

ENERGIA INCORPORADA E EMISSÃO DE CO₂: ANÁLISE MÓDULOS EXPERIMENTAIS DO IVIG, UFRJ.

Lourdes Zunino Rosa e Sylvia Rola*

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento exponencial de áreas urbanas, a racionalização do uso de energia e insumos associada à redução da emissão de gases de efeito estufa de materiais de construção passa a ter papel relevante nas contribuições para busca de equilíbrio ambiental, econômico e social. Conforme os “Cenários de Emissões” (IPCC 2000), o dióxido de carbono (CO₂) é o gás com maior contribuição antropogênica forçando a atmosfera. Atualmente as fontes principais são a combustão de energia fóssil e mudanças de solo, como queima de florestas, seguidos em menor extensão pelas atividades industriais, particularmente pela produção de cimento. No entanto técnicos do IPCC avaliam que no futuro as emissões vão depender essencialmente do consumo total de energia e estrutura de seu suprimento, fatores relacionados ao tamanho da população, mas também ao desenvolvimento tecnológico, entre outros fatores.

Este artigo levanta dados relativos à energia consumida e emissões na produção de materiais de construção em estudo de caso e pretende contribuir nesta na questão.

No âmbito projeto “Sustentabilidade Ambiental Urbana” vinculado ao PPE- Programa de Planejamento Energético, módulos experimentais foram construídos no campus da UFRJ junto às instalações do IVIG (Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais) na ilha do Fundão, Rio de Janeiro. Trata-se de duas construções, usadas atualmente como sala de pesquisa com 25m² cada uma (figuras 1 à 3). Um módulo foi construído de maneira convencional com paredes em tijolos cerâmicos emboçados e pintados de branco e o outro com paredes de solo cimento e acabamento em verniz. Pelo fato de não gerar emissões nocivas por dispensar a queima, como acontece com a alvenaria convencional, o tijolo de solo cimento vem sendo citado como material de construção mais sustentável. No entanto algumas olarias brasileiras têm usado restos de produção como a serragem, ao invés de carvão para queima da cerâmica, o que em princípio anula a emissão da queima. Visto que o cimento e a cal estão entre os materiais de construção que mais emitem gases de efeito estufa e o tijolo cerâmico não leva cimento em sua composição, questiona-se os parâmetros de sustentabilidade destes fechamentos.



Figuras 1 e 2. Vistas externa e interna do módulo em solo cimento. **Figura 3.** Módulo convencional. Fotos março de 2012.

Quanta energia é gasta na extração de matéria prima, na fabricação dos materiais, quanto é gasto para construção considerando perdas no canteiro de obra, manutenção e obtenção de conforto? Qual estimativa de vida útil e quanto destes materiais voltam para cadeia produtiva? Qual a emissão de dióxido de carbono durante todo processo?

Com materiais e sistemas de construção usuais como alvenaria de tijolos cerâmicos e laje de concreto, as repostas foram parcialmente encontradas na revisão bibliográfica de artigos e teses sobre o tema, e nos cálculos aplicados ao estudo de caso. O foco do levantamento bibliográfico foram pesquisas brasileiras devido às características energéticas do país e da relação entre o tipo de energia utilizada na fabricação dos produtos com a emissão de gases de efeito estufa, no entanto artigos internacionais foram consultados por estarem relacionados aos temas abordados.

Esta pesquisa aborda os seguintes temas: Análise de Ciclo de Vida (ACV), Energia Incorporada (EI), e emissão de CO₂ de materiais de construção, especificamente nos aspectos relacionados a impactos ambientais e sustentabilidade dos fechamentos em alvenaria de com bloco cerâmico e com solo cimento.

Os cálculos comparativos de desempenho ambiental iniciaram-se com simulações aplicadas em ferramentas matemáticas como o BEES, SimaPro e Humberto, com resultados limitados pelo uso de programas demonstrativos. Após visita a fábricas dos dois sistemas de fechamento – cerâmica e solo cimento e análise dos dados coletados, passou-se ao calculo de EI e emissões de CO₂, utilizando-se a metodologia do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change / Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*).

Os resultados apontam que os impactos variam conforme a fase do ciclo de vida do material analisado.

2. ANÁLISE CICLO DE VIDA - ACV

No Brasil várias pesquisas sobre ACV já estão disponíveis. Na lista abaixo foram selecionados trabalhos relativos à construção civil, do site sobre ACV do IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, onde fontes e links para aprofundar a pesquisa podem ser encontrados ¹.

- Contribuição à Metodologia de Avaliação das Emissões de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida das Fachadas de Edifícios de Escritórios (BESSA, V. M. T, 2010)
- Análise Ambiental da Viabilidade de Seleção de Produtos da Construção Civil Através da ACV e do Software BEES 3.0 (OLIVEIRA, 2007)
- Softwares De Análise Do Ciclo De Vida: Uma Contribuição À Difusão da Ferramenta no Brasil (TATEYAMA, R.T., 2007)

¹ Ver <http://acv.ibict.br/publicacoes/teses> - consulta atualizada em julho de 2012.

- Impactos Ambientais Causados pela Indústria de Cerâmica Vermelha do Rio Grande Do Sul (MANFREDINI, C., 2003)
- Diretrizes Para A Sustentabilidade Ambiental Em Empreendimentos Habitacionais (NASCIMENTO, R., 2003)
- Análise de Ciclo de Vida Aplicada ao Processo de Cerâmica tendo como Insumo Energético Capim Elefante (SEYE, 2003)
- Comparação entre Cimentos Portland com Adição de Resíduos (CARVALHO, 2002)
- Comparação entre os Processos de Produção de Blocos Cerâmicos e de Concreto para Alvenaria Estrutural através da Análise do Ciclo de Vida (MASTELA, D.V., 2002)
- Diretrizes De Gestão Ambiental Na Indústria Da Construção Civil De Edificações. (KLEIN, S.E., 2002)
- Tecnologias de Produção Mais Limpas e Análise de Ciclo de Vida na Indústria da Construção Civil - Estudos de Casos (SANTOS, 2000)

Um exemplo da aplicação da ACV para tijolos cerâmicos foi desenvolvido (SOARES, SOUZA e PEREIRA, 2006) com fomento da Finep dentro do programa Habitare entre 2001 a 2003. Esse estudo considerou quatro empresas representativas (tecnologia/produto) da produção de pisos e de tijolos de Santa Catarina. Analisou-se como estrutura básica o processo produtivo (a fábrica) de pisos e tijolos. A extração da argila, principal matéria-prima dos elementos construtivos, foi considerada parte integrante do sistema “produção”, já que o material contribui com mais de 90% (massa) da composição dos produtos e de sua localização, junto à unidade fabril, na maioria dos casos.

Definiram-se os limites dos sistemas, com início na extração da argila, passando por todas as etapas de produção, até o carregamento das peças para a saída da fábrica. Na produção de pisos, não entraram na análise os subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como esmaltes e tintas.

Depois de passar por todo o processo produtivo (extração e transporte de argila, preparação da massa e moagem, atomização, prensagem e secagem, preparação do esmalte e esmaltação, queima, retífica e polimento, embalagem, transporte interno/empilhamento e carregamento de caixas, lavagem de equipamentos e piso, geração de resíduos sólidos) - o resultado sugere que uma das empresas apresenta o melhor desempenho ambiental. As comparações são feitas conforme as categorias de impactos selecionadas: 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 são ponderados e agrupados sob a forma de indicador único (no caso aplicando o método TOPSIS ou Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

Assim uma empresa que utiliza menor quantidade de insumos, pode ter consumo de energia maior ou emitir mais poluentes no seu processo, destacando-se a importância da aplicação dos métodos comparativos já normatizados.

Na aplicação da ACV para o piso e tijolo cerâmico, a avaliação para cada um dos grupos de produtos foi facilitada por serem matérias primas equivalentes e com mesmos princípios produtivos na confecção de materiais similares. Em se tratando da questão ambiental, os tipos de impactos ambientais são os mesmos, diferindo apenas em sua magnitude. Uma questão que dificulta o resultado da análise se dá quando os materiais forem diferentes e exercerem a mesma função, como blocos de concreto x blocos cerâmicos e pisos cerâmicos x pisos de madeira. As análises são complexas, demoradas, em geral caras e ainda pouco divulgadas.

Já o estudo “Análise Ambiental da Viabilidade de Seleção de Produtos da Construção Civil Através da ACV e do Software BEES 3.0”, buscou verificar a possibilidade de gerar dados confiáveis sobre os impactos causados durante o ciclo de vida das estruturas de concreto armado e comparar os resultados com os gerados pelo software BEES 3.0, verificando a validade de suas premissas para a realidade brasileira. Os resultados indicam que softwares como o BEES podem ser importantes para a análise de impactos ambientais, mas necessitam ser adaptados para a realidade brasileira. A análise de três tipos de concreto, com e sem adições, usando as premissas do programa, evidencia que é possível projetar materiais de construção com menor impacto ambiental.²

Além do trabalho citado sobre ACV do IBICT, na USP o mestrado de engenharia química iniciou pesquisas em 1997 para estudar usos e aplicações da ACV e estabelecer banco de dados nacional. Em varias universidades federais existem grupos de pesquisa e teses sendo produzidas sobre o assunto em áreas como energia, construção civil, agricultura, políticas publicas.

Como exemplo, na Universidade Federal de Santa Catarina, a produção está distribuída pela Engenharia Ambiental e Engenharia Civil. Um dos trabalhos faz uma abordagem sobre o PVC, especificamente a decisão do Grupo Amanco, de voluntariamente substituir no Brasil, o estabilizante à base de chumbo e a estratégia utilizada para influenciar a cadeia produtiva do PVC brasileiro (ZIMMERMANN, 2004). Já a dissertação de Mastella (2002) faz uma comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural através da Análise do Ciclo de Vida.³

Ao contrário desta pesquisa, o trabalho conclui que o bloco com concreto é mais compatível com o meio ambiente na fase de produção, no entanto chama atenção que o resultado só considera a produção, devendo-se levar em conta todas as etapas do ciclo de vida dos materiais, o que corrobora-se com veemência para evitar rótulos de marketing verde não fundamentados.

No levantamento sobre a informação acima da existência de banco de dados, chegou-se a indicação que está sendo desenvolvido pela Associação Brasileira de Ciclo de Vida – ABCV que no entanto, não respondeu as mensagens solicitando informação.

² Este texto foi atualizado a partir do documento Teorias e Praticas em Construção Sustentável organizado por esta pesquisadora em 2010 e disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeConteudo?article-id=373573>

³ Lima, Kiperstock, Pires (2007) Avaliação do ciclo de vida no meio acadêmico brasileiro. Artigo apresentado no 1 Simposio Nordeste de Saneamento Ambiental. Disponível em http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art29.pdf Acesso em 27.06.2012

A ABCV⁴ é uma sociedade civil, de âmbito nacional e sem fins lucrativos, fundada 2002 e atua junto às empresas e instituições acadêmicas de ensino e pesquisa, órgãos governamentais e sociedade organizada - e tem por finalidade viabilizar a difusão e a consolidação da Gestão do Ciclo de Vida. Dentre os eventos que promoveu estão iniciativas pioneiras como:

- CILCA 2007 – Conferência Internacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida (São Paulo, fevereiro/março de 2007).
- I CBGCV – Primeiro Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida (Curitiba, setembro de 2008).

Outras versões destes eventos têm acontecido regularmente. Aos poucos forma-se a massa crítica necessária para o desenvolvimento do tema.

Pesquisa de Castell et al (2013) sobre ACV aplicada em construções de módulos, como estudo de caso na Espanha, levanta que devido a complexidade da análise e dificuldades da aplicação de certificações energéticas em edificações, é preciso simplificar critérios para aplicação da ACV. Os autores ressaltam pesquisas de ACV feitas para o setor de construção civil, destacando a importância da avaliação da performance ambiental e consequente seleção correta de materiais de isolamento na economia de energia ou qual o momento do ciclo de vida de maior consumo e/ou emissão de uma determinada edificação. Outra pesquisa citada, compara diversas edificações na China destacando os sistemas e materiais de construção mais impactantes, evidenciando a importância deste tipo de análise.

Já Thomas Ng, Yuan Chen e James Wong (2013) afirmam que é necessário estabelecer critérios para avaliação de performance ambiental, já que pesquisas com este tipo de ferramenta têm foco na etapa de produção, sem considerar o todo o ciclo de vida das construções.

3. SIMULAÇÕES

Uma simulação inicial foi feita com o demonstrativo do software **BEES**⁵ para análise de ciclo de vida de tijolo cerâmico usado tradicionalmente na construção civil brasileira. Considerou-se no estudo de caso, fábricas na região produtora de cerâmica em Itaboraí, RJ.

