

COLETÂNEA HABITARE

Sebastião Roberto Soares é engenheiro sanitarista e ambiental (1985) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e mestre (1991) e doutor (1994) pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA DE LYON), na França. Realizou pós-doutoramento (2004) na École Polytechnique de Montreal, EPM, no Canadá. É professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC desde 1998 e um dos membros fundadores da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), criada em 2002. Atua nas áreas de Resíduos Sólidos e Gestão Ambiental.
E-mail: soares@ens.ufsc.br

Danielle Maia de Souza é arquiteta e urbanista (2004) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É bacharel (2002) e mestre (2005) em Environmental and Resource Management pela Brandenburgische Technische Universitaet (BTU-Cottbus), em Cottbus, na Alemanha. É especialista (2006) em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente, é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na qual atua como pesquisadora.
E-mail: danimaiasouza@gmx.net

Sibeli Warmling Pereira é engenheira ambiental e sanitarista (2002), e mestre em engenharia ambiental (2004) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente atua na área de gestão ambiental.
E-mail: sibeli@prosul.com

4.

A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil

Sebastião Roberto Soares, Danielle Maia de Souza e Sibeli Warmiling Pereira

1 Introdução

A Califórnia (EUA), no início dos anos 90, foi escolhida para ser o primeiro estado americano a receber veículos elétricos, como forma de combater a poluição causada por motores tradicionais a combustão. Porém, até que ponto essa iniciativa é ambientalmente favorável? Considerando que, atualmente, a energia elétrica consumida por aquele estado provém essencialmente de combustíveis fósseis, o aumento da demanda de eletricidade poderia tornar o balanço de poluição negativo, comparado com a situação inicial, ou simplesmente deslocar o foco do problema. Do mesmo modo, pode-se levantar a seguinte questão: o uso de embalagens descartáveis apresenta consequências mais negativas ao meio ambiente do que embalagens retornáveis? Na análise desse último sistema é necessário considerar todas as atividades conexas ao processo, como a coleta, o transporte, a lavagem e a desinfecção, o tratamento dos efluentes gerados, etc. A partir dessa contabilidade ambiental é que a comparação poderá ser feita com o ciclo de vida de uma embalagem virgem.

A indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo constru-

tivo podem promover, além de mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra, maior incentivo em investimentos no setor. Nesse mercado de competitividade crescente e submetido a instrumentos de comando de controle (legislação e normas) e de melhoria contínua, a escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável. É o caso, por exemplo, de optar entre blocos cerâmicos ou de concreto para construção de uma parede. Ambos podem ter a mesma função, mas ao longo de seu ciclo de vida ter repercussões ambientais diferentes. Ou, ainda, de definir entre um piso cerâmico produzido pelo processo x ou y, avaliar o emprego de pisos de granito ou de madeira ou optar por um sistema de aquecimento de água solar ou elétrico. Nessas situações, parte-se do princípio de que os materiais comparados entre si cumpram a mesma função, para, em seguida, avaliá-los sob a ótica ambiental. O resultado dessa análise, associado aos resultados de avaliação econômica e em sintonia com as preferências dos interessados, permitirá a tomada de decisão final sobre o material a utilizar.

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida¹ (ACV) se destaca, atualmente, como ferramenta de excelência para análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva puramente 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.

¹ Life Cycle Analysis, Life Cycle Assessment (LCA), Product Line Analysis, Ecological Balance, segundo a terminologia inglesa.

2 Princípios da ACV

A ACV consiste na análise e na comparação dos impactos ambientais causados por diferentes sistemas que apresentam funções similares. Em outras palavras, sob a ótica ambiental, ela estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria (e energia) para cada sistema e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais (Figura 1).

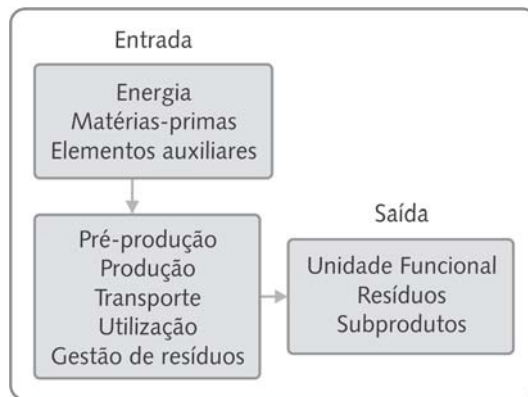


Figura 1 – Representação esquemática da ACV

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), a NBR ISO 14041 aborda a definição de objetivos e escopo e análise do inventário (ABNT, 2004a), a NBR ISO 14042 (ABNT, 2004b) aborda a avaliação de impactos ambientais e a NBR ISO 14043 (ABNT, 2005) é voltada para a interpretação do ciclo de vida. No plano internacional, às quatro normas citadas, são acrescentadas a ISO/TR 14047 (ISO/TR, 2003), que apresenta exemplos de aplicação, a ISO/TS 14048 (ISO/TS, 2002), que considera o formato de apresentação de dados, e, finalmente, a ISO/TR 14049 (ISO/TR, 2000), que fornece exemplos de aplicação especificamente à definição de objetivos.

99

Ela passa basicamente pelas etapas a seguir (ver Figura 2).

1) Definição do sistema. Deve-se delimitar com precisão o objetivo do estudo, as fronteiras do sistema e a base referencial ou unidade funcional.

- Objetivo da avaliação: a definição do objetivo de uma ACV deve especificar por que e como o estudo está sendo realizado e quais serão as aplicações dos resultados obtidos (BAUMANN; TILLMAN, 2004). Quando realizado de forma clara e consistente com a aplicação do estudo, a definição de objetivos auxilia na especificação de informações necessárias às etapas posteriores, como na fase de coleta de dados, e na obtenção de resultados mais confiáveis e precisos. Pode-se comparar produtos com um mesmo uso, mas constituídos de materiais e processos diferentes, ou comparar processos distintos para a obtenção de produtos (ou serviços) com uma mesma função.

- Fronteiras do sistema: especificam sobre quais etapas do ciclo de vida será realizada a análise; do berço (extração de matérias-primas), até o túmulo (eliminação do produto), passando pela produção, distribuição, utilização e reparação eventual, ou seja, a produção, a utilização e a eliminação. O estudo pode considerar todas as etapas ou etapas isoladas.

