

Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida

Inventory of the production of ceramic floor tiles and ceramic bricks production in the context of the life cycle assessment

Sebastião Roberto Soares
Sibeli Warmling Pereira

Resumo

O desenvolvimento de bancos de dados que associem o ciclo de vida de materiais e processos com consumos e descartes constitui o ponto de partida no apoio à decisão para a escolha de opções ambientalmente adequadas. Para cada uma das etapas desse ciclo, a elaboração de inventário abrange as ações de levantamento e tratamento de dados. Este trabalho resulta de um estudo de campo sobre o processo produtivo de duas empresas de tijolos cerâmicos e de duas empresas de pisos cerâmicos. Os dados apresentados referem-se, essencialmente, ao consumo de matérias-primas e energia e à geração de resíduos associados à fabricação de 1 m² de pisos e blocos cerâmicos. Tais dados poderão ser agregados sob a forma de indicadores ambientais na comparação com outros materiais que desempenham a mesma função e/ou como referência espaço-temporal para os produtos e processos descritos (complementos da Análise do Ciclo de Vida).

Palavras-chave: análise do ciclo de vida, ACV, meio ambiente, pisos, tijolos, indústria cerâmica.

Abstract

The development of databases linking the life-cycle of materials and the processes that consume and dispose them can give an important support for decision making in the selection of environmental appropriate options. For each stage of this cycle, the production of such inventory includes data collection and processing. This article describes a field study on the production processes of two manufacturers of ceramic bricks and two manufacturers of ceramic flooring tiles. The data presented are essentially related to the consumption of raw materials and energy, and the generation of residues, associated with the manufacture of 1 m² of floor tiles and ceramic bricks. Such data can be used as environmental indicators for comparisons to other materials that perform the same function, or as a spatial-temporal reference for the products and processes described.

Keywords: life cycle assessment, LCA, environment, flooring tile, brick, ceramic.

Sebastião Roberto Soares
Departamento de Engenharia
Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Santa
Catarina
Campus Universitário
Caixa Postal 476
CEP 88010-970 - Florianópolis, SC
- Brasil
Tel.: (48) 331 7567
E-mail: soares@ens.ufsc.br

Sibeli Warmling Pereira
Universidade Federal de Santa
Catarina
Motta Espezim 859, Bl. 1C,
Ap. 203, Saco dos Limões
CEP 88045-400 - Florianópolis, SC
- Brasil
Tel.: (48) 333 8791
E-mail: sibeli@prosul.com

Recebido em 12/04/04
Aceito em 13/09/04

Introdução

A definição de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável (NICOLETTI; NOTARNICOLA; TASSIELLI, 2002). Nesse contexto, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) destaca-se atualmente como ferramenta de excelência para avaliação e escolha de alternativas sob a ótica ambiental.

O seu princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado. As fronteiras de análise devem considerar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte (o ciclo de vida). Esse procedimento permite uma avaliação científica da situação, além de facilitar a localização de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo que resultem em melhorias no seu perfil ambiental.

A ACV é hoje normalizada por um conjunto de normas da série ISO 14000. No Brasil, a NBR ISO 14040 estabelece os princípios gerais (ABNT, 2001), e a NBR ISO 14041 aborda a definição de objetivos e escopo e análise do inventário (ABNT, 2002). No plano internacional, às duas normas citadas são acrescentadas a ISO 14042 (CAN, 2000a), que aborda a avaliação de impactos ambientais; a ISO 14043 (CAN, 2000b), voltada para a interpretação do ciclo de vida; a ISO/TR 14047 (ISO, 2003), que apresenta exemplos de aplicação; a ISO/TS 14048 (ISO, 2002), que considera o formato de apresentação de dados; e finalmente a ISO/TR 14049 (ISO, 2000), que fornece exemplos de aplicação especificamente à definição de objetivos.

Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados experimentais do inventário do subsistema Produção de pisos e de blocos cerâmicos (Figuras 1 e 2).

A coleta de dados foi realizada em 2003, no estado de Santa Catarina, e as empresas participantes foram selecionadas em função de sua representatividade no setor (tipo de tecnologia e tipo de produto). Um detalhamento maior desse procedimento é apresentado por Pereira (2004).

Definição de objetivo e escopo

Este artigo tem por objetivo fornecer dados experimentais sobre o inventário (fluxo de matérias-primas, de produtos e de resíduos) do processo produtivo de pisos e tijolos cerâmicos. Os resultados

obtidos servirão de base para uma posterior análise ambiental desses materiais (ACV).

A realização da coleta de dados deve ser precedida de definição de uma unidade de referência, ou unidade funcional, e da definição dos limites de medição do sistema.

Unidade funcional

A unidade funcional deve ser entendida como a função à qual todas as medições do inventário são referenciadas. São exemplos de unidades funcionais a embalagem de 1 litro de um líquido alimentar, o tratamento de uma tonelada de resíduos ou o percurso de 1.000 km (consumo de combustíveis). No caso de um dos sistemas apresentar funções suplementares à definição da unidade funcional, então essas diferenças devem ser claramente especificadas (procedimentos de alocação).

A unidade de funcional considerada nesta pesquisa é 1 m² de produto pronto para uso, da etapa da fabricação até a embalagem para expedição. Não houve necessidade de considerar a alocação de funções secundárias.

Assim, para a produção de pisos cerâmicos, a unidade funcional considerada foi 1 m² de piso sem rejunte; e, para o caso dos blocos cerâmicos, 1 m² de parede de tijolos com 1,5 cm de rejunte.