O BEES - *Building for Environmental and Economic Sustainability*, foi desenvolvido pelo NIST - *National Institute of Standards and Technology/Green Building Program* dos EUA, com o objetivo de criar metodologia para a seleção de materiais construtivos que possuam um balanço apropriado entre desempenho *econômico e ambiental*.⁶

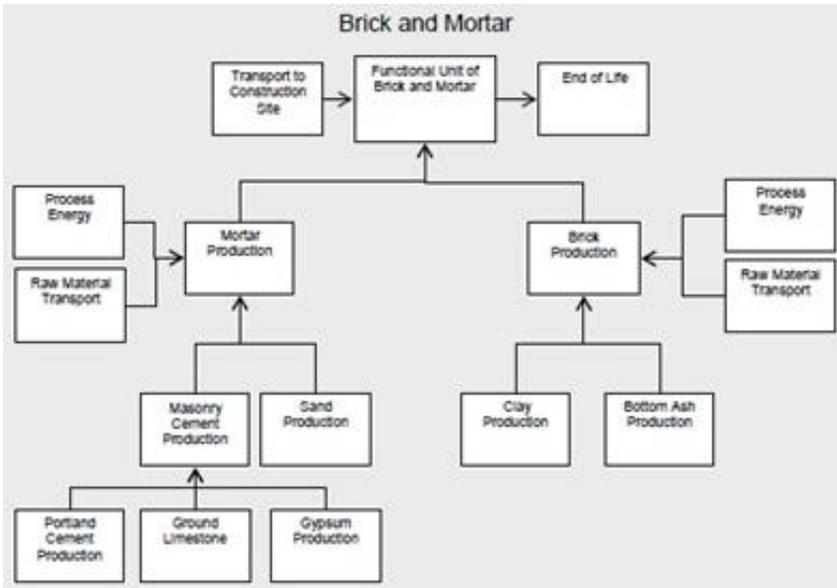
Constatou-se que a análise ambiental emitida se baseia na energia consumida na produção (dado pelo programa, portanto não necessariamente conforme produção brasileira) e na energia consumida no transporte fabrica /obra, considerando dados inseridos pelo usuário. A argila

⁴ <http://abcvbrasil.org.br/index.php/quem-somos>

⁵ Site: <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>

⁶ http://www.gae.fau.ufrj.br/arq_pdf/dissert/disserta%E7%E3o%20Rosangela%20Fulche.pdf

utilizada no processo é extraída nas proximidades, cerca de 15 km. O programa contabiliza como matéria prima além da argila, a cinza industrial. As três fábricas de Itaboraí que responderam a pesquisa, afirmaram que só usam argila e água. A energia indicada no programa para fabricação é o gás natural e a energia da rede com composição diferente da rede brasileira.



Importante notar que na simulação o tijolo cerâmico é analisado com sua argamassa de assentamento ou com acabamento aparente, como nos blocos estruturais que não necessitam de argamassa de acabamento. O resultado de emissões por unidade vai refletir as emissões do cimento utilizado na argamassa.

Figura 4. Programa BEES - *Brick and Mortar System Boudaries*

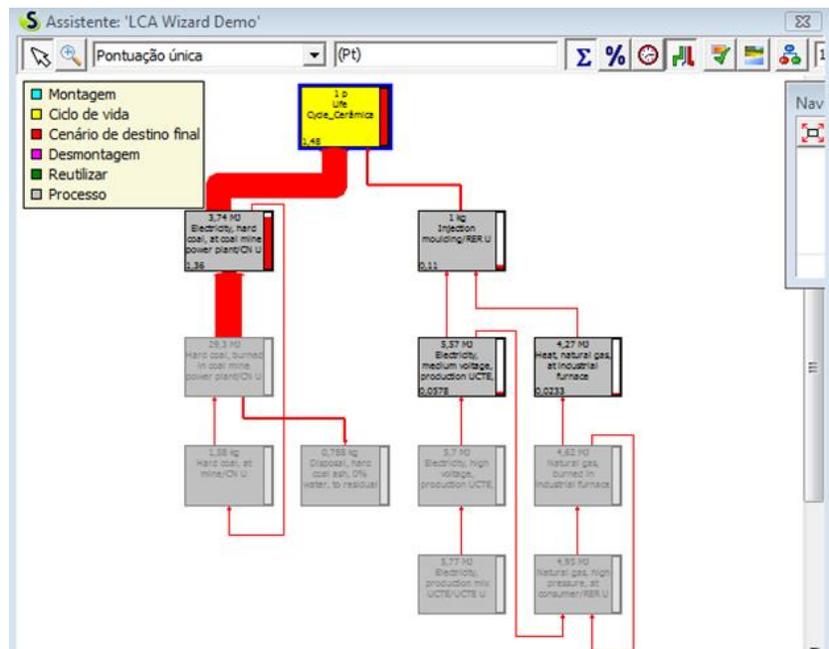
O maior impacto durante o ciclo de vida indicado é a produção, seguido por extração e transporte. Não foram pontuados o uso e fim do ciclo de vida. Como se verá adiante, a forma de uso – com ou sem revestimento e que tipo de revestimento, pode modificar o balanço de emissão de carbono devido ao consumo de energia para retirar carga térmica da edificação analisada. O descarte do material após uso poderá impactar o entorno se for abandonado, misturado ao lixo comum, ou não reaproveitado, por exemplo, para leito de vias urbanas.

A análise ambiental indica diversas categorias de impacto como acidificação ou aquecimento global, no caso do tijolo o maior impacto destacado pelo programa. Dentro de aquecimento global o programa destaca as emissões de gases de efeito estufa:

3.280 gramas de CO₂ por unidade, 268 g/und de CH₄ e 10 g/und de N₂O.

O programa **SimaPro**⁷ se propõe a calcular a pegada de carbono de toda uma organização empresarial. Para tal coleta dados dos locais de produção, além de fornecer relatórios e apontar obrigações. Assim como no BEES, foi utilizado um programa demonstrativo disponível na *web*. O assistente para análise de ACV questiona o usuário a cada passo e neste caso, é o usuário que decide por exemplo, se vai incluir o cimento da argamassa de assentamento na análise.

⁷ <http://www.simapro.co.uk/>



Quanto a energia utilizada no processo de produção, o software disponibiliza uma gama de opções como minas de carvão e plantas de energia de países europeus ou asiáticos. Utilizando o programa demonstrativo, não é possível simular a realidade brasileira. A figura 5 indica a energia incorporada em fases específicas do processo de produção, com maior consumo de energia elétrica nas fases da fabricação (como mistura, moldagem, secagem,

além da iluminação), seguido do gás para o forno industrial. Resultados diferentes da realidade brasileira que como veremos adiante, usa lenha de reflorestamento, hidroelétricas para geração de energia e freqüentemente usa o calor emitido pelo forno e pelo clima tropical no processo de secagem.

Figura 5. Programa SimaPro

Já o programa **Umberto**⁸ nasceu em uma universidade de Hamburgo, na Alemanha. Apresenta dados de consumo e de emissões para diversos materiais de construção, tipos de energia e de transporte. Também se propõe a fazer análise de ciclo de vida de processos industriais, além do gerenciamento de energia e eco eficiência. Com o programa demonstrativo também não se conseguiu resultados para análise dos módulos experimentais do IVIG na UFRJ.

4. ENERGIA INCORPORADA (EI) e EMISSÃO DE CO₂

A emissão de CO₂ está atrelada a energia incorporada em cada material durante seu ciclo de vida. No caso dos materiais de construção existe a energia despendida para sua fabricação, transporte e montagem na obra, mas sobretudo a energia que será necessária (ou economizada) no funcionamento da edificação. Assim o aço e o alumínio⁹ necessitam de muita energia para serem produzidos, mas podem ser utilizados nas fachadas como sombreamento por suas características de durabilidade quando expostos ao tempo. Se durante sua longa vida útil forem empregados para economizar energia como no caso de sombreamento de fachadas em climas tropicais, compensarão sua emissão inicial de CO₂ se comparados a edificações sem este tipo de

⁸ <http://www.umberto.de/en/>

solução. Sistemas de refrigeração consomem energia durante o tempo de funcionamento das edificações, que se considera em média, 50 anos.

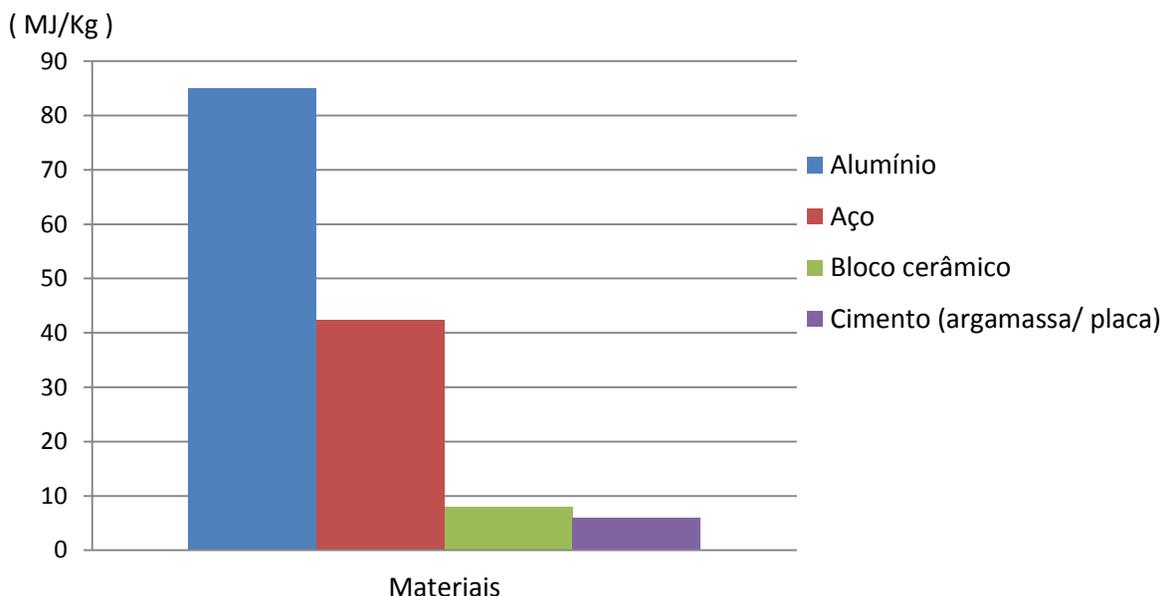


Tabela 1 - Energia incorporada e emissões de CO₂ de materiais de construção. Elaboração a partir de NABUT (2011) e EDWARDS (2005).

Tavares (2006) calcula para edificações residenciais brasileiras padrão, a energia embutida (ou incorporada) por etapas considerando no ciclo de vida: fabricação, transporte, desperdício, transporte do desperdício, manutenção da edificação equipamentos de manutenção. Cada parte da edificação é calculada. Em seu trabalho (tabela 5.8, pagina 140) observa-se que o maior índice de energia embutida está na pintura da edificação por causa da manutenção. O pesquisador destaca que as etapas de transporte e desperdícios chegam a 10% da EI inicial para fabricação dos materiais.

Graf e Tavares (2010) desenvolvem cálculo de energia incorporada em 1 m² de construção aplicado a projeto padrão brasileiro (R1-A da NBR 12721) conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT . A partir dos quantitativos de materiais estabelecidos pela norma e energia incorporada levantados chegam ao valor global de 5,7 GJ por m². Os pesquisadores chamam atenção que a energia incorporada no uso da construção vai depender da escolha de materiais e sistemas como isolantes térmicos para edificações climatizadas artificialmente. Afirmam que a reciclagem de materiais de construção no final de sua vida útil permite a redução de energia incorporada entre 35 e 40%, dependendo do potencial de reciclagem de cada material e citam alguns como referencia:

Metal – reaproveitável em até 90% em média; Tijolos- 50%; Madeira – 20%; Cimento – 10%.

Apresentam tabela com energia incorporada de materiais de construção brasileiros a partir de varias fontes bibliográficas. Selecionou-se aqui materiais utilizados nos módulos do IVIG:

Materiais	EI (MJ/Kg)	EI (MJ/m²)	Densidade (Kg/m³)
Batente – madeira aparelhada	3,50	2100,00	600
Borracha sintética – (sub manta parede verde)	135	160650,00	1190
Cerâmica – bloco de 8 furos	2,90	4060,000	1400
Cimento Portland	4,20	8190,00	1950
Concreto armado	3,10	-	-
Solo Cimento – bloco	0,60	1020,00	1700
Tinta acrílica	61,00	79300,00	1.3
Tinta PVA látex	65,00	84500,00	1.3
Vidro plano	18,50	46250,00	1.3

Tabela 2- Energia incorporada de materiais de construção brasileiros a partir de varias fontes bibliográficas. Elaboração a partir de Graf e Tavares (2010).

Nesta tabela não está incluída a energia utilizada em transporte, somente a energia da fabricação, considerada a mesma para o território nacional. Os autores citam a importância das fontes de energia, se renováveis ou não e utilizam dados do balanço energético nacional (BEN) de 2009.

Diversos levantamentos de energia incorporada e emissões de CO₂ dos materiais de construção comuns no Brasil, também foram levantados por Abdala Nabut (2011) em sua tese de mestrado. Os valores diferem conforme autor da pesquisa e metodologia utilizada no levantamento. Nabut (2011) destaca a dificuldade de obtenção de dados e que estes estarão sempre relacionados com as características do processo produtivo das fabricas pesquisadas. Na tabela a seguir foi feita compilação de dados levantados pelo pesquisador, onde se observa diferenças de resultados para materiais similares. Ressalta-se que no levantamento de pesquisador indiano da energia embutida em bloco de solo cimento, de concreto e cerâmico, este último utilizou carvão como fonte energética, que em princípio não ocorre mais no Brasil.

