

# Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto

*Relatório final*

Preparado para:

**ANICER**

09 de agosto de 2011

Este relatório foi preparado pela Quantis, uma equipe de especialistas de renome no campo da avaliação ambiental do ciclo de vida. A Quantis trabalha com empresas, governos e outros tomadores de decisão para identificar e implementar as ações corretas para minimizar o impacto ambiental dos produtos e serviços. Fundada em 2009, a empresa mantém sua sede global em Lausanne, na Suíça, com filiais em Boston, Montreal e Paris. A Quantis fornece o mais alto nível de proficiência na entrega de análise de última geração e soluções para as organizações que se esforçam para serem líderes no esforço de sustentabilidade global.

Este relatório foi elaborado pelo escritório canadense de Quantis. Favor encaminhar todas as questões relacionadas com este relatório para a Quantis Canadá.

Quantis Canada  
395 Laurier St. West  
Montreal, Quebec  
Canadá, H2V 2K3  
+1 (514) 439-9724  
info.canada@quantis-intl.com

Título do Projeto	<b>Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto</b>
Organização Contratante	ANICER
Afirmação de Responsabilidade	As informações contidas neste relatório foram compiladas e/ou calculadas a partir de fontes consideradas credíveis. A aplicação dos dados é estritamente a critério e de responsabilidade do leitor. A Quantis não se responsabiliza por qualquer perda ou dano decorrente da utilização das informações contidas neste documento.
Versão	1.0: Relatório Final ACV
Equipe do projeto	Xavier Bengoa, Gerente do Projeto (xavier.bengoa@quantis-intl.com) Mia Lafontaine, Analista (mia.lafontaine@quantis-intl.com) Benoit Chappert, Analista (benoit.chappert@quantis-intl.com) François Charron-Doucet, Controle de Qualidade (francois.charron@quantis-intl.com)
Contato do Cliente	Fernanda Duarte, ANICER (presidencia@anicer.com.br)
Revisores Externos	Marisa Vieira, Consultora ACV, Consultora PRé (vieira@pre-sustainability.com) Carlos Augusto Xavier Santos, Coordenador do Núcleo de Tecnologia da Escola Senai Mario Amato. Rosa Maria Crescencio, Supervisora do Laboratório do Centro Nacional de Tecnologia de Construção do Senai, Escola Senai Orlando Lavieri Ferraiuolo

## Sumário Executivo

A Avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma abordagem reconhecida internacionalmente que avalia o potencial impacto no meio ambiente e na saúde humana, iniciando com a extração de matérias-primas, incluindo transporte, produção, uso, e terminando com o tratamento do fim da vida. Entre outras aplicações, a ACV pode: identificar oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em vários pontos no seu ciclo de vida, informar a tomada de decisões, e dar suporte na área de marketing e comunicação. A ACV é cada vez mais empregada pela indústria da construção civil para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios, dos materiais de construção e das demais práticas construtivas. Com o atual crescimento das vendas de material de construção no Brasil, há uma grande oportunidade para ANICER, a Associação Brasileira da Indústria de Cerâmica, no sentido de promover as vantagens dos produtos cerâmicos e ajudar a posicionar este material em relação aos seus equivalentes funcionais. Neste estudo, o impacto do ciclo de vida ambiental da cobertura com telhas cerâmicas, com mais de 1m<sup>2</sup> de telhado, é comparado com a mesma função coberta com telhas de concreto. Embora o peso e o isolamento térmico não sejam o mesmo, a força da estrutura construída para suportar o telhado é considerada equivalente em ambos os casos, e uma análise de sensibilidade avalia a possível adição de uma camada de isolamento abaixo das telhas de concreto com o intuito de aumentar a resistência térmica.

Os dados primários foram fornecidos pela ANICER para melhor representar as médias da indústria na produção de telhas cerâmicas no Brasil. E os dados primários da produção de telhas de concreto foram também fornecidos o tanto quanto possível. Os dados secundários foram também extraídos da Ecoinvent, um banco de dados de inventário do ciclo de vida reconhecido internacionalmente.

A Figura 1 mostra os resultados globais do estudo do ACV comparativo. As telhas cerâmicas parecem ter menos impacto do que as telhas de concreto no que diz respeito às Mudanças Climáticas, o Esgotamento de Recursos e a Retirada de água. A diferença entre as opções em termos de saúde humana e qualidade do ecossistema, no entanto, foi muito pequena para ser considerada significativa.

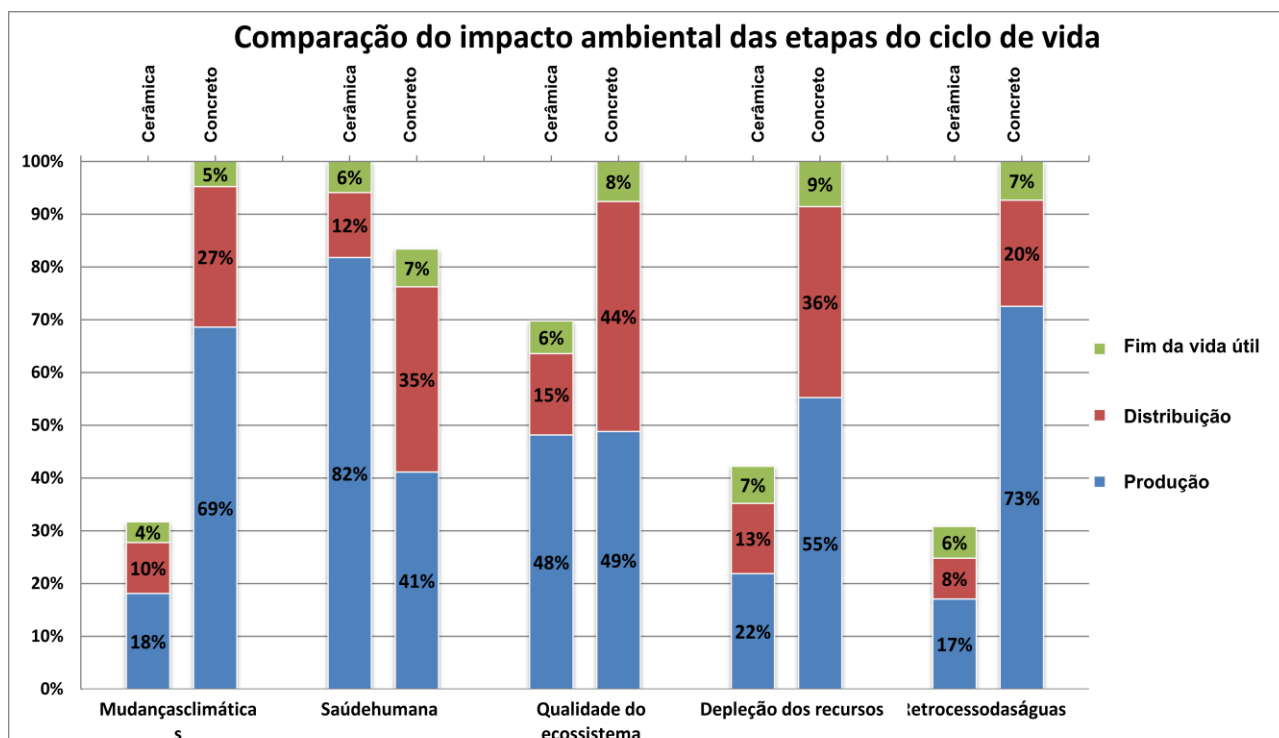


Figura 1 – Resultados da ACV comparativa de telhas cerâmicas e telhas de concreto

Enquanto os dois processos são mais ou menos semelhantes na utilização de recursos naturais, apenas com a aplicação de diferentes graus de transformação para definir solidez e a durabilidade do material de construção, os processos de fabricação são muito diferentes. A produção de concreto requer calcário e argila para serem calcinados em cimento, a temperaturas muito elevadas atingindo cerca de 1.450°C, para produzir um material intermediário que será utilizado na fabricação do produto final com a adição de areia e água, que são secas ao ar em temperatura ambiente. Para produção de telhas cerâmicas, a temperatura do forno é menor, aproximando-se de 950°C, enquanto a telha inteira deve ser cozida por um longo período de tempo. No entanto, a temperatura mais alta do processo de clinquerização requer uma combustão mais intensa, utilizando combustíveis fósseis na maioria das vezes. Visto que o cimento constitui somente cerca de 20% de telhas de concreto, o calor necessário, por m<sup>2</sup> de telhado, para fabricação das telhas de concreto é muito mais baixo do que para a fabricação das telhas cerâmicas, sendo algo de 29 MJ/m<sup>2</sup> ao invés de 126 MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Como resultado do uso de combustíveis fósseis para produção de calor, o processo de fabricação de concreto tem um grande impacto na mudança climática e no esgotamento de recursos. Por outro lado, o processo de fabricação de cerâmica utiliza lascas de madeira residual como fonte de calor, em vez de combustíveis fósseis, o que reduz significativamente o impacto sobre a Mudança

Climática durante a fabricação, enquanto aumenta o impacto sobre a saúde humana devido à emissão de partículas finas durante a combustão.

Pela razão acima, bem como pelas distâncias mais longas de distribuição, as telhas de concreto são responsáveis por um maior impacto na mudança climática e no esgotamento de recursos. O maior impacto sobre a Mudança Climática resulta também do CO<sub>2</sub> emitido durante a reação química da produção de cimento. As telhas de concreto também estão ligadas a uma maior quantidade de água retirada. Elas parecem ter mais impacto na qualidade do ecossistema, entretanto a diferença não é significativa. Em contrapartida, as telhas cerâmicas parecem ter um maior impacto na saúde humana, mas com base nas diretrizes metodológicas de avaliação, novamente a diferença não é grande o suficiente para determiná-lo.

Uma avaliação de qualidade dos dados identifica que geralmente estes são de qualidade alta ou aceitável. Avaliar a influência de diferentes parâmetros que traziam incerteza ou apresentavam cenários alternativos acerca do empacotamento e da instalação, indicam que:

- Alguma variação na expectativa de vida (menos de 10 anos, com relação ao cenário base que é de 20 anos) não afeta a pontuação das duas opções.
- O uso de processamento de alternativas de matérias-primas como argila "argilito" e areia artificial não tem impacto significativo sobre os resultados gerais.
- A embalagem de telhas de cerâmica, ou a falta dela, tem um impacto insignificante no geral.
- O uso de uma camada de isolamento de alumínio na cobertura das telhas de concreto não causa impacto significativo.
- A queda significativa na distância de distribuição de telhas de concreto associada a um aumento das distâncias para distribuição das telhas cerâmicas pode levar a um aumento potencialmente significativo do seu impacto na saúde humana.
- A utilização de um método ACV diferente ou de um método de alocação diferente para interpretar a reutilização de resíduos não afeta significativamente as conclusões.

Essas análises de sensibilidade, bem como a avaliação de incerteza realizada utilizando iterações Monte-Carlo, têm mostrado que as conclusões desta ACV são seguras.

A ACV realizada identifica alguns parâmetros-chave a serem considerados ao decidir entre o uso de telhas cerâmicas ou telhas de concreto para a cobertura do telhado. Os resultados de qualquer ACV

são uma união de muitos fatores, incluindo as premissas de modelagem, os dados utilizados e escolhas dos limites do estudo e da unidade funcional. O contexto deste estudo deve ser considerado ao interpretar e aplicar as informações apresentadas neste relatório.

# Índice

Sumário Executivo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Índice.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Lista de Tabelas.....	X
Lista de Figuras.....	X
Abreviações e Siglas.....	12
1 Introdução.....	13
2 Objetivo e escopo do estudo .....	14
2.1 Objetivos e aplicação pretendida .....	14
2.2 Descrição dos Produtos Estudados.....	14
2.3 Função Estudada, Unidade Funcional e Fluxo de Referências.....	16
2.4 Limites do Sistema .....	16
2.4.1 Descrição do Sistema Geral.....	19
2.4.2 Limite Temporal e Geográfico.....	22
2.5 Metodologia de Alocação .....	20
2.5.1 A Abordagem de Limite .....	20
2.6 Inventário de Dados, Fontes e Hipóteses sobre o Ciclo de Vida.....	22
2.6.1 Coleta de Dados .....	22
2.6.2 Hipóteses.....	25
2.7 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	26
2.8 Análises de Sensibilidade .....	27
2.9 Análise das Incertezas.....	27
2.9.1 Análise dos Dados do Inventário Incertos - Monte-Carlo.....	28
2.9.2 Caracterização dos Modelos de Incertezas.....	28
2.10 Revisão Crítica.....	29
3 Resultados.....	30
3.1 Avaliação Comparativa .....	30
3.2 Análise da Contribuição .....	33
3.2.1 Telhas de Cerâmica .....	33
3.2.2 Telhas de Concreto .....	36
3.3 Avaliação da Qualidade do Inventário de Dados.....	40



3.4	Análises de Sensibilidade .....	42
3.4.1	Vida útil das telhas .....	42
3.4.2	Uso de Argilite na Extração de Argila.....	43
3.4.3	Uso de Areia Artificial na Produção de Concreto.....	44
3.4.4	Distâncias de Transporte para Distribuição das Telhas .....	45
3.4.5	Uso de Embalagem para as Telhas de Cerâmica.....	46
3.4.6	Emissões da Produção de Cimento.....	47
3.4.7	Usode uma Camada de Isolamento com Telhas de Concreto .....	48
3.4.8	Resultados usando Diferentes Métodos de Alocação .....	49
3.4.9	Resultados usando ReCiPe como método de AICV.....	50
3.5	Avaliação da Incerteza por Monte-Carlo .....	51
4	Discussão.....	52
4.1.1	Conclusões .....	52
4.1.2	Recomendações .....	53
4.1.3	Aplicações e Limitações do Estudo .....	54
5	Referências.....	56
6	Apêndices.....	57
6.1	Apêndice A - Descrição da Metodologia da ACV .....	57
6.2	Apêndice B - Entrada de Materiais e Energia .....	64
6.3	Apêndice C - Legenda da Avaliação de Qualidade dos Dados .....	67
6.4	Apêndice D - Resultados da AICV.....	68
6.5	Apêndice E - Contribuição para a categoria de impacto por categoria de impacto.....	69
6.6	Apêndice F – Resultados da Avaliação de incertezas por Monte-Carlo.....	70
6.7	Apêndice G – Resultados das Análises de Sensibilidade.....	72
6.8	Apêndice H – Revisão Crítica.....	73
6.9	Apêndice I – Carta de Declaração da Revisão Crítica.....	76

## Listade Tabelas

Tabela 2-1 - Principais características das telhas estudadas .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 4
Tabela 2-2 - Descrição do Sistema Geral.....	18
Tabela 2-3 - Rede Brasileira de Eletricidade .....	20
Tabela 2-4 – Média da mistura de combustíveis no processo de Clinquerização no Brasil .....	25
Tabela 2-5 - Membros do Painel de Revisão Crítica .....	29
Tabela 3-1 - Resultados de ponto médio da ACV para telhas de cerâmica e de concreto (1 m <sup>2</sup> ) (IMPACT 2002+) .....	30
Tabela 3-2 - Indicadores Comparativos de ACV para telhas de cerâmica e de concreto (1 m <sup>2</sup> ) (IMPACT 2002+) .....	31
Tabela 3-3 - Avaliação da qualidade dos dados para ACV da telha de cerâmica.....	40
Tabela 3-4 - Avaliação da qualidade de dados para ACV da telha de concreto .....	41
Tabela 8-1 - Dados de Entrada de Material e Energia para Telhas de Cerâmica.....	64
Tabela 8-2 - Dados de Entrada de Materiais e Energia para Telhas de Concreto.....	66

## Lista de Figuras

Figura 2-1 - Limites do Sistema- Ciclo de Vida das Telhas de Cerâmica .....	16
Figura 2-2 - Limites do Sistema – Ciclo de Vida das Telhas de Concreto.....	17
Figura 3-1 Resultados comparativos da ACV para telhas de cerâmica e de concreto (IMPACT2002+) .....	32
Figura 3-2 – Contribuição ao impacto dos estágios do ciclo de vida na Mudança Climática para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+).....	33
Figura 3-3 – Contribuição para o impacto na Saúde Humana dos estágios do ciclo de vida para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+).....	34

Figura 3-4 – Contribuição para o impacto na Qualidade do Ecossistema dos estágios do ciclo de vida para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+).....	35
Figura 3-5 - Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida no Esgotamento de recursos para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+).....	35
Figura 3-6 – Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida na Retirada de Água para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+).....	36
Figura 3-7 – Contribuição para o impacto na Mudança Climática dos estágios do ciclo de vida na para as telhas de concreto (IMPACT 2002+).....	37
Figura 3-8 - Contribuição do impacto na Saúde Humana dos estágios do ciclo de vida para telhas de concreto (IMPACT2002+).....	38
Figura 3-9 – Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida na Qualidade do Ecossistema para telhas de concreto (IMPACT2002+).....	38
Figura 3-10 - Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida no Esgotamento dos Recursos para telhas de concreto (IMPACT2002+).....	39
Figura 3-11 – Impacto de Retirada de Água para telhas de concreto (IMPACT2002+).....	39
Figura 3-12 - Análise de Sensibilidade na vida útil das telhas de concreto (IMPACT 2002+).....	43
Figura 3-13 - Análise de Sensibilidade no uso do Argilito na produção de cerâmica.....	44
Figura 3-14 - Análise de Sensibilidade no uso de areia artificial na produção de cimento.....	45
Figura 3-15 - Análise de sensibilidade para distâncias de distribuição (IMPACT 2002+).....	46
Figura 3-16 - Análise de Sensibilidade para Uso de Embalagem para Telhas de Cerâmica (IMPACT 2002+).....	47
Figura 3-17 - Análise de Sensibilidade para Emissões da Produção de Cimento (IMPACT 2002+).....	48
Figura 3-18 - Análise de Sensibilidade para uso de camada de isolamento com Telhas de Concreto (IMPACT 2002+).....	49
Figura 3-19 - Análise de Sensibilidade para os métodos de alocação para recuperação de energia...	50
Figura 3-20 -Análise de Sensibilidade usando o método AICV ReCiPe (H).....	50

## Abreviações e Siglas

CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DALY	Deficiência proporcional ao número de anos
GWP	Potencial de Aquecimento Global
ISO	Organização Internacional de Normalização
ACV	Análise do Ciclo De Vida
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
AICV	Análise de Impacto do Ciclo de Vida
PDF*m <sup>2</sup> *ano	Fração potencialmente insignificante por metro quadrado de terra por ano
PM <sub>2.5</sub>	Partículas finas
Kg	Quilograma = 1,000 gramas (g)
kWh	quilowatt-hora = 3,600,000 joules (j)
MJ	Megajoule = 1,000,000 joules
NO <sub>x</sub>	Óxido de Nitrogênio

## 1 Introdução

A crescente consciência da importância das consequências ambientais associados aos produtos e serviços gerou uma inovação dos métodos para melhor entender e gerenciar, de forma proativa, tais potenciais impactos. A ferramenta principal para a realização desta, e a única ferramenta que pode fazer uma avaliação completa de todas as fontes e tipos de impacto é a Avaliação Do Ciclo De Vida (ACV), um sistema definido pelos padrões da Organização Internacional de Normalização (ISO) 14040-14044 (ISO 14040 2006; ISO 14044 2006).

A ACV é uma abordagem reconhecida internacionalmente que avalia o potencial do impacto na saúde humana e no meio ambiente associados aos produtos e serviços em todo seu ciclo de vida, começando com a extração de matérias-primas, incluindo transporte, produção, utilização e o tratamento final. Entre outras aplicações, a ACV pode identificar oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em vários pontos no seu ciclo de vida, informar a tomada de decisões e dar suporte na área de marketing e comunicação. É importante notar, no entanto, que os impactos descritos pela ACV são estimativas dos impactos potenciais, ao invés de medições diretas dos impactos reais.