O conhecimento das diversas etapas do ciclo de vida de uma edificação pode auxiliar na delimitação do sistema. Podem ser citados os processos de transformação de energia e materiais: a produção de matérias-primas – necessárias às diversas etapas do ciclo de vida de edificações; a fase construtiva propriamente dita, incluindo desde o transporte de materiais até o acabamento final da estrutura, sendo delimitada, por exemplo, no caso de um edifício residencial ou comercial, pelas entradas e saídas de materiais do canteiro de obras; a fase de uso, a partir da qual as fronteiras do sistema passam a delimitar os domínios público e privado; e as fases de inutilização, renovação ou demolição, decorrentes de inadequações ao uso, ou de limitações impostas pelo tempo de vida útil da construção (EUROPEAN COMMISSION, 1997).

No estudo de elementos construtivos, tais como pisos, coberturas e outros tipos de acabamentos internos, é necessário averiguar as diversas etapas de obtenção e transformação de matérias-primas e confecção do produto final.

- Unidade funcional ou unidade de comparação: ela permite a consideração simultânea da unidade do produto e de sua função (por exemplo, massa de material de embalagem para acondicionar x litros de um líquido; combustível (álcool, gasolina diesel, etc.) necessário para percorrer 100 km, etc.).

No setor da construção civil, a unidade funcional pode ser representada pelo edifício como um todo ou por apenas um recinto ou área de trabalho, analisado em determinado período. Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002), por exemplo, estabelecem um estudo comparativo entre pisos cerâmicos e de mármore, definindo a unidade funcional como sendo 1 m² de piso durante um período de 40 anos.

É importante ressaltar que a escolha de uma unidade funcional, fundamentada no objetivo e escopo do estudo, pode ter um grande impacto nos resultados da ACV e, portanto, deve ser cuidadosa e claramente estabelecida (CHEHEBE, 1997).

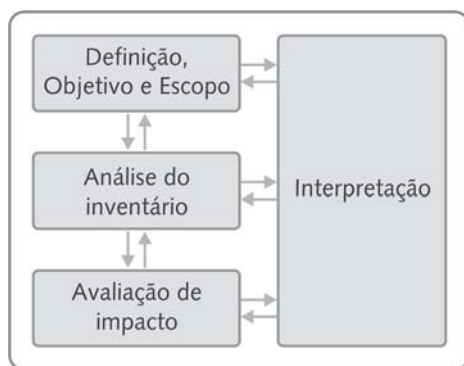


Figura 2 – Procedimento de realização da ACV

Para a realização de análises comparativas entre diferentes edificações através da ACV, é necessário definir e quantificar as características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados. Tais comparações são estabelecidas tendo-se como base uma mesma função, relacionada a determinada unidade funcional e exercida durante determinado período. O Quadro 1 apresenta alguns dos tempos de vida útil para diferentes processos e sistemas estruturais relacionados a sistemas construtivos.

Vida útil média	Processos de construção específicos
1 a 3 anos	Projeto e construção do edifício/obra de engenharia civil
3 a 5 anos	Tempo de manutenção e uso
10 a 15 anos	Tempo médio de uso e renovação parcial
30 a 50 anos	Tempo longo de uso e renovação total
80 a 120 anos	Tempo de vida útil de sistemas estruturais de edificações
Superior a 150 anos	Tempo de vida útil de monumentos

Quadro 1 – Processos de construção civil e respectivos tempos de vida útil
 Fonte: European Commission (1997)

2) Inventário ou balanço de massa-energia. Considerando a unidade funcional adotada, o inventário deve ser preliminarmente estabelecido para assegurar que o fluxo de entrada de matéria encontre uma saída quantificada como unidade funcional, rejeitos e subprodutos. A descrição desse fluxo permite colocar em evidência certos fatores de alterações ambientais (fatores de impacto) como, por exemplo, o consumo de recursos naturais (matérias-primas e energia), os resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) e outras emissões. Essa etapa constitui uma ferramenta indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais.

Segundo Frankl e Rubik (2000), tais inventários possibilitam a identificação de limitações ou relevam a necessidade de mais informações para a avaliação do processo de construção, podendo gerar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo que está sendo realizado.

Ressalta-se a importância da consistência dos dados na fase de inventário para a obtenção de resultados mais precisos, que expressem a realidade de forma confiável.

3) Avaliação de impactos ambientais. Esse procedimento visa agregar os *fatores de impacto* em *categorias de impacto* (ou critérios de avaliação), através de um modelo apropriado, de modo a permitir um estudo comparativo das diferentes

opções. Normalmente, essas categorias estão associadas a impactos locais (toxicidade e ecotoxicidade, etc.), regionais (chuvas ácidas, desertificação, etc.) e globais (efeito estufa, redução da camada de ozônio, etc.).

Atualmente, três grandes tendências apareceram relativamente à avaliação de impactos. A linha européia é a mais avançada, em que existem várias proposições de modelos de avaliação, considerando as especificidades geográficas. CML (Centrum voor Milieukunde, Center for Environmental Science) (DREYER et al., 2003), EDIP (Environmental Design of Industrial Products) (HAUSCHILD; WENZEL; ALTIN, 1998), EPS (Environmental Priority Strategies) (STEEN, 1999), Eco-Indicator 99 (GOEDKOOOP et al., 2000) e o recente método Impact 2002⁺ (JOLLIET et al., 2003) estão entre os métodos mais citados. A linha americana é a coordenada pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) americana e de seu método TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts) (BARE et al., 2003), que propõe um modelo por categorias de impacto (*midpoints*). E, finalmente, a proposta japonesa se concentra sobre um método baseado em conseqüências ambientais (*endpoints*), chamado LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) (ITSUBO; INABA, 2003).

O impacto ambiental da construção civil, e de seus respectivos processos construtivos, pode ser inicialmente avaliado com base em análise de inventários. Esses apresentam uma visão detalhada dos fluxos de entrada e saída de materiais, energia e outras substâncias geradas ou utilizadas durante os processos (sempre que possível) de concepção, utilização e demolição da obra. As informações contidas no inventário são associadas a diferentes categorias de impacto, buscando-se o entendimento das conseqüências ambientais e econômicas envolvidas no processo.

Ao se desenvolver um estudo de ACV para edificações, indicadores devem ser utilizados para a obtenção de um cenário contendo diversos aspectos ambientais. Segundo Citherlet e Hand (2002), a Análise de Impactos do Ciclo de Vida de uma edificação resulta de uma gama de indicadores ambientais, através dos quais é possível obter um perfil ambiental para a compreensão do ciclo de vida do edifício e seus impactos.

Através da ACV de pisos cerâmicos e de mármore, por exemplo, Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002) obtiveram resultados relevantes com relação à comparação da performance ambiental das diversas fases do ciclo de vida dos produtos analisados e à inter-relação entre as fases dos dois sistemas. Algumas das categorias de impactos utilizadas no estudo, tais como aquecimento global, acidificação e toxicidade humana, permitiram a compreensão de problemas ambientais decorrentes de fases específicas dos processos de produção analisados e o estabelecimento de medidas a serem tomadas para a melhoria ambiental dos processos.