Limites do sistema

São considerados como limites ou fronteiras do sistema os pontos onde se iniciam e se encerram as medições de entradas e saídas de materiais e energia que compõem o processo de produção em questão.

Os aspectos considerados no estudo enfatizam essencialmente a qualidade ambiental (externalidades), não levando em conta saúde e segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto. A estrutura básica a ser estudada é o processo produtivo (industrial) das unidades funcionais selecionadas. Além do mais, foi considerada a extração da argila como parte do subsistema produção, visto que ela é a matéria-prima principal e representa mais de 90% (massa) da composição dos produtos. Portanto, os limites dos sistemas foram definidos tendo como início a extração da argila, passando por todas as etapas de produção, até embalagem e carregamento para saída da fábrica. No caso da produção de pisos, não foram analisados os inventários dos subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como esmaltes e tintas (Figuras 1 e 2). Foram

consideradas somente as quantidades consumidas na unidade funcional.

Além do mais, este artigo aborda apenas uma parte do inventário necessário à ACV (extração de argila e fabricação). A análise completa do ciclo de vida deve incluir também as fases de produção das demais matérias-primas, de transporte, de utilização (realização de 1 m² de parede ou de revestimento de piso), manutenção e descarte da unidade funcional de referência.

Análise de inventário

A NBR ISO 14041 (ABNT, 2002), que normaliza a análise de inventário, apresenta-o como a etapa de levantamento de todos os dados referentes às entradas e saídas do sistema.

Os trabalhos de Vigon e Jensen (1995) e Ferrão (1998) ressaltam a importância da clareza e consistência dos estudos de campo, para que os dados levantados consigam refletir com precisão os encargos ambientais dos processos/produtos avaliados.

Dessa forma, para cada item do inventário, foi utilizada uma metodologia de medição diferenciada, conforme apresentado a seguir. Os dados levantados em campo, referentes à escala de produção normal,

foram correlacionados às quantidades relativas às unidades funcionais definidas.

Empresas selecionadas

As empresas selecionadas para estudo foram definidas após levantamento realizado no estado de Santa Catarina envolvendo todos os produtores de cerâmica. Essa enquete permitiu ressaltar os produtos mais representativos, assim como os processos produtivos.

Foram definidas duas empresas produtoras de pisos e duas de tijolos. Elas produzem peças de padrão comercial de mesma categoria e apresentam as características a seguir.

Para o caso de pisos cerâmicos:

(a) a *Empresa A* produz piso de monoqueima polido com dimensões 43,7 cm x 43,7 cm e utiliza gás natural como combustível para secadores e fornos; e

(b) a *Empresa B* fabrica um produto de dimensões 44,5 cm x 44,5 cm, também por monoqueima, sem polimento e tem o gás natural como combustível.

Portanto, a unidade funcional para a empresa A é composta de 5,23 peças, e para a empresa B, de 5,10 peças.