A ACV é cada vez mais empregada pela indústria da construção civil para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios, materiais de construção e demais práticas de construção. A Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (Abramat) prevê um crescimento de 8,8% nas vendas de materiais de construção no Brasil em 2011, enquanto as vendas devem crescer 48% nos próximos cinco anos (Obelisco, 2011). Face a um mercado em crescimento, há uma grande oportunidade para a ANICER, a Associação Brasileira da Indústria de Cerâmica, no sentido de promover as vantagens dos produtos cerâmicos e ajudar a posicionar este material em relação aos seus equivalentes funcionais. Neste estudo, a ANICER optou por comparar o impacto ambiental do ciclo de vida de telhas de cerâmica com as telhas de concreto equivalentes. A revisão por pares foi encomendada para validar a confiabilidade dos resultados e o nível de conformidade com a série ISO 14040, que define as normas de aplicação da ACV.

## 2. Objetivo e escopo do estudo

Este capítulo descreve o objetivo e escopo do estudo, juntamente com o sistema metodológico da ACV.

### 2.1 Objetivos e aplicação pretendida

O escopo de interesse é definido pela comercialização de materiais de construção aplicados em coberturas. Esta investigação tem por objetivo avaliar o impacto ambiental global das típicas telhas de cerâmica e de concreto usados para a cobertura de um telhado à brasileira “do berço ao túmulo”. Mais especificamente, os objetivos do estudo são as seguintes:

- I. Identificar e compreender os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de cerâmica no Brasil;
- II. Comparar o seu desempenho ambiental com o das telhas de concreto no Brasil, e;
- III. Avaliar a influência dos pressupostos centrais e das variáveis selecionadas no modelo, tal como a vida útil das telhas e as diferenças de isolamento térmico entre os dois tipos de telhas.

Os resultados deste estudo são destinados para divulgação pública pela ANICER, a seu critério, e como suporte em defesa da vantagem ambiental de telhas de cerâmica no mercado brasileiro.

De acordo com as normas ISO, se os resultados de uma ACV comparativa forem comunicados publicamente, a revisão crítica é obrigatória. A intenção da revisão de terceiros é aprimorar a qualidade e credibilidade, melhorando assim a aceitação pública do estudo. Para este tipo de estudo, a revisão crítica é conduzida por um painel de avaliadores, incluindo um representante das indústrias de cerâmica e cimento, e um perito em ACV. O processo de revisão está descrito na Seção 2.10.

### 2.2 Descrição dos produtos estudados

Este estudo está focado na cobertura de telhado com dois tipos diferentes de telhas: telhas cerâmicas feitas de barro e telhas feitas de concreto. As características desses produtos estão resumidas na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Principais características das telhas estudadas

Características	Telhas Cerâmica	Telhas de Concreto
Peso (kg)	2.4	4.5

Cobertura do telhado (telhas/m <sup>2</sup> )	16	10.4
Vida útil (anos)	20	20

Estas características representam as médias de telhas no contexto brasileiro.

### 2.3 Função Estudada, Unidade Funcional e Fluxos de Referência

A avaliação do ciclo de vida depende de uma "unidade funcional" como referência para avaliar os componentes dentro de um sistema único ou entre vários sistemas com uma base em comum. É fundamental que este parâmetro seja claramente definido, com um cenário comparável e equivalente para os dois sistemas comparados.

A unidade funcional para este estudo é definido como:

**“Cobertura de 1 m<sup>2</sup> de teto com telhas, para uma duração de 20 anos, no Brasil”**

A principal função da cobertura do telhado é para proteger o interior do edifício de eventos climáticos (chuva, vento, neve, etc.), enquanto ajuda a manter o isolamento térmico. Tanto as telhas de cerâmica quanto as de concreto cumprem esta função. No cenário base, presume-se que os produtos são instalados de maneira semelhante, independentemente do isolamento térmico. Esta hipótese é testada em uma análise de sensibilidade. Além disso, presume-se que o isolamento acústico e estético sejam equivalentes.

Para definir a unidade funcional são utilizados, como principais fluxos de referência, os seguintes cálculos:

- Para cobrir 1m<sup>2</sup> de telhado com telhas de cerâmica são necessárias 16 peças, totalizando 38,4 kg de cerâmica;
- Para cobrir 1m<sup>2</sup> de telhado com telhas de concreto são necessárias 10,4 telhas, totalizando 46,8 kg de concreto.

### 2.4 Os Limites do Sistema

Os limites do sistema identificam as fases do ciclo de vida, os processos e os fluxos considerados na ACV, e deve-se incluir todas as atividades necessárias para proporcionar uma função especificada e, portanto, relevantes para a consecução dos objetivos do estudo acima referido. Os parágrafos seguintes apresentam uma descrição geral do sistema, bem como os limites temporais e geográficos do presente estudo. As figuras 2-1 e 2-2 ilustram os limites do sistema para o ciclo de vida de telhas de cerâmica e concreto, respectivamente.

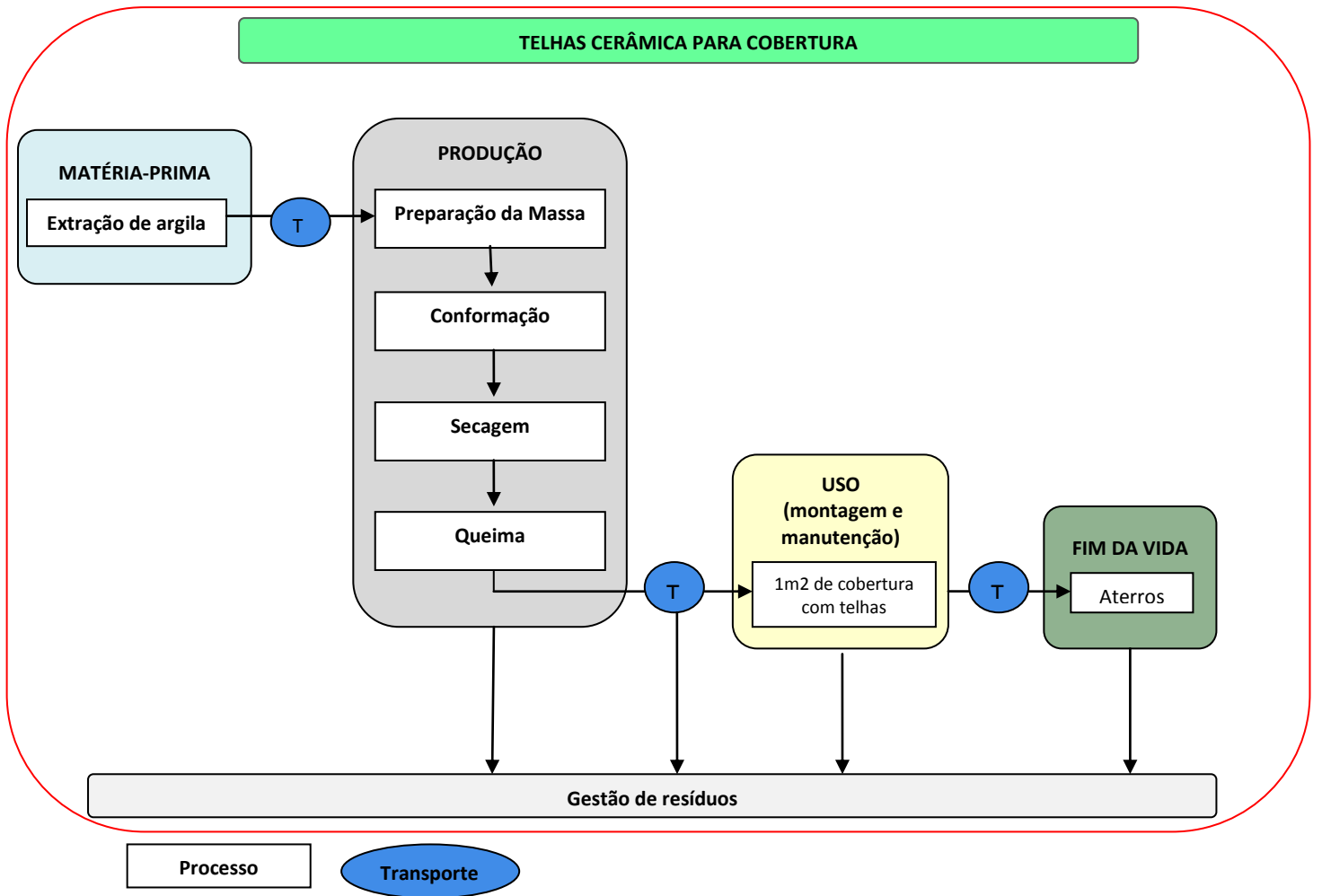


Figura1-1 – Limites do Sistema- Ciclo de Vida das Telhas de Cerâmica



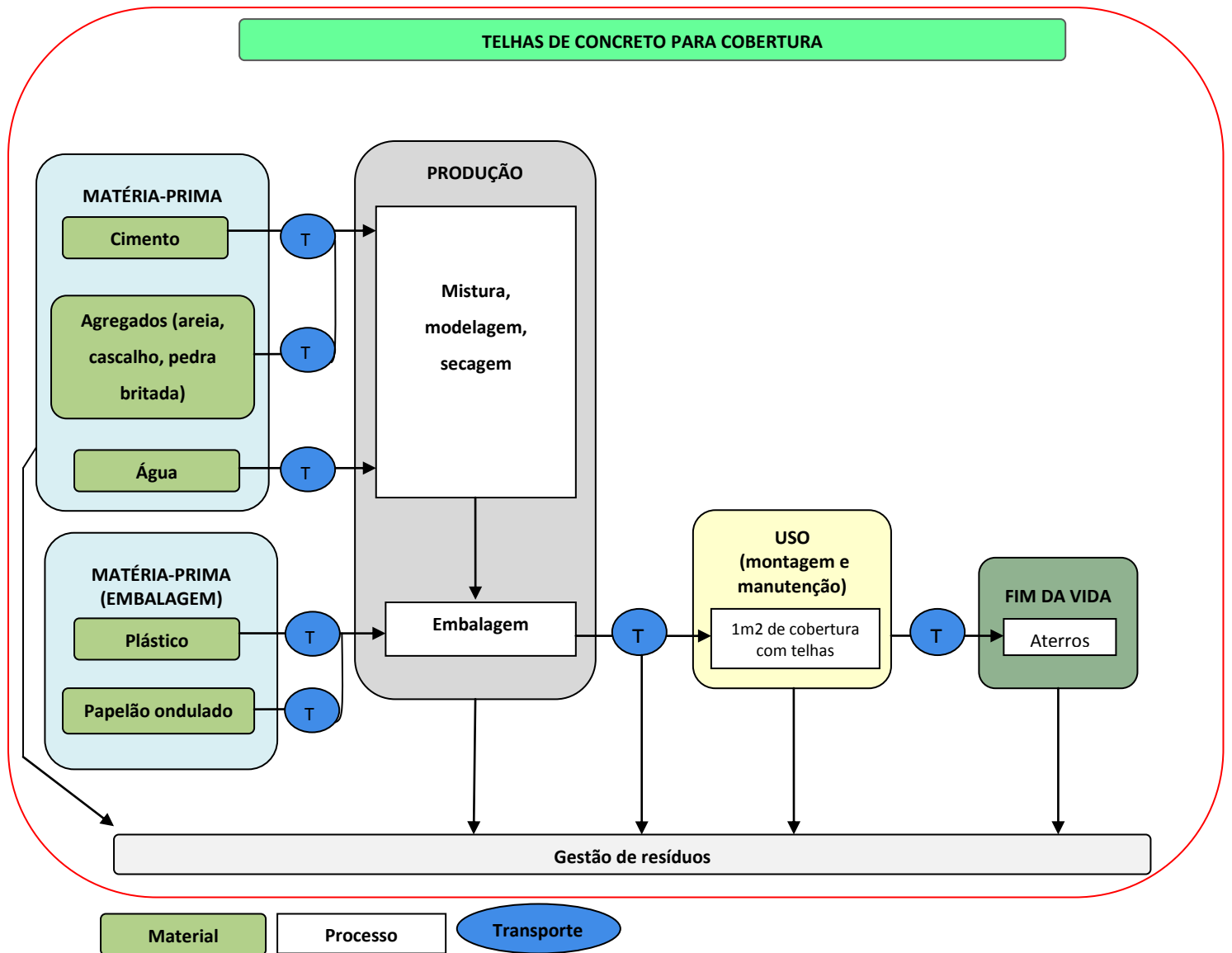


Figura 1-2 – Limites do Sistema – Ciclo de Vida das Telhas de Concreto

### 2.4.1 Descrição do Sistema Geral

Este estudo avalia o ciclo de vida de telhas de cerâmica e de concreto, a partir da extração e processamento de todas as matérias-primas até o final da vida útil das telhas. Os limites do sistema de telhas cerâmicas e do sistema das telhas de concreto para este estudo são, respectivamente, descritos na Tabela 2-2. Dados atuais do processo e as fontes são detalhados no Apêndice A.

Tabela1-1 - Descrição do Sistema Geral

DESCRIÇÃO DO CICLO DE VIDA DA TELHA CERÂMICA	DESCRIÇÃO DO CICLO DE VIDA DA TELHA DE CONCRETO
<b>Extração de Matéria-prima</b>	
<p>Telhas de cerâmica são feitas de argila com um pouco de água adicionada.</p> <p>A extração de argila é realizada com retroescavadeiras, pás carregadeiras e escavadeiras.</p> <p>A argila endurecida, chamada de "argilito"<sup>1</sup> em Português, conhecida por ser de maior qualidade, pode ser escavado por meio de jateamento.</p>	<p>Telhas de concreto são compostas de areia, cimento e água.</p> <p>A areia é extraída dos poços de areia dos leitos dos rios. A areia artificial também pode ser produzida por esmagamento de rochas.</p> <p>A principal matéria-prima para a produção de cimento é a extração de calcário, que normalmente é retirado de pedreiras abertas, no Brasil, com o uso de explosivos. A argila, o outro ingrediente usado na produção de cimento, é extraída da mesma forma que a argila usada na fabricação de telhas cerâmicas.</p>
<b>Transporte</b>	
<p>Os caminhões andam um total de 108km em cada sentido entre a jazida de argila e a fábrica.</p>	<p>A areia, o calcário e a argila extraídos são transportados por mais de 150km de caminhão até a fábrica de cimento. Depois, o cimento é transportado por mais de 300km até a fábrica da telha.</p>
<b>Fabricação</b>	
<b>Preparação de massa</b>	<b>Britagem e Moagem</b>
<p>O preparo é realizado com uma pá mecânica de</p>	<p>O Calcário é esmagado antes de ser mantido em</p>

<sup>1</sup> "Argilito" pode ser traduzido para "mudstone", mas devido à falta de certeza com a tradução em Inglês, este documento se refere ao termo brasileiro.

carregamento e de mistura.

### **Modelagem**

As telhas são moldadas usando uma variedade de equipamentos (tais como moldes) e trabalho manual.

### **Secagem**

A fase de secagem permite a redução da umidade a partir de um conteúdo de 25% para 3% em massa. O calor recuperado da etapa de queima é usado.

### **Queima**

As telhas são cozidas na etapa da queima para transformar o material em resultado sólido. Este é processado se utiliza em fornos que queimam pedaços de madeira (ou outros resíduos orgânicos) fornecidos como resíduo da indústria de móveis de madeira. Há uma taxa de perda de cerca de 1,5%, o que é reprocessado e incorporado à massa (até 5%) ou vendida para terrenos de quadra de tênis (avaliada em menos de 1% do peso total, excluído).

A maioria das telhas são transportadas sem a necessidade de embalagens ou de paletização.

compartimentos de armazenamento, juntamente com a argila. Em seguida, a mistura de calcário (90%) e argila (10%) é esmagada no moinho.

A matéria-prima feita por uma mistura de calcário e argila produzida sofre moagem para reduzir o tamanho das partículas a uma média de 0,050mm.

A mistura natural adequadamente dosada com um material de fineza desejada, conhecida como farinha, é homogeneizada em grandes silos verticais através de processos pneumáticos e de gravidade.

### **Clinquerização**

A farinha é introduzida no forno antes de passar por preaquecedores que se aproveitam de fornos de recuperação de calor para promover o aquecimento inicial do material. No forno rotativo a mistura é calcinada até 1450°C, resultando o clínquer.

### **Resfriamento**

Um refrigerador reduz a temperatura para cerca de 80°C. Segue então para armazenamento.

### **Moagem (adição)**

O clínquer é misturado com gesso e produtos químicos armazenados separadamente até que entram no moinho de cimento, onde os aditivos são misturados, resultando na mistura de cimento comercializado.

### **Mistura**

Depois do armazenamento inicial em silos, uma mistura de cimento (20%), areia (70%) e água (10%) é misturada para produzir o concreto molhado.

### **Modelagem e Secagem**

As telhas são moldadas e secam naturalmente.

### **Revestimento**

Um selador ou selante (agente de revestimento) é aplicado sobre as telhas.

### **Distribuição**

As telhas são transportadas para armazenamento, percorrendo uma distância As telhas são transportadas para armazenamento, percorrendo uma distância

média de 120km, e depois mais 5km até o cliente final.	média de 450km, com ajuste de peso para transportar telhas mais pesadas.
<b>Uso</b>	
As telhas são instaladas manualmente. Exclui-se a manutenção, pois é considerada desprezível.	As telhas são instaladas manualmente. Exclui-se a manutenção, pois é considerada desprezível.
<b>Fim da vida</b>	
As telhas são desmontadas e enviadas para aterro. A distância de transporte de 50km está incluída nesta fase.	As telhas são desmontadas e enviadas para aterro. A distância de transporte de 50km está incluída nesta fase.

#### 2.4.2 Limite Temporal e Geográfico

Esta ACV é representativa das indústrias de cerâmica e de cimento e processos associados (por exemplo, meios de transporte e rede elétrica) em um contexto brasileiro na época do estudo (2010-2011), em um período de uso por mais de 20 anos, com impacto de descarte gerado 20 anos depois.

Note-se que os processos dentro dos limites do sistema podem ocorrer em qualquer lugar ou em qualquer momento, contanto que eles sejam necessários para alcançar a unidade funcional.

Por exemplo, certos processos podem gerar emissões durante um período maior do que apenas no ano de referência. Isso se aplica à deposição em aterro, o que provoca emissões (biogás e lixiviados) durante um período de tempo, cuja duração (várias décadas até mais de um século / milênio) depende dos parâmetros de design e do funcionamento dos elementos fósseis e como as emissões são incorporadas ao ambiente.

#### 2.5 Metodologia de Alocação

Um ponto de decisão metodológica comum na ACV ocorre quando o sistema estudado tem relação direta com um sistema passado ou futuro. Por exemplo, na indústria da construção, um material reutilizado é um produto que se submete a dois ciclos de vida: um como material virgem na edificação original e um como material reutilizado em uma segunda edificação (ou outra aplicação). Da mesma forma, restos de produção ou materiais no fim de sua vida útil podem ser incinerados e usados para recuperação do calor. De qualquer forma, o ciclo de vida dos materiais estudados não podem ser considerados isoladamente.

Quando sistemas estão ligados desta forma, ou os limites do sistema de interesse são ampliados para incluir o sistema adicional, ou os impactos dos itens interligados são distribuídos – ou alocados

– pelos sistemas. Enquanto a ISO 14040 recomenda o anterior como um primeiro recurso, tal tarefa geralmente requer mais recursos do que os disponíveis para um projeto, porque a ampliação dos sistemas pode ocorrer indefinidamente se não for encurtada de alguma forma. Outra recomendação ISO é alocar os impactos dos recursos entre os sistemas anexos em que entram durante todo o tempo de vida – passado, presente e futuro. Esta última é a abordagem selecionada para este estudo.