4) Definição de uma base de comparação. Essa base será constituída pelos critérios citados anteriormente, um procedimento que permita ponderá-los e um modelo para agregá-los convenientemente. Para tanto, é indispensável recorrer a métodos de avaliação, entre os quais a Análise Multicritério. Nessa etapa, os pesos exprimem a importância relativa de cada critério e o método de agregação permite a transformação das avaliações associadas às categorias de impacto em um indicador de ACV.

5) Estudos de sensibilidade e de incerteza de dados. A confiabilidade do resultado depende, sobretudo, da confiabilidade dos valores atribuídos aos parâmetros. Os dados que são utilizados em ACV podem ser valores médios, estimados ou ainda dados provenientes de um sistema semelhante àquele em estudo. Isso tem por consequência a introdução de numerosas incertezas sobre o valor dos impactos estudados. A análise de sensibilidade, por sua vez, estuda a influência das variações dos dados de entrada. O método será considerado sensível se a variação dos valores iniciais promoverem modificações no resultado.

3 A construção civil e a ACV

A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida, freqüentemente integrada aos processos de tomada de decisões nos setores empresarial e industrial, é reconhecidamente de grande valia para o setor da construção civil. Tal situação decorre dos expressivos impactos ambientais produzidos nas diversas fases do processo cons-

trutivo – desde a fase de extração e fabricação de matérias-primas até a renovação ou demolição da estrutura –, avaliados por meio das repercussões de emissões atmosféricas, consumo de recursos naturais, demandas energéticas e geração de resíduos sólidos e líquidos.

Entretanto, é necessário ressaltar que o desenvolvimento de estudos de ACV em edificações requer algumas alterações devido, entre outros aspectos, às diferenças apresentadas com relação ao ciclo de vida de produtos industriais que envolvem, normalmente, um curto espaço de tempo. Obras de engenharia, ao contrário de produtos com vida útil de semanas ou meses, são, em geral, caracterizadas por uma vida útil que se estende por alguns anos, décadas ou mesmo séculos. Segundo relatório do Diretório Geral para Ciência, Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Européia (1997), a complexidade da análise de edificações consiste não somente na adaptação da análise para esse novo contexto temporal e estrutural, mas também na estruturação das informações coletadas em partes, de forma que possam ser utilizadas para várias ou somente uma única fase do ciclo de vida da edificação em questão.

O princípio utilizado na escolha de um material, em um conjunto de opções que cumprem uma mesma função, pode ser utilizado na concepção de uma edificação composta de vários materiais. Assim, é possível vislumbrar a idéia de que todas as etapas construtivas e gerenciais de uma obra passariam por um processo de ACV, de modo a que se considere a menor repercussão ambiental, associada ao seu ciclo de vida: construção, uso e demolição.

Do ponto de vista prático, o inventário de diferentes fluxos elementares² de materiais utilizados em construção civil estaria disponibilizado em um banco de dados contendo, por exemplo, cimento, pisos, azulejos, pintura, etc. Na seqüência, na elaboração de um serviço, como uma parede, poder-se-ia fazer a simulação a

² Fluxo elementar: material ou energia que entra (ou deixa) o sistema sob estudo, que foi retirado (ou descartado) no meio ambiente, sem transformação humana prévia (ou subsequente) (ABNT, 2001).

partir de diferentes cenários que atendam a uma mesma função. Para uma parede pode-se comparar a sua realização com blocos cerâmicos ou de concreto, com revestimentos de massa corrida ou cal fina, com pintura do tipo 1 ou do tipo 2, etc.

Algumas ferramentas informatizadas disponíveis no mercado, como, por exemplo, Sima-pro (<http://www.simapro.com>), Gabi IV (<http://www.pe-europe.com>), Team (www.ecobalance.com/uk_team.php) e Umberto (<http://www.umberto.de/en/>), podem facilitar a operação. Elas normalmente contêm bancos de dados tão atualizados quanto possível de fluxos elementares de produtos (Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch/>), Buwal (<http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index.html>), Franklin (<http://www.fal.com/>), etc.) e gerenciam modelos de avaliação de impacto. Todos os sistemas citados permitem a incorporação e/ou a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma ACV a partir de dados estocados nos bancos preexistentes ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos a uma situação de interesse.

Estudos realizados em diferentes setores da indústria da construção civil indicam a grande variedade de campos de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações e sistemas e elementos construtivos. Entre eles, pode ser citado o estudo comparativo entre pisos cerâmicos, esmaltados e queimados, e ladrilhos de mármore, realizado por Nicoletti, Notarnicola e Tassili (2002). De forma similar, a ACV também foi aplicada a outros elementos construtivos, tais como janelas, emolduradas em PVC ou outros materiais, tais como alumínio (EUROPEAN COMMISSION, 2004), e em diferentes sistemas estruturais, de madeira, aço ou concreto (BUCHANAN; HONEY, 1994 apud GLOVER, 2001), para os quais o consumo energético e de matéria-prima é analisado juntamente com os impactos ambientais resultantes dos processos de produção desses elementos, componentes ou sistemas.

Peuportier (2001) estabeleceu uma análise comparativa entre três tipos diferentes de residências: casas de referência, construídas em concreto (consideradas padrão na França); casas estruturadas em madeira e pedras, com sistema integrado de aquecimento solar (Observ'ER); e casas de madeira (CNDB).

Objetivando identificar e avaliar os parâmetros de projeto que exercem influência no desempenho ambiental de um edifício, Scheuer et al. (2003) desenvolveram um estudo aplicando a ACV a um dos edifícios pertencentes ao complexo da Universidade de Michigan (EUA). A avaliação do ciclo de vida do edifício da Universidade de Michigan possibilitou uma melhor visualização dos possíveis impactos ambientais resultantes de cada uma das fases do ciclo de vida da edificação e o traçado de possíveis estratégias de melhoria na performance do edifício.

Itoh e Kitagawa (2003) analisaram diferentes técnicas construtivas de pontes no Japão, de forma a promover a redução de problemas resultantes de deficiências no projeto funcional das pontes e de danos decorrentes da vida útil limitada das estruturas. Uma análise de impactos ambientais e de custos mais detalhada, dividida em duas etapas, pôde ser obtida através da ACV. Em uma análise posterior, sistemas estruturais de pontes convencionais foram comparados a uma nova proposta estrutural, a qual utiliza menor número de vigas.

