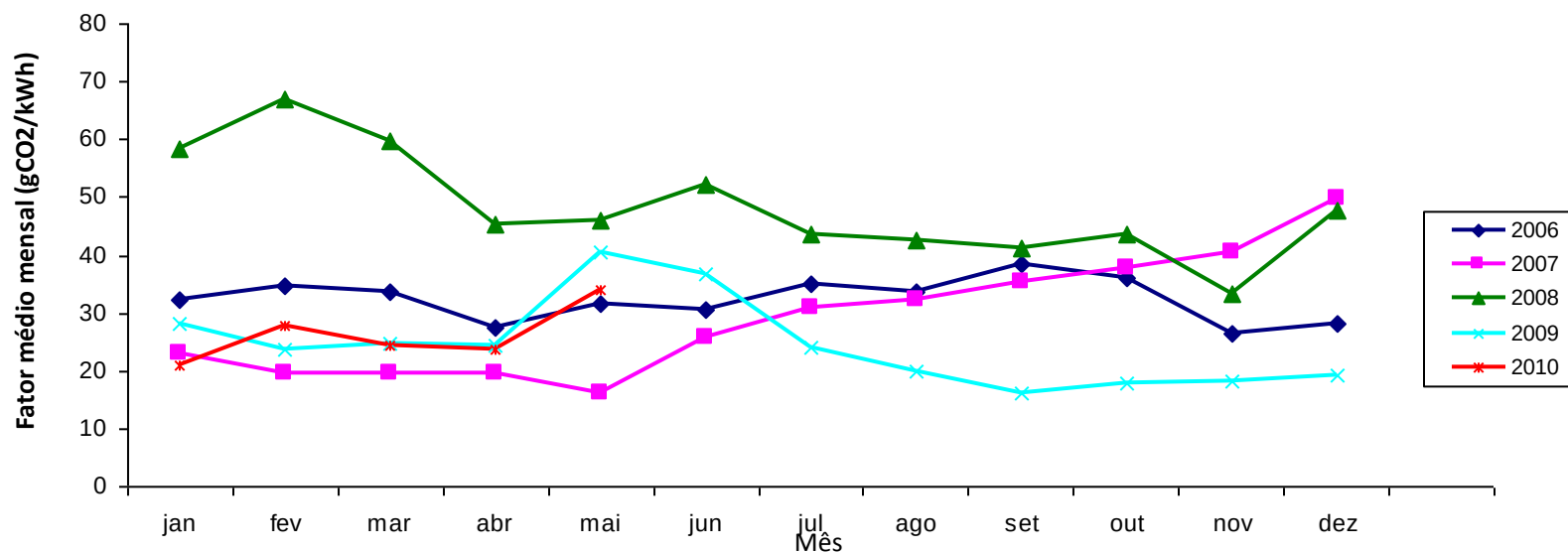
Gás	Emissão (mg/m ² *dia)
Dióxido de carbono (CO ₂)	356,88

Geração de energia elétrica no Brasil



Emissão de CO₂ na geração de energia elétrica no Brasil

Emissão de CO₂ para a geração de 1 kWh de energia elétrica pelo sistema interligado nacional (MCT, 2010).



OBS: para o ano de 2010 consideraram-se apenas as médias mensais dos meses divulgados, ou seja, janeiro, fevereiro, março, abril e maio.

Fator médio para os anos de 2006 a 2010 = **32,2 gCO₂/kWh**

Fonte de dados de energia elétrica



- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional (BEN) 2010**: banco de dados. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>>. Acesso em 5 nov. 2010.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros**. Brasília. 2006 (Relatório técnico). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2007.
- _____. **Site institucional**. 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74689.html>>. Acesso em 5 nov. 2010.
- ROSA, L.P. (Coord.) **Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros** (relatório final). Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2000. 176 p.



Como estimar as emissões de CO₂ dos materiais de construção

Vanessa M. Taborianski Bessa

Vanderley M. John

Érica Ferraz



SBCS10 | SB10 Brazil

3º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável

Sustentabilidade nos Negócios e Instrumentos de Mudança

Literatura



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (www.mme.gov.br)

- Anuário Estatístico: Setor de transformação de não-metálicos.
 - Informações sobre: cimento, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, vidro, cal e gesso.
- Anuário Estatístico: Setor metalúrgico.
 - Informações sobre: siderurgia, ferro-gusa, ferroligas, metais não-ferrosos e fundição.