Ao fazer a alocação, o método escolhido deve seguir um questionário para determinar quais sistemas são responsáveis por quais impactos. A resposta raramente é simples. No caso de materiais reciclados, um sistema é responsável por fornecer o material, enquanto o outro sistema é responsável por reutilizá-lo. Como com a construção ocorre normalmente o *downcycle* – ou seja, o resíduo não é reciclado e reutilizado da mesma forma, mas, sim, de maneira muito menos valorizada – a abordagem escolhida é a de limite.

Para o uso de madeira residual para fogo, dado o co-invento foi usado, o qual usa alocação econômica (em 5%) para a maior parte do impacto enquanto uma correção baseada no volume (11,5%) é adicionada à conta para o equilíbrio entre massa e energia ignorado pela alocação econômica (SCLCI, 2010).

### 2.5.1 A Abordagem de Limite

A abordagem de limite é aplicada para se evitar contagem em duplicidade, um problema que ocorre quando um produto é creditado em sua reciclagem no estágio de fim da vida, enquanto o produto que reutiliza o material residual nos materiais reciclados também é creditado para evitar a produção de matéria prima.

Ao se aplicar a abordagem de limite, é o produto que usa resíduos que se beneficia das emissões evitadas na produção de material virgem ao mesmo tempo em que carrega o peso das emissões relacionadas ao tratamento de fim da vida, como aterro. Assim, não há impacto (ou crédito por impacto evitado) alocado no estágio fim da vida no primeiro sistema, exceto do transporte necessário para local de depósito.

Todo impacto ambiental resultante de extração de matéria-prima é totalmente alocado no primeiro sistema e não no do produto feito a partir de sua reciclagem. Entretanto, qualquer impacto resultante da transformação do primeiro produto seguido de seu descarte, como quebra ou limpeza, é alocado no produto seguinte feito com este material.

Neste estudo, a abordagem de limite é aplicada aos resíduos (pneus, óleos usados) que são queimados para recuperação de energia na produção de cimento.

## 2.6 Inventário de Dados, Fontes e Hipóteses sobre o Ciclo de Vida

A qualidade do ACV depende da qualidade dos dados utilizados na avaliação. Todo esforço nesta investigação foi direcionado a implementar a informação mais confiável e representativa da realidade possível.

### 2.6.1 Coleta de Dados

O processo de coleta de dados, inclusive das escolhas das hipóteses em estudo, foi conduzido interativamente entre a Quantis e a ANICER. A equipe é composta por especialistas da indústria de cerâmica brasileira, assim como por especialistas em avaliação do ciclo de vida. Os resultados da ACV dependem da qualidade dos dados usados no inventário de análise. Assim, todo esforço foi feito nesta investigação para implementar a informação mais robusta e representativa disponível.

A coleta de dados do ICV refere-se aos materiais usados, a energia consumida e os resíduos e emissões gerados em cada processo incluídos nos limites do sistema. Como esta ACV busca comparar telhas genéricas, dados primários relativos a diversos processos específicos foram coletados e usados para gerar conjuntos de dados gerais representativos das regras e práticas gerais nas indústrias brasileiras de concreto e cerâmica. A maior parte destes dados foi fornecida pela ANICER.

Dados incompletos, não-acessíveis, ou que estavam faltando foram completados por dados secundários, por exemplo, com o banco de dados *ecoinvent*, conjunto de dados de bancos públicos disponíveis, crítica literária e julgamento de especialistas.

A maior parte dos dados são dos módulos do inventário de ciclo de vida (ICV) disponíveis no banco de dados *ecoinvent* europeu 2.2 ([www.ecoinvent.ch/](http://www.ecoinvent.ch/)). Ele é internacionalmente reconhecido pelos especialistas na área como o ICV mais completo disponível, ultrapassando em muito outros bancos de dados comerciais de uma perspectiva quantitativa (número de processos incluídos) e qualitativa (qualidade dos processos de validação, integralidade dos dados, etc.).

O banco de dados *ecoinvent* contém somente os processos que tomam como modelo o transporte por rodovias em um contexto europeu. A Quantis adaptou tais processos para que pudessem ser representativos do transporte em um contexto norte-americano, baseando-se em dados publicados

com a média de carga e de consumo de combustível de todos os tipos de caminhões usados para transporte na América do Norte (BEEP, 2010).

É pressuposto aqui que o transporte na América do Norte é mais representativo do contexto brasileiro do que o transporte europeu. O caminhão médio para longa distância é o caminhão-baú seco 53. Além disso, para este estudo a carga foi especificada pela ANICER para a maior parte dos estágios de transporte. Caso contrário, a carga média de 17,56 toneladas foi usada quando não havia dados disponíveis.

Em geral, deve-se notar que usar dados europeus para representar processos brasileiros pode causar influências em certas áreas. Entretanto, acreditamos que a consistência e precisão desta base de dados a fazem a opção preferível para representar as condições brasileiras em comparação com outros dados disponíveis para outros processos.

Além disso, embora *coinvent* seja de proveniência europeia, ela contém informações que representam muitas regiões do mundo. Por exemplo, a rede brasileira de eletricidade está inclusa. A rede brasileira de eletricidade, como apresentada na Tabela 2-3, foi utilizada especificamente em todos os processos de primeiro plano, refletindo atividade primária conhecida que acontece no Brasil. Substituição pela rede brasileira no segundo plano de todos os processos, entretanto, não foi feita (exemplo: para manufatura de equipamento).

Tabela1-2–Rede Brasileira de Eletricidade

Fonte de Energia	Distribuição
Hidroelétrica	83.70%
Gás Natural	4.83%
Biomassa (Bagaço)	3.96%
Nuclear	2.33%
Diesel (Co-Gen)	1.93%
Hulha/Carvão	1.90%
Óleo	0.74%
Gás industrial	0.60%
Eólica	0.01%

Além disso, todos os dados utilizados e apresentados no Apêndice B foram:

- 1) verificados em relação à sua representatividade temporal, geográfica e tecnológica;
- 2) recolhidos com mais alto nível de detalhes possível;
- 3) documentados de acordo com as melhores práticas disponíveis.

### 2.6.2 Hipóteses

Diversas hipóteses foram utilizadas pelo corpo de trabalho. Esta seção descreve as que são universais para o estudo, enquanto hipóteses de informações específicas são fornecidas nas descrições dos dados coletados.

As hipóteses são revisadas pela equipe de projeto e preparadas para o setor de construção comercial onde couber e para o de geografia onde houver informação disponível.

#### ***2.6.2.1 Processo de Manufatura de Concreto***

Devido a falta de dados específicos de emissão pelo processo de manufatura do concreto no Brasil, especialmente aqueles relacionados à queima do combustível na fase de clínquerização, os dadosecoinvent (“Telha de concreto, na planta/CH”) são usados e adaptados às condições específicas fornecidas (distâncias para transporte, areia e proporções de cimento). A conveniência deste conjunto de dados é endossada pela taxa de emissão de GEE por tonelada de cimento de 0.838 t CO<sub>2</sub>-eq/t (SCLCI, 2010) que coincide com a pesagem média internacional de 0.83 t CO<sub>2</sub>-eq/t (IEA, 2007).

#### ***2.6.2.2 Vida Útil da Telha***

É assumido que as telhas de concreto e de cerâmica têm a mesma vida útil de 20 anos, após o qual são retiradas do telhado e transportadas para o aterro. A análise de sensibilidade é realizada sobre este parâmetro.

#### ***2.6.2.3 Desempenho de Isolamento térmico***

As telhas de concreto fornecem menos isolamento térmico que as telhas de cerâmica, assim, a temperatura abaixo é tipicamente mais alta. Em alguns casos, uma cobertura de alumínio é aplicada como uma primeira camada para diminuir a irradiação de calor. É presumido que esta camada extra não esteja presente na maior parte dos casos. O cenário com cobertura de alumínio é testado na análise de sensibilidade.

#### ***2.6.2.4 Estrutura do Telhado***

Embora 1m<sup>2</sup> de telhado coberto com telhas de concreto seja 8,4kg mais pesado do que 1m<sup>2</sup> de cobertura com telhas de cerâmica, presume-se que ambas as soluções de cobertura dos telhados requeiram a mesma estrutura.



### 2.6.2.5 Produção de Cimento

As emissões da produção de cimento são presumidas para assemelhar-se às emissões de produção como relatado no conjunto de dados ecoinvent. Uma adaptada mistura de combustível brasileira é inserida no conjunto de dados, substituindo a média suíça. Esta mistura de combustível é detalhada na Tabela 2-4 (CCAP, 2009).

Tabela 1-3 – Média da mistura de combustíveis no processo de Clinquerização no Brasil

Fontes de Calor	Percentual
Coque de Petróleo	76.60%
Outras fontes (tais como pneus usados)	11.00%
Carvão Vegetal	7.39%
Carvão-vapor	1.98%
Óleo Diesel	1.35%
Óleo Combustível	0.86%
Gás Natural	0.81%
Lenha	0.00%

No entanto, como não detalhadas as emissões de combustão de gás de dados que estavam disponíveis para atualizar o início do processo, os dados de emissões a partir deste conjunto de dados ecoinvent foram mantidos. Segundo o relatório ecoinvent, foram baseados em dados de emissão publicados pela EPA dos EUA de 1998. Para avaliar a sensibilidade da emissão de uma mistura de combustível diferente, os dados de início foram testados para sensibilidade em uma comparação com os dados publicados para o Canadá.

Entretanto, como não havia dados detalhados sobre as emissões de gás combustível disponíveis para atualizar o processo de saída, dados sobre emissão deste conjunto de dados ecoinvent foram preservados. De acordo com o relatório ecoinvent, as informações se baseiam em dados publicados pela EPA - EUA (US EPA) em 1998. Para avaliar a sensibilidade da emissão em relação a uma outra mistura de combustível, os dados de início foram testados para sensibilidade em uma comparação com dados publicados pelo Canadá.

### 2.6.2.6 Fase de Utilização

Durante a colocação do telhado, foi considerado 1% as perdas de telhas para ambos os materiais. Como está abaixo do nosso critério de cortes, essas perdas não são considerados no estudo.

### 2.6.2.7 Fim da Vida

Para ambos os sistemas de telhado, com telhas de cerâmica e com telhas de concreto, presume-se que as perdas ocorridas ao longo do ciclo de vida são encaminhadas para aterro, a menos que outro destino seja claramente especificado.

A mesma suposição é feita para as telhas na fase final de vida.

## 2.7 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

A Avaliação do Impacto classifica e combina os fluxos de materiais, energia e emissões que entram e saem de cada sistema de produção pelo tipo de impacto que seu uso ou emissão tem no ambiente. O método empregado aqui é revisado e internacionalmente reconhecido, o método AICV IMPACT 2002+ v2.2 (Jolliet et al. 2003, como atualizado em Humbert et al. 2011). Este método avalia 16 diferentes categorias de impactos potenciais (ponto médio) e, depois, agrega a maior parte deles em 3 categorias de ponto de saturação. Eles são apresentados junto com o ponto central da categoria para mudança climática, por sua importância individual, assim como o indicador de retirada da água. No total, os cinco indicadores são os seguintes:

- Mudança Climática (em kg CO<sub>2</sub>-eq);
- Saúde Humana (em DALY);
- Qualidade do Ecossistema (em PDF\*m<sup>2</sup>\*ano);
- Esgotamento de Recursos (Primariamente MJ);
- Retirada de água (emL).

IMPACT 2002+ usa a ciência mais moderna preocupando-se com o aquecimento global e oferece a maior consistência de dados que possa ser apresentada. A exclusão de monóxido e dióxido de carbono biogênico, assim como um fator reduzido de emissão para metano biogênico, evita cálculos incorretos de emissões de carbono de ciclo curto (absorvidos e lançados pela vegetação) juntamente com as emissões de combustíveis fósseis, anteriormente armazenados permanentemente no subsolo.

Note-se que para os indicadores relacionados à saúde humana, apenas foram considerados os impactos que ocorrem pela emissão de substâncias no ambiente externo e a exposição de humanos daquele ambiente; exposição direta pelo ar interno ou poeira está excluída. Uma avaliação da exposição interna está além das capacidades atuais da ciência do ciclo de vida devido à falta de informações sobre a liberação de produtos químicos dos materiais de construção e à falta de um

método estabelecido para incorporar exposições dentro do ambiente interno na avaliação de impacto do ciclo de vida. Entretanto, avanços recentes estão levando a possibilitar tal avaliação (exemplo, Hellweg 2009).

Descrições das categorias de impacto presentes neste documento encontram-se em Apêndice A – Descrição da Metodologia da **ACV**. Nenhum indicador de pesagem foi feito.

A avaliação do ciclo de vida é conduzida usando-se o SimaPro 7.3, programa ACV comercial.

Nenhuma normalização de dados foi completada para que se evitasse comparações de impacto entre categorias.

## 2.8 Análises de Sensibilidade

Diversos parâmetros que foram utilizados quando da modelagem dos sistemas apresentam um certo grau de incerteza, especialmente no que concerne às hipóteses genéricas de dados, de módulos e escolhas metodológicas. Os resultados obtidos relacionam-se a estes parâmetros e suas incertezas são transferidas às conclusões.

Dos principais colaboradores (processos/parâmetros) identificados na avaliação de qualidade dos dados, análises de sensibilidade foram feitas com base nos seguintes parâmetros:

- A vida útil das telhas de concreto;
- O uso de argilito no processo de extração das telhas cerâmicas;
- O uso de areia artificial na produção de telhas de concreto;
- O uso de embalagens para telhas cerâmicas;
- O desempenho de isolamento térmico de telhas de cerâmica versus as de concreto;
- As emissões da produção de cimento;
- As distâncias para distribuição de produtos acabados em armazenamento;
- O uso de fórmula/receita como um método AICV.

Para que fosse possível, os valores dos parâmetros incertos foram trocados por valores diferentes, mas razoáveis (veja Apêndice C). A extensão da variação nos resultados indicavam a importância dos parâmetros modificados nas conclusões globais e a extensão em que a maior parte dos resultados válidos provavelmente mentem.

## 2.9 Análise das Incertezas

Existem dois tipos de incerteza em relação ao modelo da ACV:

- Dados do Inventário incertos, avaliados por uma simulação Monte-Carlo;
- Caracterização de modelos incertos, que se traduzem em impactos ambientais do inventário.

### 2.9.1 Análise dos Dados do Inventário Incertos - Monte-Carlo

Uma análise da incerteza devido à variabilidade dos dados do inventário foi realizada. O programa SimaPro 7.3 inclui um módulo de simulação Monte-Carlo, que permite avaliação da variabilidade embutida no inventário de dados de resultados finais. Os resultados, assim, se tornam probabilidades. A análise foi realizada por 750 repetições de etapas.

### 2.9.2 Caracterização dos Modelos de Incertezas

Dois tipos de incertezas relacionadas ao método da AICV se somam aos dados incertos do inventário. O primeiro refere-se aos resultados do ICV nos indicadores dos pontos médios e o segundo é sobre a caracterização subsequente daqueles pontos médios em indicadores de pontos de saturação. As extensões de incerteza associadas com fatores de caracterização nos dois níveis variam de um indicador de ponto médio ou de ponto de saturação para outro. Na verdade, a precisão dos fatores de caracterização dependem dos progressos das pesquisas em andamento nos mais diferentes campos da ciência em busca de modelos de impacto do ciclo de vida, assim como da integração das descobertas atuais aos métodos operacionais da AICV.

A diferença mínima exigida entre os resultados obtidos para se extrair uma conclusão robusta, de acordo com Humbert et al. (2009), pode ser resumida como segue:

- Mudança Climática: 10%
- Saúde Humana (toxicidade): 1 ordem de magnitude (fator 10)
- Saúde Humana (inorgânicos respiratórios): 30%
- Qualidade do Ecossistema (toxicidade): 1 ordem de magnitude (fator 10)
- Qualidade dos Ecossistemas (acidificação / eutrofização): 30%
- Esgotamento dos Recursos: 10%

Deve-se notar que nenhuma incerteza relacionada ao AICV leva em conta a Retirada de Água, uma vez que se trata de um simples indicador de inventário. O consenso científico neste tópico sensível, assim como a metodologia de agrupamento, ainda está sob revisão para melhor avaliar as extensões da incerteza.

## 2.10 Revisão Crítica

Uma revisão crítica é feita para checar se o ACV atende aos padrões internacionais. De acordo com os padrões ISO, uma revisão crítica é obrigatória se os resultados serão comunicados publicamente.

O comitê de revisão crítica foi composto pelos membros mencionados na Tabela 1-4.

Tabela 1-4—Membros do Painel de Revisão Crítica

Nome	Empresa	Área Técnica
Marisa Vieira	PRéConsultants	Diretora Comissão Crítica, Especialista em ACV
Carlos Augusto Xavier Santos	Escola Senai Mario Amato	Coordenador do Núcleo de Tecnologia
Rosa Maria Crescencio	Escola Senai Orlando Lavieri Ferraiuolo	Supervisora do Laboratório do Centro Nacional de Tecnologia de Construção

Em conformidade com as normas ISO 14040 e 14044 (2006a, b), os objetivos do processo de revisão crítica são para verificar se os métodos utilizados pela Quantis para realizar a ACV são:

- compatíveis com as Normas Internacionais 14044;
- cientificamente e tecnicamente válidos;
- adequados aos dados utilizados e razoáveis em relação ao objetivo do estudo;
- as interpretações dos Quantis refletem as limitações identificadas e o objetivo do estudo;
- o relatório do estudo é transparente e consistente.

O processo de revisão crítica é realizado em 4 etapas:

- 1) revisão do objetivo e do escopo por todos os membros da comissão (julho 2011);
- 2) Correções e esclarecimentos dos pontos levantados pelos revisores na etapa 1 (julho 2011);
- 3) Relatório final de revisão, incluindo a versão corrigida do objetivo e do escopo (julho 2011);
- 4) Correções e esclarecimentos de pontos levantados pelos revisores na etapa 3 (julho 2011).

Os relatórios de análise crítica e as respostas às recomendações dos revisores são apresentados com o relatório completo (ver Apêndice H).

### 3 Resultados

Aqui, apresentamos os resultados comparativos da ACV da cobertura de telhas de cerâmica versus seu equivalente de concreto para quatro indicadores de impacto e um indicador de inventário: Aquecimento Global, Saúde Humana, Qualidade dos Ecossistemas, Esgotamento dos Recursos e Retirada de Água.

As informações fornecidas nesta seção devem ser usadas somente dentro dos limites de contexto e hipóteses deste estudo considerando-se suas limitações, como descrito na Seção 4.1.3. Esta seção apresenta os resultados para a comparação dos dois tipos de telhas e os resultados para cada um dos seus estágios do ciclo de vida. Deve-se enfatizar que não é significativo extrair conclusões comparativas entre produtos com base em estágios individuais de ciclo de vida, devido às diferenças entre os processos de manufatura. Além disso, os impactos descritos pela ACV são estimativas dos impactos potenciais ao invés de medições diretas dos impactos reais. As informações são apresentadas somente para maiores explicações sobre as tendências gerais presenciadas nos resultados de todo o ciclo de vida.

Os tópicos dos resultados apresentados são os seguintes:

- 1) Avaliação ACV comparativa de telhas
- 2) Análise de contribuição dos estágios do ciclo de vida de cada indicador
- 3) Avaliação da qualidade de dados
- 4) As análises de sensibilidade

A interpretação dos resultados leva em conta a incerteza relacionada ao modelo de caracterização, como detalhado na seção 0. Incerteza relacionada ao inventário de dados é avaliada com a análise estatística do Monte-Carlo (seção 3.5).

