



5th International Workshop - Advances in Cleaner Production
São Paulo - Brazil - 20th to 22nd, May - 2015

Avaliação das eficiências energética, global, e emissões de CO₂ da produção de areia a partir de resíduos da construção civil

Rogério F.M. Borges

Universidade Paulista (UNIP), Graduação em Engenharia Civil

Prof. Dr. Feni Agostinho

*Universidade Paulista (UNIP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,
Laboratório de Produção e Meio Ambiente; feniagostinho@gmail.com*

Academic Work

Justificativa

- ✓ Ao mesmo tempo em que gera PIB, a construção civil também gera impactos ambientais.
- ✓ Os Resíduos da Construção Civil (RCC) merecem atenção porque correspondem a cerca de 50% do total de resíduos sólidos gerados no planeta.
- ✓ Em São Paulo, os RCCs correspondem a 66% em massa do total de resíduos sólidos urbanos.
- ✓ Uma alternativa é o uso dos RCCs para a produção de areia, pois corresponde em até 50% em massa do RCC reciclado.
- ✓ Por outro lado, reciclar a areia demanda recursos materiais, energéticos e mão de obra no transporte e conversão.





Será que a obtenção de areia a partir de RCC possui melhor desempenho energético-ambiental comparado à areia obtida tradicionalmente através de extração?

Objetivo

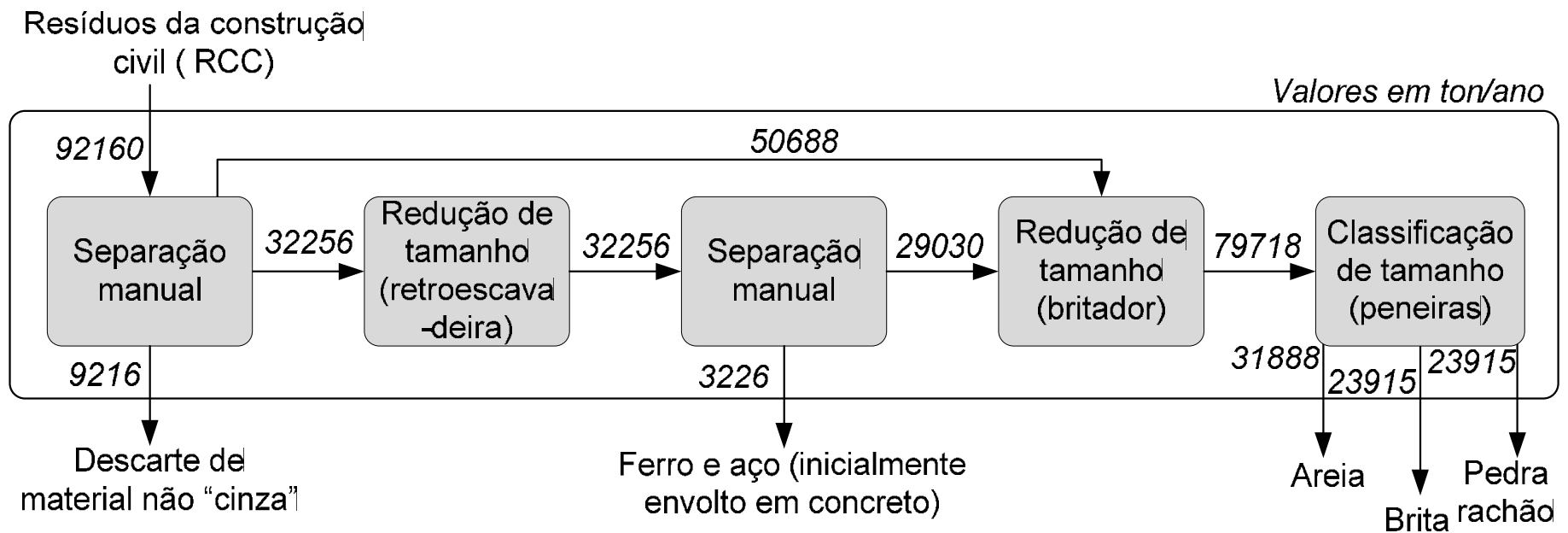
Avaliar o desempenho energético-ambiental do processo de reciclagem de areia a partir de RCC utilizando os seguintes indicadores:

- (i) avaliação de **eNergia** incorporada em MJ/ton areia
- (ii) a contabilidade ambiental em **eMergia** em seJ/ton areia
- (iii) potencial de **aquecimento global** em $\text{kgCO}_{2\text{eq.}}$ /ton areia



Metodologia

Descrição do sistema avaliado



Metodologia

Análise de energia incorporada (Slesser, 1974)