GHG PROTOCOL (<http://www.ghgprotocol.org>)

- Setores relacionados à construção civil que têm manuais:
 - Alumínio
 - Ferro e aço
 - Químicos (ácido nítrico, amônia, ácido adípico, uréia e petroquímicos)
 - Cimento e argamassa
 - Papel

Como estimar



Uso de recursos energéticos

Energia elétrica: Fator médio fornecido pelo MCT.

Para os anos de 2006 a 2010 = **32,2 gCO₂/kWh**

Combustível: Fator de emissão de CO₂

Combustível	Fator de emissão de CO2 (kgCO2/kcal)	Fração de carbono oxidada
Óleo combustível	0,00032	0,99
Gás natural	0,00024	0,995
Óleo diesel	0,00031	0,99
GLP	0,00026	0,99
Carvão vegetal	0,00046	0,88
Carvão mineral	0,00040	0,98
Coque de carvão	0,00045	0,98
Coque de petróleo	0,00042	0,99
Lenha	0,00046	0,87
Petróleo	0,00031	0,99
Gás de refinaria	0,00031	0,99

Fonte: Adaptado de MCT (2006)

Como estimar



Uso de recursos energéticos

Ciclo do carbono nos combustíveis:

Não-renováveis: Oxidação de carbono



$$12 + 2 \cdot 16 \rightarrow 44 \Rightarrow \text{C} \cdot 44/12$$

1 kg de C gera 3,67 kg de CO_2

Renováveis: Fotossíntese (lenha, álcool, etc)



Como estimar



Decomposição de carbonatos



Outros processos industriais

Exemplo: Eletrólise da alumina

Fonte: MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes**. Brasília. 2006 (Relatório técnico). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 12 nov. 2007.

Materiais de construção



- Importante para a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV): CBCS está investindo na metodologia através da agenda tecnológica.
- Materiais levantados (estudos preliminares)

{	Gesso	Vidro
	Alumínio	Cimento Portland
	Aço	

Considerações realizadas:

- Perdas na geração e transmissão de energia elétrica = 8% (Reis, 2002 apud Taborianski, 2002)
- Emissões de CO₂ no processo industrial de produção dos materiais (MCT, 2006)
- Não foram adicionadas as emissões relacionadas ao transporte dos materiais.

Gesso de construção



Processo produtivo:

Calcinação da gipsita à temperatura da ordem de 160 °C.



Insumos energéticos utilizados:

Dependem do tipo de forno utilizado na planta: panela, marmita e tubulares.

Exemplo: comparação entre marmita rotativo e panela com uso de lenha extraída.

Marmita rotativo

Características	Combustível	
	Lenha	Coque
Consumo de combustível (kg/t)	350	35
Eficiência térmica (%)	14	35

Panela

Características	Lenha
Consumo de combustível (kg/t)	525
Eficiência térmica (%)	9,4

Fonte: Peres et al. (2008)

Gesso de construção



Emissões de CO₂:

Considerações:

- PCI da lenha = 3100 kcal/kg (MME, 2008)
- Energia produzida:
 - Marmita rotativo = 3100 kcal/kg * 350 kg = 1.085.000 kcal
 - Panela = 3100 kcal/kg * 525 kg = 1.627.500 kcal
- Emissões de CO₂:
 - Marmita rotativo = 1.085.000 kcal * 0,00046kg CO₂ /kcal * 0,87 (fração de carbono oxidada)= **434 kg CO₂**
 - Panela = 1.627.500 kcal * 0,00046kg CO₂ /kcal * 0,87 = **651 kg CO₂**

Combustível	Fator de emissão de CO2 (kgCO2/kcal)	Fração de carbono oxidada
Lenha	0,00046	0,87

Vidro



Processo produtivo:

Fusão, pelo calor, de óxidos ou de seus derivados e misturas, tendo como constituinte principal a areia.