Material	EI (MJ/kg)	EI MJ/bloco	CO₂ kg/kg	ECO₂* kg/ton	Fonte
Bloco cerâmico 23x10,5x7	-	4,25	-	-	Reddy e Jagadish-India 2001**
Bloco concreto vazado 40x20x20 com 7% de cimento	-	12,30	-	-	= acima
Bloco solo cimento 23x19x10 com 8% de cimento	-	3,50	-	-	=
Bloco solo cimento	0,42	-	-	-	Alcorn eBaird -Nova Zelândia 1996
Bloco cerâmico	2,50	-	-	-	=
Bloco de concreto	0,86	-	-	-	=
Cimento Portland	4,20	-	-	-	Tavares-Brasil 2006
Cimento Portland	5,85	-	-	-	Reddy e Jagadish
CP I	3,593	-	-	855	Carvalho –Brasil 2002

CP III	1,249	-	-	256	=
Cimento Portland	2,46	-	0,5650	-	=
Cimento Portland	4,2	-	-	-	Tavares-Brasil 2006
Cal virgem	3	-	-	-	=
Bloco cerâmico 8 furos	2,9	-	-	-	=
Areia	0,05	-	-	-	=
Areia	-	-	0,0090	-	Isaía e Gasteldini-Brasil 2004
Bloco cerâmico	-	-	0,3300	-	Soares, Pereira – Brasil 2004
Bloco cerâmico	-	-	0,3800	-	Stachera e Casagrande – Brasil 2007
Bloco cerâmico	-	-	0,5200	-	Monahan-Reino Unido 2010
Aço	42,0	-	-	-	Reddy e Jagadish
Alumínio	236,8	-	-	-	=
Vidro	25,8	-	-	-	=

Tabela 3- Energia incorporada e Emissões de CO₂. Elaboração a partir de Nabut (2011).

* Emissão equivalente de CO₂ – considera outras emissões do material

** Conforme Reddy, carvão, cinzas de carvão e lenha são os combustíveis mais utilizados para queima de blocos cerâmicos na Índia. Cada bloco cerâmico precisa em média de 0,25 / 0,30 kg de lenha para queima.

Quanto à energia do transporte de materiais de construção, o autor faz uma pesquisa de campo em Brasília, encontrando como média de consumo de óleo diesel nos caminhões cheios em 0,0135 l/T km, concluindo que em relação a uma pesquisa realizada em 1985, o consumo diminuiu em mais que 50%.

Outra tese de mestrado (LOBO, 2010) faz uma abordagem dos mesmos levantamentos, energia incorporada e emissão de CO₂ para materiais de construção no Brasil, com estudo de caso no Paraná e adota parâmetros do IPCC. Quanto a EI, levanta valores similares aos apresentados na tabela acima para areia, cal e cimento. Detalha o cálculo de emissão de CO₂ equivalente a partir da combustão de fonte energética e não energética que, conforme IPCC, pode ser realizado a partir de três níveis diferentes: emissões totais por país, atividades econômicas e fontes de combustível, e relação entre emissões e políticas de metas de abatimento definidas pelo Protocolo de Kyoto.

Buscou-se a relação entre o potencial de aquecimento global e as emissões de gases de efeito estufa, em particular o CO₂, foco desta pesquisa. No quarto relatório de avaliação sobre mudanças climáticas, IPCC (2007)¹⁰, alguns ajustes foram feitos quanto aos relatórios anteriores. Considerando o dióxido de carbono como valor de referência igual a 1 em horizonte de 100 anos, para potencial de aquecimento global, o metano (CH₄) tem valor 25 vezes maior e o óxido nitroso (N₂O) 298 vezes mais. Procurando pela quantidade de metano emitida

¹⁰ http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

atualmente, encontrou-se¹¹ que 60% da emissão é produto da ação humana, principalmente na agricultura.

Ainda que a emissão de metano e óxido nítrico seja globalmente em menor quantidade que o dióxido de carbono, sua mitigação passa a ser importante por seu poder de influir no aquecimento global.

Por este motivo muitos pesquisadores utilizam o conceito de emissão de CO₂ equivalente, que considera outras emissões do material. O trabalho de Lobo (2010) calcula emissões de CO₂ eq baseadas em quantitativo de serviços, tomando como exemplo uma obra pública de biblioteca no Paraná, disponíveis em planilha extensa e detalhada que o autor considera sua principal contribuição. Na planilha encontram-se valores de EI e CO₂ eq de materiais diversos como portas, tubos de PVC, pregos, além de alguns tipos de tijolos de barro, indicando o tipo de fonte energética, massa específica, entre outros fatores. Relata como barreiras no desenvolvimento do trabalho a falta de banco de dados nacional, poucas pesquisas sobre o tema, além da complexidade inerente ao assunto.

A quantificação das emissões de CO₂ de materiais construtivos no Brasil também é o tema da dissertação de mestrado em engenharia civil de Costa (2012). Seu objetivo é a definição de método para quantificação das emissões na construção civil brasileira. Uma fórmula geral é adaptada para cada material com resultados em três níveis de precisão de estimativas, onde o mais preciso utiliza dados específicos das unidades fabris. O estudo de caso considerado foi uma residência uni familiar de baixa renda no Rio de Janeiro, com resultados apontando a fase de produção dos materiais como responsável por cerca de 40% do total das emissões geradas no ciclo de vida estimado para a edificação. Entre suas recomendações para continuidade do estudo, que se leve em conta a vida útil e emissões evitadas em função da performance dos materiais, como assinalado no início deste tópico. Assim a energia gasta na produção de um determinado telhado, poderá ser compensada durante a vida útil da edificação, que sombreada, usará menos energia e portanto emitirá menos, que uma similar sem sombreamento.

A tese de Vanessa Bessa (2010) traz igualmente contribuição à metodologia de avaliação das emissões de CO₂ de materiais de construção. Seu foco são tipologias usuais em fachadas de edifícios de escritório, como fachadas envidraçadas ou *structural glazing*, com alvenaria e argamassa e alvenaria revestida com alumínio composto (ACM), ambas considerando 15% de área envidraçada. São feitos levantamentos do consumo de recursos energéticos para a produção e instalação das fachadas; simulação de consumo de energia no uso de ar condicionado e na disposição final; cálculo do consumo final de energia e levantamento de emissões de CO₂.

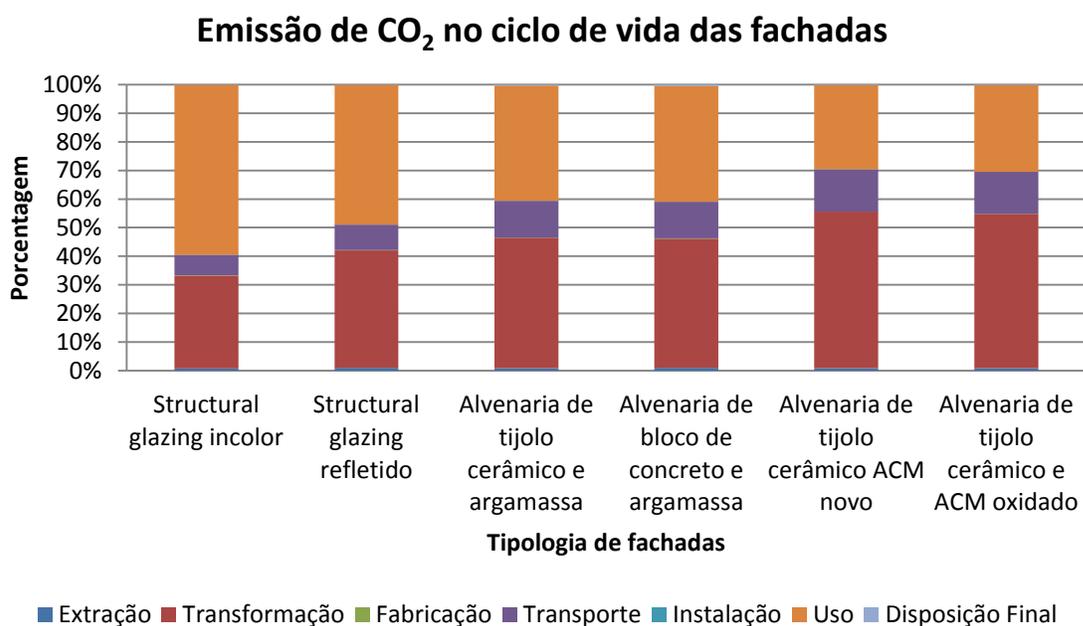
Monta uma interessante tabela com a contribuição de emissões por ciclo de vida (tabela 4). No caso da parede de alvenaria com argamassa, similar ao módulo do IVIG, encontrou massa de CO₂ 40.078,7 por kg de fachada.

Para efeito comparativo, descontou-se as etapas de instalação, uso e disposição final, não utilizadas neste artigo, e chega-se ao valor de 23.811,1 ou 23,8 tCO₂/t de parede de tijolo com argamassa. Infelizmente não foi possível contatar a autora para saber exatamente o que foi considerado na etapa de transformação, com níveis de emissão só superados pela etapa de uso nas opções de fechamento em vidro estrutural.

¹¹ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Metano>

Etapas	Massa de CO2 por tipologia de fachada (kg)					
	structural glazing com vidro incolor	Structural glazing com vidro refletido	Vedada com alvenaria do tipo cerâmico e revestida com argamassa	Vedada com alvenaria de bloco de concreto e revestida com argamassa	Vedada com alvenaria de tijolo cerâmico e revestida com ACM novo	Vedada com alvenaria de tijolo cerâmico e revestida com ACM oxidado
Extração	475,6	475,6	337,7	396,4	473,4	473,4
Transformação	19.621,0	19.621,0	18.288,1	17.965,5	30.808,5	30.808,5
Fabricação	52,3	52,3	15,6	15,6	15,6	15,6
Transporte	4.279,8	4.279,8	5.196,7	5.088,1	8.313,8	8.313,8
Instalação	0,2	0,2	0,9	1,1	0,4	0,4
Uso	35.891,3	23.340,1	16.120,8	16.095,9	16.540,0	17.299,4
Disposição final	69,4	69,4	145,9	182,9	108,1	108,1
Total	60.389,4	47.838,4	40.078,7	39.745,5	56.259,8	57.019,2

Tabela 4- Massa de CO2 por tipologia de fachada. Elaboração a partir de Vanessa Bessa (2010).



Nota: Devido à pequena emissão, as etapas de extração, fabricação e instalação não aparecem na figura.

Tabela 5- Contribuição de cada etapa do ciclo de vida nas emissões de CO₂, em %. Elaboração a partir de Vanessa Bessa (2010).

Quanto ao consumo de energia elétrica, a fachada envidraçada com vidro incolor (sem carga interna) tem consumo de 20.000 (kWh/ano) enquanto com vidro reflexivo parte do calor vai para a vizinhança e o consumo fica em 13.000, já o consumo da fachada de alvenaria fica em torno de 9.000 (kWh/ano). A pesquisadora conclui que a fachada envidraçada além ter maior emissão

comparada aos outros sistemas analisados, na etapa de uso contribui com cerca de 60% das emissões.

Quanto à etapa pós uso, ou disposição final, uma pesquisa sobre emissão de carbono no fim da vida de materiais de construção, comparou uma edificação em estrutura de concreto com uma em estrutura de madeira. Dadoo et al (2009) afirmam que para aproveitar o concreto é preciso triturá-lo para que se transforme em agregado e volte para cadeia produtiva, e que o gasto energético do processo eleva de maneira significativa a emissão de CO₂. Concluem que as construções com estrutura de madeira (wood frame) emitem menos que as de concreto (concrete-frame) se comparados todas as fases do ciclo de vida.

Já Sattler e Manfredini (2005) analisam dados coletados de 20 indústrias de cerâmica vermelha de portes variados, no sul do país. Iniciam constatando que são poucos os dados confiáveis a respeito do conteúdo energético de diversos materiais, que dependem da forma como são produzidos, da indústria específica e condições de cada país:

“Os valores apontados pela bibliografia internacional para a energia incorporada em tijolos e blocos cerâmicos variam de 0,291 kWh/kg a 1,944 kWh/kg. Já a bibliografia nacional aponta valores entre 0,300 kWh/kg e 0,931 kWh/kg.”

Os pesquisadores informam que os valores disponíveis devem ser “analisados criticamente já que existe uma grande variação entre os valores publicados, e geralmente existe pouca informação sobre etapas que foram incluídas no cálculo ou sobre como os dados foram obtidos.”

Esta também foi a constatação feita neste estudo de caso. Procurados, somente alguns pesquisadores retornaram o contato e não necessariamente justificaram as discrepâncias nos resultados.

As pesquisas acima, além da metodologia do IPCC, serviram de base para o cálculo da EI e emissão de CO₂ da alvenaria cerâmica e de solo cimento dos módulos do IVIG. A seguir resumo da pesquisa específica sobre a produção destes materiais de fechamento.