- ✓ Avalia o requerimento bruto **direto e indireto** de energia pelo sistema
- ✓ Indica a **eficiência energética em uma escala maior** de avaliação, pois considera toda a energia “comercial” incorporada
- ✓ Fatores de intensidade de energia (em MJ/unidade; Ecoinvent Database v3.1 2014) são utilizados para converter todos os materiais e energia que entram no sistema em energia fóssil equivalente
- ✓ A soma da energia fóssil equivalente de cada entrada mostra a quantidade bruta de energia “comercial” necessária para produzir uma tonelada de areia em **MJ/ton_{areia}**



Metodologia

Contabilidade ambiental em emergia (Odum, 1996)

- ✓ Foca em escala global considerando todas as entradas consideradas “gratuitas” da natureza (radiação solar, vento, chuva, etc.), assim como o **suporte ambiental indireto** incorporado pelo trabalho humano (mão de obra) e serviços
- ✓ Emergia solar, definida como a “quantidade total de energia solar disponível que foi diretamente ou indiretamente requerida para fazer um determinado produto ou para suportar um determinado fluxo”.
Unidade em emjoules solares (seJ).
- ✓ Fator de “**qualidade**” - Valor Unitário de Emergia (UEV) em **seJ/ton areia**



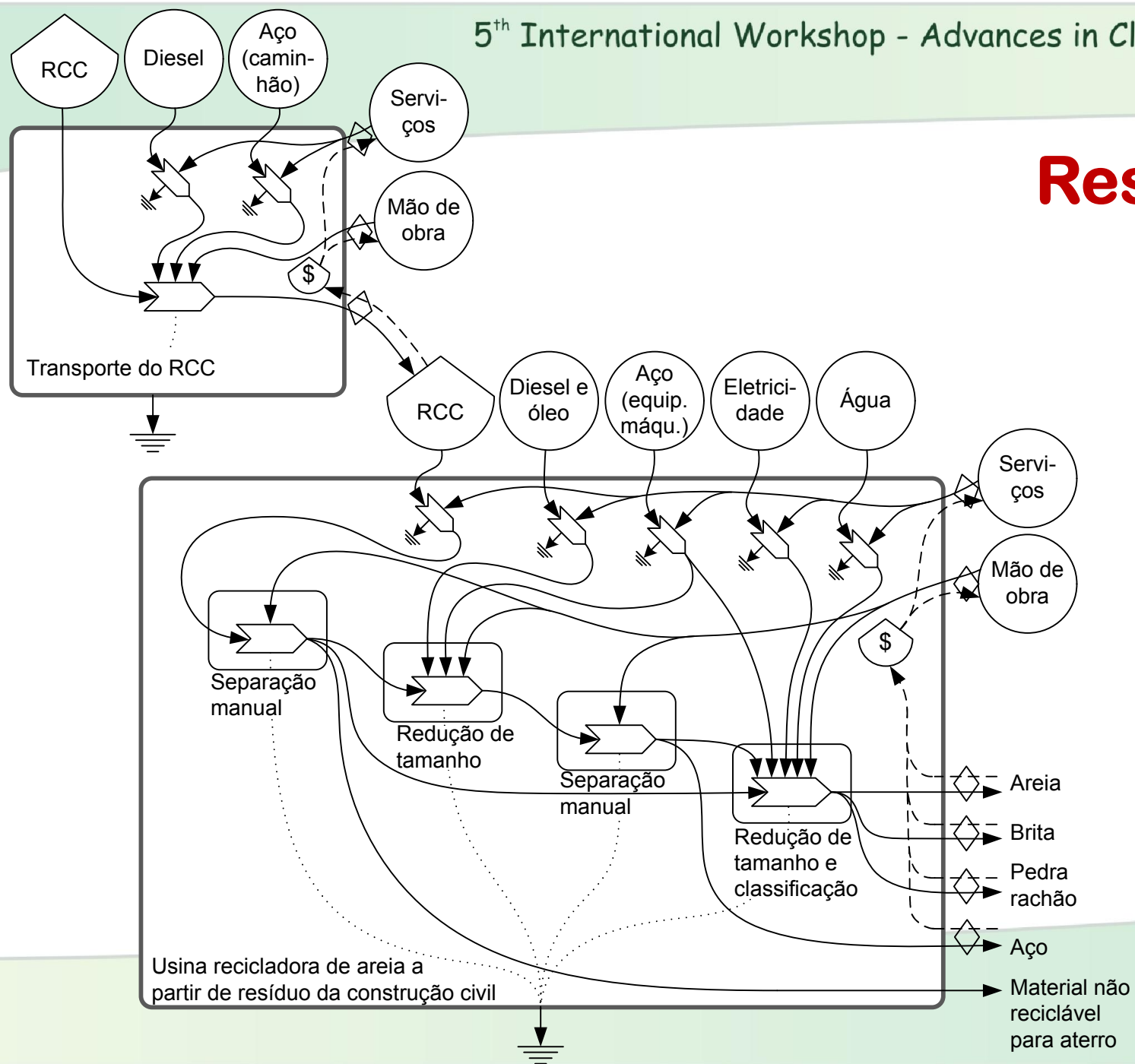
Metodologia

Potencial de aquecimento global (PAG)