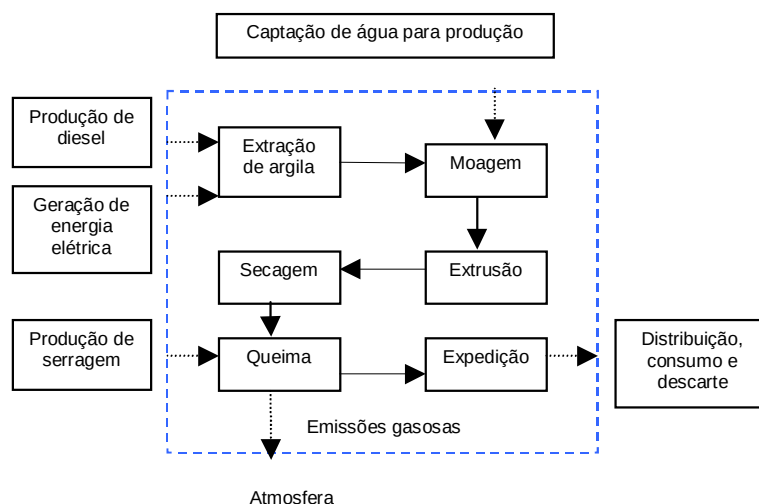


Figura 1 - Fluxograma-tipo da produção de tijolos

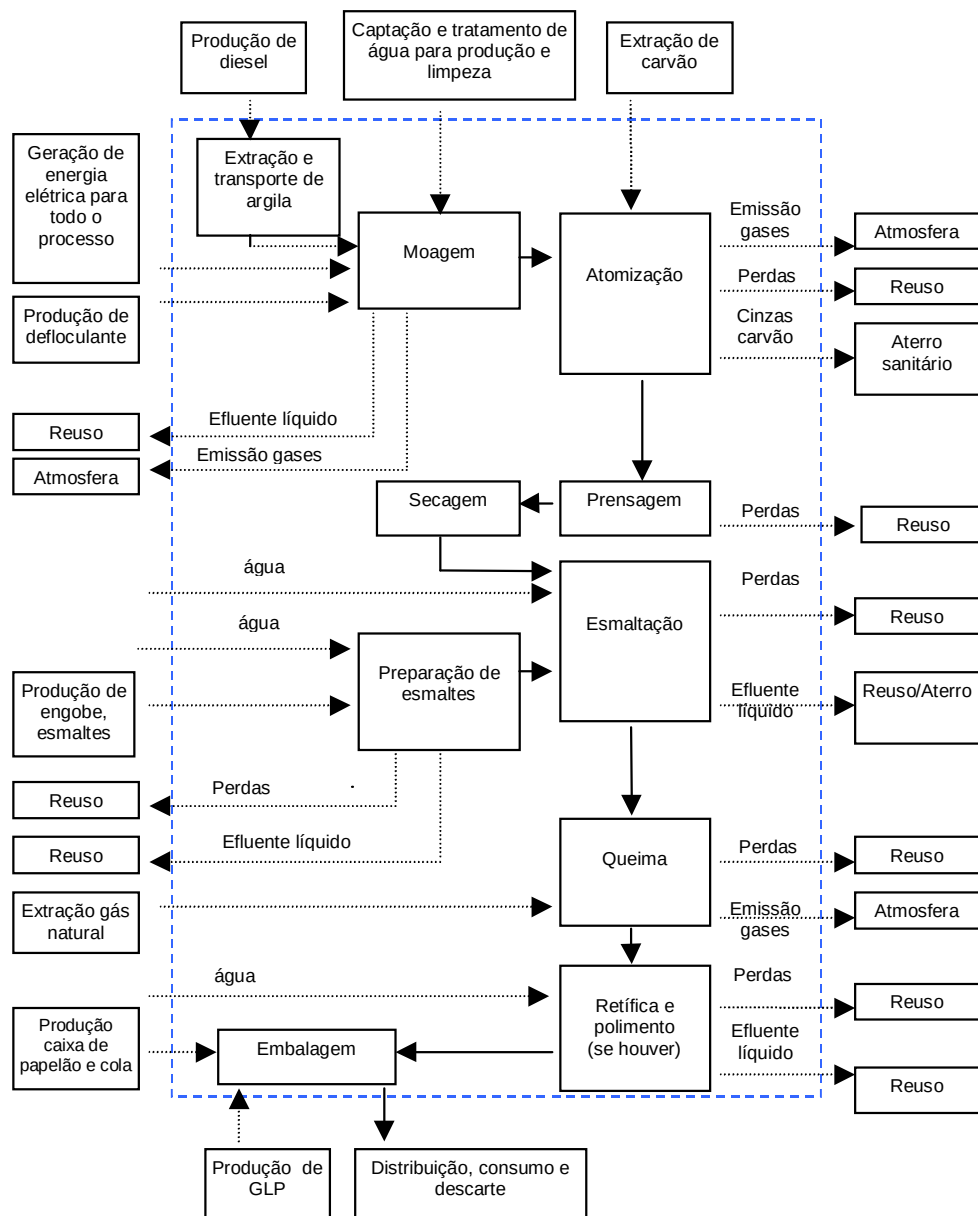


Figura 2 - Fluxograma-tipo da produção de pisos cerâmicos Para o caso de blocos cerâmicos:

(a) a *empresa C* é produtora de tijolos de 6 furos com dimensões 19,5 cm x 17,0 cm x 12,0 cm e utiliza forno convencional do tipo garrafão para queima das peças e serragem de madeira como combustível; e

(b) a *empresa D* produz tijolos de 6 furos com dimensões 23,0 cm x 17,0 cm x 11,8 cm, queimados em forno contínuo tipo túnel, também abastecido com serragem de madeira.

A unidade funcional das empresas C e D é composta, respectivamente, de 35,76 e 32,18 tijolos.

Os fluxogramas básicos de empresas produtoras de tijolos e pisos cerâmicos são representados respectivamente pelas Figuras 1 e 2. Nos fluxogramas, os retângulos tracejados limitam a área de avaliação do inventário.

Procedimentos

Extração e transporte de argila - Pisos e tijolos (consumo de óleo diesel e geração de resíduos)

Para extração de argila normalmente utiliza-se escavadeira hidráulica. O tempo necessário para

extração da argila e carregamento do caminhão, o consumo de combustível da máquina por intervalo de tempo e a capacidade de carga do caminhão foram os fatores considerados para estimativa do consumo de óleo durante a extração. Para o transporte, foram levantados os consumos médios dos principais caminhões transportadores utilizados e as distâncias médias de cada jazida até a fábrica.

A emissão de poluentes devido à queima de diesel foi levantada com base no consumo total estimado (em litros) e nos dados de emissão de poluentes por litro de combustível queimado (BRAUN et al., 2003).

Preparação da massa e moagem - Pisos e tijolos (consumo de argila, água e defloculante)

A preparação da massa e a sua moagem foram monitoradas a fim de se conhecerem as proporções de água, argila e defloculantes (no caso dos pisos) utilizadas. Para tal, foram tomados os dados de massa dos componentes nas cargas do moinho.

Atomização - Pisos (consumo de carvão, emissão de gases, geração de cinzas e perdas)

A capacidade do atomizador em toneladas por hora, os teores de umidade da massa de entrada e do pó de saída, a quantidade de pó retida no filtro, o consumo de carvão para alimentação das fornalhas e a quantidade de cinzas de carvão gerada foram os elementos sólidos e líquidos utilizados no inventário do processo de atomização. Essas avaliações dependeram de pesagens e análise granulométrica (no caso do material retido no filtro – material particulado).

Os óxidos de enxofre (SO_x) e de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO_2), presentes no efluente gasoso da chaminé, são provenientes exclusivamente do combustível (carvão mineral) e das condições em que a fornalha está operando.

As metodologias de análise desses parâmetros estão descritas a seguir.

Vazão: a amostra dos gases foi coletada em tubo de Pitot do tipo “S”, com auxílio de medidor de pressão, manômetro em “U”, termômetro de

termopar e barômetro de mercúrio. Todos os dados referentes à temperatura de saída dos gases, temperatura ambiente, pressão na saída e velocidade de saída dos gases foram registrados e, por meio de procedimentos propostos pela MB 3080 (ABNT, 1989), calculada a vazão em m^3/h .