#### 3.1 Avaliação comparativa

Os dois tipos de telhas foram comparadas em cenários básicos para avaliação dos indicadores de ponto médio e de saturação.

A Tabela 3-1 mostra os resultados do ponto médio de impacto ao se comparar os dois tipos de telha.

Tabela 3-1 – Resultados de ponto médio da ACV para telhas de cerâmica e de concreto (1 m<sup>2</sup>) (IMPACT 2002+)

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Telhas Cerâmicas</b>	<b>Telhas de Concreto</b>
Cancerígenos	kg C2H3Cl eq	0.061	0.095
Não-cancerígenos	kg C2H3Cl eq	0.167	0.206
Inorgânicos Respiratórios	kg PM2.5 eq	0.017	0.013
Radiação Ionizante	Bq C-14 eq	39	79
Esgotamento da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	7.21E-07	1.66E-06
Orgânicos respiratórios	kg C2H4 eq	0.0045	0.0078
Ecotoxicidade Aquática	kg TEG água	308	704
Ecotoxicidade Aquática	kg TEG solo	181	293
Ácida nutrição terrestre	kg SO2 eq	0.283	0.396
Ocupação do solo	m <sup>2</sup> org.arable	0.277	0.161
Acidificação Aquática	kg SO2 eq	0.041	0.065
Eutrofização Aquática	kg PO4 P-lim	0.00062	0.00133
Energia não-renovável	MJ primário	78	186
Extração Mineral	MJ excedente	0.045	0.234
Aquecimento Global	kg CO <sub>2</sub> eq	5	16
Água turbinada	m <sup>3</sup>	18	23
Retirada de água	m <sup>3</sup>	0.055	0.180

A tabela usa código de cores, verde ilustra contribuição baixa para o impacto. Incerteza no modelo AICV é desconhecida para alguns pontos médios de impacto, entretanto, no caso em que é conhecida (vide Seção 0), se a diferença for insignificante, o campo está sombreado em cinza. Em geral as telhas de cerâmica têm impacto menor que as de concreto, exceto para ocupação de terra e inorgânicos respiratórios. Em ambos casos, o impacto mais alto relaciona-se ao uso de madeira como combustível (veja a análise da contribuição das telhas de cerâmica, seção 3.2).

As categorias de ponto médio de impacto mais à frente são reunidas e analisadas no método AICV para apresentar resultados das categorias de danos do ponto de saturação. Os resultados são apresentados na Tabela 3-2. Mais uma vez, cores são usadas para classificar, enquanto os quadros cinzas mostram indicadores nos quais a diferença no resultado é insignificante de acordo com o modelo de incerteza.

Tabela 3-2 – Indicadores Comparativos de ACV para telhas de cerâmica e de concreto (1 m<sup>2</sup>) (IMPACT 2002+)

<b>Indicadores Selecionados</b>	<b>Unidade</b>	<b>Telhas Cerâmicas</b>	<b>Telhas de Concreto</b>
Mudança Climática	kg CO2 eq	4.97	15.68
Saúde Humana	DALY	1.23E-05	1.03E-05
Qualidade do Ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> *ano	2.13	3.05

Indicadores Selecionados	Unidade	Telhas Cerâmicas	Telhas de Concreto
Esgotamento de recursos	MJ primário	78.45	185.84
Retirada de água	L	55.49	180.17

Os mesmos resultados também são apresentados graficamente na Figura3-1.

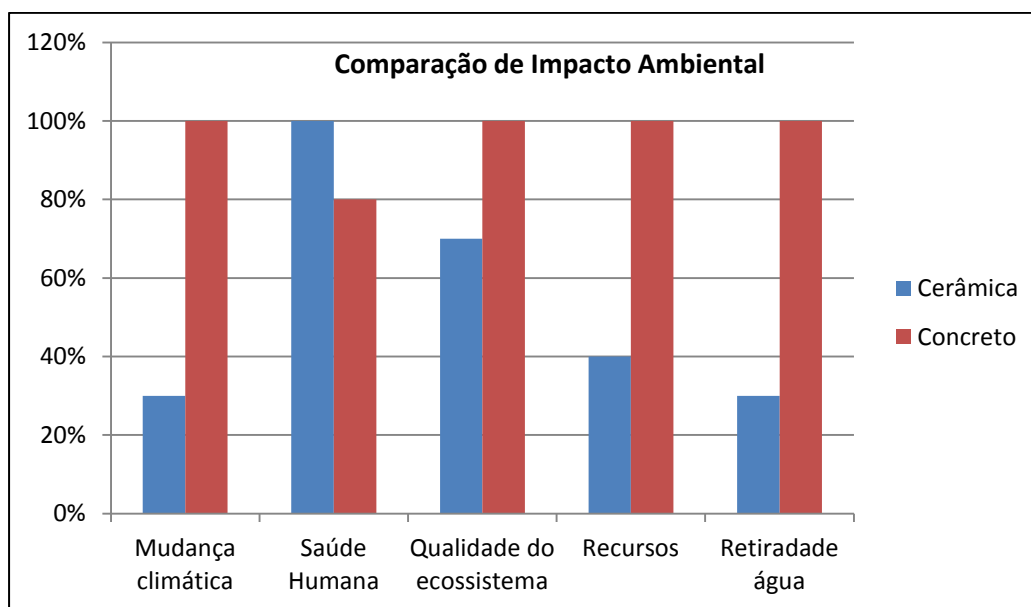


Figura3-1 Resultados comparativos da ACV para telhas de cerâmica e de concreto (IMPACT2002+)

As telhas de cerâmica têm impacto menor na Mudança Climática e Esgotamento de Recursos do que seus equivalentes de concreto. Em 4.97 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no ciclo de vida de 1m<sup>2</sup>de telha de cerâmica são aproximadamente um terço das emissões de 1 m<sup>2</sup>de telha de concreto.O Esgotamento dos Recursos pelas telhas de cerâmica, que se refere especialmente ao consumo de energia não-renovável é aproximadamente 40% menor que o das telhas de concreto.

O indicador de Retirada de Água também mostra a mesma tendência, mas sua importância deve ser considerada com cuidado, considerando-se o inventário genérico de dados, incompleto e menos confiável para uso da água. Pode-se observar, entretanto, que as telhas de cerâmica parecem exigir muito menos retirada de água do que os equivalentes de concreto.

No tocante aos danos à Saúde Humana e à Qualidade do Ecossistema, a diferença entre as telhas é menor do que a incerteza relacionada ao modelo de avaliação do impacto. Assim, para estes dois indicadores, uma opção não pode ser preponderante à outra.Entretanto, os resultados ainda fornecem dados valiosos para se entender os impactos ambientais causados pelo ciclo de vida de



cada produto. O impacto na Qualidade do Ecossistema é, em maior parte, atribuível ao ponto médio da categoria de impacto de Ecotoxicidade Terrestre (vide Apêndice E). Impacto na Saúde Humana é principalmente causado pela categoria de ponto médio dos Respiratórios Inorgânicos, relacionados às emissões de partículas de óxidos de nitrogênio.

A contribuição para cada categoria por cada estágio do ciclo de vida é discutido nas próximas seções.

## 3.2 Análise da Contribuição

### 3.2.1 Telhas de Cerâmica

O impacto dos estágios do ciclo de vida das telhas de cerâmica está descrito por categorias de indicadores em cada uma das seções seguintes.

#### Mudança Climática

A

Figura 3-2 demonstra que transporte, tanto da extração quanto da distribuição, constitui a fonte principal de impacto nas Mudanças Climáticas (emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustível). Isto se reflete também no estágio de fim de vida, para o qual a contribuição relaciona-se à distância de transporte maior que 50km para o local de gerenciamento do resíduo. Deve-se lembrar que a porcentagem é relativa ao impacto total na Mudança Climática, o qual não inclui CO<sub>2</sub> biogênico lançado pela queima de madeira. A substituição da madeira por combustíveis fósseis teria um impacto significativo neste indicador.

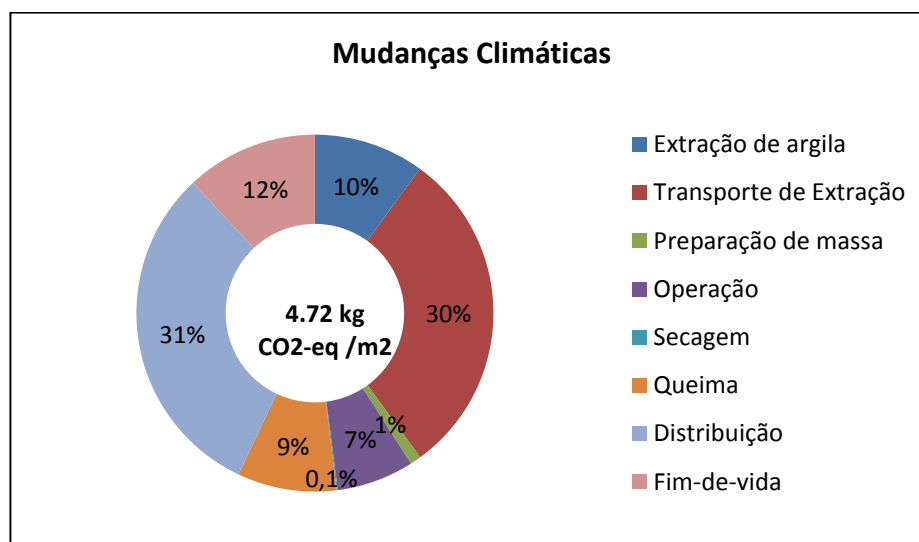


Figura 3-2—Contribuição ao impacto dos estágios do ciclo de vida na Mudança Climática para telhas de cerâmica (IMPACT2002+)

Embora o estágio de queima exija uma grande quantidade de calor, o combustível usado é de origem biogênica, assim, o CO<sub>2</sub> liberado durante a combustão (12.4kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) não faz parte do total.

### Saúde Humana

A Figure 3-3 ilustra a distribuição da contribuição dos estágios do ciclo de vida para o impacto na Saúde Humana. O maior colaborador é de longe o estágio da queima, devido à combustão da madeira. Isto por causa das emissões de partículas (PM<sub>2.5</sub>), presentes na categoria de ponto médio dos inorgânicos respiratórios relacionados aos problemas respiratórios. O segundo maior colaborador é o transporte, devido às emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) durante a queima do combustível, que também se relacionam aos problemas respiratórios.

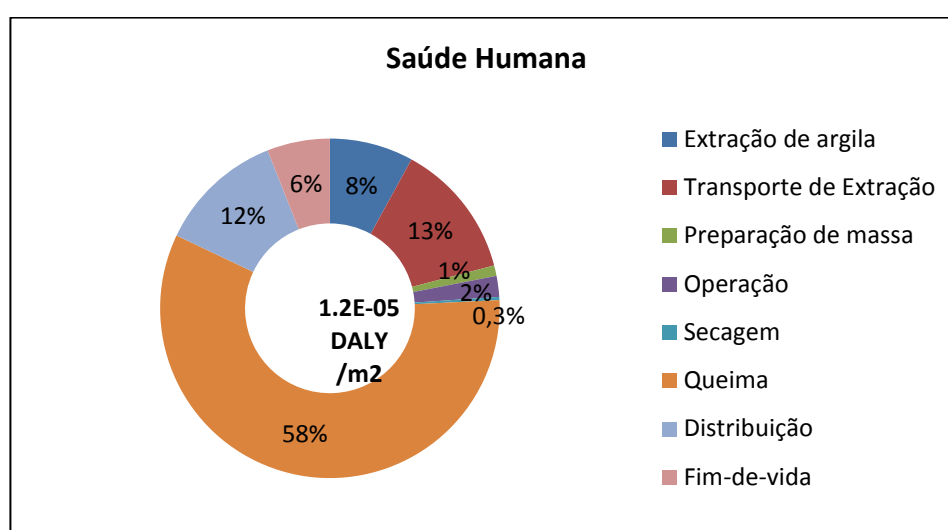


Figure 3-3 – Contribuição para o impacto na Saúde Humana dos estágios do ciclo de vida para telhas de cerâmica (IMPACT2002+)

### Qualidade do Ecosistema

A Figure 3-4 descreve a contribuição ao impacto na Qualidade do Ecosistema. A principal fonte de impacto é o estágio da queima, porque a combustão da madeira pode liberar metal, como o zinco. Ele é seguido pelo transporte, também pela emissão de metal como parte das emissões totais pelo desgaste dos pneus. Modelos de ecotoxicidade para metais liberados no solo e água são pouco confiáveis, por isso a alta incerteza do indicador de dano à Qualidade do Ecosistema.

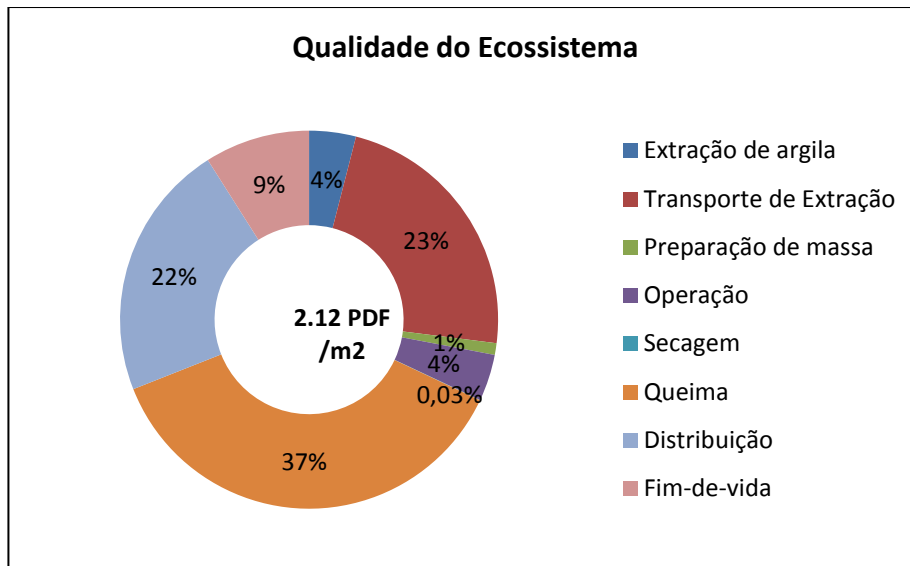


Figure 3-4 – Contribuição para o impacto na Qualidade do Ecosistema dos estágios do ciclo de vida para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+)

### Esgotamento de Recursos

A Figure 3-5 mostra a distribuição do impacto no Esgotamento de Recursos causado pelos diferentes estágios do ciclo de vida. Transporte (da extração, de distribuição e fim da vida) contribui com quase 80% do impacto por causa do uso de combustíveis fósseis. Deve-se lembrar mais uma vez que o combustível usado para produção de calor no estágio de queima não é contabilizado neste indicador por sua natureza renovável, ao contrário das alternativas fósseis, as quais contribuiriam significativamente para este indicador.

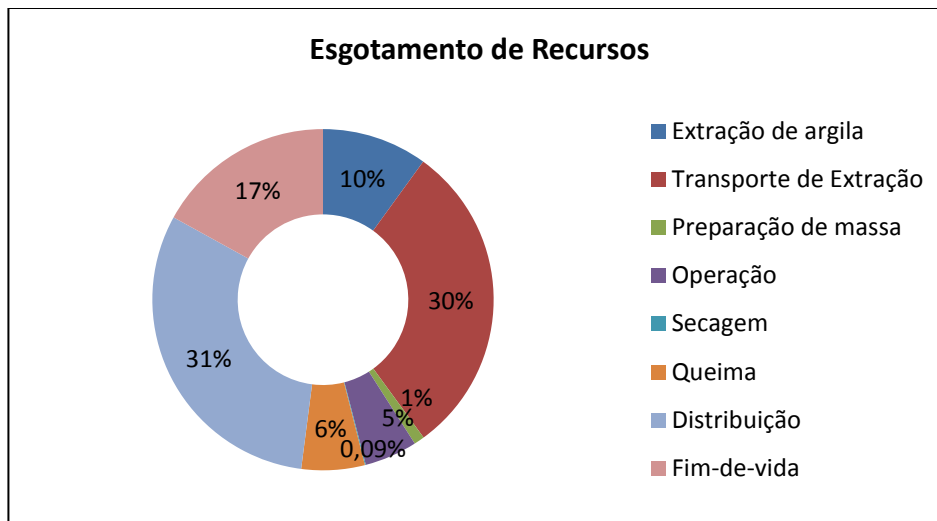


Figure 3-5 – Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida no Esgotamento de recursos para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+)

## Retirada de Água

A Figure 3-6 ilustra a contribuição de cada fase do ciclo de vida para a Retirada de Água em geral. A distribuição das diferentes contribuições é bem equilibrada, devido ao fato de que não é exigida uma grande quantidade de água em qualquer dos estágios. Em conclusão, os estágios que requerem transporte lideram por causa da água usada nos estágios de resfriamento no processo de refino do petróleo.

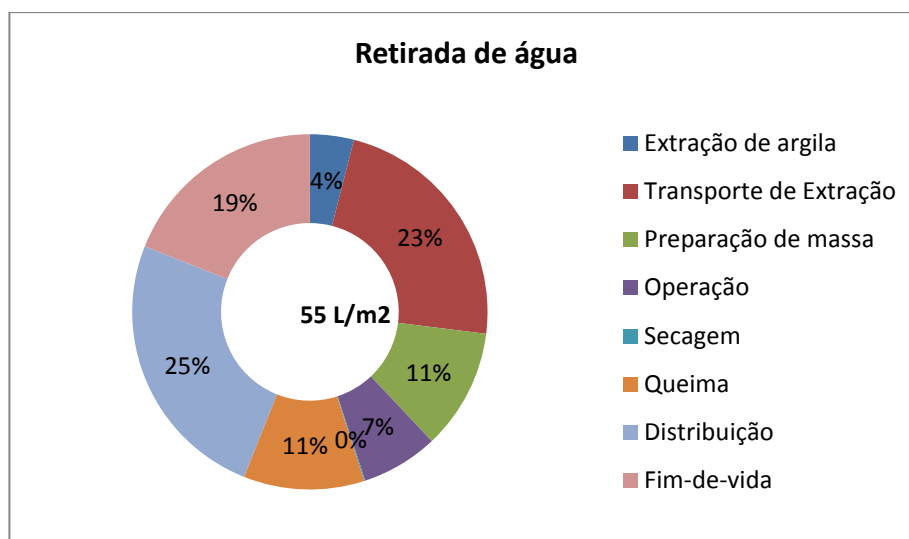


Figure 3-6 – Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida na Retirada de Água para telhas de cerâmica (IMPACT 2002+)

Telhas de Concreto

## Mudança Climática

A Figure 3-7 mostra a contribuição das emissões para a mudança climática dos diferentes estágios do ciclo de vida da telha de concreto. Aqui as emissões por m<sup>2</sup> de cobertura são o dobro das emissões das telhas de cerâmica funcionais equivalentes. Como demonstrado na figura, a maior parte destas emissões adicionais ocorre durante a produção do cimento, especificamente durante o processo de clínquerização. Tipicamente, por volta de 60% das emissões de CO<sub>2</sub> são produto da reação química que ocorre durante a calcinação, e o resto é liberado como produto da queima de combustível, uma vez que este estágio exige uma grande quantidade de calor, gerada a partir da queima de combustíveis fósseis.