Outro exemplo a ser citado com relação à aplicação da ACV em obras de engenharia de grande porte é o da construção de estradas rodoviárias. Na Finlândia, estudos de ACV, baseados, principalmente, na comparação entre o ciclo de vida de superfícies de concreto e asfalto em rodovias, foram desenvolvidos com dados coletados pelas indústrias de cimento e betume (MROVEH et al., 2001). A avaliação de impactos relacionados ao consumo energético e de materiais e às emissões de poluentes auxiliam em avaliações de custos de soluções estruturais, permitindo a escolha de ações mais adequadas, que promovam a melhoria do ciclo de vida de tais construções (MROVEH et al., 1999).

4 Aplicação da ACV em pisos e tijolos cerâmicos

Entre os estudos ambientais relacionados a materiais de construção é importante ressaltar a pesquisa aplicada a processos produtivos de pisos e tijolos cerâmicos (SOARES; PEREIRA, 2004), fomentada pela Finep dentro do programa Habitare,

no período de 2001 a 2003. Esse estudo considerou empresas representativas (tecnologia/produto) da produção de pisos e de tijolos no estado de Santa Catarina.

Os aspectos considerados no estudo enfatizam, essencialmente, a qualidade ambiental (externalidades), não levando em conta a saúde e a segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto. A estrutura básica estudada foi o processo produtivo (a fábrica) de pisos e tijolos. A extração da argila, principal matéria-prima dos elementos construtivos citados, foi considerada parte integrante do sistema “produção”, tendo em vista a contribuição desse material com mais de 90% (massa) da composição dos produtos e de sua localização, na maior parte dos casos, junto à unidade fabril.

4.1 Definição dos objetivos e escopo

Os limites dos sistemas, definidos neste estudo de ACV, iniciam-se na extração da argila, passando por todas as etapas de produção, até a embalagem e o carregamento das peças para saída da fábrica. No caso da produção de pisos, não foram inventariados os subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como esmaltes e tintas (Figuras 3 e 4).

A unidade de funcional considerada foi 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, devido à inexistência de produção simultânea ao produto de referência (no mesmo setor de análise). Para a produção de pisos cerâmicos, a unidade funcional considerada foi 1 m² de piso, sem rejunte. Por sua vez, para o caso dos tijolos cerâmicos, a unidade funcional considerada foi 1 m² de parede de tijolos, com 1,5 cm de rejunte.

O inventário do processo foi realizado ao longo de um ciclo completo de produção. Ele foi repetido duas vezes para as empresas de tijolos e duas vezes no tocante às emissões sólidas e líquidas para as empresas de pisos.

As empresas selecionadas produzem peças de padrão comercial, de mesma categoria, com as seguintes características:

- 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;
- 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;
- c) a unidade funcional (1 m²) para a empresa A é composta de 5,23 peças e para a empresa B, 5,10 peças;
- d) a empresa C é produtora de tijolos de 6 furos, com dimensões 19,5 cm x 17,0 cm x 12,0 cm, utiliza forno convencional, do tipo garrafão, para queima das peças, e serragem de madeira como combustível;
- e) 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 do tipo túnel, também abastecido com serragem de madeira;
- f) a unidade funcional (1 m² de parede, com tijolos “deitados”) das empresas C e D é composta, respectivamente, de 35,76 e 32,18 tijolos.

Os fluxogramas do processo produtivo das empresas de tijolos e pisos cerâmicos selecionadas são representados respectivamente pelas Figuras 3 e 4 (a linha tracejada delimita a área de avaliação do inventário).

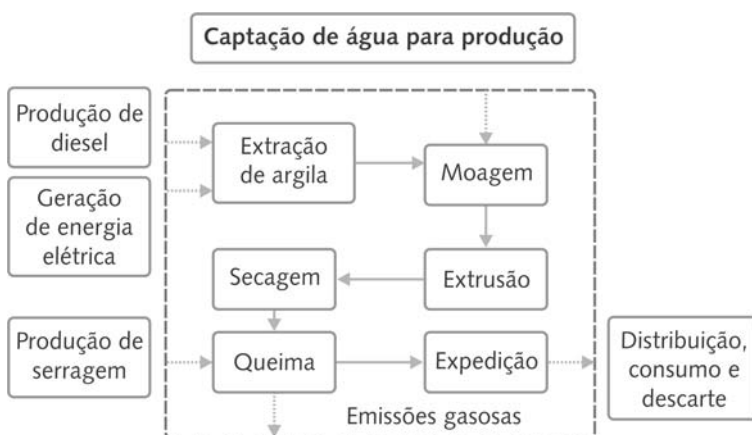


Figura 3 – Fluxograma-tipo da produção de tijolos
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

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 a 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.

O levantamento das emissões de poluentes, devido à queima de diesel, foi realizado com base no consumo total estimado (em litros) e nos dados (valores tabelados) de emissão de poluentes, por litro de combustível queimado.

Preparação da massa e moagem – Pisos e tijolos (consumo de argila, água e defloculante). A preparação da massa e 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, emissões gasosas, geração de cinzas e perdas). A capacidade do atomizador em ton/h, 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 cinza de carvão gerada foram os elementos sólidos e líquidos utilizados no inventário do processo de atomização. Essas avaliações dependeram de pesagens e análises granulométricas (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 de operação da fornalha.

Prensagem e secagem – Pisos e tijolos (perdas de massa). Por meio de pesagens antes e depois da prensa e do secador, foi determinado o percentual de perdas

nas etapas de prensagem e secagem das peças. As perdas foram levantadas a partir do acompanhamento da produção de determinado lote de peças, contabilizando-se aquelas que apresentavam defeitos e calculando sua proporção com relação ao total produzido.