O_2 , CO e CO_2 : as amostras dos gases foram coletadas em ampolas de aço inox previamente resfriadas (imersas em caixa com gelo), para que os gases tivessem sua temperatura rebaixada e pressão aumentada, o que faz com que maior quantidade de amostra seja retida. Os gases são, na sequência, succionados por uma bomba e, antes de chegarem às ampolas, passam por duas *trapes*. A primeira de cobre, em formato de serpentina, e a segunda de vidro, como se fosse um béquero grande com um fundo falso. Ao passar pela serpentina de cobre, os gases são resfriados e, quando chegam à segunda *trape*, o vapor de água já condensou e fica depositado no fundo falso, enquanto os gases secos seguem e são capturados pelas ampolas. Esse procedimento evita que qualquer umidade fique retida nas amostras, que são analisadas em seguida por cromatografia gasosa.

Material particulado: os gases foram succionados por bomba, num procedimento idêntico ao da coleta para os demais parâmetros. No entanto, é colocado um filtro de lã de vidro na saída dos gases e, por gravimetria (diferença de peso), é determinada a quantidade de pó retida no filtro. Esses procedimentos são sugeridos pelas normas NBR 12019 (ABNT, 1990a) e NBR 12827 (ABNT, 1993).

NO_2 : as amostras de gases foram coletadas em frascos contendo solução absorvente de ácido sulfúrico diluído e peróxido de hidrogênio. Depois de coletada, a amostra permanece em repouso por no mínimo 16 horas e é agitada por 2 minutos. São pipetados 25 ml da amostra em béquero e evaporada em banho-maria até secagem. Ao resíduo seco são adicionados 2 ml de ácido fenoldissulfônico, 1 ml de água destilada e deionizada e 4 gotas de ácido sulfúrico. Aquece-se em banho-maria por 3 minutos e depois se deixa esfriar. Acrescentam-se 20 ml de água destilada e deionizada e corrige-se o pH até 10 com hidróxido de amônio. Transfere-se a solução para um balão volumétrico de 100 ml, lava-se o béquero com água destilada e deionizada, juntam-se as águas de lavagem ao balão volumétrico e completa-se o volume com água destilada e deionizada. Prepara-se uma solução em branco, pipetando-se 25 ml da solução absorvente ao béquero com a mesma quantidade de água de lavagem utilizada na amostra, evapora-se em banho-maria até a secagem e segue-se o mesmo procedimento da amostra padrão, até o preenchimento do balão volumétrico com água destilada e deionizada. A solução padrão deve ser agitada e levada ao espectrofotômetro para medição da absorbância, utilizando-se a amostra em branco como referência. Por fim, calcula-se a massa de NO_2 , em μg , por meio da curva de calibração. Esse procedimento é proposto pela norma L9.229 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (CETESB, 1992).

SO₂: as amostras são coletadas em uma ampola especial chamada borbulhador, e a análise é feita por titulometria. O cálculo da concentração é feito segundo a equação matemática proposta pela norma MB 3358 da ABNT (ABNT, 1990b).

Prensagem e secagem - Pisos e tijolos (perdas de massa)

Nas etapas de prensagem e secagem das peças, por meio de pesagens antes e depois da prensa e do secador, foi determinado o percentual de perdas em cada um desses processos. As perdas foram levantadas a partir do acompanhamento da produção de determinado lote de peças, contabilizando-se aquelas defeituosas e calculando sua proporção com relação ao total produzido.

Preparação do esmalte e esmaltação - Pisos (consumo de materiais, perdas e resíduos)

As etapas de preparação de esmaltes (corantes, tintas e engobe) e esmaltação (aplicação nas peças) envolveram medições de massa de componentes utilizados, quantidade de água adicionada e perdas (quebra) nos processos.

Queima - Pisos e tijolos (consumo de gás natural, serragem, emissões gasosas e perdas)

Durante o processo de queima, foram medidas as quantidades de gás natural consumidas por lotes de peças queimadas, no caso de pisos, e de serragem, no caso dos tijolos, bem como medições das emissões atmosféricas. Foram considerados para a produção de pisos os mesmos parâmetros da atomização, além de cloretos e fluoretos, provenientes da massa de argila, que, em temperaturas acima de 1.000 °C, tendem a se desprender.

No caso dos tijolos, os parâmetros considerados nas medições foram CO, CO₂, H₂O, C (fuligem/cinzas) e NO_x.

A madeira e, conseqüentemente, a serragem apresentam em sua composição elementar uma pequena quantidade de enxofre (S). No entanto, Jenkins (1990) sugere uma porcentagem de apenas 0,01% de S no eucalipto, e Vlássov (1998) desconsidera essa porcentagem na madeira, sendo, dessa forma, desconsideradas as emissões de SO_x durante a queima da serragem neste trabalho.

A metodologia para análise dos parâmetros citados acima é a mesma utilizada nas análises do processo de atomização descrito anteriormente. Para a análise de cloretos (Cl⁻) e fluoretos (F⁻) a metodologia utilizada é descrita a seguir.