- ✓ Emissões **indiretas** (causadas a montante) e as emissões **diretas** (causadas a jusante) do sistema em estudo.
 - **Indiretas** - intensidade de emissão de CO₂ (em kgCO₂eq./Unidade; Ecoinvent Database) multiplicado pelos inputs do sistema
 - **Diretas** – emissões dos processos de combustão (transporte e máquinas a combustão); fatores de conversão do United States Environmental Protection Agency (USEPA)
- ✓ **Indiretas + Diretas** resulta no Potencial de Aquecimento Global da produção de 1 tonelada de areia nas unidades de **tonCO₂-eq./ton_{areia}**



Resultados



Resultados

Tabela 1. Energia incorporada, energia, e potencial de aquecimento global (PAG) indireto decorrentes da produção de 1 ton de areia reciclada a partir de resíduos da construção civil.

Nota ^a	Item	Energia ^b		Energia ^c		PAG indireto ^d	
		MJ	%	seJ	%	kgCO _{2-eq.}	%
Usina recicladora							
1	RCC	-	-	-	-	-	-
2	Mão de obra	-	-	8,57E+12	21,8	-	-
3	Diesel	5,75E+01	45,9	7,28E+12	18,5	3,94E+00	40,9
4	Óleo	5,75E+00	4,6	7,28E+11	1,8	3,94E-01	4,1
5	Água	2,28E-01	0,2	4,24E+11	1,1	1,83E-02	0,2
6	Aço	2,71E+00	2,2	1,83E+11	0,5	3,06E-01	3,2
7	Eletricidade	2,09E-01	0,2	8,22E+11	2,1	9,29E-01	9,6
8	Serviços	-	-	9,28E+12	23,6	-	-
	Subtotal:	6,64E+01	53,0	1,88E+13	69,3	5,59E+00	58,0
Transporte do resíduo da construção civil							
9	Mão de obra	-	-	6,37E+11	1,6	-	-
10	Diesel	5,84E+01	46,6	7,39E+12	18,8	4,00E+00	41,5
11	Aço	4,15E-01	0,3	2,80E+10	0,1	4,68E-02	0,5
12	Serviços	-	-	4,04E+12	10,3	-	-
	Subtotal:	5,88E+01	47,0	1,21E+13	30,7	4,05E+00	42,0
	Total:	1,25E+02	100,0	3,94E+13	100,0	9,64E+00	100,0