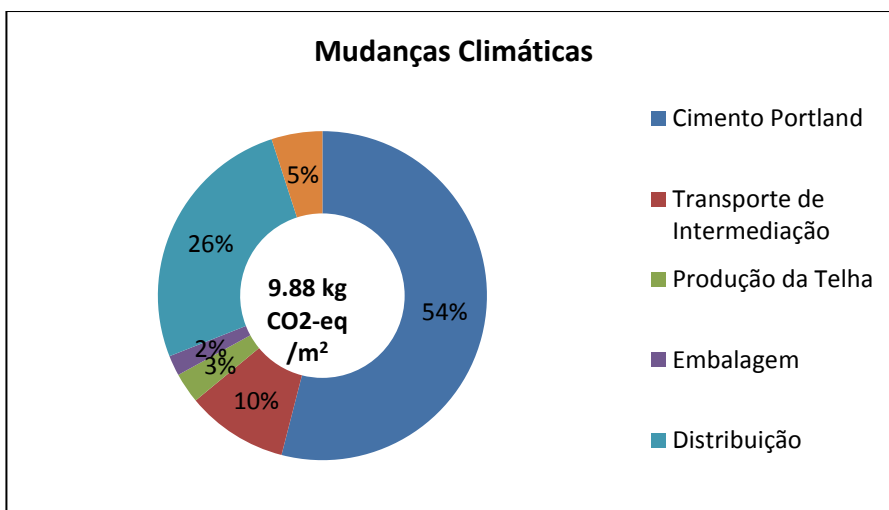


Figure 3-7 – Contribuição para o impacto na Mudança Climática dos estágios do ciclo de vida na para as telhas de concreto (IMPACT 2002+)

Além disso, as distâncias de viagem são maiores, especialmente na distribuição, assim, o transporte (transporte intermediário, distribuição e para o aterro) é responsável por boa parte das emissões, com quase 40% das emissões que causam mudança climática.

### Saúde Humana

A

Figure 3-8 ilustra a distribuição do impacto na Saúde Humana pelos estágios do ciclo de vida. A contribuição principal vem do transporte, em sua maior parte causada pelas emissões de NOx. A mesma substância também é responsável pelo impacto do cimento Portland na saúde humana, devido à importante queima do combustível fóssil no estágio de clinquerização.

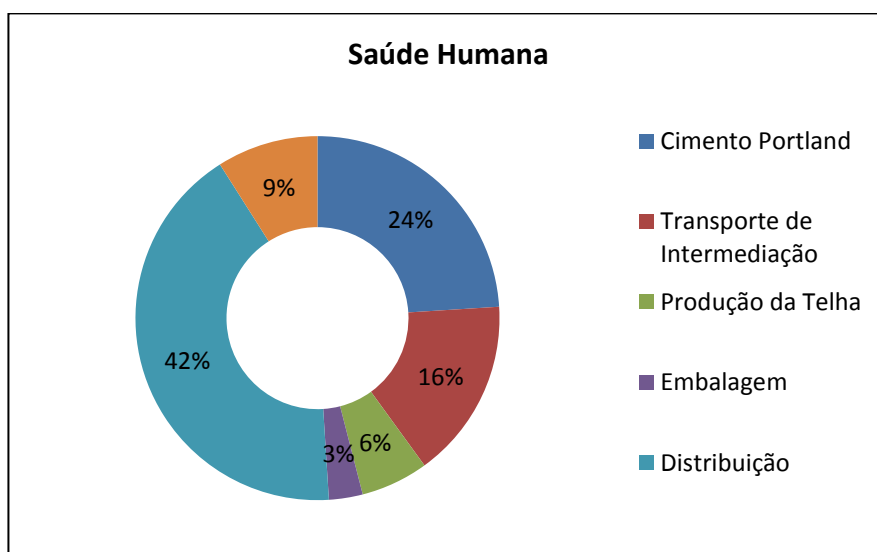


Figure 3-8– Contribuição do impacto na Saúde Humana dos estágios do ciclo de vida para telhas de concreto (IMPACT2002+)

### Qualidade do Ecosistema

A Figure 3-9 mostra a contribuição para o impacto na Qualidade do Ecosistema, com transporte como o maior colaborador do impacto. Isto é causado pela emissão de metais, como o zinco, liberado pela abrasão do pneu, assim como a liberação dos óxidos de nitrogênio (NOx) pela queima do combustível. Modelos de ecotoxicidade para metais liberados no solo e na água são pouco confiáveis, causando alto grau de incerteza do indicador de danos na Qualidade do Ecosistema.

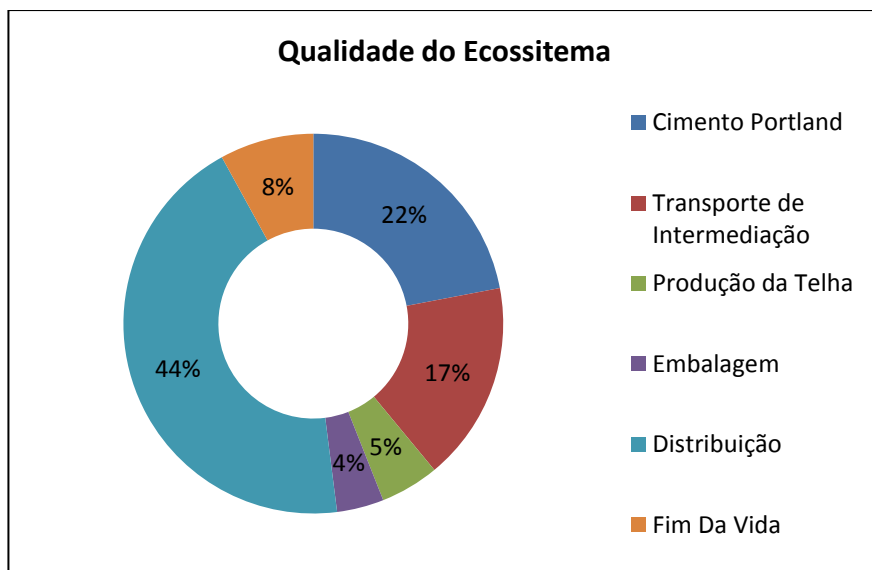


Figure 3-9 – Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida na Qualidade do Ecosistema para telhas de concreto (IMPACT2002+)

### Esgotamento de Recursos

A Figure 3-10 ilustra a contribuição para o impacto no Esgotamento dos Recursos, com o transporte aparecendo como o maior colaborador, seguido de perto pela produção do cimento Portland, em ambos os casos devido ao uso de combustíveis fósseis (diesel para transporte; coque de petróleo para a produção do cimento Portland). No entanto, a distribuição das contribuições é diferente quando comparada com as Mudanças Climáticas, porque o CO<sub>2</sub> liberado quimicamente na produção do cimento Portland não afeta o impacto de Esgotamento de Recursos.

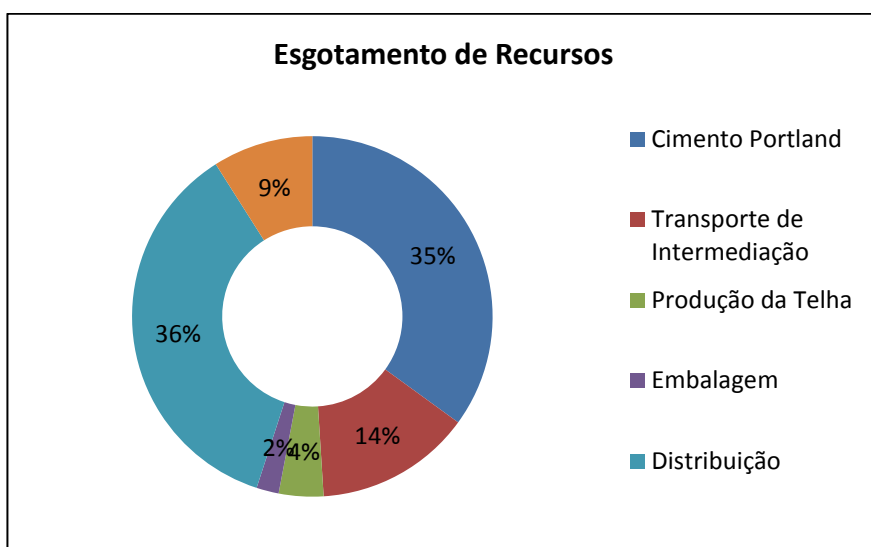


Figure 3-10—Contribuição para o impacto dos estágios do ciclo de vida no Esgotamento dos Recursos para telhas de concreto (IMPACT2002+)

### Retirada de Água

A Figure 3-11 descreve a distribuição de Retirada de Água por estágio do ciclo de vida. A produção da telha aparece no topo da retirada de água, durante a extração da areia como maior colaborador. A água usada na produção de clínquer (12%) vem logo em seguida, e o restante da contribuição ocorre em pequenas quantidades, 4% ou menos. A Retirada de Água é um indicador de inventário e não representa impacto no sistema, não há caracterização do impacto.

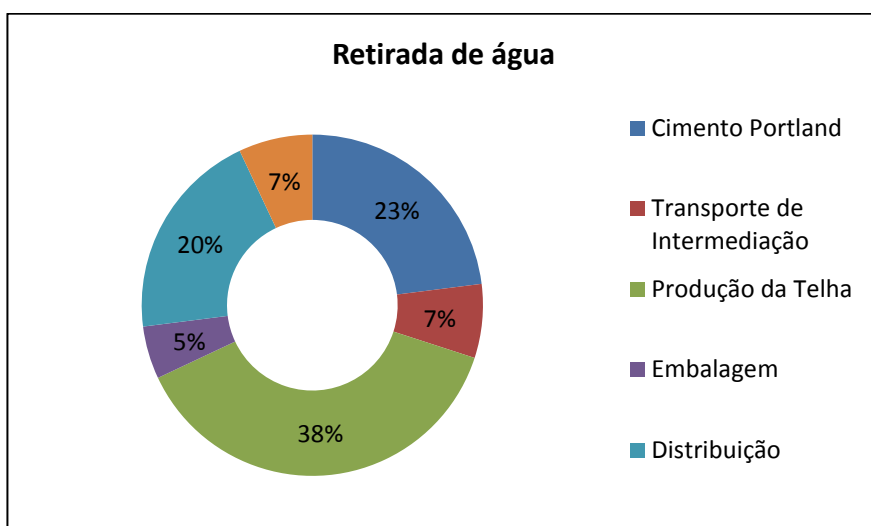


Figure 3-11 – Impacto de Retirada de Água para telhas de concreto (IMPACT2002+)

### 3.3 Avaliação da Qualidade do Inventário de Dados

A avaliação da qualidade dos dados busca identificar a necessidade de melhoria das informações. Ela explica as limitações na robustez dos resultados da ACV enquanto facilita a seleção das análises de sensibilidade a serem realizadas. Os resultados da avaliação de qualidade dos dados estão resumidos nas Tabela3-3eTabela3-4. A qualidade dos dados é avaliada através de duas medidas: confiabilidade e representatividade. Cada medida tem graus entre 1 (melhor grau) e 4 (pior grau). A legenda detalhada para a graduação dos dados pode ser vista no Apêndice D.

Tabela3-3–Avaliação da qualidade dos dados para ACV da telha de cerâmica

Estágio do Ciclo de vida	Detalhes do Processo	Descrição dos dados	Fonte dos dados	Importância dos dados	Confiabilidade	Representatividade
Extração	Extração de argila de poço	Combustível	ANICER	Média	1	1
		Combustível	ecoinvent		3	3
Transporte para extração		Distância	ANICER	Alta	1	1
Preparação de massa	Mistura de argila crua	Combustível e Processamento	ANICER	Baixa	1	1
Operação/Modelagem	Formação da telha	Combustível, material, processamento	ANICER	Baixa	1	1
Secagem	Telhas secas por disparo de resíduos de calor	-	ANICER	Nula	1	1
Queima	Queima de cavacos de madeira no forno	Combustível	ANICER	Alta	1	1
Distribuição	Transporte ao cliente final	Distâncias	ANICER	Alta	1	1
Fim da Vida	Destino de fim da vida	Distância para o aterro	ANICER	Baixa	3	1



Tabela3-4–Avaliação da qualidade de dados para ACV da telha de concreto

Estágio do Ciclo de vida	Detalhes do Processo	Descrição dos dados	Fonte dos dados	Importância dos dados	Confiabilidade	Representatividade
Cimento Portland	Produção do Clínquer	Mistura de combustíveis	CCAP	Alta	1	1
		Material e processamento	ecoinvent		2	3
	Produção do Cimento	Energia, materiais e processamento	ecoinvent		2	3
Transporte intermediário	Transportes de materiais para a produção de concreto	Areia, e revestimento de transporte	ANICER	Média	1	1
		Transporte de argila e calcário	ecoinvent		3	2
Produção da Telha	Produção de concreto, formação e secagem da telha	Energia, materiais e processamento	ecoinvent	Baixa	2	3
Empacotamento	Empacotamento para distribuição	Energia, materiais e processamento	ecoinvent	Baixa	2	3
Distribuição	Transporte ao cliente final	Distâncias	ANICER	Alta	1	1
Fim da Vida	Destino de fim da vida	Distância para o aterro	ANICER	Baixa	3	1

A avaliação mostra que os dados e parâmetros com maior contribuição aos impactos ambientais potenciais globalmente têm um alto grau ou, pelo menos aceitável, de confiabilidade, enquanto a representatividade geográfica é por vezes baixa. Entretanto, estes são processos que existem há décadas, de forma que a transferência de tecnologia através das fronteiras assegura um grau de representatividade aceitável. Dados sobre a produção de clínquer e cimento podem se beneficiar de mais precisão para atingir o nível de qualidade de dados fornecidos para a produção de cerâmica, especialmente em termos de representatividade geográfica. Esta é uma limitação deste estudo, como descrito na Seção 4.1.3.

### 3.4 Análises de Sensibilidade

As análises das limitações básicas são principalmente atribuídas a um inventário de dados de qualidade inferior. De fato, os processos incluídos no ciclo de vida dos produtos em estudo foram mantidos em sua forma normal, com algumas exclusões ou simplificações. É, portanto, importante que se avalie a extensão em que as mudanças relacionadas poderiam influenciar as descobertas, ajudando a identificar o critério de influência.

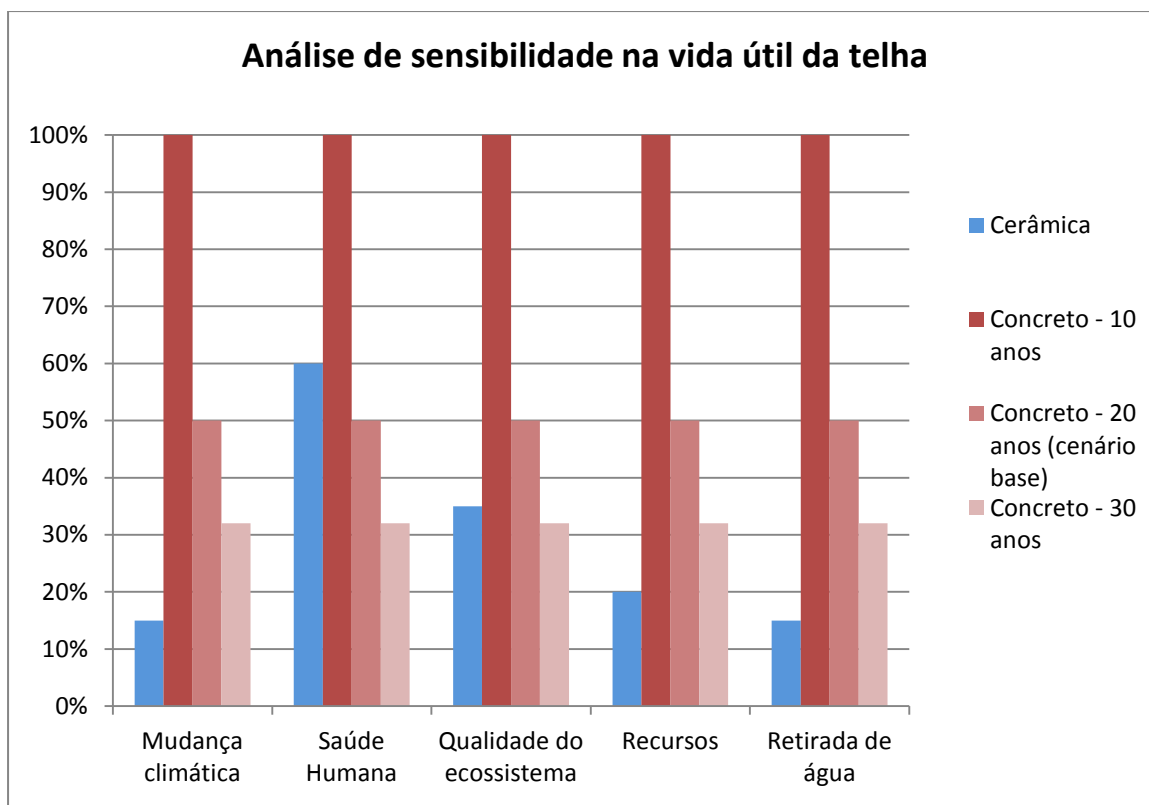
Nove análises de sensibilidade foram realizadas para verificar a influência dos modelos de presunção nas conclusões do estudo. Tabelas com os resultados detalhados estão presentes no Apêndice G.

#### 3.4.1 Vida Útil das Telhas

Embora se presuma que ambas as telhas durem por 20 anos, é de fato muito difícil determinar a longevidade das telhas por dois motivos principais. Primeiramente, substituição é uma variável controlada pelo usuário com muitas influências como orçamento, prevenção (ou falta dela), uso e desgaste por variações das condições de clima, etc. A segunda razão é simplesmente a falta de rastreamento e de dados estatísticos para confirmar as hipóteses.

Uma análise de sensibilidade foi realizada para se entender a escala de variação dos resultados se uma telha durasse dez anos a mais (+10) ou a menos (-10), neste caso deixando as telhas de concreto com vida útil entre 10 e 30 anos.

A Figura 3-12 ilustra a influência que uma vida útil diferente teria na comparação.



– Análise de Sensibilidade na vida útil das telhas de concreto (IMPACT 2002+)

Uma vida útil 50% maior para o concreto não influenciaria significativamente na comparação, pois somente o impacto na Qualidade do Ecossistema mostraria uma conclusão diferente (impacto menor para o concreto). Quanto aos cenários básicos, a diferença entre as opções comparadas permaneceria muito pequena para ser considerada significativa. A análise de sensibilidade, assim, mostra que o resultado da comparação se mantém mesmo que a vida útil varie por até dez anos de diferença.

### 3.4.2 Uso de Argilito na Extração de Argila

No Brasil, uma argila mais dura (chamada argilito) pode ser usada como alternativa para a argila normalmente extraída. Esta argila é extraída com explosivos, exigindo um processo mais exaustivo. Entretanto, o argilito é considerado de melhor qualidade, o que tem gerado uma tendência de aumento de seu uso (Santos, Revisão Crítica). Para avaliar o impacto desta etapa extra de explosão, os resultados foram testados para sensibilidade usando o processo ecoinvent de explosão tipicamente usado na produção de pedras.

A Figure 3-12 mostra os resultados da análise, demonstrando que a explosão tem relativamente pouco impacto neles, exceto pelo aumento do impacto na Qualidade do Ecossistema, que faria esta diferença no impacto mais significativa.