Fluoreto – a coleta das amostras foi feita com montagem de um trem de amostragem composto de

quatro borbulhadores. Foram colocados 100 ml de água destilada e deionizada em cada um dos dois primeiros; o terceiro permaneceu vazio; e no quarto, cerca de 200 ml de sílica-gel. Os borbulhadores são mantidos em banho de gelo durante todo o tempo da coleta. Em laboratório, os borbulhadores são pesados e os conteúdos dos três primeiros são transferidos para um frasco de polietileno (1); os borbulhadores e conexões de vidro são lavados com água destilada e deionizada, a qual é transferida também para o frasco (1), fechando-o em seguida (contém fluoreto gasoso). O filtro do porta-filtro é retirado e colocado em uma placa de Petri (os filtros contêm fluoreto sólido). Usando água destilada e deionizada e uma escova de náilon, deve-se remover o material particulado depositado na boquilha, sonda e porta filtros para o frasco de polietileno (2). Em seguida, deve-se lavar até que nenhum material seja percebido visualmente, recolhendo a água de lavagem ao mesmo frasco, fechando-o em seguida. Marcar o nível de líquido de cada frasco e rotulá-los, indicando o conteúdo. Construir uma curva de calibração de eletrodo do íon específico (em espectrofotômetro) e, em seguida, determinar fluoreto de sódio e fluoreto gasoso. Por meio de fórmula indicada em norma (CETESB, 1995), calcula-se a massa de fluoreto sólido e a taxa de fluoreto total emitido.

Cloreto – as amostras foram coletadas em borbulhador contendo hidróxido de sódio, que reage com o cloreto formando NaCl. As amostras devem ser mantidas em caixa de banho frio com temperaturas entre 0°C e 5°C e analisadas por titulometria, pelo método de Mohr. Em seguida, transferir 25 ml da solução padrão 0,1 N de NaCl para um erlenmeyer de 250 ml, junto com 50 ml de água destilada e 1 ml de solução indicadora de K₂CrO₄. Titular com a solução de nitrato de prata a ser padronizada, até o aparecimento de uma coloração marrom-avermelhada de cromato de prata. Repetir a titulação, achar a média aritmética entre os volumes encontrados e fazer os cálculos da concentração de Cl⁻.

Retífica e polimento - Piso (consumo de água e de pedras abrasivas)

Este processo consiste em reparar irregularidades nas extremidades das peças (Empresa A), por meio de polimento com pedras abrasivas que desgastam as superfícies não conformes com o padrão. O acompanhamento desta etapa permitiu levantar as quantidades de água (medição da vazão dos bicos dispersores) e de pedras abrasivas utilizadas para o polimento de cada lote de peças, bem como as perdas.

Embalagem - Pisos (consumo de embalagens e cola)

A embalagem utilizada (caixa de papelão) foi pesada antes e depois de passar pela máquina seladeira, indicando a quantidade de cola utilizada para fechar cada caixa. No caso dos tijolos, não há embalagem. As peças são carregadas para o caminhão e dispostas em forma de pilhas.

Transporte interno/empilhamento e carregamento de caixas - Pisos e tijolos (consumo de gás e energia elétrica)

O consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) pelas máquinas empilhadeiras (no caso da produção dos pisos) foi calculado com base no consumo mensal deste combustível, sabendo-se da produção total no mesmo mês.

Da mesma forma, a energia elétrica utilizada em todos os processos foi dividida (total do consumo mensal) pela produção referente ao período, tanto para a produção de pisos quanto de tijolos.

Lavagem de equipamentos e piso - Pisos (consumo de água e geração de efluentes líquidos)

Os seguintes setores participaram no levantamento da água utilizada para lavagem e geração de efluentes líquidos:

- (a) setor de preparação de massa – moagem e atomização, efluente da lavagem do piso e dos moinhos;
- (b) setor de prensagem – não gera efluente líquido, uma vez que o piso é somente varrido e o pó, oriundo do atrito das peças com os roletes, é coletado e volta para os moinhos;
- (c) setor de preparação de esmaltes – tem como efluente líquido as águas de lavagem dos moinhos e demais equipamentos, bem como do piso;
- (d) setor de esmaltação – da mesma forma que o de preparação de esmaltes, tem as águas de lavagem como efluentes;
- (e) setor de queima – não utiliza água nem para limpeza, portanto não gera efluente líquido; e
- (f) setor de polimento e retífica – utiliza, além da água para polimento, a água para lavagem do piso.

A quantidade de água utilizada para lavagem em cada setor da produção foi levantada pela medição da vazão das mangueiras usadas e do tempo médio gasto para o trabalho. No caso do polimento, foi medida a vazão de água que sai das cabeças polidoras.

Nas empresas produtoras de tijolos, normalmente o piso das fábricas é de terra compactada. Portanto, não há lavagem de pisos ou de equipamentos que processam o material.

Geração de resíduos sólidos - Pisos

As duas empresas (A e B) possuem sistemas de tratamento para efluentes líquidos (lavagem de equipamentos e pisos, e polimento e retífica – no caso da Empresa A). O lodo resultante do tratamento constitui um resíduo sólido. A quantidade de lodo produzida por unidade funcional foi levantada por meio do acompanhamento do sistema de tratamento referente à produção de determinado lote. O resultado foi extrapolado para a unidade funcional.

As cinzas do carvão queimado nas fornalhas do atomizador (40% do total de carvão, em massa) são descartadas como resíduos sólidos. Este dado foi obtido com base nos dados de consumo de carvão e descartes de cinza.

No caso da Empresa A, que realiza polimento das peças, as pedras abrasivas utilizadas são descartadas depois de uso, o que gera uma grande quantidade de resíduos.