5. ALVENARIA EM BLOCO CERÂMICO X SOLO CIMENTO: IMPACTOS E SUSTENTABILIDADE

Um relatório da Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER) realizado a partir da análise de questionários enviados a empresas cadastradas no estado do Rio de Janeiro, fornece visão geral do funcionamento do setor e parâmetros para análise de sustentabilidade. No item Insumos, aponta que o consumo médio mensal de energia elétrica da maioria das fábricas pesquisadas (75,45%) situa-se abaixo de 30 mil kWh, representando gasto médio mensal menor que R\$10.000,00. A água utilizada no processo, na maior parte das cerâmicas analisadas 83%, possui poço próprio, não dependendo da rede de abastecimento. Consomem em média, abaixo de 200 m³ /mês. Quanto a matéria prima argila, a maior parte das fábricas do estado consomem menos que 500 ton /mês. A maioria utiliza jazidas licenciadas, no entanto só cerca de 4% fazem controle de qualidade mensal na extração e exploração das jazidas. Poucas fábricas fazem o controle da matéria prima para extração das impurezas elevando o percentual de produtos

defeituosos. 95% das fabricas analisadas responderam que não usam processos artificiais para a secagem, economizando assim, energia elétrica. Menos da metade das fabricas faz controle das perdas na produção, em geral entre 5 e 10%. Como a maioria das cerâmicas carrega o nome da fabrica onde foi produzido, 70% das indústrias fazem controle de qualidade do material que vai para expedição (ANICER, 2005).

No mesmo relatório, quanto ao Capital Humano, constata-se que 97% das empresas pesquisadas tem funcionários registrados, os rendimentos vão entre 1 e 3 salários mínimos e 53% tem 1º grau incompleto, a maioria não tem formação específica na fabrica.

Conclui-se que quanto ao fator social na busca de parâmetros de sustentabilidade da cadeia produtiva, os fatores positivos são oportunidade de trabalho para pessoas com baixa escolaridade, no entanto o setor não investe na formação de seus funcionários. Na construção civil, marcada pela informalidade, pode-se supor as mesmas conclusões.

Já em artigo de pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina sobre sustentabilidade em uma indústria de cerâmica catarinense, a ênfase é dada ao consumo, reuso e descarte da água, alertando que a limpeza da água de reuso pode deixar passar metais pesados e contaminar corpos d'água do entorno. A empresa analisada declarou que contrata empresa para recolhimento dos detritos, mas desconhece seu destino final. O órgão responsável pela liberação do certificado ambiental, só fiscaliza em caso de denúncias.¹²

Nos Estudos de Mercado sobre a indústria brasileira de cerâmica vermelha realizados pelo SEBRAE e ESPM em 2008 (SINDICER, 2008) afirma-se que o setor cerâmico é grande consumidor de energia e causador de impacto ambiental em razão do uso intensivo da lenha. Em 2006 a energia consumida no setor industrial especialmente no setor de cerâmica foi estimada em 3,5 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) :

“A participação da lenha como fonte energética foi de 35,4% em relação ao total de energia consumido por todos os setores; o gás natural correspondeu a 56,5% e o óleo combustível, a 66%.”

Em outro trabalho do SEBRAE (2012) a comparação do uso da lenha é feito só no setor cerâmico e não em todo o setor industrial como acima:

“Sobre a energia consumida no setor de cerâmica vermelha para uso industrial, encontrou-se que em 2006 o consumo foi estimado em 3,5 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), o que corresponde a 11,6 MWh. A lenha como fonte energética, representou quase 50% de todo o consumo de energia pelo setor cerâmico, seguida pelo gás natural (26%) e óleo combustível. O grande volume de lenha queimado na produção da cerâmica, solta substâncias que provocam forte impacto ambiental. Além disso, apresenta baixo rendimento energético, que interfere na qualidade e nos padrões técnicos dos produtos, resultando em até 30% de perda.”

A pesquisa indica aos produtores que analisem a possibilidade de usar outras fontes de energia com menor impacto ambiental e maior rendimento energético.

Sobre as tecnologias empregadas no processo de produção Schwob (2007) enfatiza:

¹² <http://www.nemac.ufsc.br/visualizar/ceramica.pdf>

“A forte influencia causada pela formulação da matéria prima no desempenho energético dos equipamentos elétricos e térmicos, destacando, por exemplo, que argilas plásticas demandam menos energia mecânica na extrusão (maromba), mas, por outro lado, demandam mais tempo e energia térmica na secagem (extratores de umidade e ventiladores), o que, no balanço elétrico, tende a ser menos favorável, já que a etapa de secagem é operada de forma contínua, demandando maior parcela de eletricidade, enquanto que a extrusão costuma ser operada em apenas um turno.”

Conclui-se que é importante conhecer o processo de produção, já que o consumo de energia vai variar em função do material coletado e da tecnologia empregada.

No contato telefônico com olarias da região de Itaboraí, levantou-se que no estado do Rio em geral, utiliza-se energia da rede para o processo de fabricação e no forno queima de lenha de reflorestamento ou sobras de eucalipto de indústrias de celulose. Conforme produtores contatados, não se utiliza mais carvão nem óleo na região.¹³ Segundo o relatório da ANCER (2005) cerca de 93% das fabricas do estado do Rio utilizam lenha.

Na olaria visitada como visto a seguir, há espaço coberto e produção suficiente para que a secagem seja natural, ventiladores são usados eventualmente para atizar o fogo.

Diversos artigos e teses abordam o tema da sustentabilidade no setor. A seleção priorizou textos de pesquisas acadêmicas e associações do setor.

A Câmara da Indústria da Construção, com o apoio do Sindicat/MG produziu o Guia de Sustentabilidade do Setor Cerâmico para Construção. Para destacar a importância da industria cerâmica na promoção da sustentabilidade, informa que “estimativas do UNEP apontam o setor como consumidor de 40% de toda a energia, 30% das matérias-primas e 20% da água do planeta.” O guia destaca entre os combustíveis a serem empregados de forma a não prejudicar o meio ambiente: a lenha, o gás natural, o bagaço de cana, a serragem de madeira, os resíduos agroindustriais o resíduo de coque e o capim elefante. A preparação da massa e o uso de resíduos de outras indústrias, também pode reduzir custos de energia e água (como exemplo ver pesquisas da Uenf abaixo). Orienta na seleção do melhor tipo de forno em função do tamanho da produção, tamanho do investimento e fonte energética utilizada.¹⁴

Quanto ao uso de alternativas na combustão, uma industria de artefatos cerâmicos do norte do país começou a substituir a queima de lenha por biomassa em 2006, passando a reaproveitar como combustível materiais como a casca de coco, lenha de algaroba e poda de cajueiro. Foi a primeira em sua região e setor a receber o certificado de créditos de carbono da Social Carbon Credit.¹⁵

¹³ No entanto a pesquisa de STACHERA (2007) levanta que no Estado de Santa Catarina em 2002, 78% da lenha era oriunda de mata nativa e apenas 22% de mata implantada.

¹⁴http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional_direita.asp&secao=10&id=123&revista=2WA004509087E WRTXLZ873BDG28

¹⁵ http://www.onordeste.com/blogs/index.php?titulo=Blog+Pernambuco+Desenvolvimento+-+Kitambar:+Empresa+do+Agreste+usa+energia+limpa¬id=3456&id_user=7

Uma pesquisa para monografia de graduação em engenharia ambiental de 2009,¹⁶ analisou 41 relatórios da metodologia Carbono Social. Conclui que em esquemas voluntários de certificação de créditos de carbono, apenas algumas empresas apresentam projetos consistentes enquanto outras tem vendido toneladas de carbono sem valor ambiental devido à ausência de regulamentos que permitem fraudes.

Já a pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense (Uenf) com recursos do programa de Inovação Tecnológica da FAPERJ, testou com sucesso o uso de rejeitos de industria de celulose na produção de tijolos. Uma empresa de Campos dos Goytacazes passou a adicionar 5% de celulose à mistura de argila, reduzindo a temperatura de combustão e necessidade de combustível. Em 2009 passou a empregar os resíduos do corte de rochas ornamentais na produção, tornando a cerâmica mais refrataria, com maior resistência e menor absorção de líquidos.¹⁷

Outro trabalho de pesquisadores da Uenf conclui que os blocos cerâmicos prensados e queimados reduzem a umidade e o custo da secagem podendo ser usados como blocos estruturais, similares aos blocos de solo cimento. A redução se dá em comparação ao processo de extrusão necessária a moldagem e secagem para queima que leva a perda por imperfeições.¹⁸

Na tese sobre impactos do setor no estado do Rio Grande do Sul (Grigoletti, 2001)¹⁹, industrias de pequeno, médio e grande porte foram analisadas constatando uso de fontes renováveis e resíduos de outras industrias como casca de arroz, lenha de reflorestamento e retil (resíduos de madeira de serrarias locais), destacando a necessidade de diminuir perdas no processo de produção.

Quanto a alvenaria de solo cimento poucas pesquisas acadêmicas sobre EI e emissões foram encontradas. Nos trabalhos já citados de Graf e Tavares (2010) e Nabut (2011) encontrou-se dados de EI para blocos cerâmicos e blocos de solo cimento, incluídos na tabela x deste artigo.

Pieretti, Milani e Yuba (2010), realizaram estudo do impacto ambiental no processo de produção de blocos de solo-cimento e blocos de resíduos de construção civil, com dados levantados em bibliografia e em duas fabricas de Campo Grande, MS. No artigo apresentam inventário considerando 1m² de parede²⁰ e emissões por componente: Para 18,1kg de cimento teremos 15,31 kg de CO₂ enquanto o bloco de resíduos entra somente com 8,8 kg de cimento e sai com 7,42 kg de CO₂. Concluem que ambas as tecnologias são menos impactantes do que a convencional com tijolo furado, sem quantificar.

Em trabalho realizado pelo grupo de pesquisa do IVIG (COSTA A., FREITAS M., 2005), para o cálculo das emissões evitadas pela escolha das tecnologias de construção nas edificações do IVIG, partiu-se dos dados do BEN de 2003 e da metodologia do IPCC sem considerar dados específicos das fabricas (como na atual pesquisa) e encontrou-se emissões de 0,09728 t CO₂ / t tijolo solo-cimento e 0,0728 t CO₂ / t tijolo cerâmico, o tijolo dito ecológico portanto

¹⁶ http://www.socialcarbon.org/uploadDocs/Documents/KUPPER_CERAMIC_SOCIALCARBON.pdf

¹⁷ http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=7621

¹⁸ <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v16n1/v16n1a05.pdf>

¹⁹ <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1753/000307557.pdf?sequence=1>

²⁰ No caso, 64 blocos por m², com blocos de 2 furos com dimensões de 25 cm x 12,5 cm x 6,25 cm e composição da mistura em volume 1:10 (cimento:solo). Usaram cimento Portland - CP II E32.

consumindo mais energia e emitindo maior quantidade de CO₂. No entanto os valores se invertem - a emissão fica maior para construção em alvenaria cerâmica, quando consideradas as emissões do m² de parede acabada, sobre tudo pela quantidade necessária de cimento e cal para emboço e reboco das paredes.

O método construtivo do solo cimento é auto portante e de encaixe (leva cola nas primeiras fiadas), enquanto a parede com tijolos cerâmicos necessita argamassa de assentamento, forma, vigas, pilares, emboço, reboco, acarretando em principio, maiores gastos com insumos e energia. O tipo de fundação utilizado é em geral o *radier*, reduzindo custos de material e mão de obra em relação a fundação com estacas ou sapatas, dependendo do tipo de terreno. Vigas e colunas são construídas com os tijolos e canaletas específicas, evitando formas. As instalações são embutidas nos tijolos durante a construção evitando perdas nas alvenarias e resultando em obra mais limpa e rápida. O acabamento se dá através de rejuntamento e resina para impermeabilização, podendo também ser emboçado e pintado, neste caso aumentando a conta da emissão. O projeto executivo de uma construção em solo cimento detalha as peças a serem utilizadas, igualmente evitando perdas. Levantou-se que em geral, a composição do tijolo de solo cimento varia em cerca de 60% saibro 30% areia 10% cimento.

O professor Casanova da faculdade de engenharia civil da UFRJ desenvolve pesquisa sobre solo cimento desde a década de 1980 e com o apoio do Programa de Tecnologia de Habitação (Habitare) e da financiadora de Estudos e Projetos (Finep) participa desde 2003, do grupo Geotemah que apóia sem ônus associações de moradores, fundações, cooperativas, na capacitação de profissionais da construção civil, entre outras ações, para que atuem como multiplicadores do uso do solo e resíduos industriais na fabricação de materiais de construção para habitação de interesse social. Vários programas sociais receberam apoio desde então (CASTRO, 2003).

O professor Casanova (CASTRO, 2012) afirma que é necessário maior formação de massa crítica entre fornecedores, construtores e clientes em potencial, para que o mercado do solo cimento se amplie e consolide. Apesar de ter formado cerca de 700 alunos durante os 3 anos de vigência do grupo Geotemah, estima que somente 10 a 15 % destes alunos aplicaram na prática os conceitos disseminados. Encontrar mão de obra com experiência em construção de solo cimento continua um desafio, no entanto basta uma boa formação inicial durante a obra, para que o processo um pouco mais lento inicialmente por conta do aprendizado, se torne bem mais ágil do que a montagem de paredes em tijolos cerâmicos convencionais, com todas as vantagens já citadas, como menor custo, menor desperdício de matéria prima e como busca-se comprovar neste artigo, menor emissão de CO₂ nas paredes acabadas.