Matérias-primas utilizadas:

Matérias-primas típicas para a produção de vidro (MME, 2008 apud Taborianski B, 2010)

Matéria-Prima	Símbolo	Quantidade (%)
Areia Quartzosa	SiO ₂	70
Carbonato de Sódio (Barrilha)	Na ₂ O	15
Calcário	CaO	10
Dolomita	MgO	2
Feldspato	AlO ₂ O ₃	2
Outros (sulfato de sódio, hematita, grafite, etc)	---	1

Vidro



Insumos energéticos:

Insumos básicos para a produção de 1 t de vidro float (MME, 2008):
valores médios

Insumo	Unidade	Quantidade
Energia elétrica	kWh	555
Gás natural	m3	218

Emissões de CO₂:

- Por uso de recursos energéticos =
 - $EE = 555 \text{ kWh} * 32,2 \text{ gCO}_2/\text{kWh} * 1,08 = 19 \text{ kg CO}_2/\text{t}$
 - $\text{Gás natural} = 218 \text{ m}^3 * 8.800 \text{ kcal/m}^3 * 0,00024 \text{ kCO}_2/\text{kcal} = \underline{460 \text{ kg CO}_2/\text{t}}$

TOTAL = 479 kg CO₂/t
- Por decomposição de rochas carbonáticas (uso de barrilha) = $\underline{62 \text{ kg CO}_2/\text{t}}$

TOTAL = 541 kg CO₂/t

Cimento Portland



Processo produtivo:

Mistura de clínquer com gesso, sendo o gesso obtido a partir da calcinação do calcário.

Tipos de CP's:

Sigla	Composição (% em massa)			
	Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)
CP I	100			
CP I-S	99-95		1 a 5	
CP II-E	94-56	6 a 34		0-10
CP II-Z	94-78		6 a 14	0-10
CP II-F	94-90			6 a 10
CP III	65-25	35-70		0-5
CP IV	85-45		15-50	0-5
CP V-ARI	100-95			0-5

Fonte: ABCP (2002)

Composição básica do clínquer {
92% de calcário
7,2% de argila
0,8% de corretivo ferroso

Cimento Portland



Insumos energéticos utilizados:

Produção de 1 t de cimento Portland (todos os tipos) (MME, 2008)

Insumo	Unidade	Quantidade
Energia elétrica	kWh	93
Coque de petróleo	kg	59,1
Carvão vegetal	kg	7,4
Carvão mineral	kg	2
Óleo diesel	kg	0,9
Óleo combustível	kg	0,6
Gás natural	kg	0,6

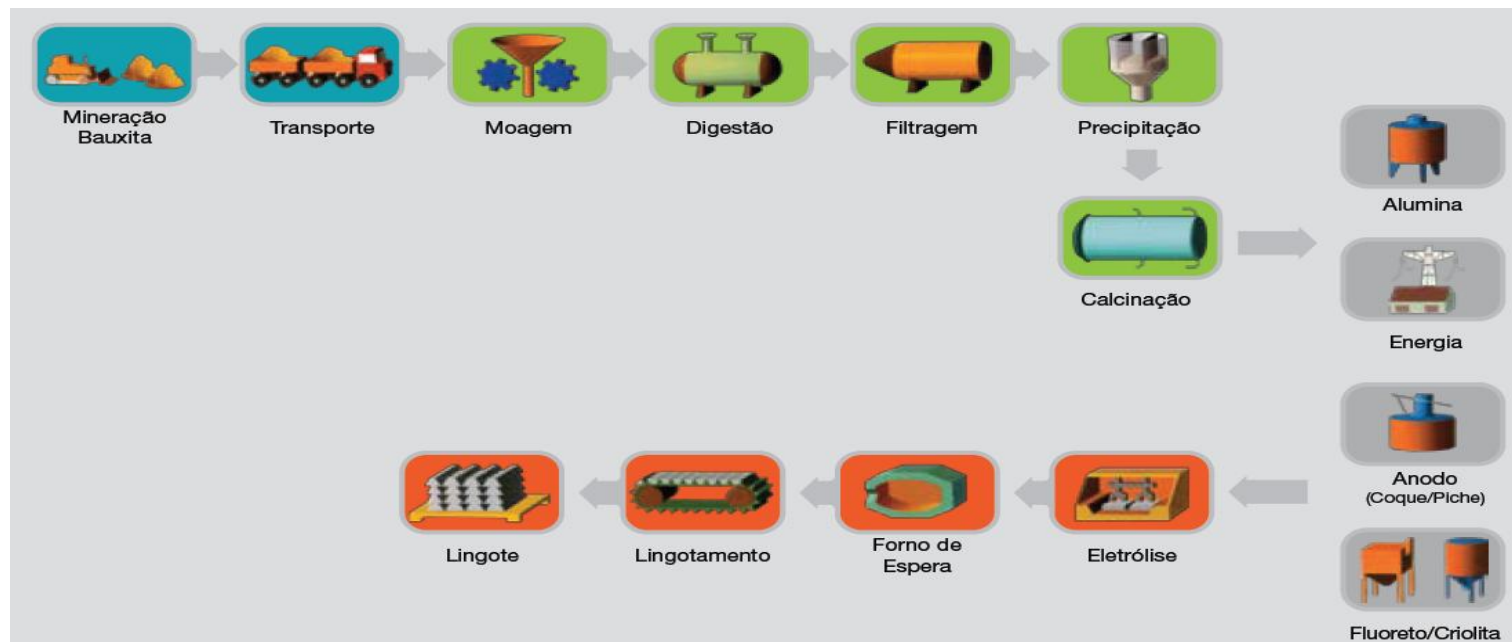
Emissões de CO₂ (Carvalho, 2002):