Resultados

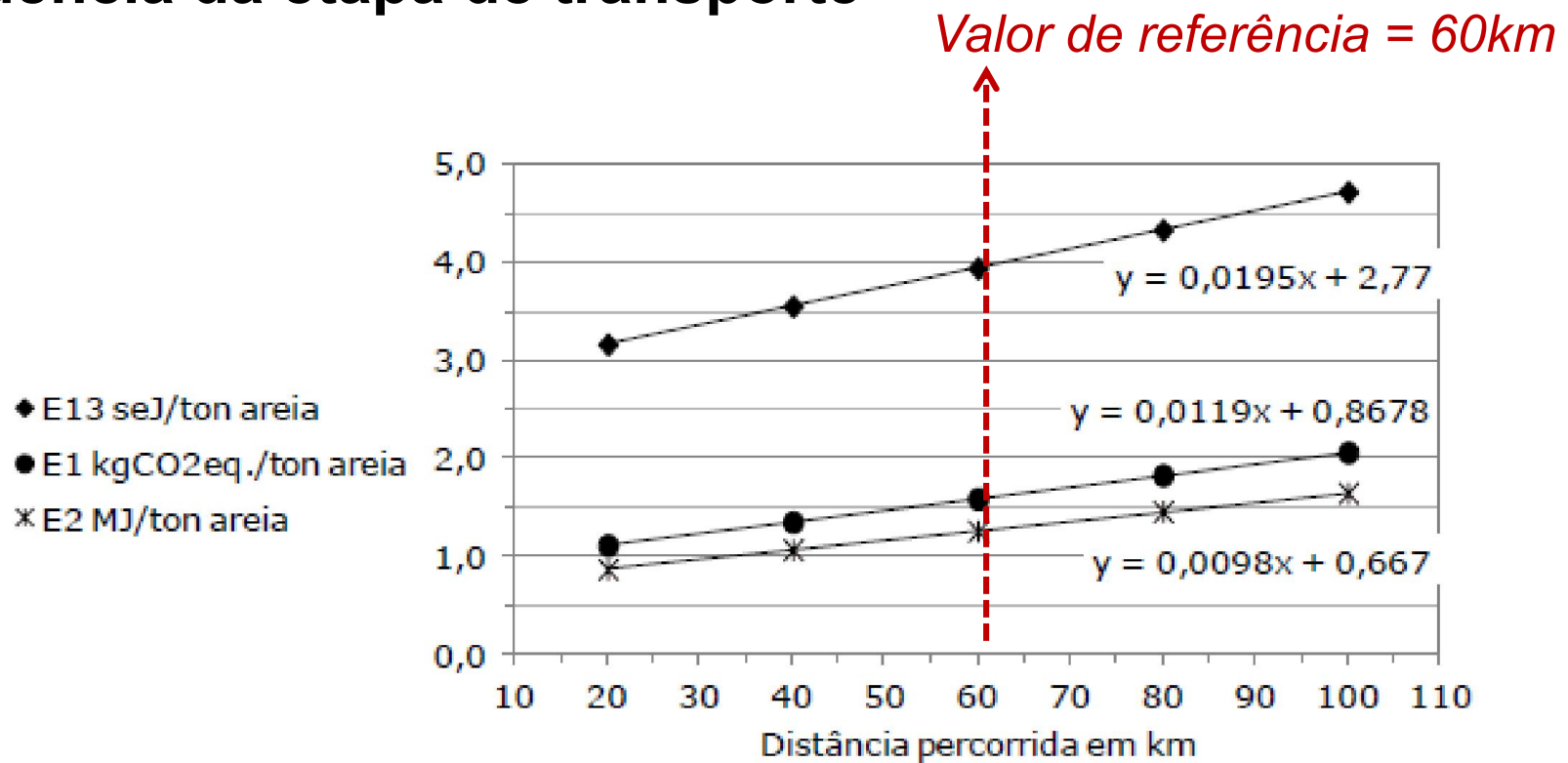
Tabela 2. Alguns valores de energia, energia incorporada, e potencial de aquecimento global da produção/extração de areia encontrados em literatura científica.

Metodologia/Referência	Valor	Unidade	Observação
<i>Energia Incorporada</i>			
Este trabalho	0,12	MJ/kg	Areia reciclada de RCC; Tabela 1
Ecoinvent Database v3.1 ^a	0,03	MJ/kg	Areia de cascalho em pedraira
Boustead e Hancock, 1979	0,02 – 0,63	MJ/kg	Extração natural de areia
<i>Energia ^b</i>			
Este trabalho	3,94 E10	seJ/kg	Areia reciclada de RCC; Tabela 1
Odum, 2000	8,50 E12	seJ/kg	Formação do arenito (ciclo natural)
Yang e Kang, 2011	8,54 E12	seJ/kg	Extração de areia do mar (atualiz.)
<i>Potencial de aquecimento global total (indireto + direto³) = (9,64 + 6,18) kgCO_{2-eq}/ton areia</i>			
Este trabalho	0,016	kgCO _{2-eq} /kg	Areia reciclada de RCC; Tabela 1
Ecoinvent Database v3.1 ^a	0,034	kgCO _{2-eq} /kg	Areia de cascalho em pedraira



Resultados

Influência da etapa de transporte



Conclusões

- a) Melhor eficiência energética, global, e menor potencial de aquecimento global da areia reciclada do que a tradicional.

**** Necessidade de estudar sistema de produção de areia tradicional para o caso brasileiro (próximas etapas)**

Indicador/ kg areia	Areia reciclada	Areia tradicional
MJ	0,12	0,02-0,63
seJ	4 E10	854 E10
gCO ₂ -eq.	16	34

- b) A etapa de transporte mostrou ter relevância nos indicadores calculados, pois considerando a variação de 20 a 100 km de distância percorrida resulta na variação da influência de **22-60%** do total da eficiência energética, **13-42%** da eficiência global, e **19-55%** do potencial de aquecimento global.



Agradecimentos

- ✓ Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista (UNIP)
- ✓ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; Processo no.126053/2014-6)
- ✓ Empresa URBEM Tecnologia Ambiental



Obrigado!