Casanova informa ainda que conforme testes, acrescentando 1% de cal na mistura de solo cimento, a quantidade de cimento necessária para viabilizar a boa qualidade do produto, cai em cerca de 50%, reduzindo também as emissões da etapa de fabricação. O tipo de cimento, com mais ou menos material de reaproveitamento de outras indústrias, também reduz emissões. Devido ao uso do cimento em sua composição, o tijolo de solo cimento executado conforme as normas, apresenta maior durabilidade, outra característica de materiais sustentáveis.

O dado mais relevante para esta pesquisa, como será visto nas conclusões, é a afirmação que não se pode comparar a emissão dos materiais de construção só na fabricação, sem levar em conta todo seu ciclo de vida.

6. ESTUDO DE CASO: VISITA A FABRICA E DADOS COLETADOS

6.1. TIJOLO CERÂMICO

Foi realizado levantamento de fábricas de porte médio da região de Itaboraí, um dos três pólos produtores de tijolos cerâmicos do estado do Rio de Janeiro, que mais concentram olarias (ANICER, 2005) e provável fornecedor dos tijolos convencionais utilizados no fechamento do módulo experimental do IVIG. A fábrica visitada foi selecionada pela disponibilidade dos administradores em participar da pesquisa, no entanto houve dificuldade em receber confirmação dos dados coletados.

Solicitou-se a energia gasta no processo de produção através da média de contas de consumo em kWh/mês; quantidade matéria prima utilizada e combustível para transporte; quantidade de lenha em m³/mês e combustível utilizado no período. Estes dados serão divididos pela produção em unidade ou tonelada conforme metodologia utilizada.

Funcionários que acompanharam a construção dos módulos do IVIG afirmam que o tijolo utilizado tinha 9x19x29 e foram comprados em loja de materiais de construção em Bonsucesso, perto da Ilha do Fundão onde está a UFRJ.

Fabrica visitada (11.04.2012) – Cerâmica São Joaquim. Estrada Amaral Peixoto, km 35, Itaboraí, RJ.

A extração de argila está situada a cerca de 8km da fabrica e fornece argila para varias olarias da região. No caso da fabrica visitada são utilizados caminhões próprios que consomem cerca de 1 litro de diesel a cada 3,5 km rodados. Já a lenha é fornecida com caminhões fretados com desempenho estimado de 4 km/l. A argila é estocada no terreno externo da fabrica.



Figuras 3 e 4. Área externa e empilhamento da argila extraída. Direcionamento da argila triturada para moldagem dos tijolos.



Figuras 5 e 6. Processo de fabricação e secagem das peças ao tempo.



Figuras 7 e 8. Forno do tipo Hoffmann

Visitou-se a fabrica depois de um dia de chuva forte que apesar de ter enlameado parte do piso do galpão (figura 8), não impediu seu funcionamento normal. Além da grande área de forno do tipo Hoffmann, um outro forno menor e mais eficiente é também utilizado. Pretendem trocar a queima da lenha por um sistema a gás. Como utilizam lenha de resíduos de fabricas de celulose, estão no momento em processo de certificação para créditos de carbono.

Dados informados: Produção de 60mil peças de 3.3kg (peso médio dos tijolos de 9x19x29)/ dia. Considerando 20 dias = 1,2 milhões tijolos/mês x 3,3 = 3.960 ton/mês.

Consumo lenha: resíduo de produção de celulose – média de 1200 m³ /mês

Consumo diesel:

Cerca de 160 caminhões com 15m³ /mês, sendo que uma parte fica em estoque, para eventuais paralizações da extração por fatores climáticos.

Transporte extração – fábrica – cerca de 8km . Consumo caminhão 3,5 km/ l diesel. 16km (ida e volta) /3,5 = 4,57 litros dia por caminhão x 160 = 731,2 litros diesel/mês. Valor que considera apenas o transporte extração fábrica, no entanto, outra informação do fabricante é que consomem cerca de 80 l de diesel por dia entre o transporte da argila para fabrica, a cota de diesel para as máquinas que fazem a extração, para as maquinas empilhadeiras que fazem o transporte na própria fabrica e para o eventual consumo de um gerador a diesel que entra nos horários de pico ao invés da energia elétrica.

Assim cerca de 80 l diesel dia x 20 dias = 1.600 litros de diesel/mês

Para transporte da lenha 1 caminhão transporta 40m³ – 30 caminhões /mês percorrendo distancia media do ES ou sul BA até Itaboraí – cerca de 550 km (da Aracruz até Itaboraí)

Se o consumo destes caminhões é de 4 km/l = 137,5 litros x 30 x2 (volta) = 8.250 litros de diesel/mês.

Total :8.250 + 1.600 = 9.850 litros/mês

Consumo gasolina:

Controle de produção trimestral- em Tres Rios, RJ – média 150 km. 1 kombi a cada 3 meses , consumo médio 12 km/ litro gasolina.150 km x 2 (ida e volta)/ 12km/l = 25/3= 8,33 litros gasolina/mês x 12 = 100 litros de gasolina/ano

Consumo energia elétrica produção: média mensal 80.000 kWh (janeiro a março de 2012)

Consumo estimado de água: 10.000 a 15.000 litros/mês de consumo de água, diretamente do poço subterrâneo local.

6.2.TIJOLO DE SOLO CIMENTO

O modulo experimental do IVIG teve o fornecimento dos tijolos pela fabrica Lapin, situada no município de Magé, distante cerca de 40 km do local da obra, na ilha do Fundão, RJ. Utilizam saibro extraído na região de Magé com transporte fretado. O cimento Portland e a areia lavada utilizados no processo, são também entregues na fabrica por revendedores da região.

Fabrica visitada (20.04.2012) – Lapin, Rua Canadá, 218, Cachoeirinha, 3º Distrito Agrícola, Magé, RJ.



Figura 9. Estocagem matéria prima em área coberta e descoberta. **Figura 10.** Máquina onde é colocada a mistura e tijolos já prensados.

A matéria prima – saibro, areia, cimento e cal, são misturadas e prensadas em formas com o molde do tijolo. Em seguida os tijolos são molhados e secos ao tempo em área coberta por cerca de 28 dias.



Figura 11. Tanque de molhagem. **Figura 12.** Área de secagem

O processo de produção da Lapin está detalhado no site da empresa ²¹.

Conforme o fabricante, ao final do processo de fabricação é feito um pré-teste de liberação de lotes para comercialização, cujos ensaios finais são realizados no Instituto de Cerâmica Vermelha de 3 Rios, mesmo procedimento utilizado na fabrica de tijolo ceramico.

Na construção do modulo experimental foi utilizado o tijolo padrão com 12,5 x 25 x 6,25 cm e cerca de 2,6 kg por unidade.

Dados informados: A produção mensal da fabrica fica em torno de 120 mil tijolos / mês.

Para um milheiro gasta-se:

Cimento (Portland CP V ²²) = 320 kg ; Cal = 70 kg; Saibro = 2,5 m³ (x 1600 kg/m³ = 4000 kg*);
Areia = 0,75 m³ (x 1640 kg/m³= 1230 kg*); Custo energia elétrica = 14 R\$

* Considerando densidade saibro 1600kg/m³ e areia 1640kg/m³
Peso total 5620 kg = 100%

Em valores aproximados na composição do tijolo de solo cimento, o **saibro** representa 71%,
areia 22%, **cimento** 6% e a **cal** 1%

Consumo diesel:

Transporte extração

Saibro (areia misturada com argila ou areia grossa dos rios) vem de Itambi cerca de 35km da fabrica. Frete terceirizado com caminhões que transportam 14 m³. Entre 20 e 30 caminhões a cada 3 meses. Consumo caminhão 3,5 km/ l diesel. Para 70km (ida e volta) /3,5 km/l = 20 litros x 25 caminhões / 3meses = cerca de 167 litros diesel/mês;

²¹ http://www.lapintijolos.com.br/2-4_Producao.htm

²² O fabricante informou que passou a usar o CP V – com 90% de clínquer, ao invés do CP III – com 30% de clínquer e menor emissão, por que a cura inicial ficou mais rápida e o rendimento melhor. A mesma quantidade de tijolos que era produzida com um saco de 50 kg de CP III, passou a ser produzida com um saco de 40 kg de CP V.

Areia também vem de Itambi. Cerca de 15 caminhões a cada 3 meses. Então 20 litros x 15 caminhões / 3meses = cerca de 100 litros diesel/mês;

Cal vem de São José da Lapa (MG) sendo que 1 caminhão carrega 700 sacos de 20kg a cada 4 meses. Então 1000km (ida e volta) /4 km/l (caminhões com maior eficiência) = 250 litros x 1 caminhão / 4meses = cerca de 62,5 litros diesel/mês;

Cimento vem da distribuidora da Holcim em Marechal Hermes, cerca de 55 km da fábrica. Um caminhão carrega 300 sacos de 50kg . Considerando produção de 120 mil unidades/mês e 320 kg de cimento por milheiro =120 x 320= 38.400 kg/mês e 768 sacos de 50kg/mês. Se 1 caminhão carrega 300 sacos de 50kg , então serão necessários 2,5 caminhões ou 3 caminhões por mês com consumo de 4 km/l. Então 110km (ida e volta) /4 km/l= 27,5 litros x 3 caminhões / mês = cerca de 82,5 litros diesel/mês.

Total **412 litros/mês**

Consumo energia elétrica produção:

Custo energia elétrica informada 14 R\$ por milheiro.

Tarifas Médias por Classe de Consumo / Região (R\$/MWh) = região sudeste 243,95 classe de consumo industrial (provavelmente sem impostos) ²³. Na Ampla que atende Magé – 158,82 R\$/MWh tarifa convencional negócios para consumo, sem tributos (acrescentar o valor de Pis/Confins e ICMS) ²⁴. Estimando média com tarifas em R\$200,00/MWh para a região, com R\$14,00 se tem 70 kWh para produzir um milheiro x 120 milheiros da produção mensal = **8.400 kWh/mês**

Consumo gasolina:

Controle de produção trimestral em Três Rios, RJ, como na olaria analisada anteriormente, portanto, 100 litros de gasolina/ano

Consumo de gás: 1 boião pequeno de 13kg/mês

Consumo estimado de água: 3.000 litros/mês de consumo de água, diretamente do poço subterrâneo local.

7. CALCULO DE EMISSÕES CONFORME METODOLOGIA IPCC (1996 e 2006):

A metodologia de 1996 traz o passo a passo para o calculo de emissões de CO₂ apresentado neste trabalho. Na revisão de 2006 novas informações sobre os procedimentos de escolha da metodologia e compilação do inventário são apresentados. Além dos 5 volumes da revisão, dois volumes de guias de boas práticas são apresentados visando resultados transparentes e acurados além de comparáveis entre países.

²³http://rad.aneel.gov.br/reportserverSAD?%2fSAD_REPORTS%2fSAMP_TarifaMedCCConsumoRegiao&rs:Command=Render

²⁴ <http://www.ampla.com/para-seus-negocios/dicas-e-orientacoes/taxas-e-tarifas.aspx>

O método “Tier” é baseado em combustíveis, já que emissões de fontes diversas podem ser estimadas em quantidades de combustível carburado (usualmente levantados de estatísticas nacionais) e a média de fatores de emissão. O método é dividido em três partes. No *Tier 1* os fatores de emissão para os mais relevantes gases de efeito estufa, são disponibilizados. No caso do CO₂ as emissões são estimadas em relação ao total de combustível utilizado e media de carbono contido em cada tipo de combustível, fornecendo resultados relativamente precisos (IPCC 2006). No *Tier 2*, as emissões de combustíveis específicas de um determinado país é utilizado, caso apresentado a seguir. No *Tier 3* detalha-se mais as informações individuais de produção para alcançar estimativas mais precisas de emissão para os gases outros que o CO₂. São analisadas também questões relativas as incertezas dos resultados em vários aspectos, como o uso de resíduos como combustível quando queimados e a contagem dupla de emissão para um determinado produto.

Acredita-se que passo a passo aqui apresentado poderá facilitar o calculo de trabalhos similares.

Passo 1- estimar consumo de energia nas unidades originais;

Passo 2 – converter para unidade comum de energia (TJ);

Fatores de Conversão	
Unidade	Fatores de Conversão
J, MJ ou GJ	Dividir pelo fator apropriado, 10 ¹² , 10 ⁶ ou 10 ³ , respectivamente, para converter para TJ
10 ⁶ toe*	Multiplicar pelo fator de conversão, 41868 TJ/10 ⁶ toe, para converter para TJ
Tcal unidades	Multiplicar pelo fator de conversão, 4,1868 TJ/Tcal
10 ³ t	O Valor Calorífico Líquido de cada combustível deve ser usado. Veja a caixa específica de "Valor Calorífico Líquido" para produtos refinados de petróleo IPCC (2006).

toe* tonelada óleo equivalente

Tabela 6- Fatores de Conversão. Elaboração a partir de IPCC, tabela 1-1 (1996).