Tipo de CP	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t de material)
34% de escória de alto forno	594
70% de escória de alto forno	270
50% de cinza volante	450
Sem adição	855

Alumínio Primário



Processo produtivo: Eletrólise da alumina (Al_2O_3), produto derivado da bauxita, por meio da tecnologia Soderberg ou Prebaked.



Fluxo da cadeia de produção do alumínio primário (ABAL, 2007)

Alumínio Primário



Insumos materiais e energéticos utilizados:

Insumos para produção
de alumina e alumínio
(ABAL, 2007)

Insumo	Unidade	Quantidade
Bauxita	t	2,3
Cal	kg	19,4
Soda cáustica	kg	104,6
Energia elétrica	kWh	259,2
Óleo combustível	kg	134,8
Produção de 1 t de alumínio primário		
Alumina	t	1,9
Criolita sintética	kg	5,7
Fluoreto de alumínio	kg	19,9
Coque de petróleo	kg	364,5
Piche	kg	114,8
Óleo combustível	kg	31,7
Energia elétrica	kWh	15.184,40

Emissões de CO₂ (Taborianski B, 2010 e MME, 2006):

- Por uso de recursos energéticos = 2.352 kg CO₂/t
- Por eletrólise da alumina = 1.800 kg CO₂/t

TOTAL = 3.162 kg CO₂/t

Aluminio Reciclado?



Redução nas Emissões de CO₂:

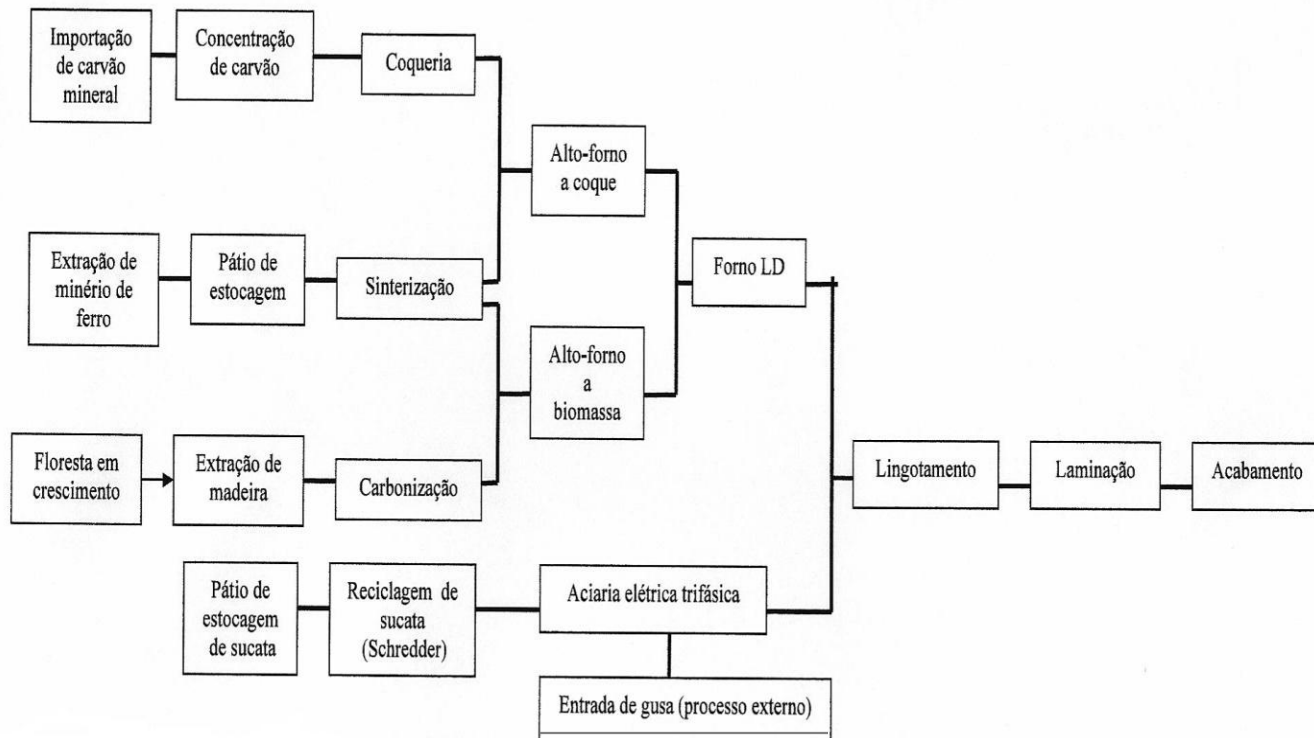
- Por oxidação do carbono e uso da energia elétrica
- Por eletrólise da alumina