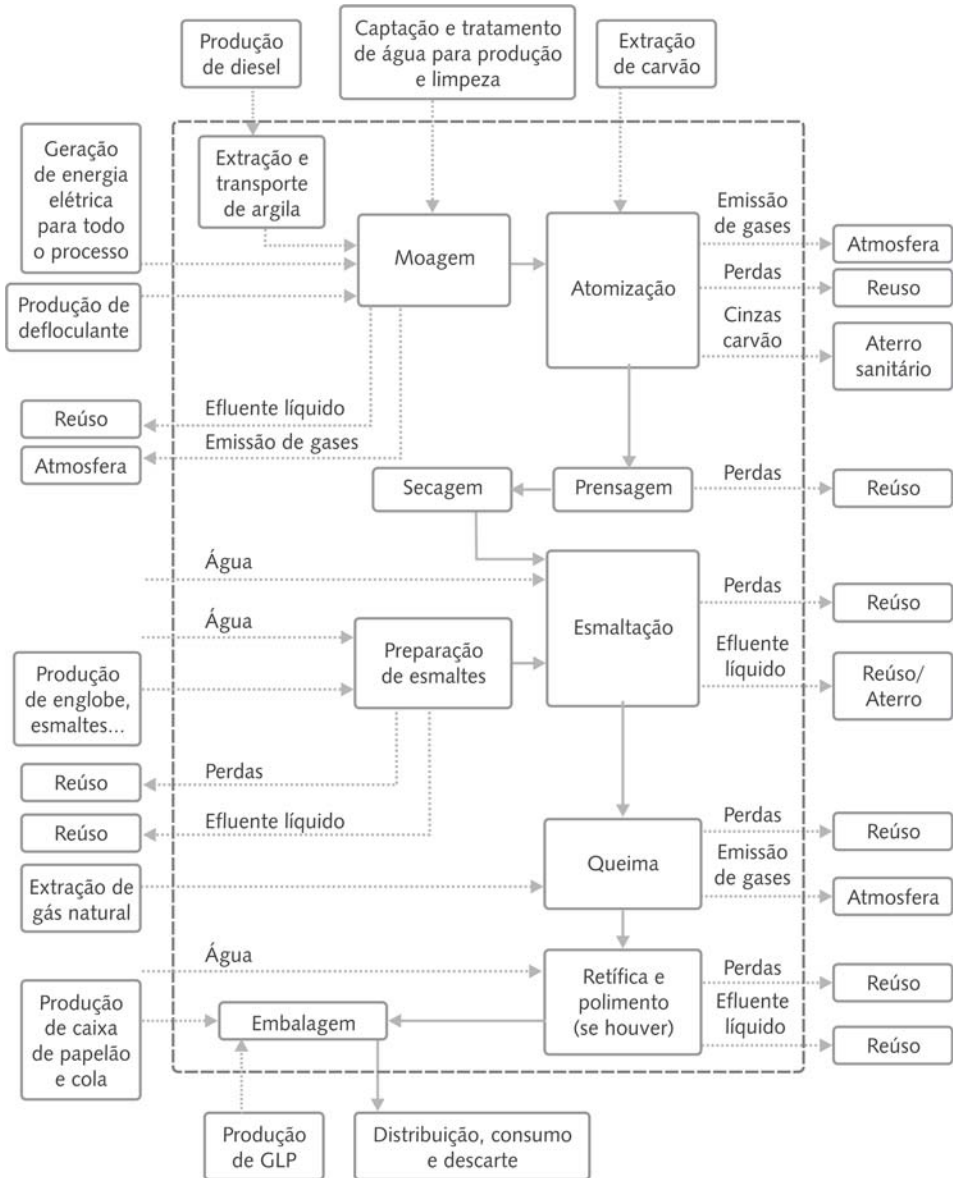


Figura 4 – Fluxograma-tipo da produção de pisos cerâmicos
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

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 ser desprendidas.

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

A madeira e, conseqüentemente, as serragens apresentam em sua composição elementar uma pequena quantidade de enxofre (S). Porém, vistas as afirmações feitas por Jenkins (1990) e Vlássov (1998), foram desconsideradas na pesquisa as emissões de SO_x durante a queima da serragem.

Retífica e polimento – Piso (consumo de água e de pedras abrasivas). Esse processo consiste no reparo de 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 dessa 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 resultantes.

Embalagem – Pisos (consumo de embalagens e cola). A embalagem utilizada (caixa de papelão) foi pesada antes e depois de passar pela máquina seladeira, podendo-se, dessa forma, avaliar a quantidade de cola utilizada para o fechamento de cada caixa. No caso dos tijolos, em que não há a utilização de 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 desse combustível, tendo-se informações a respeito 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), e 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. Esse 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 um tempo relativamente curto, o que gera grande quantidade de resíduos.

Para as 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, retiradas durante a limpeza dos fornos, o pó de varrição e os cacos de peças quebradas ou moídas (chamote) são utilizados como aterro.

4.2 Resultados do inventário

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 6 e 7 (pisos cerâmicos). A Figura 5, por sua vez, exemplifica a quantificação das perdas, para cada etapa do processo produtivo de pisos, de uma das empresas. O mesmo procedimento foi realizado para todas as empresas. Pereira (2004) faz considerações e discussões complementares a esses dados.

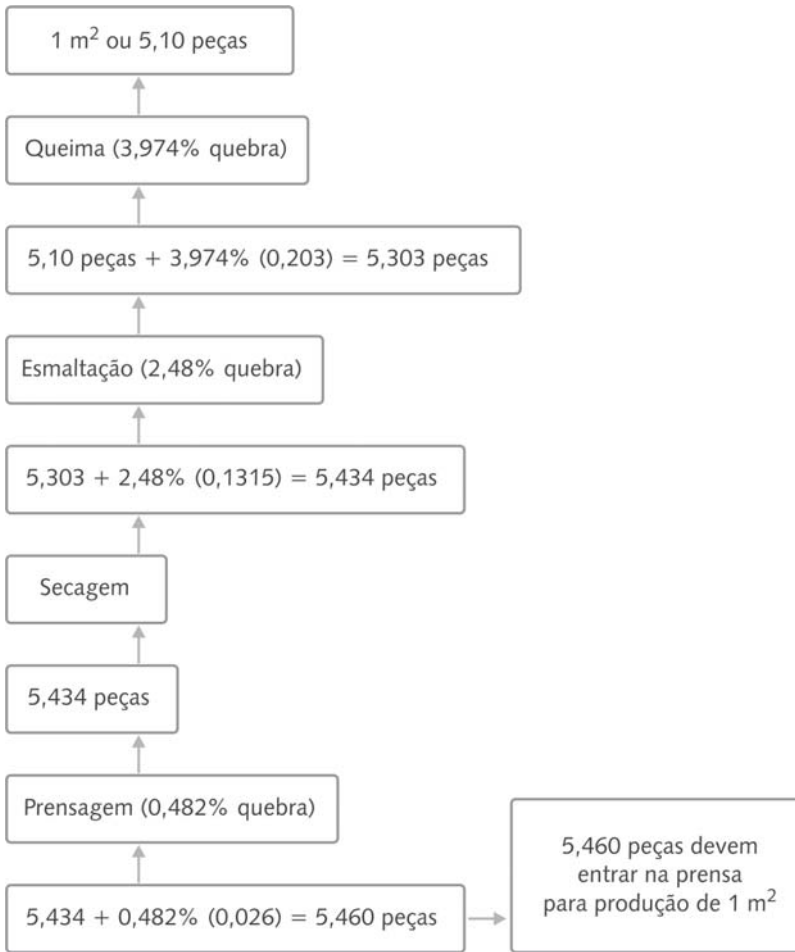


Figura 5 – Avaliação de perdas para a empresa B

Os efluentes líquidos em ambas as empresas retornam, para serem utilizados na lavagem de pisos ou no processamento 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 complementar” limpa.