Passo 3 – multiplicar por fator de emissão para computar conteúdo de carbono (tC/TJ)

Fatores de Emissão de Carbono (Carbon Emission Factors – CEF)	
Combustível	Fator de Emissão de Carbono (t C/TJ)
Líquidos	
<i>Combustíveis Primários</i>	
Petróleo Bruto	20,0
Gás Natural Líquido	17,2
<i>Combustíveis Secundários / produtos</i>	
Gasolina	18,9
Querosene de aviação	19,5
Óleo de xisto	20,0
Gás/ óleo diesel	20,2
Óleo combustível residual	21,1
Etanol	16,8
Betume	22,0

Sólidos	
Combustíveis Primários	
Carvão	25,8
<i>Lenha para queima direta *</i>	28,9
Combustíveis Secundários / produtos	
Gás para fogão (coke oven /gás coke)	29,5
Gás para fogão (coke oven gas)	13,0
Gases	
Gás Natural (seco)	15,3
Biomassa	
Biomassa sólida	29,9
Biomassa líquida	20,0

Tabela 7- Fatores de Emissão de Carbono. Tabela resumida a partir de IPCC tabela 1-2 (1996).

* Este dado foi retirado da tabela A4, pg 17 – Fatores de Emissão de Carbono em tC/TJ que é baseada na tabela do IPCC, mas tem alguns fatores calculados pelo MCT, como o de lenha (Brasil/MCT 2010)

Passo 4 – calcular a quantidade de carbono (C) – Multiplicar a quantidade de combustível estimado em TJ pelo fator de emissão tC/TJ. Dividir por 10^3 ;

Passo 5 - Segundo IPCC 2006 (cap3 pg10) não é mais necessário multiplicar pelo fator de oxidação.

Passo 6 - Converter carbono oxidado em emissão de CO₂. Multiplicar o valor de ktC por 44/12 (relação peso molecular do carbono e oxigênio) para se obter o valor de ktCO₂.

Na pesquisa sobre a aplicação da metodologia encontrou-se que “de uma maneira esquemática, os dados originais em energia são convertidos em massa de carbono através do uso de coeficientes massa de carbono / energia, para um dado energético. Estes coeficientes são expressos em tC/tep (tonelada de carbono por tonelada equivalente de petróleo)”²⁵, relação usada nos cálculos a seguir.

A aplicação da metodologia nas fabricas visitadas foi feita para óleo diesel, gasolina e lenha. No caso da eletricidade o Ministério de Ciências e Tecnologia fornece os fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no sistema interligado nacional do Brasil.

7.1.TIJOLO CERÂMICO Fábrica São Joaquim:

PRODUÇÃO

60mil peças de 3.3kg (peso médio dos tijolos considerando 9x19x29)/ dia. Considerando 20 dias = 1,2 milhões tijolos/mês x 3,3 = 3.960 ton/mês x 12 = **47.520 ton/ano**

²⁵ Edição Especial Balanço de Carbono Economia & Energia Ano XI-No 62 Junho-Julho 2007, ISSN 1518-2932 http://ecen.com/eee62/eee62p/balanco_de_carbono.htm

Os dados a seguir compreendem a energia gasta na extração, produção e no transporte da matéria prima até o local, desconsidera energia (diesel) da entrega do produto na loja e da loja até o local da obra.

ELETRICIDADE

Dado levantado: média 80.000 kWh/mês x12= **960mil kWh / ano**

Conforme MCT, fator médio de emissão do sistema interligado nacional, no Ano 2009= 0,0246 tCO₂/MWh²⁶

Considerando que os módulos experimentais foram construídos em 2009 e que a fabrica gastou de eletricidade neste ano 960 MWh, multiplicando-se por 0,0246, chega-se a 23,616 ou **23,6 t CO₂**.

Se considerado o fator 0,0512 para o ano de 2010 (0,0512 x 960 = 49,15t CO₂), o resultado é maior que dobro do resultado de 2009. No entanto a quantidade de energia elétrica em questão não faz variar o resultado de emissões, como será visto a seguir.

DIESEL

Passo 1 – Estimar consumo nas unidades originais: Conforme BEN (2012) óleo diesel 1m³= 0,848 tep²⁷. Dado levantado: 9.850 litros/mês (considerando transporte argila fabrica + consumo extração+ transporte lenha) x12= **118.200 litros / ano**

1m³=1000 litros então 118,2 m³ x 0,848 = 100,234 tep

Passo 2 – Multiplicar por fator de conversão – Conforme IPCC tab1-1 (ou tabela 6 acima) 1Tcal = 4,1868 TJ/Tcal e conforme BEN (2012)/ 1 tep x 41,87 x10⁹ = 1J²⁸. Então 1 tep x 0,04187 = 1 TJ (tera jaule)

100,234 tep x 0,04187 = 4,1967 TJ

Passo 3 – Multiplicar por fator de emissão de carbono (tC/TJ) – ver tabela 1-2 (ou tabela 7 acima) multiplicar 4,1967 TJ x 20,2 = 84,77 tC/TJ

Passo 4- Dividir por 1000 = 0,08477 ktC

Passo 6 – Multiplicar 0,08477x 44/12 = 0,3108 ktCO₂ ou 310,8267 tCO₂

Então 118.200 l/ano = **310,8267 tCO₂**

e 1 litro= 0,00263 tCO₂ e 1000l =1m³ = 2,63 tCO₂

1m³= 0,848 tep = 2,63 tCO₂

Então para óleo diesel **1 tep = 3,10 tCO₂**

GASOLINA

- Dado levantado: 100 litros /ano ou 0,1 m³/ano

²⁶ Fatores de Emissão de CO₂ <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>

²⁷ BEN (2012). Tabela VIII.7 – Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis Líquidos

²⁸ BEN (2012) Tabela VIII.5 pag 213 – Fatores de conversão para Energia

- Conforme BEN (2012) Gasolina automotiva $1\text{m}^3 = 0,770 \text{ tep}^{29}$, então $0,1 \text{ m}^3 \times 0,77 = 0,077 \text{ tep}$
- Multiplicar por fator de conversão - $1 \text{ tep} \times 0,04187 = 1 \text{ TJ}$
 $0,077 \text{ tep} \times 0,04187 = 0,00322 \text{ TJ}$
- Multiplicar por fator de emissão de carbono - $0,00322 \text{ TJ} \times 18,9$ (tabela 7) = $0,0608 \text{ tC/TJ}$
- Dividir por 1000 = $0,0000608 \text{ ktC}$ e multiplicar por $44/12 = 0,000223 \text{ ktCO}_2$ ou **0,223 tCO₂**

E 1 litro = $0,002234 \text{ tCO}_2$ e $1000\text{l} = 1\text{m}^3 = 2,234 \text{ tCO}_2$

$1\text{m}^3 = 0,770 \text{ tep}, = 2,234 \text{ tCO}_2$

Então para gasolina **1 tep = 2,90 tCO₂**

LENHA DE REFLORESTAMENTO

- Dado levantado: consumo lenha – resíduo de produção de celulose – $1200 \text{ m}^3 / \text{mês} \times 12 = 14.400 \text{ m}^3 / \text{ano}$

Como utilizam lenha de reflorestamento, não se considera emissões conforme Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, MCT, 2010 pg 9 ou 135):

“No caso dos combustíveis de biomassa (lenha, carvão vegetal, resíduos vegetais, lixívia, álcool e bagaço), as emissões de CO₂ são informadas, porém não contabilizadas no total de emissões do setor energético. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas”.

Segundo COSTA (2012) apud Guimarães et al. (2010) e Uhlig (2008) considera-se que 33% da madeira é de origem ilegal. Considerando 33% de $14.400 \text{ m}^3 / \text{ano} = 4.752\text{m}^3 / \text{ano}$

Considerando $1\text{m}^3 \text{ lenha} = 340 \text{ kg}^{30}$, temos $1.615.680 \text{ kg}$ ou **1.615,68 ton/ano**

- Conforme BEN (2012) Lenha em ton = $0,310 \text{ tep}^{31}$
Então $1.615,68 \text{ ton} \times 0,310 = 500,86 \text{ tep}$
- Multiplicar por fator de conversão - $1 \text{ tep} \times 0,04187 = 1 \text{ TJ}$
 $500,86 \text{ tep} \times 0,04187 = 20,9710 \text{ TJ}$
- Multiplicar por fator de emissão de carbono $20,9622 \text{ TJ} \times 28,9$ (considerando Lenha para queima direta – fonte MCT 2010/2 - ver tabela A4 pag 94) = $606,063 \text{ tC/TJ}$
- Dividir por 1000 = $0,606063 \text{ ktC}$ e multiplicar por $44/12 = 2,222 \text{ ktCO}_2$ ou **2.222 tCO₂**

Se $1.615 \text{ ton} = 2.222 \text{ tCO}_2$ 1 tonelada = $1,3752 \text{ tCO}_2$ como 1ton de lenha = $0,310 \text{ tep}$

²⁹ BEN (2012) Tabela VIII.7 – Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis Líquidos

³⁰ <http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-111-031.pdf>

³¹ BEN (2012). Tabela VIII.8 – Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis Sólidos

Então para lenha **1 tep = 4,44 tCO₂**

TOTAL EMISSÃO DE CO₂

23,6 (eletricidade) + 310,827 (diesel) + 0,223 (gasolina)+ 2222 (lenha) = 2.556,62 tCO₂ para 47.520 ton tijolo/ano =

0,0538 tCO₂ para cada tonelada de tijolo produzido no ano de 2009 no Brasil

Fazendo a conta para 2010:

49,15 (eletricidade) +310,8 (diesel) + 0,223 (gasolina)+ 2.222 (lenha) = 2.582,17 tCO₂ para 47.520 ton tijolo/ano =

0,0543 tCO₂ para cada tonelada de tijolo produzido no ano de 2010 no Brasil

Ou seja, mesmo considerando a emissão dobrada para eletricidade no ano de 2010 em relação a 2009, o resultado é similar.

7.2.TIJOLO DE SOLO CIMENTO - Fábrica Lapin:

PRODUÇÃO

Considerando produção média de 120 mil peças de 2,6kg (peso médio dos tijolos considerando 12,5x6,25x25)/ mês. 120 mil tijolos x 2,6 = 260.000 kg/mês = 312 ton x 12 = **3.744 ton tijolo/ano**

Os dados a seguir compreendem a energia elétrica gasta na produção e administração além do diesel gasto no transporte da matéria prima até o local (serviço fretado). Desconsidera entrega produto na obra.

ELETRICIDADE

Considerando para produção média mensal de 120 mil unidades o gasto de 8.400 kWh, em um ano a fábrica gasta **100,8 MWh**.

Conforme MCT, fator médio de emissão do sistema interligado nacional, no Ano 2009= 0,0246 tCO₂/MWh³². Então 100,8 MWh/ano x 0,0246 = 2,6044 ou **2,48 t CO₂/ano**.

DIESEL

- Estimar consumo nas unidades originais: Conforme BEN (2012) óleo diesel 1m³= 0,848 tep. Dado levantado: distancia dos locais de compra do cimento, saibro, areia e cal = 412 l/mês x12= **4.944 litros / ano**

1m³=1000 litros então **4,9 m³ x 0,848 = 4,19 tep**

³² Fatores de Emissão de CO₂ <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>

Os passos seguintes não serão necessários, pois como vimos no item para tijolo cerâmico, aplicando a metodologia para óleo diesel - **1 tep = 3,10 tCO₂**

Então $4,19 \text{ tep} \times 3,10 = \mathbf{13 \text{ tCO}_2}$

GASOLINA

- Considerando o mesmo gasto de gasolina para enviar relatórios de certificação que a fábrica de tijolos cerâmicos: **0,223 tCO₂**

CIMENTO

Considerando somente a emissão de transporte para saibro e areia, os componentes do tijolo que envolvem emissão de CO₂ na fabricação, são o cimento e a cal. Conforme dados fornecidos para cada mil tijolos utiliza-se 320kg de cimento. Para 120 mil peças, são gastos 38.400 kg de cimento por mês $\times 12 = \mathbf{460,8 \text{ ton de cimento/ano}}$ são utilizados pela Lapin.

- Considerando o fator de emissão do setor cimentício no Brasil, levando em conta energia da produção e transporte das principais fabricas de cimento para o centro do Rio, igual a 0,65 tCO₂/t cimento (COSTA 2012, apud IPCC 2006, pg 106). A produção de 460,8 t de cimento usada pela fabrica emite **299,52 tCO₂/ano**.

CAL

Conforme dados fornecidos para cada 1 mil peças, gasta-se mensalmente 70kg de cal. Para 120 mil peças, o gasto mensal é de 8.400kg $\times 12 = 100,8 \text{ ton de cal/ano}$ são utilizados pela Lapin.

- Segundo pesquisa do mesmo autor (COSTA, 2012, pg. 20), informa para a Cal hidráulica a emissão de 0,59 tCO₂/t Cal. Então $100,8 \times 0,59 = \mathbf{59,47 \text{ tCO}_2/\text{ano}}$

TOTAL EMISSÃO DE CO₂

$2,48 \text{ (eletricidade)} + 13 \text{ (diesel)} + 0,223 \text{ (gasolina)} + 299,52 \text{ (cimento)} + 59,47 \text{ (cal)} = 374,693 \text{ tCO}_2$ para 3.744 ton tijolo/ano = **0,10 tCO₂**

São **0,10 tCO₂** para cada tonelada de tijolo de solo cimento produzido contra **0,054 tCO₂** para cada tonelada de tijolo cerâmico produzido com base nos dados fornecidos pelas fábricas visitadas. Portanto com os dados levantados, pode-se afirmar que na fase de produção o tijolo de solo cimento emite maior quantidade de CO₂ na atmosfera.