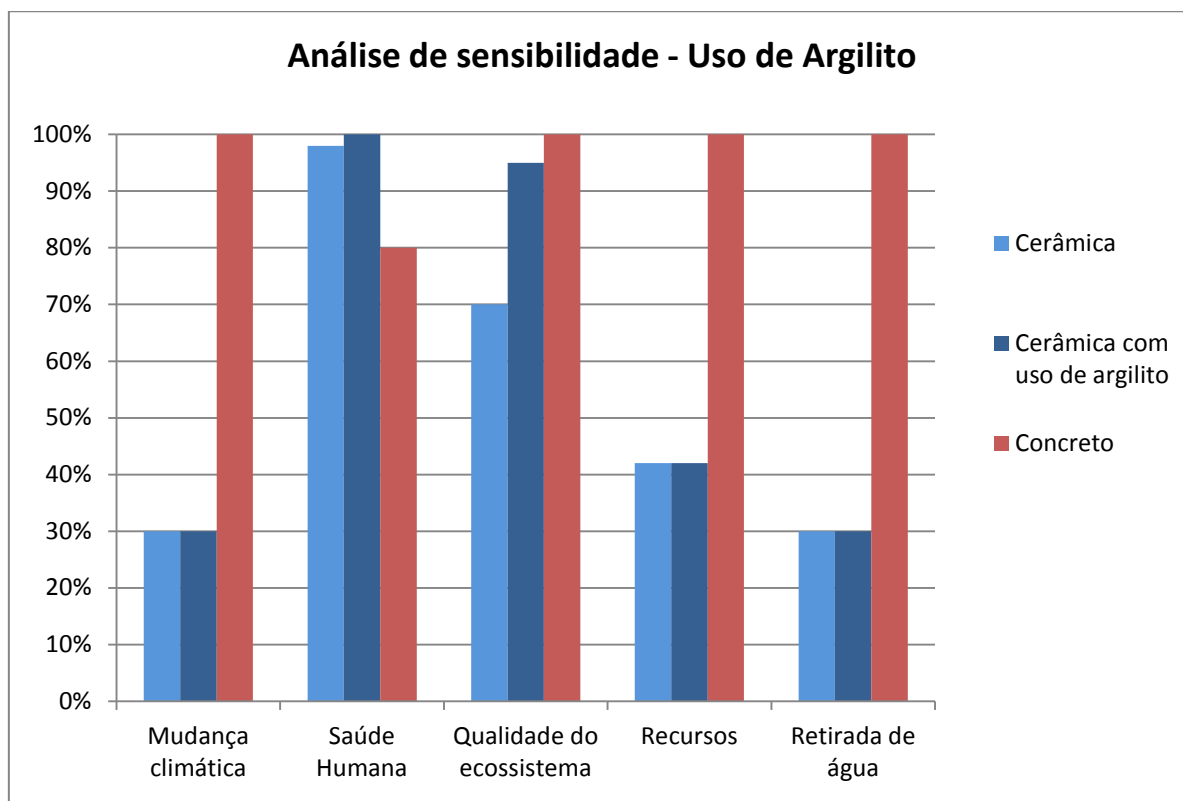


Figure 3-12–Análise de Sensibilidade no uso do Argilito na produção de cerâmica

### 3.4.3 Uso de Areia Artificial na produção de Concreto

Areia artificial é um tipo de material usado na construção obtido a partir de rocha natural esmagada. Uma etapa extra de esmagamento foi adicionada em uma análise de sensibilidade, baseada nos dados ecoinvent para testar a variabilidade nos resultados. Uma vez mais, a variação nos resultados em geral, como apresentados na Figure 3-13 se mostra irrelevante.

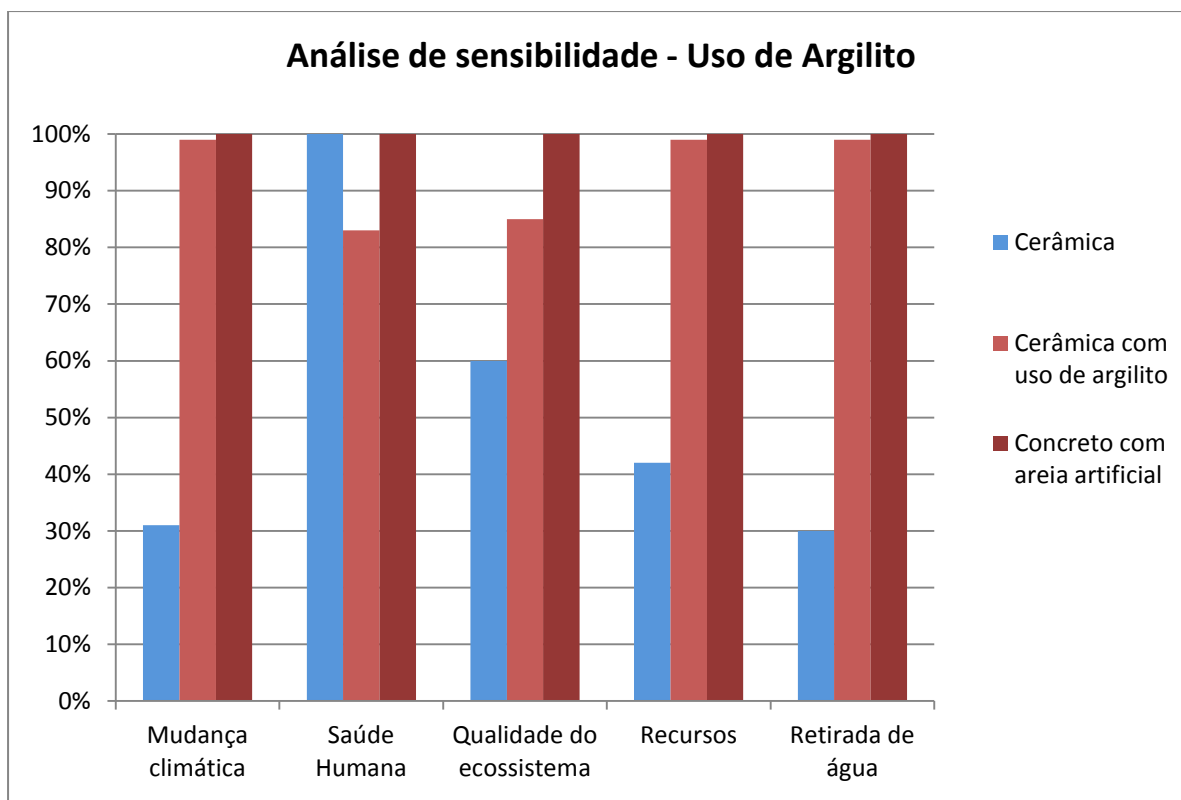


Figure 3-13—Análise de Sensibilidade no uso de areia artificial na produção de cimento

#### 3.4.4 Distâncias de Transporte para Distribuição das Telhas

Devido à variabilidade das distâncias de distribuição, cenários diferentes foram testados em que as telhas de cerâmica viajavam a distância máxima fornecida de 250km, enquanto as telhas de concreto também foram testadas em uma distância para distribuição igual a distância percorrida pelas telhas de cerâmica no cenário básico, de 120km.

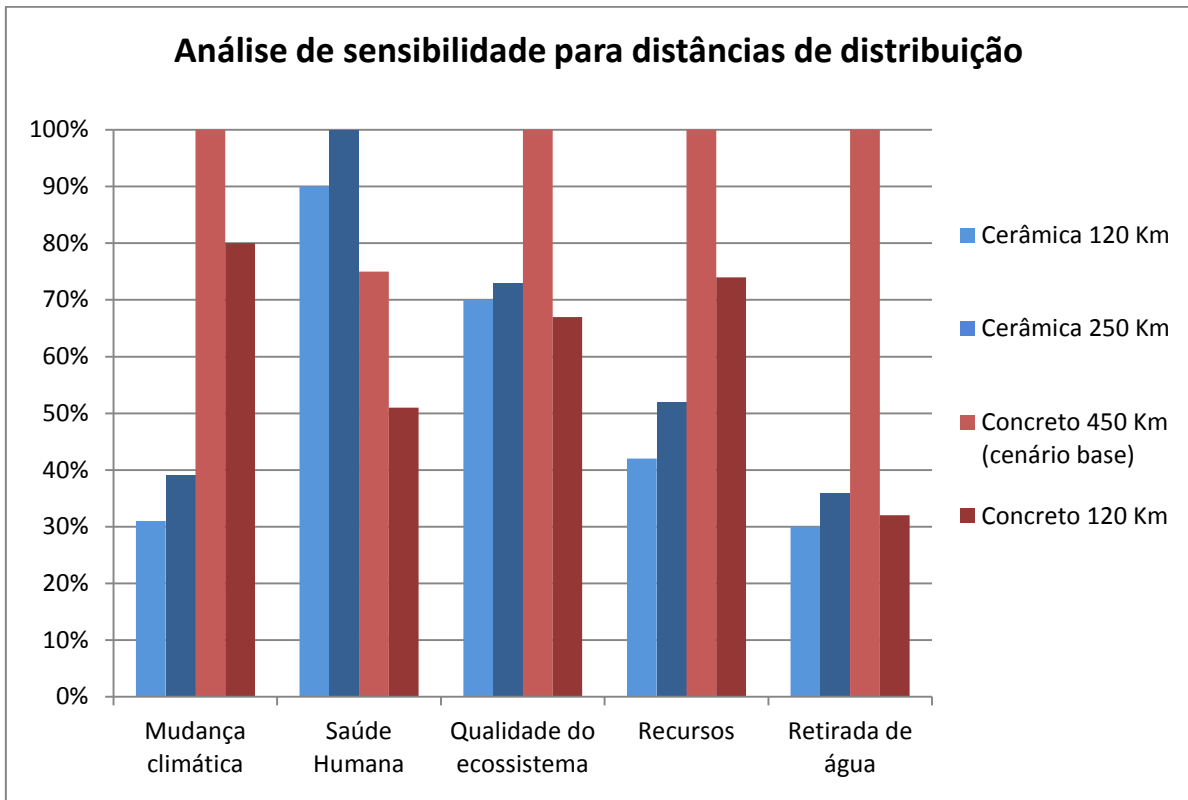


Figure 3-14—Análise de sensibilidade para distâncias de distribuição (IMPACT 2002+)

A Figure 3-14 ilustra que o resultado da comparação de telhas não é facilmente revertido. O impacto na qualidade do ecossistema poderia ser menor para a distribuição do concreto se as distâncias de distribuição fossem as mesmas, ainda assim, a diferença seria muito pequena em magnitude para ser significativa, de acordo com as recomendações da AICV (Humbert et al., 2009). Entretanto, a diferença entre os dois materiais para impacto na saúde humana pode ser grande o suficiente (30% para inorgânicos respiratórios) para que se considere significativa, uma vez que para se fazer a telha de concreto mais vantajosa nesta categoria, as distâncias de distribuição foram muito menores (próximo a 120km).

### 3.4.5 Uso de Embalagem para Telhas de Cerâmica

O uso de embalagens para telhas de cerâmica tem se tornado cada vez mais popular, sugerindo um teste de sensibilidade para que se avalie sua importância. Entretanto, os resultados mostram resultados marginais, confirmando que embalagem tem pouco impacto nos resultados gerais.

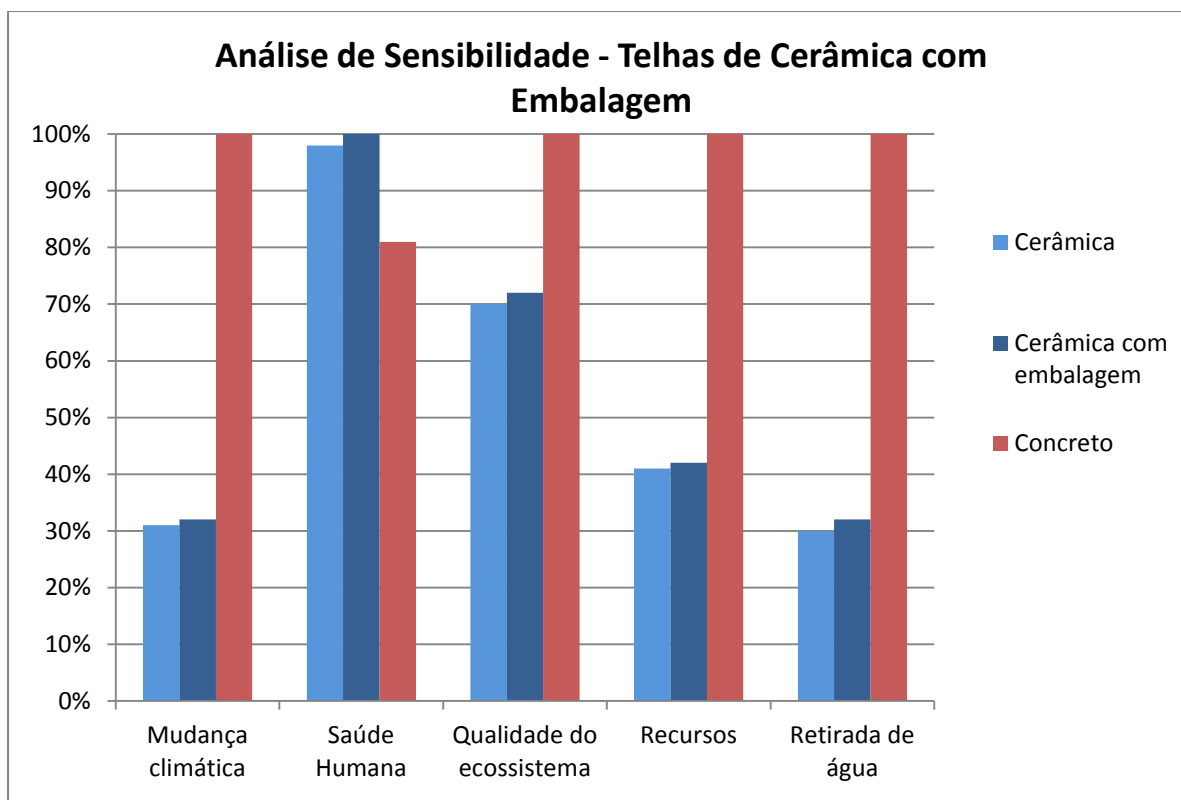


Figure 3-15–Análise de Sensibilidade para Uso de Embalagem para Telhas de Cerâmica (IMPACT 2002+)

### 3.4.6 Emissões da Produção de Cimento

Devido à falta de dados para emissões causadas pela mistura de combustíveis usada na etapa de clínquerização no Brasil, uma análise de sensibilidade foi conduzida com dados de diferentes emissões, como fornecido pela Associação do Cimento do Canadá (CAC, 2011) para comparar com os dados de emissão originários dos Estados Unidos incluídos no conjunto de dados ecoinvent de 1998 para testar a escala de variabilidade. A Figure 3-16 mostra uma variação de mais de 10% para impacto na Saúde Humana, enquanto a maior parte dos indicadores permaneceu a mesma. Os diferentes cenários para a produção de cimento não reverteram a tendência dos resultados.

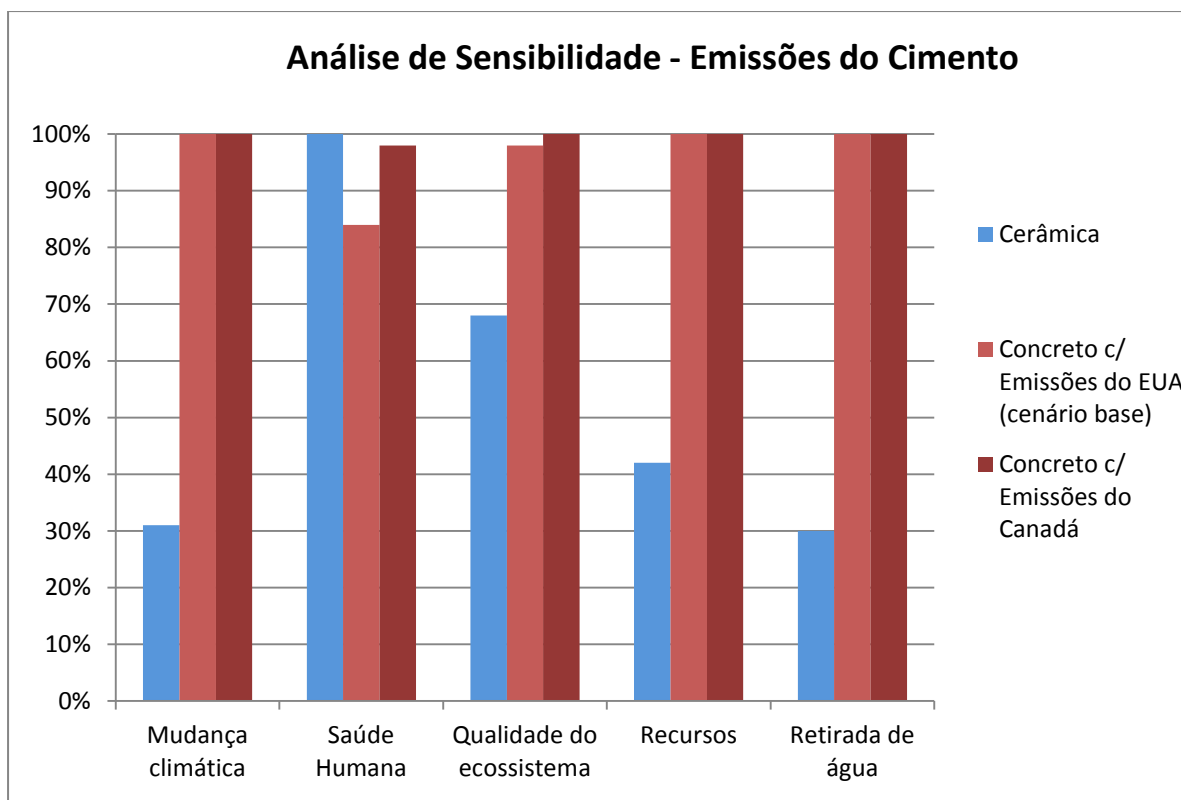


Figure 3-16—Análise de Sensibilidade para Emissões da Produção de Cimento (IMPACT 2002+)

### 3.4.7 Uso de uma Camada de Isolamento com Telhas de Concreto

Como o isolamento térmico não é tão extensivo nas telhas de concreto, muitas instalações usam uma camada de isolamento com uma cobertura de alumínio (testado aqui a 8  $\mu\text{m}$ ) para refletir a radiação de calor. Os resultados foram testados para sensibilidade ao material de construção adicional necessário. Os resultados mostram que a adição da camada de isolamento não altera as conclusões de forma alguma.