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	34,268 kg	Peças (5,23) - 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 de papelão	0,65 unid. ou 142,962 g	SO _x	0,046 kg
Cola	1,143 g	Fluoretos (F)	2,740 g
Pedras abrasivas	0,34 unid. 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 I – Empresa A: produção de 1 m² de piso cerâmico
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	25,35 kg	Peças (5,10) - 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	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 de 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: produção de 1 m² de piso cerâmico
Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	130,26 kg	Peças (35,76) - 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 _x	0,022 kg
		Cinza do carvão	0,370 kg
		Perdas (quebra)	1,190 kg

Tabela 3 – Empresa C: produção de 1 m² de parede de tijolo (35,76 tijolos)
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m ²	Item	Quantidade/m ²
Argila	129,69 kg	Peças (35,76) - 1 m ²	97,67 kg
Água	-	Vapor d'água	50,11 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 _x	0,011 kg
		Cinza do carvão	0,250 kg
		Perdas (quebra)	1,940 kg

Tabela 4 – Empresa D: produção de 1 m² de parede de tijolo (32,18 tijolos)
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Observa-se que a diferença existente no balanço de entradas e saídas pode ser atribuída ao oxigênio do ar. Entretanto, essa quantificação não é apresentada no inventário de entrada devido à dificuldade operacional de medição (tomadas parasitas de ar).

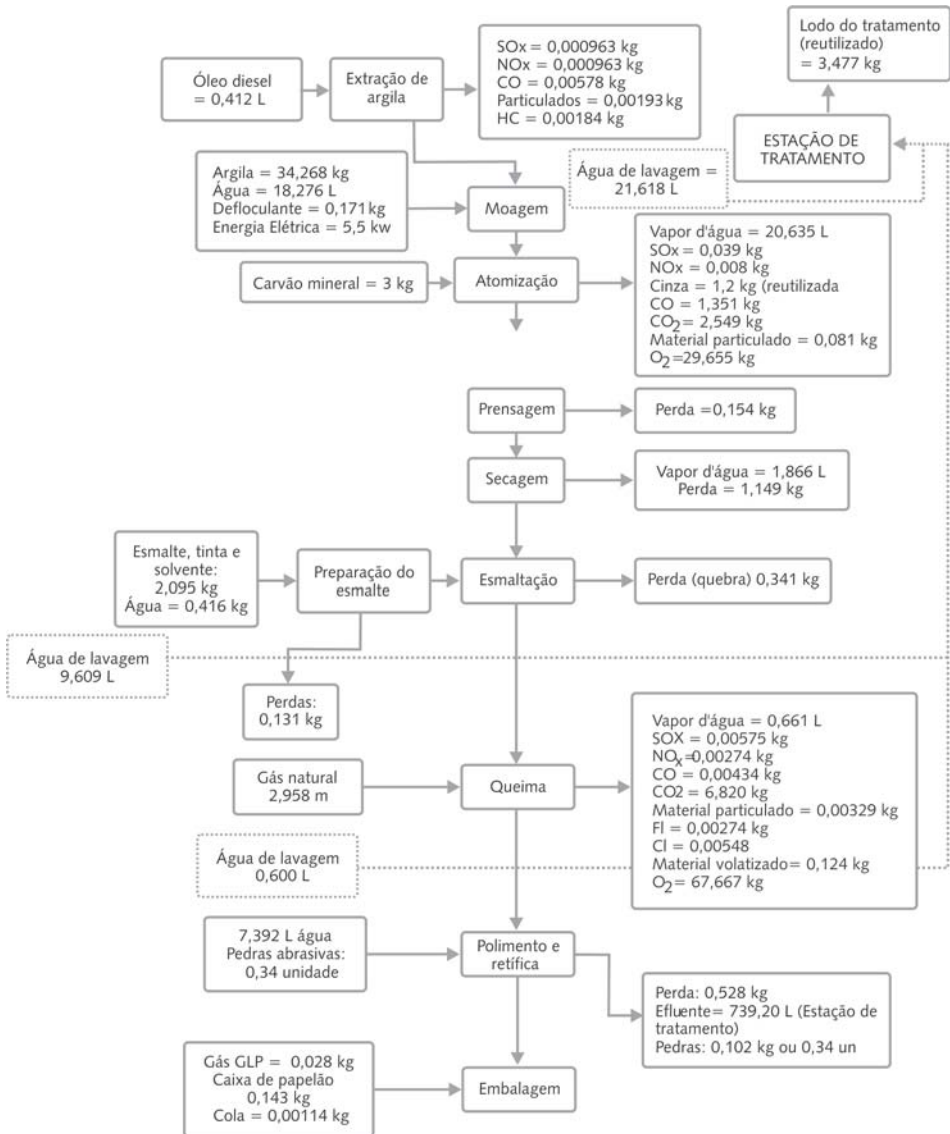


Figura 6 – Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (empresa A)
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