No entanto usualmente utiliza-se o tijolo cerâmico com revestimento e assentamento a base de cimento e cal, enquanto o tijolo de solo cimento em geral, leva somente um pequena quantidade de argamassa para rejuntamento e seu assentamento é feito por encaixe, usando-se somente um filete de cola branca nas primeiras fiadas.

A seguir são apresentados os cálculos de emissão considerando argamassa de assentamento e acabamento para receber pintura ou verniz.

7.3.TIJOLO CERÂMICO com argamassas de assentamento e acabamento:

Considerando que para executar 1m² de alvenaria são necessários 17 tijolos de 9x19x29 e 3,3kg, então cada m² tem 56,1 kg;

Considerando que com 47.520 ton de tijolo se pode construir 847.059 m² de parede;

Considerando emissão de 0,65 tCO₂/t cimento e 0,59 tCO₂/t Cal;

Considerando além da argamassa de assentamento, o acabamento interno e externo e suas quantidades de cimento e cal, considerando nulas as emissões de transporte da areia utilizada no processo:

Para **argamassa de assentamento** de alvenaria com blocos de 22x6cm e 62 peças por m² utiliza-se³³: 2,184 kg/m² de cimento e 6,188 kg/m² de cal;

Considerando usar somente 3,5 desta quantia para blocos maiores e 17 peças por m² teremos: 0,624 kg/m² de cimento e 1,768 kg/m² de cal

Para o **revestimento interno**, considerando:

chapisco espessura de 5mm - 1,2 kg/m² de cimento; emboço esp. 20mm – 6,8 kg/m² de cal; reboco esp. 5mm – 1,7 kg/m² de cal

Para o **revestimento externo**, considerando:

chapisco espessura de 5mm - 1,2 kg/m² de cimento; emboço esp. 20mm – 2 kg/m² de cimento e 5,7 kg/m² de cal; reboco esp. 5mm – 2,125 kg/m² de cal

Total – cimento 5,024 kg/m² e cal 18,093

Então se cada m² de parede leva 5 kg de cimento, 847.059 m² x5= 4.235 ton de cimento (x0,65) e **2.752** tCO₂;

E se cada m² de parede leva 18 kg de cal, 847.059 m² x18= 15.247 ton de cal (x0,59) e **8.996** tCO₂;

TOTAL EMISSÃO DE CO₂

23,6 (eletricidade) + 310,827 (diesel) + 0,223 (gasolina)+ 2222 (lenha) + 2.752 (cimento)+ 8.996 (cal) = 14.304,65 tCO₂ para 47.520 ton tijolo/ano

0,30 t CO₂ para cada tonelada **de parede de tijolo cerâmico com emboço e reboco** produzida no ano de 2009 no Brasil

7.4.TIJOLO DE SOLO CIMENTO com argamassa de acabamento

Considerando conforme dados acima, que o emboço de 20mm consome 2kg/m², com 5mm de espessura temos 0,5kg/m²;

³³ <http://cimentoeareia.com.br/quantparedes.htm>

Considerando 0,5 cm de acabamento com qualimassa em volta dos tijolos com área = 0,055/m², será necessário 0,0277kg de cimento por m²;

Considerando que para executar 1m² de alvenaria são necessários 64 tijolos de 12,5x 6,25x25 e 2,6 kg por unidade, então cada m² tem 166,4 kg;

Considerando que com 3.744 ton de tijolo se pode construir 22.500 m² de parede;

Então rejunte para 22.500 m² de parede x 0,0277kg de cimento/m² = 0,623 ton de cimento x fator de emissão 0,65 tCO₂/t cimento = 0,405 tCO₂

TOTAL EMISSÃO DE CO₂

2,48 (eletricidade) + 13 (diesel) + 0,223 (gasolina)+ 299,52 (cimento) + 59,47 (cal) + 0,40 (rejunte) = 375,09 tCO₂ para 3.744 ton tijolo/ano =

0,10 tCO₂ para cada tonelada de parede de tijolo de solo cimento com rejunte produzido no ano de 2009 no Brasil.

8. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na tabela a seguir resumo dos resultados obtidos aplicando a metodologia do IPCC..

Material	Tonelada de CO ₂ para cada tonelada produzida do material relacionado (tCO ₂)
Tijolo cerâmico	0,054
Tijolo de solo cimento	0,10
Parede de tijolo cerâmico com emboço e reboco	0,30
Parede de tijolo de solo cimento	0,10

Tabela 8- Resultados emissão tijolos e emissão paredes nos módulos do IVIG/UFRJ. Elaboração própria.

Conclui-se que programas de simulação têm a vantagem das bibliotecas, mas para serem úteis a pesquisadores brasileiros, precisam incorporar dados específicos da matriz energética e produção nacional. Assim a metodologia do IPCC mostrou-se mais adequada, quando se tem somente acesso ao demonstrativo dos programas.

Ficou claro nesta pesquisa que poucos resultados encontrados na bibliografia são comparáveis. Como visto no item 2, Análise do Ciclo de Vida, “uma empresa que utiliza menor quantidade de insumos, pode ter consumo de energia maior ou emitir mais poluentes no seu processo”. O trabalho sobre ACV para bloco cerâmico e de concreto conclui que o bloco de concreto emite

menos na fase de produção (Mastela 2002)³⁴, enquanto neste artigo conclui-se justo o inverso. Certamente o trabalho sobre ACV considerou emissões da queima de lenha ou carvão nos fornos de fabricação do tijolo cerâmico, enquanto neste estudo de caso, considerou-se que 30% do total de lenha pode ter origem em desmatamento e o restante tem emissão nula pois tem origem em florestas plantadas.

Assim utilizando o software BEES, encontrou-se emissão de 3.280 gramas de CO₂ por unidade de tijolo cerâmico, ou cerca de 3,3 kg de CO₂ por unidade, considerando como fonte de energia gás natural e eletricidade que no caso americano tem o carvão como fonte predominante. Já pesquisadores brasileiros encontraram 0,35 kg CO₂/kg de material (Soares e Pereira, 2004 e Stachera e Casagrande , 2000), ou 0,35 ton CO₂/ton tijolo, considerando a lenha de desmatamento como principal fonte. Já aplicando a metodologia do IPCC e lenha de florestas plantadas, como feito neste estudo de caso, os resultados apontam para 0,053 ton CO₂/ton tijolo. Números diferentes para fontes de energia diferentes.

Quanto a Energia Incorporada, esta diferença é corroborada por Sattler e Manfredini (2005) que destacam a falta de dados confiáveis a respeito do conteúdo energético de diversos materiais de construção, que dependem da forma como são produzidos, da indústria específica e condições de cada país.

Destaca-se a favor das construções com solo cimento ou alvenaria aparente, a pesquisa de Tavares (2006) que conclui que o maior índice de energia embutida (ou incorporada), está na pintura da edificação por causa da manutenção.

Viu-se que a quantidade de energia incorporada está relacionada à emissão de CO₂. Ficou claro nesta pesquisa que quando se considera somente a produção do material, os tijolos de solo cimento emitem mais CO₂, levando-se em conta que a olaria do estudo de caso não usa madeira de desmatamento. Assim como diversas olarias brasileiras que têm incorporado no seu processo de produção resíduos de outros setores como serragem e casca de arroz, a preocupação das fabricas de cerâmica é se adequar as novas metas de redução de impactos. Os resultados desta pesquisa mostraram que:

- São emitidos **0,10 tCO₂** / para cada tonelada de tijolo de solo cimento produzido e **0,054 tCO₂** para cada tonelada de tijolo cerâmico produzida no Brasil (ano base 2009), tendo como base as fabricas visitadas e sabendo que os resultados variam conforme a cadeia de produção de cada fabrica.

Se a lenha utilizada nos fornos das olarias tivesse como origem o desmatamento, a emissão de CO₂ seria de **0,145 ton CO₂/ ton tijolo cerâmico**³⁵, provável explicação para os números em geral superiores para o tijolo cerâmico, levantados na bibliografia.

³⁴ <http://acv.ibict.br/publicacoes/teses>

³⁵ Considerando 15.600m³/ano x 340kg = 5.304 ton/ano x 0,310 = 1644,24 tep x fator de emissão 3,99 = 6.560,5 tCO₂. A diferença entre 6.560,5 e 2.522,14 = 4.395,9 tCO₂. Total de emissão 2.522,14 tCO₂+ 4.395,9 = 6.918 para 47.520 ton tijolo/ano = **0,145 tCO₂** para cada tonelada de tijolo produzido no ano de 2009 no Brasil.

Ainda quanto à emissão de CO₂ constatou-se no estudo de caso, que cerca de 80 % (ver tabela 9) das emissões do tijolo de solo cimento são devidas ao uso do cimento, percentual similar encontrado para argamassa de assentamento e revestimento dos tijolos cerâmicos.

	Tijolo cerâmico com argamassa de acabamento	%	Tijolo solo-cimento	%
Eletricidade	23,6	0,16	2,48	0,66
Diesel	310, 827	2,17	13	3,46
Gasolina	0,223	0,02	0,223	0,07
Lenha de reflorestamento	2.222	15,53	-	-
Cimento	2752,00	19,24	299,52	79,85
Cal	8996,00	62,88	59,47	15,85
Cimento rejunte	-	-	0,40	0,11
Total	14.304,65	100	375,093	100

Tabela 9- Percentuais emissões em tCO₂ nos módulos do IVIG/UFRJ. Elaboração própria.

Na prática constatou-se que a técnica de solo cimento não é popular. No entorno da fábrica de tijolos de solo cimento visitada não havia construções utilizando o material. Se a tecnologia resulta em m² construído mais econômico, especula-se que não seja adotado por falta de orientação de projetistas, executores e por ter investimento inicial maior – conforme levantamento para referência de setembro de 2012:

Solo cimento - tijolos de 12,5x6,25x25 - custo do milheiro R\$ 686,00 (Lapin set 2012), para 1m² de alvenaria são necessários 64 unidades, com um milheiro se faz 15,6 m². Custo em torno de R\$ 44,00/m²;

Tijolo cerâmico usual - 9x19x29 – milheiro R\$ 450,00 (Cerâmica São Joaquim set 2012), para 1m² / 17 tijolos, com o milheiro se faz 57 m², considerando- se 10% de perda. Custo em torno de R\$ 8,00/m².

Tijolo cerâmico estrutural liso³⁶- 11,5x19x39 - custo do milheiro R\$ 1.400,00 (Cerâmica São Joaquim set 2012), para 1m² / 12,5 tijolos, com o milheiro se faz 80 m². Custo em torno de R\$ 17,50/m².

Custos incluem entrega obra no Rio de Janeiro. O custo do m² da cerâmica usual mais do que triplica levando-se em conta o material para acabamento. Como visto na análise das emissões, são utilizados cerca de 5Kg de cimento e 18 kg/m² de cal, com custo em torno de R\$ 20,00/m², contando com areia e os tijolos, o custo do material para a parede com reboco, pronta para pintura, ficaria em torno de R\$ 30,00/m².

Ainda que tenha custo inicial maior, o valor final do m² construído em solo cimento é menor. As vantagens da construção em solo cimento estão na eliminação das formas, argamassas de acabamento, redução de perdas de material, além de possibilitar passagem de elétrica e hidráulica sem quebra, sem gerar entulho. Segundo especialistas a redução de custo ao final da obra fica entre 20 e 40% com relação ao sistema com estrutura em concreto e alvenaria tradicional.³⁷

No caso de uma construção em cerâmica estrutural com as mesmas vantagens do solo cimento, ferragens e fundações similares, o custo final do m² provavelmente será inferior ao de solo cimento, comparando-se como acima, o custo dos blocos por m².

Quanto ao uso dos materiais analisados, novas emissões relacionadas a gastos energéticos para retirar carga térmica da edificação, ocorrerão durante sua vida útil.

Considerando-se a absorvância das superfícies dos fechamentos, a parede de cor branca (0,20) terá desempenho melhor que a parede de cor vermelha (0,74)³⁸, no entanto durante esta pesquisa, as paredes do módulo em solo cimento foram naturadas (figura 13) e passam a ser consideradas com absorvância de 0,40 e aceita para classificação A,³⁹ pela metodologia do RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade do Procel – selo brasileiro de etiquetagem quanto a eficiência energética.

³⁶ Não precisa de emboço, pode ficar aparente.

³⁷ <http://www.monteirotijolos.com/index-noticia-cap1.htm> e <http://www.tijol-eco.com.br/comparacao.html>

³⁸ ABNT NBR 15220-2

³⁹ Ver pag 80 do Manual de aplicação do RTQ-C. O manual se reporta a teto jardim devido a efeitos como a evapotranspiração ou telhas cerâmicas não esmaltadas por sua porosidade (no caso do tijolo de solo cimento, a porosidade é reduzida pelo verniz).



Figura 13. Módulo experimental e naturalização da parede de solo cimento. Dezembro de 2012.