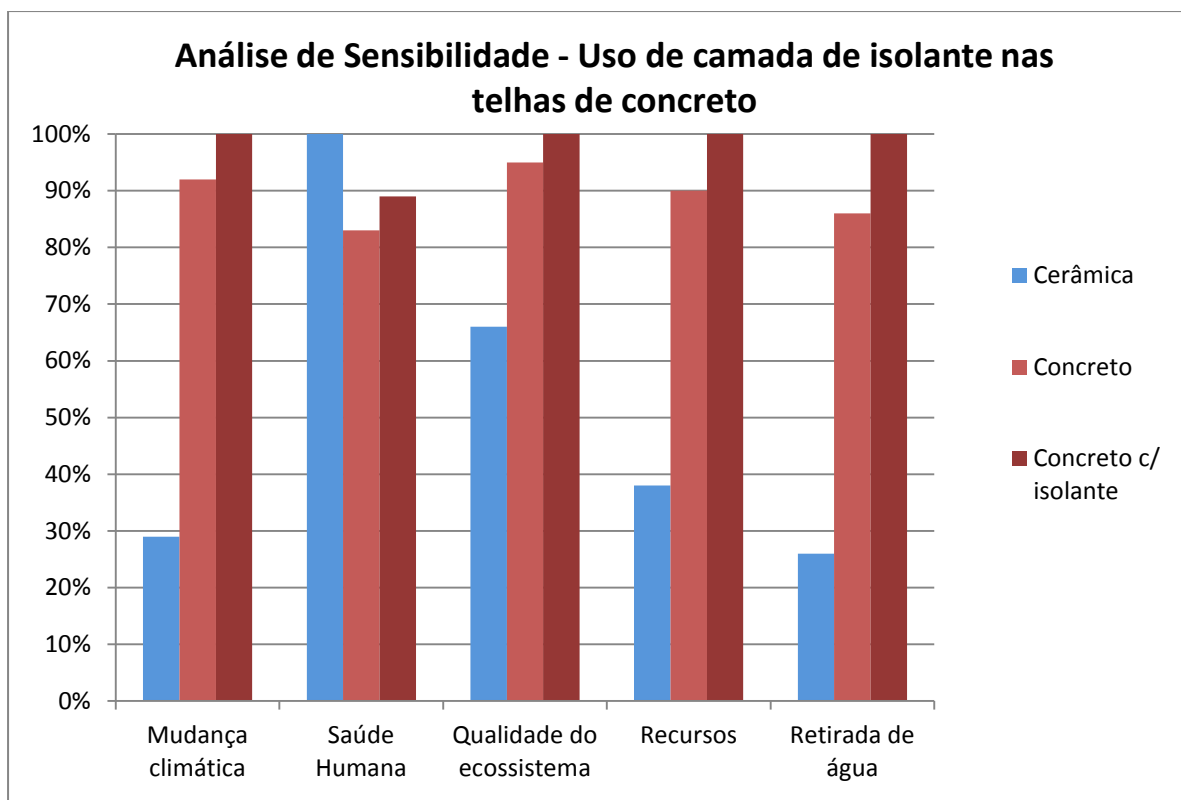


Figure 3-17—Análise de Sensibilidade para uso de camada de isolante nas Telhas de Concreto (IMPACT 2002+)

### 3.4.8 Resultados usando Diferentes Métodos de Alocação

O método de alocação de limite foi usado na avaliação de impacto relacionado ao ciclo de vida dos resíduos usados na mistura de combustível usado na manufatura do cimento. Para testar a sensibilidade do método de alocação, um método de expansão de limite foi usado onde o benefício da recuperação do resíduo do material foi teoricamente assinalado para o primeiro uso do resíduo (por exemplo, o uso original dos pneus reutilizados aqui para recuperação de energia), enquanto o impacto total dos combustíveis funcionais equivalentes foi incluído. Neste caso, o impacto (ou falta) associado com o uso de 11% de resíduos na mistura de combustíveis foi substituído pela produção de energia equivalente à quantidade de carvão. Emissões das queimas foram presumidas as mesmas, pois estudos separados conduzidos pelas agências governamentais dos Estados Unidos e firmas de consultoria em engenharia indicam que a queima de pneus não reduz ou afeta significativamente as emissões de vários poluentes provenientes dos fornos de cimento (PCA, 2008). Por causa da pequena contribuição ao total da mistura de combustíveis, a Figure 3-18 confirma que a escolha do método de alocação tem impacto relativamente insignificante no resultado geral.

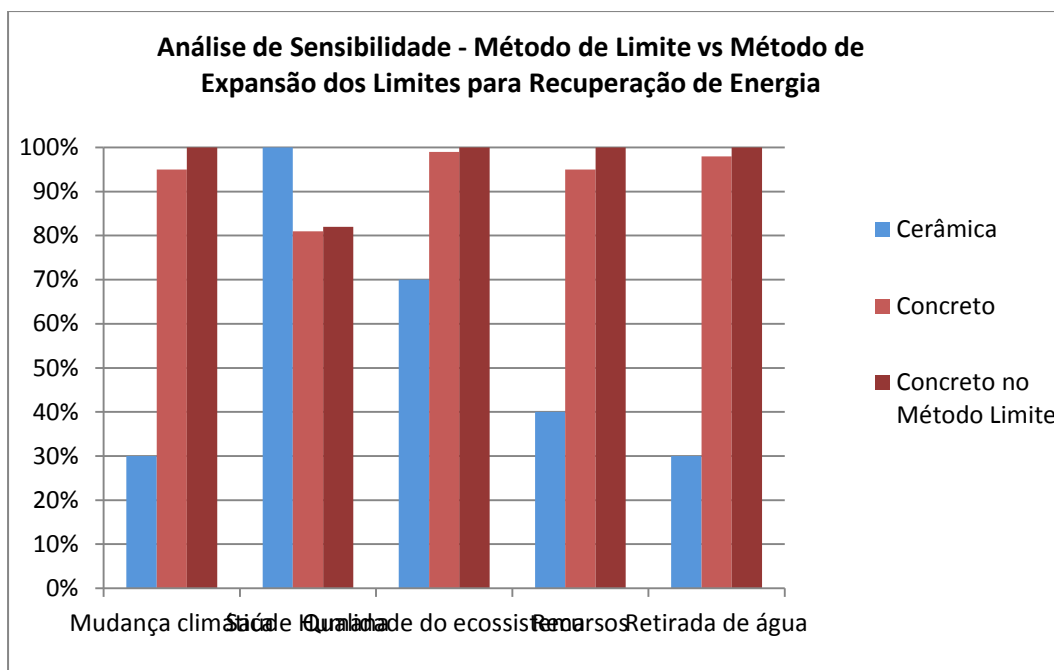


Figure 3-18—Análise de Sensibilidade para os métodos de alocação para recuperação de energia

### 3.4.9 Resultados usando ReCiPe como método de AICV

A AICV foi obtida usando-se o método IMPACT 2002+. Para confirmar os resultados, um outro método de avaliação foi usado, o ReCiPe (H) (Goedkoop et al., 2009).

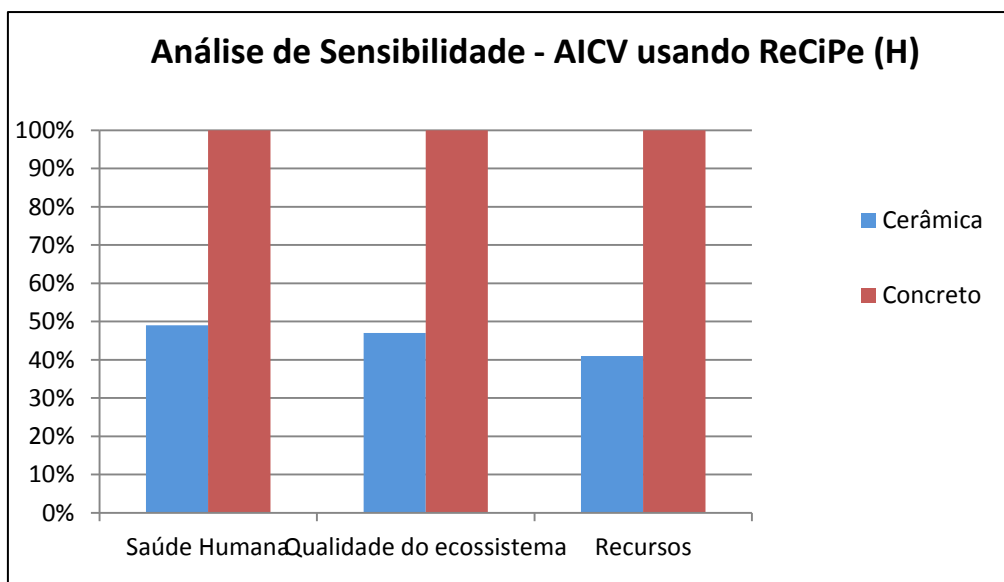


Figure 3-19—Análise de Sensibilidade usando o método AICV ReCiPe (H)

Os resultados gerados com ReCiPe (H) mostram resultados similares nas categorias de Recursos, enquanto que o impacto na Saúde Humana e na Qualidade do Ecossistema é muito maior para o concreto do que para a cerâmica, ao contrário do que ocorre com os resultados em que se usou IMPACT 2002+. O ReCiPe considera que as mudanças climáticas aumentam a força radiativa, o que

impede a irradiação do calor da terra para o espaço. Como resultado, a temperatura aumenta, causando mudanças nos habitats dos organismos vivos, afetando a biodiversidade. As mudanças climáticas em última análise causam impacto tanto na Saúde Humana quanto na Qualidade do Ecossistema. Assim, este ponto médio de impacto é incluído no cálculo do ponto de saturação das duas categorias de impacto. Como resultado, as emissões maiores de CO<sub>2</sub> para a produção das telhas de concreto fazem com que ela esteja no topo da lista como principal colaborador em cada categoria.

### 3.5 Avaliação da Incerteza por Monte-Carlo

Dos milhares de fluxos elementares inventariados nos processos básicos dos cenários estudados, a grande maioria das informações vem do banco de dados ecoinvent. A variabilidade da maioria está representada por distribuição lognormal acerca da válvula central especificada (e usada para cálculos deterministas), caracterizados por seu desvio padrão. Esta variabilidade, entretanto, não é determinada estatisticamente usando-se medidas reais, e, sim, por estimativas ao se aplicar uma matriz de referência que descreva a qualidade dos dados por sua origem, seu método de coleta e sua representatividade geográfica, temporal e tecnológica (Weidema e Wesnæs Suhr, 1996). Alguns dados também foram associados com uma distribuição uniforme e estatística, limitada por valores mínimos e máximos.

De forma similar, a variabilidade da maior parte dos dados coletados foi representada por uma distribuição lognormal cujo desvio padrão foi estimado usando-se a mesma matriz de referência. Finalmente, 70,4% do modelo de dados é representado pela distribuição em variabilidade. Os restantes 29,6% dos dados não têm incerteza e foram, assim, considerados como fixos.

A simulação realiza a subtração de dois sistemas comparados, em que os resultados indicam a probabilidade de uma opção gerar mais dano que a outra.

Como resultado da análise, a probabilidade de que “cobrir 1m<sup>2</sup> de telhado usando telhas de cerâmica” gera mais dano que “cobrir 1m<sup>2</sup> de telhado com telhas de concreto” é:

- 0 % para o indicador de impacto Mudança Climática;
- 0 % para o indicador de dano Esgotamento de Recursos;
- 80,7 % para o indicador de dano Saúde Humana;
- 9,07 % para o indicador de dano Qualidade do Ecossistema;
- 0 % para o indicador de inventário Retirada de Água.

Considerando que esta análise estatística não leva em conta incertezas relacionadas ao modelo de avaliação do impacto, que anteriormente mostrava que de forma alguma os resultados comparativos sobre os indicadores de Saúde Humana e de Qualidade do Ecossistema poderiam ser considerados significativos, a análise de incertezas do inventário de dados confirma a robustez dos resultados apresentados para os outros três indicadores.

Todos os resultados desta análise de incertezas são mostrados no Apêndice F.

## 4 Discussão

Esta seção fornece uma interpretação dos resultados compilados neste estudo. Observações feitas levam a conclusões gerais. A ACV conduzida identifica alguns parâmetros-chave a considerar quando da decisão entre o uso de telhas de cerâmica ou de concreto para cobertura de telhado. Resultados de qualquer ACV são em função de muitos fatores, inclusive os modelos de hipótese, dados empregados e escolhas dos limites do estudo e unidade funcional. O contexto deste estudo deve ser considerado ao se interpretar e se aplicar a informação apresentada neste relatório.

### 4.1.1 Conclusões

O propósito deste estudo foi comparar as implicações ambientais na escolha entre telhas de cerâmica e as equivalentes funcionais de concreto para uma área de  $1\text{m}^2$ . Enquanto os dois processos são bastante similares, ambos usando recursos naturais com graus variáveis de transformação para formar um material de construção sólido e durável, os processos de transformação são muito diferentes. A produção de concreto requer calcário e argila para serem calcinados em cimento a temperaturas muito altas, atingindo  $1450^\circ\text{C}$  (SNIC, 2011), produzindo um material intermediário que formará o produto final usando-se apenas areia e água, que seca ao ar livre em temperatura ambiente. Para a produção das telhas de cerâmica, a temperatura do forno é mais baixa, próximo a  $950^\circ\text{C}$  (Bauman, 2004), enquanto a telha inteira deve ser assada por um tempo maior. Enquanto isso, a temperatura mais alta do processo de clínquerização requer uma combustão mais intensa e, em sua maior parte, de combustíveis fósseis. Como o cimento constitui somente cerca de 20% da telha de concreto, o calor necessário por  $\text{m}^2$  de telhado é muito menor para a telha de concreto do que para a telha de cerâmica, em  $29\text{ MJ/m}^2$  ao invés de  $126\text{ MJ/m}^2$ .

Como resultado do uso de combustíveis fósseis para produção de calor, o processo de manufatura do concreto tem alto impacto na Mudança Climática e Esgotamento dos Recursos. Ao contrário, o processo de manufatura da cerâmica usa madeira residual como fonte de calor ao invés de

combustíveis fósseis, reduzindo em muito o impacto na Mudança Climática durante a manufatura enquanto aumenta o impacto na Saúde Humana com as partículas emitidas durante a combustão.

A telhas de concreto também estão relacionadas com uma grande quantidade de Retirada de Água. Elas parecem ter mais impacto na Qualidade do Ecossistema, entretanto, a diferença não é significativa. As telhas de cerâmica ao contrário parecem ter um maior impacto na Saúde Humana, ainda assim, a diferença é mais uma vez grande o suficiente para se extrair conclusões, baseado nas diretrizes do método de avaliação.

Uma avaliação da qualidade dos dados identifica se os dados são em geral de alta qualidade, ou de qualidade aceitável. Avaliação da influência de diferentes parâmetros para os quais havia mais incertezas ou cenários alternativos para embalagem e instalação indica que:

- Alguma variação na vida útil (menor que dez anos, com respeito ao cenário base de 20 anos) não afeta a classificação das duas opções.
- O uso alternativo de matéria-prima como argilite e areia artificial não tem impacto significativo nos resultados gerais.
- Embalagens para telhas de cerâmica, ou sua falta, tem impacto muito pequeno no geral.
- O uso de uma camada de isolamento coberto com alumínio sob as telhas de concreto não adiciona impacto significativo.
- Uma queda significativa na distância de distribuição para as telhas de concreto associada a um aumento para as telhas de cerâmica pode levar a um impacto potencialmente e significativamente mais alto na Saúde Humana para telhas de cerâmica, se comparadas às telhas de concreto.
- A interpretação usando um método AICV diferente ou um método de alocação diferente para reutilização de resíduos não afeta as conclusões significativamente.

Estas análises de sensibilidade, assim como a avaliação de incertezas realizadas usando as rotinas Monte-Carlo mostram que as conclusões desta ACV são fortes.

#### **4.1.2 Recomendações**

As informações obtidas através desta ACV podem levar a adoção de várias ações para reduzir o impacto ambiental do ciclo de vida associado com a produção de telhas de cerâmica, com foco nas seguintes ideias.

- Como a emissão de partículas durante a queima da madeira é o principal colaborador para o impacto na Saúde Humana, foco em filtro de partículas pode ser benéfico.

- Devido à importância das etapas de transporte em todas as categorias de impacto, medidas alternativas podem ser investigadas, como transporte de navio outrem, o uso de biocombustíveis, etc. Relevância ambiental destas alternativas devem ser sempre validadas com uma abordagem específica ao contexto do ciclo de vida.

#### 4.1.3 Aplicações e Limitações do Estudo

O corpo de estudo foi conduzido para a ANICER e a informação fornecida aqui pode ser usada nos seguintes exercícios:

- Comparação dos perfis ambientais dos ciclos de vida das telhas de cerâmica e de concreto produzidas no Brasil;
- Identificação de parâmetros-chave e significativos do sistema, inclusive estágios do ciclo de vida e categorias de material;
- Compreensão da influência das hipóteses e variáveis selecionadas no modelo, ou seja, vida útil, mistura de combustíveis, distâncias de transporte e uso de material isolante,e;
- Comunicação pública dos resultados deste estudo de acordo com a discricionariedade da ANICER.

É importante entender como este estudo foi conduzido para que os resultados e conclusões sejam aplicados apropriadamente. As limitações a seguir devem ser consideradas com o contexto descrito nas seções anteriores deste relatório quando da interpretação das informações apresentadas neste trabalho:

- Vários parâmetros são presumidos constantes na geografia brasileira avaliada, o que pode não ser totalmente preciso. Isto se aplica também aos processos de manufatura, distâncias de transporte, misturas de combustíveis para queima e clinquerização, e a estrutura do prédio requerida para suportar o peso das telhas.
- Os processos usados na manufatura do cimento e concreto tiveram modelos baseados em dadosecoinvent. Somente as distâncias de transporte e a rede elétrica e a mistura de combustíveis para o contexto brasileiro foram adaptados. Entretanto, emissões da queima de combustível não foram adaptadas.
- A metodologia de alocação apresentada aqui é uma de várias formas em que o estudo podia ser conduzido, por exemplo, com a abordagem consequente adotada.
- Este estudo não dá apoio ou fornece comparações definitivas do desempenho ambiental de produtos específicos ou materiais ou desenho de construções, práticas ou decisões

relacionadas, além da questão das telhas de cerâmica comuns versus telhas de concreto produzidas no Brasil.

- Alguns dados ICV descrevem operações europeias, implicando que o estudo aqui pode não ser 100% representativo das práticas brasileiras (e, assim, impactos). Entretanto, uma base de dados de qualidade equivalente, transparente e robusta ainda não está disponível para o Brasil e outros lugares (além da Europa) onde a indústria da construção civil pode buscar seus materiais.
- Diferentemente da avaliação de risco ambiental conduzida em contexto regulatório, que utiliza uma abordagem conservadora, a ACV busca fornecer as melhores estimativas possíveis (Udo de Haes et al., 2002). Em outras palavras, a AICV tenta representar o caso mais provável em que os modelos (de transporte e destino dos contaminantes no ambiente e os efeitos tóxicos nos receptores biológicos) não tentam maximizar a exposição e o dano ambiental, que é a abordagem pelo pior cenário.
- As metodologias AICV como IMPACT 2002+ não pode, e de fato não caracteriza uma gama ampla de emissões liberadas no solo, ar e água pelos processos. Entretanto, ela caracteriza poluentes bem conhecidos e, assim, fornece a melhor estimativa para se avaliar o impacto ambiental.
- Finalmente, os resultados da AICV são expressões relativas e não preveem os impactos dos pontos de saturação das categorias, excesso de entradas, margens de segurança ou de risco.

## 5 Referências

- Bauman H, Tillman A. 2004. *The Hitchhiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*, Lund Sweden: Student literature.
- Board on Energy and Environmental Processes (BEEP). 2010. *Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles*. National Academic Press
- Cement Association Canada (CEC). 2011. *Canadian Cement Manufacturing Industry 1990 to 2009*. [http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/Cement%20report%202010%20\\_2009%20data\\_%20Final.pdf](http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/Cement%20report%202010%20_2009%20data_%20Final.pdf)
- Center for Clean Air Policy (CCAP). 2009. *Sector-based Approach Case Study: Brazil*. <http://www.ccap.org/docs/resources/697/Brazil%20Cement%20Sector%20Case%20Study.pdf>
- Hellweg S, Demou E, Bruzzi R, Meijer A, Rosenbaum R, Huijbregts M, et al. 2009. Integrating human indoor air pollutant exposure within life cycle impact assessment. *Environmental Science and Technology*, 43(6): 1670-1679.
- Humbert S, Margni M, Jolliet O. 2009. *IMPACT 2002+ user guide: draft for version 2.1*. Quantis, Lausanne, Switzerland. <http://www.impactmodeling.org>.
- Goedkoop MJ, Heijung R, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J and Van Zelm R 2009. *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprise harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition Report I: Characterisation*; 6 January 2009, 126p. [online]. <http://www.lcia-recipe.net>.
- IEA. 2007. *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions*. International Energy Agency. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/tracking2007SUM.pdf>
- IPCC. 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change's Fourth Assessment Report*. <http://www.ipcc.ch/>.
- ISO 14040. 2006. *Environmental management – life cycle assessment – principles and framework*. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO 14044. 2006. *Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines*. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- Jolliet O, Margn M, Charles R., Humbert S, Payet J, Rebitzer G, Rosenbaum R. 2003. *Impact 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8(6): 324-330.
- National Institute for Standards and Technology (NIST). 2007. *BEES 4.0*. <http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/>
- Obelisk International. 2011, January 20. *Great Prospect for Investment in Construction Materials in Brazil*. <http://www.obeliskinternational.com/news60.php>
- Portland Cement Association (PCA). 2008. *Sustainable Manufacturing Fact Sheet: Tire-Derived Fuel*. <http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/tires/pubs/brochure5-08.pdf>
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). 2011. *Etapas de Produção*. Consultado em 12/07/2011. <http://www.snic.org.br/>
- Swiss Center for Life Cycle Inventories (SCLCI). 2010. *ecoinvent database v2.2*. <http://www.ecoinvent.org/home/>.
- Udo de Haes HA, Finnveden G, Goedkoop M. 2002. *Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice*. *Society of Environmental Toxicology & Chemistry*: 272.