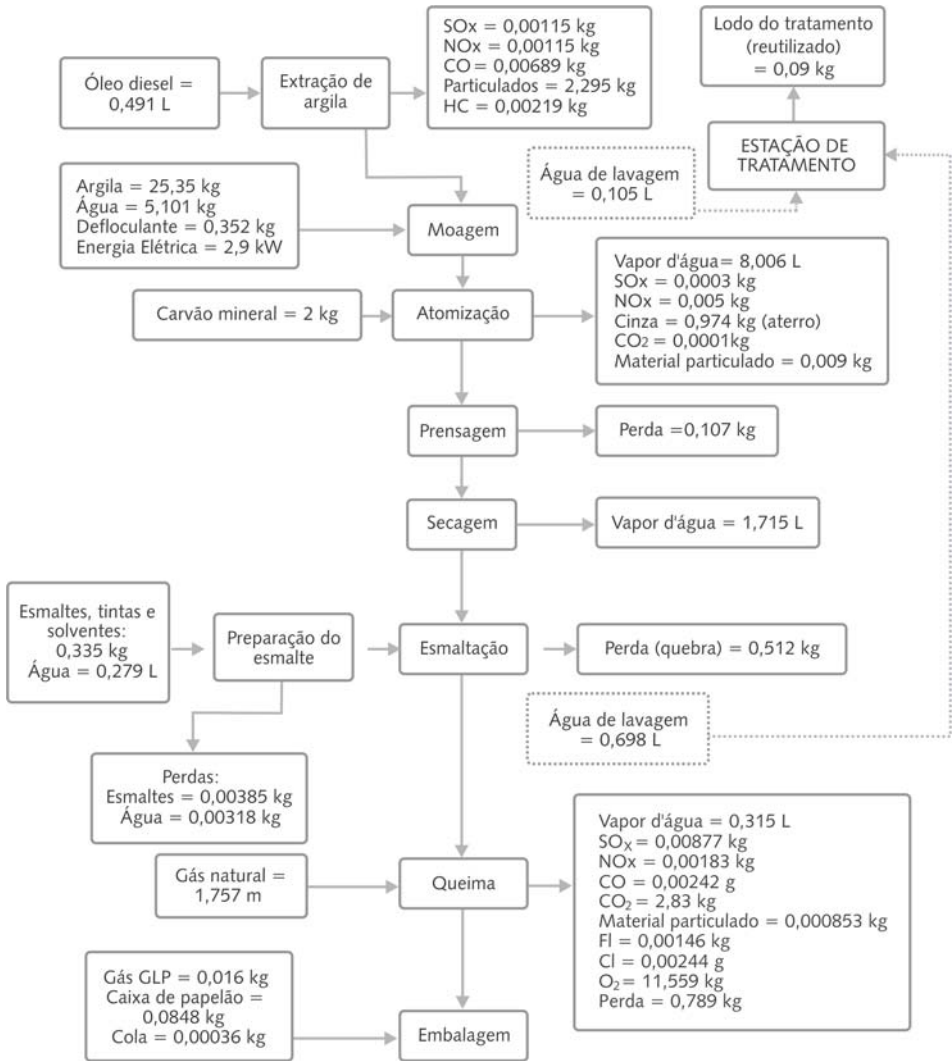


Figura 7 – Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (empresa B)
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

4.3 Avaliação de impactos

Os resultados obtidos devem ser considerados em relação à unidade funcional, permitindo-se ressaltar o desempenho ambiental dos produtos. Assim, no caso dos pisos, além de desempenharem uma mesma função, os produtos analisados são enquadrados na mesma classe comercial (A). Nesses termos, destaca-se o grande

consumo de água da empresa A, nas etapas de polimento das peças, embora a água consumida nessa etapa integre um sistema de reaproveitamento, lavagem dos moinhos e preparação da massa.

Pereira (2004) faz considerações complementares sobre as repercussões ambientais dos dados relativos à indústria de pisos cerâmicos. As categorias de impacto selecionadas seguem a proposição do modelo TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts): consumo de matéria-prima (argila); uso de água; esgotamento das reservas de combustíveis fósseis (óleo diesel, gás natural e carvão mineral); degradação de áreas pela disposição de resíduos; aquecimento global (CO e CO₂); e acidificação e prejuízo à saúde humana (NO₂ e SO₂). Os resultados estão resumidos na Figura 8. A avaliação prosseguiu ainda com as etapas de ponderação das categorias de impacto e de agregação delas (método TOPSIS ou Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), sob a forma de um indicador único. Essas últimas fases envolvem julgamento de valores, sendo os resultados associados a tais preferências. Assim, com base nas condições estabelecidas na formulação do problema (etapa do ciclo de vida), nas empresas consideradas, na família de critérios, nos pesos atribuídos e no modelo de agregação, pode-se sugerir que a unidade funcional oriunda da empresa B apresenta melhor desempenho ambiental.

No tocante à produção de tijolos, a empresa D (Tabela 4) utiliza, em média, menor quantidade de insumos, apresentando, no entanto, um consumo de energia elétrica bem superior ao da empresa C, devido, principalmente, à sua melhor condição tecnológica (utilização de processos automatizados). O procedimento de avaliação de impactos pode seguir a mesma seqüência apresentada para o caso dos pisos cerâmicos.

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 esse último, deve-se ressaltar que em um processo produtivo existem consumos (e mesmo resíduos) fixos, independentemente da quantidade produzida. Nesses casos, grandes produções podem “reduzir” os valores específicos à unidade funcional.

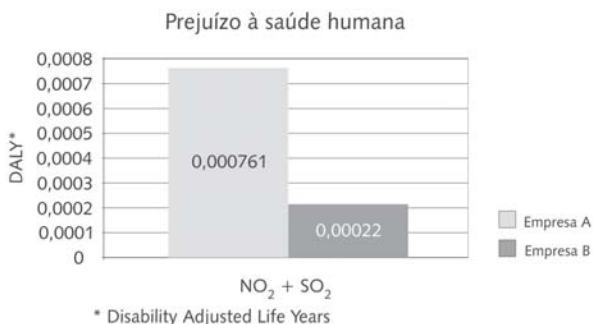
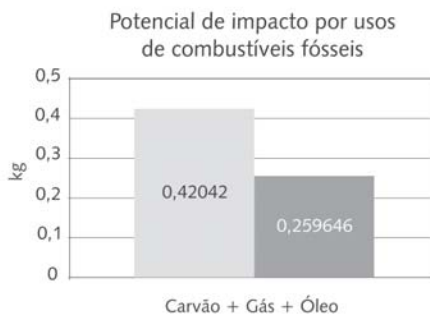
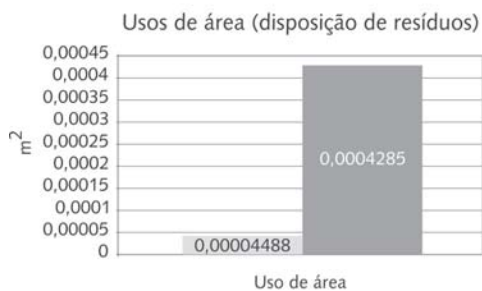
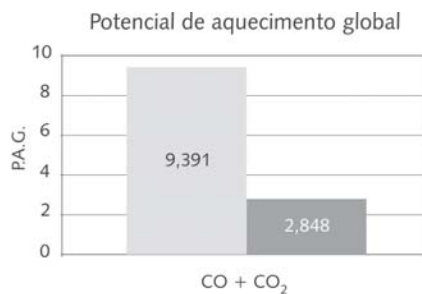
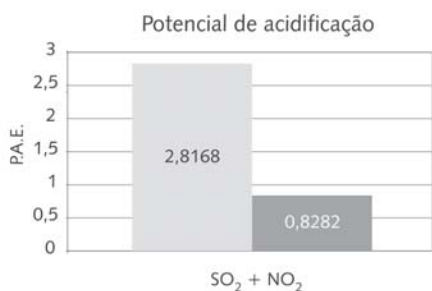


Figura 8 – Categorias de impacto ambiental para avaliação da produção de pisos cerâmicos
Fonte: Pereira (2004)

A avaliação para cada um dos grupos de produtos, nesse caso, é facilitada, visto se tratar 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 em sua magnitude. Por outro lado, a análise ambiental será mais delicada quando se tratar de materiais diferentes que realizam a mesma função. Dois exemplos a serem citados são a comparação de blocos de concreto/argamassa com blocos cerâmicos e a comparação de pisos cerâmicos com pisos de madeira. Nesses casos, os inventários estarão associados a diferentes tipos de impactos e amplitudes.