Considerando-se somente a densidade dos materiais, quanto maior densidade, maior capacidade térmica da parede ou capacidade de atraso térmico na passagem de calor. Mas além da massa e composição do material, o atraso térmico está também relacionado à quantidade de ar contida nos furos dos tijolos. Em princípio para zona bioclimática 8 onde se encontram os módulos do estudo de caso, o recomendado pela NBR 15220 – Parte 3- Desempenho térmico de edificações, são fechamentos leves pois as variações térmicas entre dia e noite são pequenas durante todo ano. No entanto em regiões serranas desta mesma zona bioclimática, a amplitude térmica entre dia e noite aumenta favorecendo o uso de materiais mais densos como o tijolo de solo cimento.

Considera-se que para obtenção de conforto ambos os fechamentos terão melhor desempenho quando sombreados e necessitarão de menos energia de refrigeração, emitindo por tanto menor quantidade de CO₂ por evitar consumo energético. No caso do modulo naturado a sombra é produzida pelas plantas e substrato, que impedem a radiação direta na parede.

Já a vida útil dos tijolos como de qualquer material, vai estar atrelada a qualidade de sua fabricação, atendimento a normas específicas para materiais de construção, como compressão, absorção de umidade, resistência ao fogo. Os dois tipos de alvenaria analisados podem durar mais de 50 anos se protegidos das intempéries e com manutenção adequada.

Além da durabilidade dos materiais, o potencial de reuso no final de sua vida útil será também similar para ambos os materiais que triturados, podem servir de agregado na composição de novos materiais ou subleito para vias dos novos empreendimentos no local da demolição, permitindo a redução de energia incorporada inicialmente no processo de fabricação ou redução de impactos ambientais da extração, por exemplo, da brita ou areia a serem substituídas pelo material triturado.

Para reduzir as emissões da alvenaria cerâmica, é necessário usar a cerâmica estrutural aparente⁴⁰, sem revestimento e como na parede de solo cimento, ter ferragens e instalações incorporadas na montagem dos blocos. O importante seria que aos poucos, a forte indústria cerâmica brasileira incorporasse com controle de qualidade, o solo cimento em sua linha de produção, diversificando e disseminando boas práticas.

Referências Bibliográficas

ANICER (2005). Diagnóstico da Indústria de Cerâmica Vermelha no Rio de Janeiro
Execução: IBMEC Jr Consultoria. Parceiros: Sindicar Campos/ RJ, Sindicar/ RJ, Sindicar Médio Paraíba/ RJ, SEBRAE/ RJ e SENAI/ RJ. Disponível em www.anicer.com.br/arquivos/.../diagnostico_relatorio%20_final.doc
Acesso em março 2012.

BEN (2009). Anexo. Tabela E10 3.7.10.a – setor industrial cerâmica. Fatores de conversão para Tep médio

BEN (2012). Balanço Energético Nacional. Matrizes Consolidadas (tep) 1970- 2010. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf Acesso em 9 novembro 2012.

BESSA, Vanessa Montoro Taborianski (2010). Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios. Tese de doutorado defendida na Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica, USP. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21102010-114255/pt-br.php> acesso em agosto 2011

BRASIL - MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010a. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. 2ª parte. Brasília, MCT. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf acesso em nov 2012

Brasil – MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010b. Segundo Inventário brasileiro de Emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência. Emissões De Gases De Efeito Estufa Por Queima De Combustíveis: Abordagem Bottom-Up. Economia e Energia – OSCIP. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219295.pdf Acesso em nov 2012

BRASIL - MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002 Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Comunicação inicial do Brasil. Parte II. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf

BRASIL - MCT - Capítulo 2 Sumário de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa por Gás. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/328762.html>

CASTELL A., MENOUIFI K., GRACIA A., RINCÓN L., BOER D., CABEZA L. F. (2013) – Life Cycle Assessment of alveolar brick construction system incorporating phase change materials (PCMs) – Applied Energy 101pgs. 6000-608. Elsevier. Disponível em www.sciencedirect.com, acesso em jan. 2013.

CASTRO F. J.C. , (2003). A utilização de rejeitos agroindustriais, industriais e minerais na estabilização de solos para construção de moradias de interesse social. Habitare. Protótipos. Disponível em http://www.habitare.org.br/prototipos_projeto4.aspx Acesso em 8 agosto 2012.

CASTRO F. J.C. , (2012). Comunicação pessoal durante visita técnica em 7.11.2012

⁴⁰ Ainda que a cerâmica estrutural tenha maior energia incorporada pois necessita de queima em temperaturas superiores ao tijolo cerâmico comum

COSTA A. (Coord. Executiva), FREITAS M. (Coord. Acadêmica) (2005). Elaboração do Enquadramento do Projeto de Implantação do Centro de Energia e Tecnologia Sustentáveis – CETS para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – AET-04. Relatório técnico do projeto “ Implantação do Centro Energia e Tecnologias Sustentáveis no campus da UFRJ – CETS”, Convênio ECV- 918/2003.

COSTA, B.L. C. (2012). Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=search_result
Acesso em julho de 2012

CYBIS, L.F. e SANTOS, C.V.J.(2011). Análise do ciclo de vida aplicada à indústria da Construção civil - estudo de caso. Artigo apresentado no XXVI I Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-036.pdf> . Acesso em out 2011.

DODOO A. , GUSTAVSSON L., SATHRE R.(2009) - Carbon implications of end-of-life management of building materials – Resources, Conservation and Recycling 53 pg 276-286. Elsevier. Disponível em www.elsevier.com, acesso em março 2012.

EDWARDS (2005). Guia Básico para a Sustentabilidade. Editora Gustavo Gili, Barcelona.

FONSECA I. et al (2011). Avaliação do Desempenho Térmico de Protótipos Construídos, Através de Monitoramento das Condições Microclimáticas Internas. Artigo apresentado no IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) e Programa de Planejamento Energético (PPE/COPPE) da UFRJ.

GONZALEZ M.J. e NAVARRO J.G. (2005) Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. Building and Environment 41. Disponível em www.sciencedirect.com, acesso em out 201.

GRAF,H.F., TAVARES, S.F. (2010). **Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão Brasileira residencial**. Anais do 1º Congresso de Inovação, tecnologia e Sustentabilidade, Centro Universitário de Brusque (Unifebe), SC. Disponível em http://sites.unifebe.edu.br/congressoits2010/artigos/artigos/087_-_ENERGIA_INCORPORADA_DOS_MATERIAIS_DE_UMA_EDIFICACAO_PADRAO_BRASILEIRA_RESIDENCIAL.pdf Acesso em 26 de março de 2012

G U I N E E, J et al (2010). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. Artigo publicado na revista Environment, Science and Technology 45, n.1, 2011, pg 90-96.

HELPA , Camile de Fátima e SOARES, Sebastião Roberto (2011). Avaliação do ciclo de vida na construção civil brasileira: contextualização, estado da arte e perspectivas. Apresentação no VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória – ES.

HEIJUNGS, Reinout (2010). Ecodesign – Carbon Footprint – Life Cycle Assessment – Life Cycle Sustainability Analysis. a Flexible Framework for a Continuum of Tools. Artigo publicado no *Scientific Journal of Riga Technical University, Environmental and Climate Technologies, vol.4, 2010*. Disponível em: <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/8566/fulltext> Acesso em out 2011.

[IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – WWW.ibict.br](http://www.ibict.br)

IPCC (1996). Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook module 1 ENERGY. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>> acesso em 30 maio 2012

IPCC (2000). Emissions Scenarios. A special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom.

IPCC (2006). Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: ENERGY. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf> acesso em 21 novembro 2012

LEVINE, M. et al (2007). Residential and commercial buildings. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em:
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter6.pdf> Acesso em nov 2011.

LOBO, F.H.R. (2010). Inventário de Emissão Equivalente de Dióxido de Carbono e Energia Embutida na Composição de Serviços e Obras Públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná. Dissertação de mestrado em Construção Civil, área de concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em:
<http://www.prrpg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prrpg.ufpr.br/ppgcc/files/dissertacoes/d0132.pdf> . Acesso em março de 2012.

MANFREDINI, C. e SATTLER, M. (2005). Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.1, p.23-37, jan./mar. 2005

MARCOS, M.H.C.(2009). Análise da emissão de co2 na fase pré-operacional da construção de Habitações de interesse social através da utilização de uma Ferramenta Cad-Bim.Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em <http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0119.pdf>. Acesso em out 2011.

NABUT NETO, A. C. (2001). Energia incorporada e emissões de CO2 de fachadas: estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Disponível em:
http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/9837/3/2011_AbdalaCarimNabutNeto.pdf
Acesso em março de 2012

NBR 15220 (2003). Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR 12253 (1992). Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR 14040 (2001). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NEBEL, B. (2006). White Paper – Life Cycle Assessment and the Building and Construction Industry: A Report Prepared for Beacon Pathway Limited. Ed. Foundation for Research, Science and Technology. New Zealand. Disponível em [http://www.beaconpathway.co.nz/images/uploads/White_Paper TE200 Life Cycle Assessment.pdf](http://www.beaconpathway.co.nz/images/uploads/White_Paper_TE200_Life_Cycle_Assessment.pdf)
Acesso em nov 2011

NG S. T., CHEN Y., WONG J. M.W. (2013) - Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions - Environmental Impact Assessment Review 38 pg 131-141. Elsevier. Disponível em www.elsevier.com, acesso em jan 2013.

PIERETTI, L.; MILANI, A.P.S; YUBA, A.N. (2010) – Estudo do impacto ambiental no processo de produção de blocos de solo-cimento e de blocos de resíduo de construção civil e demolição. Artigo apresentado no ENTAC 2010, por pesquisadores do Departamento de estruturas e Construção civil – CCET - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Disponível em http://www.ecomaquinas.com.br/ver_meio.php?id=73 . Acesso em março de 2012.

RAMOS, D.T. e SPOSTO, R.M.(2006). Sustentabilidade no Processo de Produção de Blocos Cerâmicos com o Uso de Resíduos. Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006. Disponível em <http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo_2205.html> Acesso em 30 março de 2012.

SEBRAE (2012). Cadeia Produtiva da Cerâmica. Disponível em <http://www.sebrae.com.br/setor/ceramica-vermelha/integra_bia/ident_unico/7390> Acesso em 23.5.12

SINDICER (2008). Estudos de Mercado Cerâmica Vermelha SEBRAE e ESPM. Disponível em www.sindicerp.com.br/media/dynamic/download/SEBRAE.pdf. Acesso em 30 março de 2012.

STACHERA, T. e CASAGRANDE, E.F. (2007). Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: Estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. IX ENGEMA - Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007. Disponível em http://cefetpr.academia.edu/THEODOZIOSTACHERAJR/Papers/532733/Avaliacao_de_emissoes_de_CO2_na_construcao_civil_um_estudo_de_caso_da_habitacao_de_interesse_social_no_Parana, acesso em setembro 2011.

SURGELAS, Vladimir (2010). Inventário do ciclo de vida dos processos de Produção do bloco cerâmico e bloco de Resíduos de construção e demolição (rcd): Estudo de caso em Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG. Disponível em <http://www.ppgec.civil.cefetmg.br/site/publicacoes/dissertacoes/2010/defesa1.html>. Acesso em setembro 2011

SCHWOB, R. V., Marcelo. Perspectivas de difusão do gás natural na indústria Brasileira de cerâmica vermelha.. Dissertação de mestrado, UFRJ, Planejamento Energético. março de 2007. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/mscschwobmrv.pdf> Acesso em março de 2012.

TAVARES, S.F. (2006). Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras. Tese Doutorado, UFSC, Pós-Graduação Engenharia Civil, Florianópolis.

YAN, H. et al (2009). Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. Building and Environment 45. Disponível em www.sciencedirect.com, acesso em out 2011

WALSH, J. H. (1997). The sequestering of carbon dioxide, embodied energy and common targets for the mitigation of greenhouse gas emissions. Energy Convers. Mgmt vol. 38, suppl., pgs. S581-S588. Elsevier. Disponível em www.elsevier.com, acesso em jan 2012.

WILTING, Harm Christiaan (1996). An energy perspective on economic activities. Tese de doutorado defendida na Rijksuniversiteit Groningen, Holanda.

WOOLLEY G.R., GOUMANS J.J.J.M., WAINWRIGHT P.J (2000). Waste material in construction. Publicado no proceedings do International Conference on The Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection (WASCON 2000), disponível em: http://www.elsevier.com/wps/find/bookdescription.cws_home/621009/description#description . Acesso em setembro 2011.

Lourdes Zunino Rosa e Sylvia Rola* - Pesquisadoras do IVIG, PPE, UFRJ. Present adress: Av. Pedro Calmon s/nº Prédio Anexo ao Centro de Tecnologia, Ilha do fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21941-596. Tel. (+5521) 25628258. lourdes.rosa@ivig.coppe.ufrj.br e sylvia@ivig.coppe.ufrj.br

Agradecimentos – à bolsista Iná Maia pelo suporte na pesquisa; ao Prof. Emílio La Rovere e aos pesquisadores do IVIG Rodrigo Ribas e Mariana Egler pela orientação quanto a metodologia de cálculo de emissão de CO₂; ao Prof. Stachera pela revisão da energia incorporada; ao Prof. Casanova pela orientação sobre o uso, fabricação e cálculos relativos ao solo cimento e emissões.