Gasto energético para transformação do alumínio

Aço



Processo produtivo: Preparação das matérias-primas, produção do ferro-gusa, produção do aço e conformação mecânica.



Ciclo produtivo do aço em usinas integradas a carvão mineral e vegetal e em usinas semi-integradas (Bonezzi, 2007)

Aço



Insumos materiais e energéticos utilizados (IISI, 2006):

USINAS INTEGRADAS

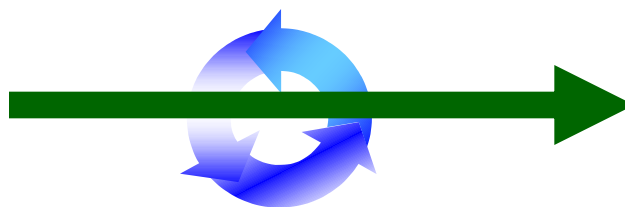
1500 kg minério de ferro

610 kg coque

200 kg fundente

175 kg sucata

20-24 GJ energia



100-200 m³ água

1 t de aço bruto



USINAS COM ACIARIAS ELÉTRICAS

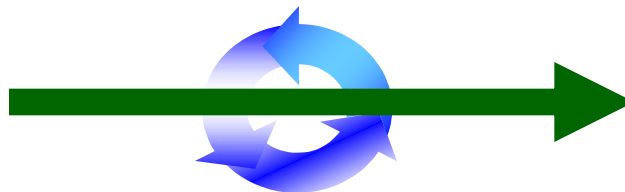
1130 kg sucata

10 kg elementos de liga

40 kg fundente

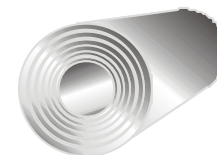
6 GJ energia elétrica

1,3-1,8 GJ gás natural



50-100 m³ água

1 t de aço bruto



Emissões de CO₂ (IISI, 2006):

- Por processo de produção por alto forno = 2.450 kg CO₂/t
- Por processo de produção por forno de arco elétrico = 440 kg CO₂/t