No caso das empresas produtoras de tijolos, como não há utilização de aditivos na massa, lavagem de equipamento, nem utilização de embalagem, a geração de resíduos provenientes do processo produtivo é bastante reduzida. Normalmente, as cinzas de serragem, quando feita limpeza dos fornos, são retiradas e, juntamente com o pó de varrição e cacos de peças quebradas ou moídas (chamote), são utilizadas como aterro.

Resultados

Os resultados de todas as medições realizadas, depois de extrapolados para a unidade funcional definida (1 m² de piso ou 1 m² de parede de tijolo), foram agrupados para cada uma das empresas, conforme apresentado nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 e Figuras 3 e 4 (pisos cerâmicos). Pereira (2004) faz considerações e discussões complementares a esses dados. Os efluentes líquidos em ambas as empresas retornam para ser utilizados na lavagem de pisos ou na moagem da argila, após tratamento. Dessa forma, foram consideradas as fontes de água para cada etapa do processo, tendo sido contabilizado separadamente o consumo de água limpa (proveniente de fonte natural) e de água de recirculação. Os dados de entrada apresentados no inventário referem-se, portanto, ao consumo de “água nova”.

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	34,268 kg	Peças (5,23) ou 1 m ²	26,307 kg
Água	36,600 kg	Vapor d'água	23,162 kg
Defloculante	0,171 kg	Lodo de ETE	3,477 kg
Esmalte (todos os componentes)	2,095 kg	Cinza do carvão	1,200 kg
Óleo diesel	0,412 l ou 0,350 kg	Material particulado	0,086 kg
Carvão mineral	3,0 kg	CO	0,011 kg
Gás natural	2,958 m ³ ou 2,295 kg	CO ₂	9,369 kg
Gás GLP	0,028 kg	NO _x	0,012 kg
Caixa papelão	0,65 un ou 142,962 g	SO _x	0,046 kg
Cola	1,143 g	Fluoretos (F)	2,740 g
Pedras abrasivas	0,34 un ou 0,102 kg	Cloretos (Cl)	5,480 g
Energia elétrica	5,5 kW	HC	1,838 g
		Pedras abrasivas	0,102 kg
		Perdas (quebra)	1,997 kg

Tabela 1 - Empresa A: Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (5,23 peças de 43,7 cm x 43,7 cm)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	25,35 kg	Peças (5,10) ou 1 m ²	19,176 kg
Água	5,660 kg	Vapor d'água	10,036 kg
Defloculante	0,352 kg	Lodo de ETE	0,09 kg
Esmalte (todos os componentes)	0,335 kg	Cinza do carvão e pó	0,974 kg
Óleo diesel	0,491 l ou 0,417 kg	Material particulado	0,012 kg
Carvão mineral	2,0 kg	CO	0,009 kg
Gás natural	1,757 m ³ ou 1,363 kg	CO ₂	2,830 kg
Gás GLP	0,016 kg	NO _x	0,008 kg
Caixa papelão	0,51 unid. ou 84,828 g	SO _x	0,010 kg
Cola	0,362 g	Fluoretos (F)	1,462 g
Energia elétrica	2,9 kW	Cloretos (Cl)	2,437 g
		HC	2,191 g
		Perdas (quebra)	1,275 kg

Tabela 2 - Empresa B: Inventário da produção de 1 m² piso cerâmico (5,10 peças de 44,5 cm x 44,5 cm)

Entradas		Saídas	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	130,26 kg	Peças (35,76) ou 1 m ²	93,69 kg
Água	0,26 kg	Vapor d'água	53,580 kg
Serragem	31,11 kg	CO	0,560 kg
Óleo diesel	0,07 l ou 0,06 kg	CO ₂	41,880 kg
Energia elétrica	0,3 kW	NO ₂	0,022 kg
		Cinza	0,370 kg
		Perda	1,190 kg

Tabela 3 - Empresa C: Inventário da produção de 1 m² de parede de tijolo (35,76 tijolos)

Entradas		Saídas	
Insumo	Quantidade	Item	Quantidade/m ²
Argila	129,69 kg	Peças (32,18) ou 1 m ²	97,670 kg
Água	-	Vapor d'água	50,110 kg
Serragem	26,23 kg	CO	0,051 kg
Óleo diesel	0,32 l ou 0,27 kg	CO ₂	21,410 kg
Energia elétrica	3,7 kW	NO ₂	0,011 kg
		Cinza	0,250 kg
		Perda	1,940 kg

Tabela 4 - Empresa D: Inventário da produção de 1 m² de parede de tijolo (32,18 tijolos)