5 Considerações finais

A Avaliação do Ciclo de Vida está sendo cada vez mais integrada aos processos de tomadas de decisões em empresas. Ela tem revelado sua importância na quantificação de impactos ambientais e na avaliação das melhorias do ciclo de vida de processos, produtos e atividades. Utilizada na avaliação de impactos potenciais e de aspectos ambientais associados a um produto ou serviço, constitui um instrumento de grande proveito nas decisões internas, seleção de indicadores ambientais e planejamento estratégico para obtenção de maiores retornos econômicos e ambientais (CHEHEBE, 1997).

Entretanto, a aplicação da ACV para a avaliação de impactos ambientais associados à construção civil apresenta algumas limitações, especialmente quando comparada à sua utilização no meio industrial. Primeiramente, é importante ressaltar a dificuldade em obtenção de informações e bases de dados confiáveis e completos para os materiais utilizados no setor da construção civil. Scheuer et al. (2003) citam a dificuldade em se obter informações quantitativas a respeito de impactos ambientais gerados, por exemplo, durante as fases de construção e demolição. Tais barreiras existem, principalmente, devido à grande variedade e composição química de materiais utilizados na indústria da construção civil e na própria dinâmica de alteração e renovação, à qual estão sujeitos os espaços arquitetônicos e o meio ambiente urbano.

O uso da ACV para a análise de ambientes internos visando melhorias na saúde e conforto ocupacional é ainda mais reduzido devido à falta de conhecimento com relação à sua aplicação nesses ambientes e à falta de correlação entre os avanços tecnológicos e estratégicos na análise de áreas externas e internas. Comparações entre a ACV e métodos tais como a Avaliação de Emissão de Materiais e a Avaliação de Ambientes Internos foram realizadas de forma a considerar a viabilidade de aplicação da primeira ferramenta no enfoque de aspectos ambientais ocupacionais (JÖNSSON, 2000). Os resultados apontaram algumas limitações no uso da ACV, tais como a dificuldade de alocação de diferentes efeitos às suas respectivas fontes – com relação a emissões de poluentes – e a impossibilidade de inclusão de dados que não sejam representativos ou que não possam ser previstos e quantificados.

Apesar das limitações averiguadas, sua aplicação na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos possibilita uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais, e muitas vezes econômicas, nas diversas etapas do ciclo de vida do sistema considerado.

6 Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14041. Avaliação do Ciclo de Vida: Definição de objetivo e escopo e análise do inventário.** Rio de Janeiro, 2004a. 21 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14042. **Avaliação do Ciclo de Vida: Avaliação do impacto do ciclo de vida.** Rio de Janeiro, 2004b. 17 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 14043. **Avaliação do Ciclo de Vida: Interpretação do ciclo de vida.** Rio de Janeiro, 2005. 19 p.

BARE, J.; NORRIS, G.; PENNINGTON, D.; MCKONE, T. Traci, the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impact. **J. Ind Ecology**, v.6, n. 3-4, p. 49-78, 2003.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. **The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application**. Lund: Studentlitteratur, 2004. 543 p.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997. 120 p.

CITHERLET, S.; HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and Environment**, n. 37, p. 845-856, 2002.

DREYER, L.; NIEMAN A. L.; HAUSCHILD, M. **Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Does it matter which one you choose?** **Int. J. LCA**, v. 8, n. 4, p. 191-200, 2003.

EUROPEAN COMMISSION. Directorate General XII for Science, Research and Development. **Environmental impact of buildings: application of the life cycle analysis to buildings**. Paris: Center for Energy Studies, 1997. 145 p. Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/html/11.html>>. Acesso em: 17 mar. 2005.

EUROPEAN COMMISSION. **Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials**, 2004. Disponível em: <http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final_report_lca.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2005.

FRANKL, P.; RUBIK, F. **Life Cycle Assessment in Industry and Business: adoption of patterns, applications and implications**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 280 p.

GLOVER, J. **A comparison of assessments on three building materials in the housing sector**. 2001. Tese (Doutorado) - University of Sidney, Sidney, 2001. Disponível em: <<http://www.boralgreen.shares.green.net.au/research3/contents.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2005.

GOEDKOOP, M.; EFFTING, S.; COLLIGNON, M. **The eco-indicator 99: a damage orientated method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers.** Second edition 17-4-2000. Amerfoort, The Netherlands: PreConsultants B.V., 2000.

HAUSCHILD, M.; WENZEL, H.; ALTIN, L. **Environmental Assessment of Products.** Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997.

ISO. TR 14049. **Technical report: analyse du cycle de vie: exemples d'application de l'ISO 14040 traitant de la définition de l'objectif et du champ d'étude de l'inventaire.** Genebra, Suíça, 2000. 45 p.

ISO. TS 14048. **Technical specification – LCA: data documentation format.** Genebra, Suíça, 2002. 40 p.

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

ITOH, Y.; KITAGAWA, T. Using CO₂ emission quantities in bridge life cycle analysis. **Engineering Structures**, n. 25, p. 565-577, 2003.

ITSUBO, N., INABA, A. A new LCIA method: LIME has been completed. **Int. J. LCA**, v. 8, n. 5, p. 305, 2003.

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 Proceedings.** New Delhi: Punjab Agricultural University, 1990.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J. Impact 2002+: a new Life cycle impact assessment methodology. **Int. J. LCA**, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.

JÖNSSON, A. Is it feasible to address indoor climate issues in LCA? **Environmental Impact Assessment Review**, n. 20, p. 241-259, 2000.

MROVEH, U. M. et al. **Life cycle assessment of road construction**. Helsinki: Finnish National Road Administration, 1999. 59 p.

MROVEH, Ulla-Maija; ESKOLA, Paula; LAINE-YLIJOKI, Jutta. Life cycle impacts of the use of industrial by products in road and earth construction. **Waste Management**, n. 21, p. 271-277, 2001.

NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELI, 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 construtivos 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.

PEUPORTIER, B. L. P. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. **Energy and Buildings**, Paris, n. 33, p. 443-450, 2001.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environment performance of a new university building: modelling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, n. 35, p. 1049-1064, 2003.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83-94, abr./jun. 2004.

STEEN B. **A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS)**. Version 2000. Göteborg, Se: Chalmers Univ. of Technology. CPM Report 1999:5.

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