Aplicação de ACV

O caso do aquecedor solar

Vanessa M. Taborianski Bessa

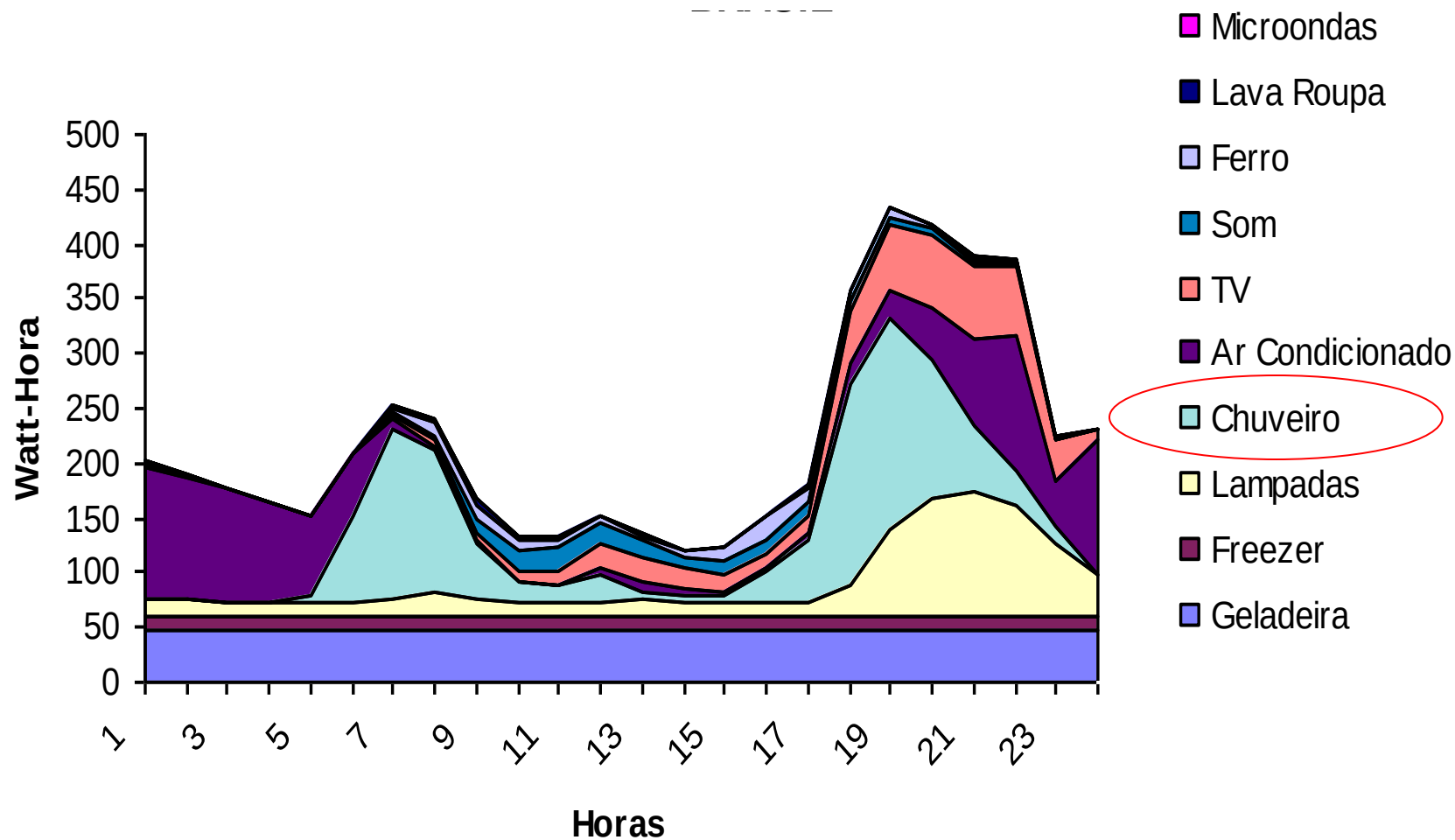


SBCS10 | SB10 Brazil

3º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável

Sustentabilidade nos Negócios e Instrumentos de Mudança

Peso do chuveiro elétrico na demanda residencial

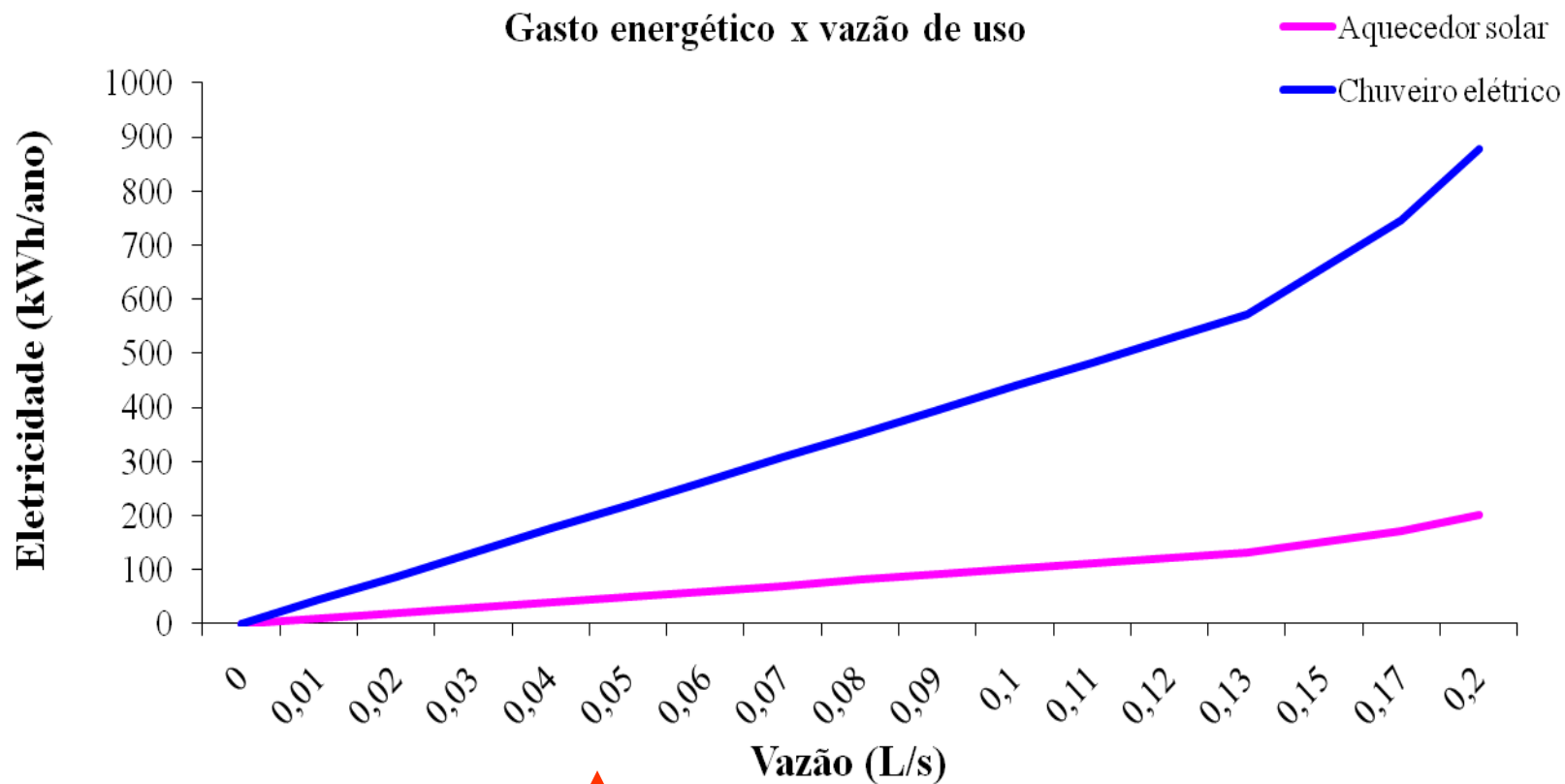


Hipóteses



- Tempo de banho= 7 minutos;
- Temperatura inicial da água= 18 °C;
- Temperatura final da água= 38 °C;
- Potência da resistência elétrica do reservatório de água quente= 2000 W;
- Coeficiente de perda de calor no reservatório de água quente= 3,26 W/°C;
- Período de tempo analisado= 20 anos;
- Eficiência do chuveiro elétrico = 80%;
- Uso da resistência elétrica em 23% dos casos.
- Verificado para diversas vazões, porém:
 - Vazões médias de aquecedores solares = 0,20 L/s
 - Vazões encontradas em HIS = até 0,05 L/s (Prado; Gonçalves, 1998)