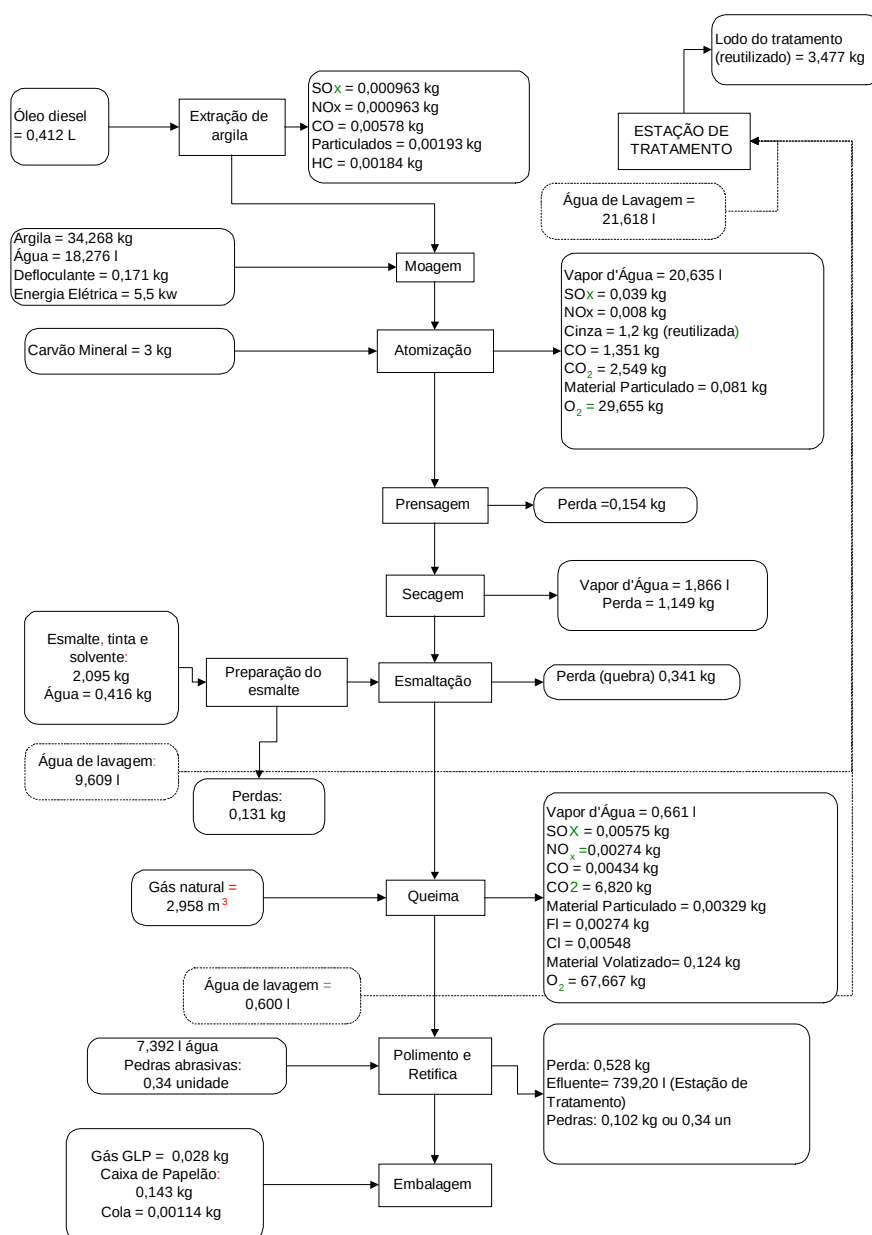


Figura 3 - Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (Empresa A)

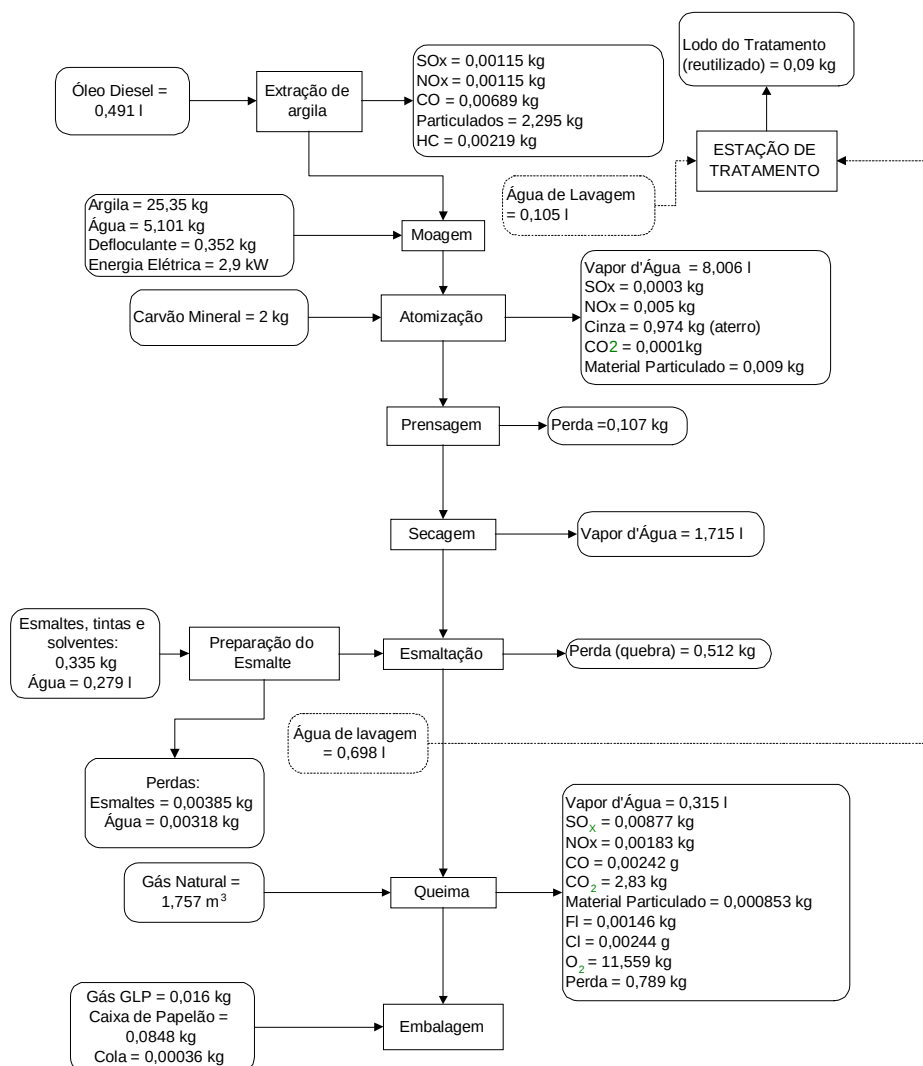


Figura 4 - Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (Empresa B)

Considerações finais

Os resultados obtidos devem ser considerados em relação à unidade funcional. Assim, no caso dos pisos, além de desempenharem uma mesma função, os produtos analisados são enquadrados na mesma classe comercial (A). Essas condições permitem destacar o desempenho ambiental dos produtos. Nesses termos, destaca-se o grande consumo de água da Empresa A, pelo fato de realizar polimento das peças, embora a água consumida nesta etapa integre um sistema de reaproveitamento, além de realizar lavagem dos moinhos e utilizar maior quantidade na preparação da massa.