Comparação do chuveiro elétrico com o aquecedor solar na etapa de uso



↑
Chuveiro
elétrico
em HIS

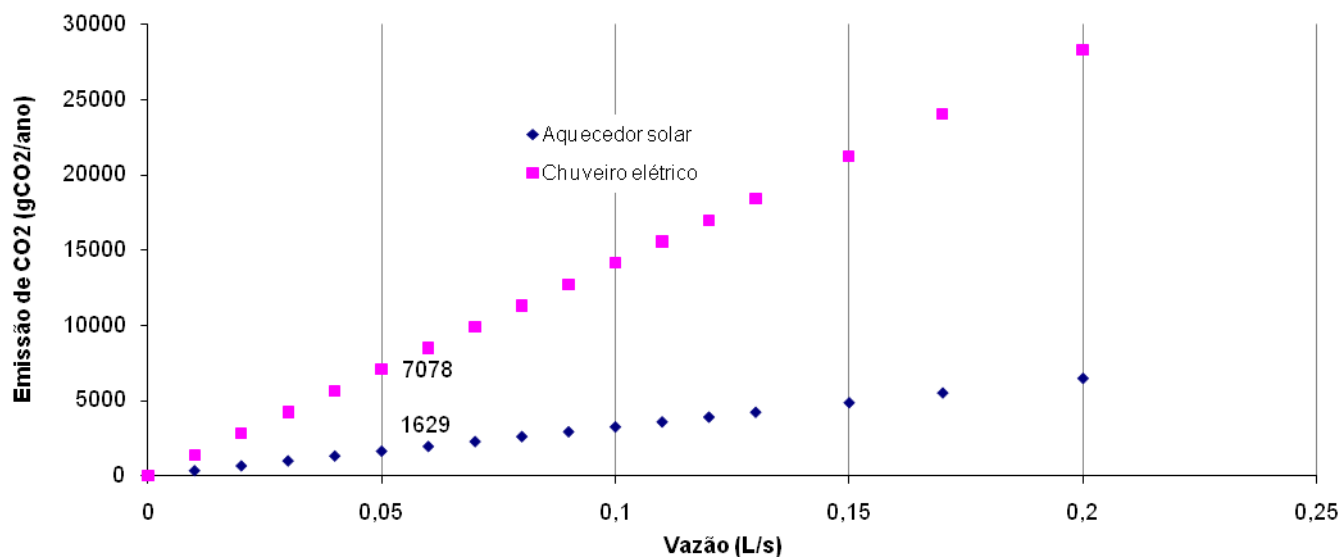
Fonte: Taborianski (2002)

Comparação do chuveiro elétrico com o aquecedor solar na etapa de uso



Emissão de CO₂ para várias vazões do chuveiro elétrico e do aquecedor solar (g CO₂/ano)

Considerando o fator médio para os anos de 2006 a 2010 = **32,2 gCO₂/kWh**



~ 435 % a mais de emissão de CO₂ para as mesmas vazões

vazão de 0,05 L/s = 7078 gCO₂/ano

vazão de 0,05 L/s = 1629 gCO₂/ano

Vazão de 0,20 L/s = 28311 gCO₂/ano

Vazão de 0,20 L/s = 6514 gCO₂/ano

Simplificações



- Não foram consideradas as emissões de CO₂ para tratamento de água pelas concessionárias ➡ Uso de energia elétrica
- Aquecimento solar reduz emissões de CO₂ devido ao menor uso de energia elétrica, porém aumenta o consumo de água, podendo impactar outras áreas como redução de recursos hídricos.

Redução de emissões



Considerando a vazão do chuveiro elétrico igual à do aquecedor solar (0,20 L/s):

- Chuveiro elétrico = 28,3 kg CO₂ /ano
- Aquecedor solar = 6,5 kg CO₂ /ano
Mitigação = 21,8 kg CO₂ /ano

Considerando 1 L de gasolina brasileira = 2,1 kg CO₂/L

Mitigamos o equivalente a 10 L de gasolina / ano

MAS...

Redução de emissões



Para ACV devem ser consideradas ainda as emissões das outras etapas do ciclo de vida dos aquecedores solares e chuveiros elétricos. Se forem consideradas as etapas de extração e transformação das matérias-primas, uso e transporte e mesma vazão de funcionamento nos dois sistemas ($0,20 \text{ L/s} = 12 \text{ L/min}$) tem-se os seguintes resultados (Taborianski, 2002):

Tipo de sistema de aquecimento	Emissão (kg de CO ₂ /uf)
Chuveiro elétrico	17.909
Aquecedor solar	8.338

Referências bibliográficas



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Anuário estatístico 2007**. São Paulo: ABAL, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, ABCP, 2002. (Boletim Técnico, BT 106).
- CARVALHO, J., **Análise de ciclo de vida ambiental aplicada à construção civil - Estudo de caso: Comparação ente cimento Portland com adição de resíduos**. 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE (IISI). Sustainability Report 2006.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down**. Brasília. 2006 (Relatório técnico). Disponível em: <http://www.mct.gov.br>. Acesso em: 12 nov. 2007.
- PRADO, R.T.A.; GONÇALVES, O.M. Water heating through electric shower and energy demand. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.29, n. 1, p. 77-82, 1998
- TABORIANSKI, V.M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera**. 2002. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- TABORIANSKI B, V.M. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios**. 2010. 263 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.