No que diz respeito à produção de tijolos, a Empresa D utiliza, em média, menor quantidade de insumos; no entanto, apresenta um consumo de energia elétrica bem superior ao da Empresa C, o que se deve, principalmente, à sua melhor condição tecnológica (utilização de processos automatizados).

De um modo geral, a diferença entre inventários pode ser atribuída ao padrão tecnológico, à estrutura gerencial e ao fluxo de produção. Com relação a este último, deve-se ressaltar que, em um processo produtivo, existem consumos (e mesmo resíduos) fixos, independentes da quantidade produzida. Nesses casos, grandes produções

podem “diminuir” os valores específicos à unidade funcional.

A análise, para cada um dos grupos de produtos, neste caso, é facilitada, visto tratar-se de empresas que recorrem basicamente às mesmas matérias-primas e aos mesmos princípios produtivos na confecção de materiais similares. Ou seja, do ponto de vista ambiental, os tipos de impactos ambientais serão os mesmos, diferindo apenas na sua magnitude. Por outro lado, a análise ambiental será mais delicada quando se tratar de materiais diferentes que realizam uma mesma função. Por exemplo, a comparação de blocos de cimento com blocos cerâmicos ou a comparação de piso cerâmico com piso de madeira. Nesses casos, os inventários estarão associados a tipos de impactos diferentes e amplitudes também diferentes.

Ressalta-se ainda que, segundo os dados aqui apresentados, é possível apenas afirmar que na etapa de **produção** um produto apresentará um desempenho ambiental melhor que o outro.

Essa afirmação não poderá ser extrapolada para as demais etapas (transporte, utilização, manutenção, demolição e tratamento – reciclagem, descarte, etc.), visto que tais dados não fazem parte deste levantamento.

Finalmente, os dados disponibilizados contribuem para uma análise crítica na especificação de materiais, visando a uma efetiva participação da construção civil no desenvolvimento sustentável.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **MB 3080**: Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação da velocidade e vazão. Rio de Janeiro, 1989. 5 p.

_____. **NBR 12019**: Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação do material particulado : método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990a. 11 p.

_____. **MB 3358**: Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação de dióxido de enxofre. Rio de Janeiro, 1990b. 4 p.

_____. **NBR 12827**: Efluentes gasosos com o sistema filtrante no interior do duto ou chaminé de fontes estacionárias: determinação de material particulado. Rio de Janeiro, 1993. 10 p.

_____. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

_____. **NBR ISO 14041**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: definição de objetivo e escopo e análise do inventário. Rio de Janeiro, 2002. 21 p.

BRAUN, S. et al. **A eliminação catalítica dos particulados de diesel**. Disponível em: <<http://www.icp.csic.es/cyted/>>. Acesso em: 12 set. 2003.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (CAN). **CAN/CSA ISO 14042-00**: Management environnemental : analyse du cycle de vie: evaluation de l’impact du cycle de vie. Toronto, 2000a. 17 p.

_____. **CAN/CSA ISO 14043-00**: Management environnemental: interprétation du cycle de vie. Toronto, 2000b. 19 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação de óxidos de nitrogênio: método de ensaio**. São Paulo, 1992. 11 p. (Norma técnica L9.229).

_____. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias determinação de fluoretos pelo método do eletrodo de íon específico: método de ensaio**. São Paulo, 1995. 15 p. (Norma técnica L9.213).

FERRÃO, P. **Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos**. Lisboa: IST Press, 1998. 216 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TR 14049**: Technical Report: Management environnemental: Analyse du cycle de vie: exemples d’application de l’ISO 1404 traitant de la definition de l’objectif et du champ d’étude de l’inventaire. Genebra, 2000. 45 p.

_____. **ISO/TS 14048**: Technical specification: environmental management: life cycle assessment: data documentation format. Genebra, 2002. 40 p.

_____. **ISO/TR 14047**. Technical report environmental management: life cycle impact assessment: examples of application of ISO 14042. Genebra, 2003. 87 p.

JENKINS, M. B. Fuel properties for Biomass Materials. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION AND MANAGEMENT OF ENERGY IN AGRICULTURE, 1990, New Delhi. **The Role of Biomass Fuels**. New Delhi: Punjab Agricultural University, 1990.

NICOLETTI, G.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. **Journal of Cleaner Production**, n. 10, p. 283-296, 2002.

PEREIRA, S. W. **Avaliação ambiental dos processos produtivos de pisos cerâmicos por meio de análise do ciclo de vida**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VIGON, B.; JENSEN, A. Life cycle assessment: data quality and databases practitioner survey. **Journal Cleaner Production**, v. 3, n. 3, p. 135-141, 1995.

VLÁSSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: FIEP/CIEP/SESI/SENAI/IEL, 1998.

Agradecimentos

Ao programa Habitare, da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.