## 6 Apêndices

### 6.1 Apêndice A–Descrição da Metodologia da ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um dos mais amplos métodos de alta performance científica que avalia os impactos ambientais potenciais de um produto, um serviço, um processo, ou negócio durante seu ciclo de vida (extração e tratamento das matérias-primas, manufatura, transporte e distribuição, uso e fim de vida). Esta abordagem é apoiada pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e se baseia em uma metodologia regulada pela Organização Internacional para Padronização (ISO), mais particularmente as normatizações ISO 14040 (2006) (princípios e estrutura) e ISO 14044 (2006) (requisitos e diretrizes).

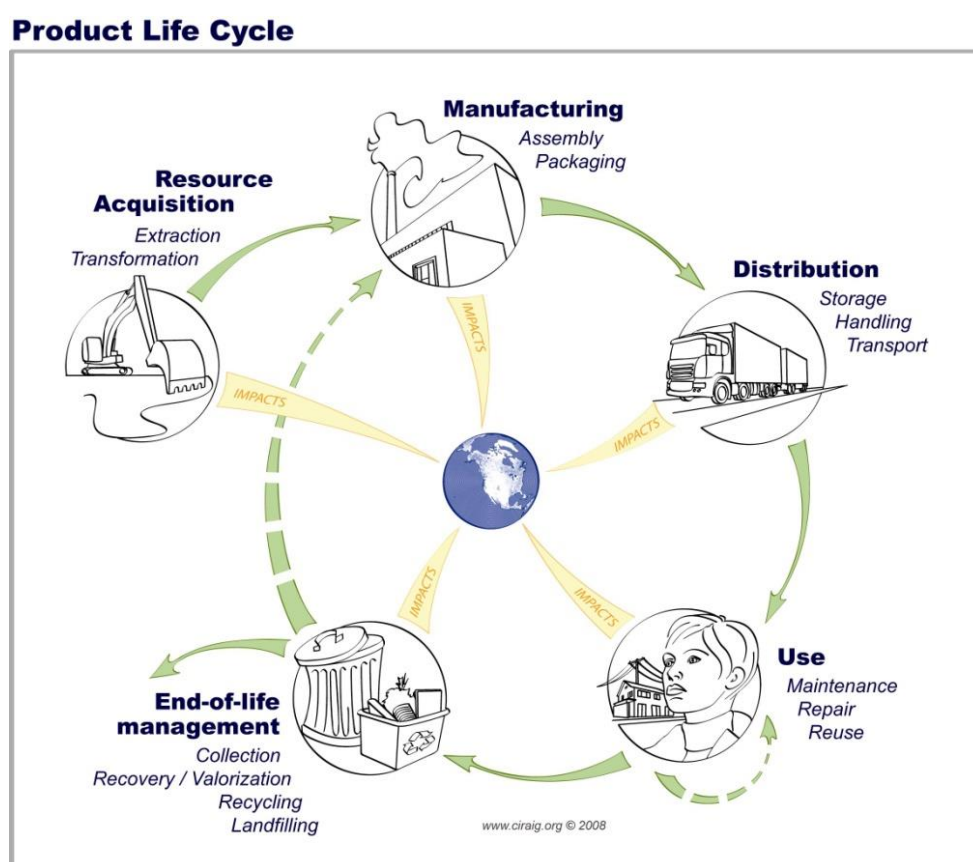


Figura D-1: Estágios do ciclo de vida de um produto

A ACV ajuda a identificar as oportunidades para melhorar o desempenho ambiental de produtos, serviços, processos ou negócios, nos vários estágios do ciclo de vida, para informar políticos, organizações governamentais e não-governamentais (por exemplo, para planejamento estratégico, para determinar prioridades ou para otimizar o design de um produto), para possibilitar a escolha de indicadores de desempenho ambiental relevantes, a incorporação de técnicas de medições e marketing (por exemplo, para o desenvolvimento de design ecológico, ou para estabelecer uma

declaração ambiental). Assim, a metodologia ACV é adequada para avaliar produtos e serviços de maneira holística. Ela busca identificar prioridades para ação e para evitar impactos deslocados quando um novo produto ou nova tecnologia são introduzidos.

A ACV consiste em quatro fases diferentes:

**Definição de escopo e objetivos:** definição das finalidades do estudo, determinação dos limites do sistema do ciclo de vida em questão e identificação das presunções importantes que serão feitas;

**Análise do inventário:** compilação de um registro completo dos fluxos importantes de material e energia pelo ciclo de vida, em conjunto com a emissão de poluentes e outros aspectos ambientais em estudo;

**Avaliação do impacto:** uso do inventário compilado no estágio anterior para criar um quadro claro e conciso dos impactos ambientais dentro de um conjunto limitado de categorias compreensíveis de impacto;

**Interpretação:** identificação do significado dos resultados do inventário e da avaliação do impacto relativas aos objetivos do estudo. Conclusões são tiradas neste estágio, explicando-se as limitações, e fornecem recomendações baseadas nos resultados das fases anteriores do estudo. A interpretação deve seguir os requerimentos delineados na definição de objetivos e escopo do estudo e levar em conta as limitações das presunções e as incertezas dos dados usados e o modelo de avaliação do impacto.

Por ser um processo de rotinas, as escolhas feitas durante o curso do estudo podem ser alteradas seguindo-se novas informações.

As seções seguintes descrevem os principais aspectos metodológicos das fases da ACV.

### **Definição de escopo e objetivos**

A primeira fase apresenta os objetivos e o escopo do estudo explicando como o estudo será conduzido para se atingir sua finalidade. O sistema de produto, definido pela ISO como o sistema geral incluindo processos elementares relacionados aos fluxos de materiais e energia que cumpram uma ou múltiplas funções, é descrito em detalhes.

Neste sentido, o objetivo de uma ACV é caracterizado por suas funções e não só em termos de seus produtos. Isto permite comparar produtos que não tenham o mesmo desempenho funcional por unidade do produto (por exemplo, um copo descartável de poliestireno e uma xícara de cerâmica que é usada diversas vezes), como quantificar o desempenho funcional, usando a unidade funcional, fornece uma referência da qual entradas e saídas relacionadas ao sistema de produtos

comparadossão matematicamente normatizadas (exemplo: beber duas xícaras de café por dia durante um ano). A especificação da unidade funcional é o ponto inicial para se definir limites do sistema do produto, uma vez que ela indica todos os processos elementares que devem ser incluídos para o cumprimento desta função.

A natureza dos dados usados e hipóteses são descritos nesta primeira fase.

### **Análise de inventário**

A segunda fase corresponde à quantificação dos fluxos elementares envolvidos em todo o ciclo de vida dos produtos, serviços, processos ou negócios avaliados pelo estudo, incluindo entradas de água, energia e matérias-primas e emissões para o ar, terra e água.

Para tanto, os dados primários (específicos para o estudo do caso) e os dados secundários (de literatura e bancos de dados reconhecidos) devem ser coletados. Os dados são relatados para a unidade funcional e depois compilados em um programa especializado. O programa usado neste estudo é o SimaPro 7.3, desenvolvido pela empresa holandesa *PReConsultants*.

### **Avaliação do impacto**

A terceira fase consiste na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Ela busca traduzir e ligar cada fluxo elementar quantificado no inventário do ciclo de vida com as categorias de impacto correspondentes no ambiente e saúde humana de acordo com modelos de destinação, exposição e toxicidade dos poluentes ou suficiência dos recursos. Assim, para cada substância do inventário é associado um fator de caracterização específico que permite calcular o impacto. A soma de todos os impactos de substâncias diferentes determina o impacto total do sistema para uma dada categoria de ponto médio. Em uma segunda etapa, estas categorias de impacto são agrupadas em um conjunto de menor número de indicadores de dano ambiental, o qual facilita a comunicação de resultados e a tomada de decisão.

Neste estudo, o método AICV usado é o europeu, revisado por colegas e o internacionalmente reconhecido método de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), IMPACT 2002+ (Jolliet et al. 2003, como atualizado em Humbert et al. 2011). Ele propõe uma abordagem orientada tanto pelo ponto médio de impacto quanto pelas categorias de danos.

A Figura A-1 mostra a estrutura geral do IMPACT 2002+, relacionando os resultados do inventário de dados do ciclo de vida por 16 indicadores variados de ponto de médio de impacto para 5 categorias de danos. Uma seta contínua indica um relevante caminho de impacto que é sabidamente e quantitativamente modelado pela ciência natural. Caminhos de impacto entre o ponto médio e as

categorias de danos que são presumidos existentes, mas que não são modelados quantitativamente devido à falta de conhecimento são representados por setas pontilhadas.

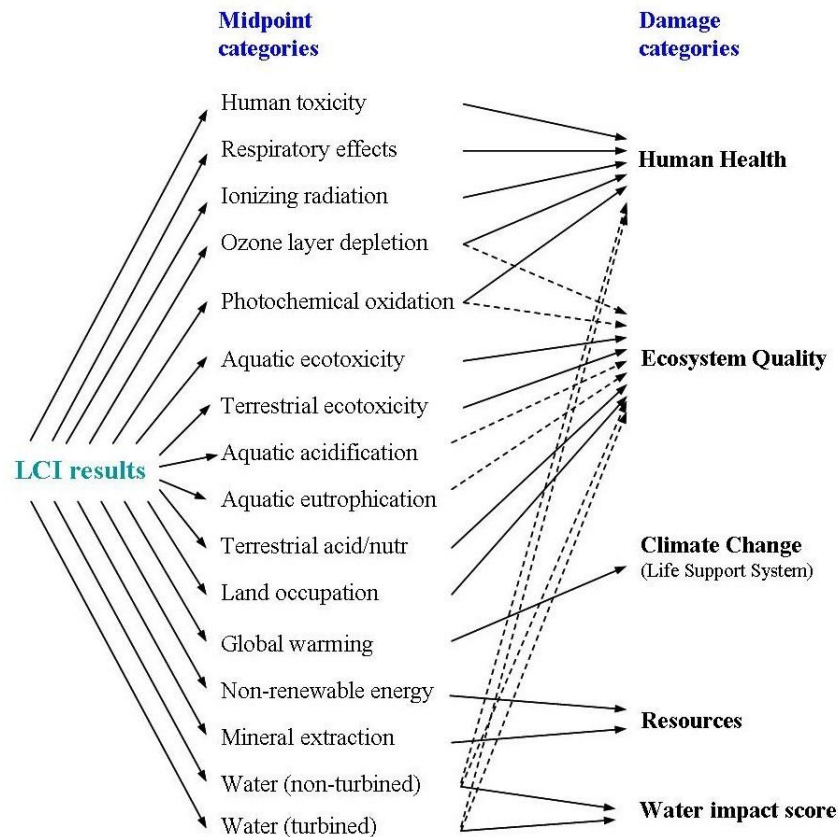


Figura A-1: Esquema geral do IMPACT 2002+, relacionando os resultados do inventário do ciclo de vida (ICV) e as categorias de danos, pelas categorias de ponto médio (Humbert et al. 2011, adaptado de Jolliet et al. 2003)

A seguir uma breve descrição das principais características de avaliação para as categorias de ponto médio e danos.

**As categorias de ponto médio são:**

**Toxicidade Humana** mede o impacto na vida humana relacionada a efeitos tóxicos carcinogênicos e não-carcinogênicos causados por poluentes emitidos no meio ambiente e que, ao final, chegam ao ser humano através da inalação do ar e ingestão de água e comida. Carcinogênicos e não-carcinogênicos são separados em dois indicadores na análise realizada no presente estudo.

**Inorgânicos Respiratórios** são poluentes aéreos como partículas que afetam os pulmões humanos. Tais poluentes são emitidos massivamente pela indústria pesada e veículos.

**Radiação Ionizante** mede o impacto na vida humana causado pelas substâncias que emitem radiação ionizante. Estas substâncias são principalmente emitidas pelo setor de energia nuclear.

**Desgaste da Camada de Ozônio** mede o potencial em reduzir a camada de ozônio estratosférica, aumentando, assim, a quantidade de radiação UV que atinge a terra. Ela pode gerar impacto na vida

humana, como câncer de pele e catarata e danos à vida terrestre e aos ecossistemas aquáticos. Os poluentes que destroem a camada de ozônio, como o CFC emitido por alguns processos industriais específicos que precisam, por exemplo, de fortes sistemas de refrigeração.

**Oxidação Fotoquímica** mede os efeitos na saúde humana (e, em última análise, no crescimento de plantas) associados a formação de ozônio troposférico (também chamado de formação do smog de verão). Os poluentes responsáveis pelo ozônio troposférico, como os NO<sub>x</sub> e os Carbonos Orgânicos Voláteis (COV) são principalmente emitidos pelos veículos e atividades industriais.

**Ecotoxicidade Aquática** mede os efeitos nos ecossistemas de água doce em termos de perda da biodiversidade causada pelas emissões tóxicas no meio ambiente.

**Ecotoxicidade Terrestre** mede os efeitos nos ecossistemas terrestres em termos de perda da biodiversidade causada pelas emissões tóxicas no meio ambiente.

**Acidificação da Água** literalmente refere-se aos processos que aumentam a acidez em sistemas aquáticos e que podem levar a um declínio na população de peixes e desaparecimento de espécies. As substâncias com nitrogênio no ar (NO<sub>x</sub> e NH<sub>3</sub>) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são os principais liberados pela queima de óleos pesados e carvão para a produção de energia e pelos veículos.

**Eutrofização da Água** mede o potencial de aumento de nutrientes no ambiente aquático, o que gera um aumento da biomassa levando ao desequilíbrio da população do ecossistema: diminuição do oxigênio leva a mais mortalidade de peixes e ao desaparecimento da fauna do leito. Estes nutrientes são principalmente associados com compostos de fósforo e nitrogênio em detergentes e fertilizantes.

**Acidificação e Nutrição Terrestre** medem a mudança potencial nos níveis de nutrientes e acidez do solo que podem levar a uma mudança das condições naturais para o crescimento e competição das plantas. Uma redução de espécies é observada com um excesso de nutrientes e uma diminuição na saúde da floresta pela acidificação do solo (efeito na biodiversidade). Substâncias acidificantes e nutrificantes como o NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e NH<sub>3</sub> são massivamente liberados pelas indústrias pesadas e veículos.

**Ocupação da Terra** mede a redução da biodiversidade causada pelo uso da terra. Agricultura (lavouras) é o maior colaborador desta categoria.

**Aquecimento Global** cobre uma variedade de impactos potenciais resultantes de mudanças no clima global. É a medida do efeito da retenção do calor por um gás de efeito estufa (GEE) liberado na atmosfera. O CO<sub>2</sub> liberado pela queima de combustível fóssil é o principal GEE.

**Energia Primária Não-renovável** mede a quantidade de energia extraída da terra contida em meio de energia fóssil (carvão, petróleo e gás natural) ou minério de urânio. Estes recursos estão sujeitos

ao esgotamento. Eletricidade, produção e consumo de combustíveis e produção de calor são os principais consumidores de combustíveis fósseis e minério de urânio.

**Extração Mineral** mede a energia extra associada ao esforço adicional exigido para se extrair minerais de minas com menor concentração de minério.

**Água Turbinada** é um indicador de inventário e não de impacto. Ela mede o volume de água (m<sup>3</sup>) usada na produção de eletricidade. Os impactos na biodiversidade associados às turbinas hidroelétricas dependem da localização e do tipo de represa (com reservatório ou não).

**Retirada de Água** é um indicador de inventário e não de impacto. É a soma de todos os volumes de água usados durante o processo, com exceção da água usada nas turbinas (para produção de energia elétrica). Conclusões significativas não devem ser tiradas baseadas neste indicador, pois carece de interpretação no que concerne a mudanças na qualidade da água ou água devolvida ao sistema. Isto será adicionado à próxima versão do método Impact 2002 + method (chamado *Impact World*), a ser lançado em 2012.

Os indicadores de cada categoria de ponto médio de impacto estão agrupados em categorias de ponto de saturação. São apresentados juntamente com a categoria de ponto médio para mudança climática, por causa de sua importância individual, assim como o indicador de inventário para retirada de água. No total, os cinco indicadores são os seguintes:

- Mudança Climática (em kg CO<sub>2</sub>-eq);
- Saúde Humana (in DALY);
- Qualidade do Ecossistema (em PDF\*m<sup>2</sup>\*ano);
- Esgotamento dos Recursos (em MJ Primário);
- Retirada de Água (em L).

**Mudança Climática** é representada com base nos indicadores de Potencial de Aquecimento Global de 100 anos do Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas de várias substâncias (PIMC 2007). Substâncias que sabidamente contribuem para o aquecimento global são ajustadas baseadas em um Potencial de Aquecimento Global identificado, expresso em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono. Como a absorção e emissão de CO<sub>2</sub> de fontes biológicas pode levar a uma interpretação errônea dos resultados, não é incomum desconsiderar este CO<sub>2</sub> biogênico na avaliação dos Potenciais de Aquecimento Global. Neste ponto, a recomendação do Padrão Disponível Publicamente (PAS) 2050 é para que não se considere a pegada de carbono, seja absorção ou emissão de CO<sub>2</sub> de sistemas biológicos. Para contabilizar o efeito de sua degradação pelo CO<sub>2</sub>, o PAG do metano de origem fóssil é colocado em 27,75kg CO<sub>2</sub>eq/kgCH<sub>4</sub>, e o do metano de origem biogênica e não especificada é colocada em 25kg CO<sub>2</sub>eq/kgCH<sub>4</sub>.

**Saúde Humana** seu impacto pode ser causado pela liberação de substâncias que têm efeito em humanos através de toxicidade aguda, toxicidade baseada em câncer, efeitos respiratórios, aumentos da radiação UV e outras causas. Uma avaliação do impacto geral de um sistema na saúde humana foi feita seguindo-se o ponto de saturação no método IMPACT 2002+ (Jolliet et al. 2003), na qual as substâncias são avaliadas com base na capacidade de causar vários danos à saúde humana.

**Qualidade do Ecossistema** pode ser diminuída pela liberação de substâncias que causam acidificação, eutrofização, toxicidade para a vida selvagem, ocupação da terra e uma variedade de outros tipos de impacto. Uma avaliação do impacto geral de um sistema na qualidade do ecossistema foi feita seguindo-se o ponto de saturação da Qualidade do Ecossistema do método IMPACT 2002+ (Jolliet et al. 2003), no qual as substâncias são avaliadas com base na capacidade de causar um dos vários danos às espécies de vida selvagem.

**Esgotamento de Recursos** ocorre quando recursos não-renováveis são usados ou quando recursos renováveis são usados além de sua capacidade de se renovar. Vários materiais podem ter importância maior baseando-se em sua abundância ou dificuldade em se obter. Uma avaliação do impacto geral de um sistema no esgotamento dos recursos foi feita seguindo-se o ponto de saturação dos Recursos no método IMPACT 2002+ (Jolliet et al. 2003), que combina uso de energia primária não-renovável com extração mineral. O uso de energia primária não-renovável contabiliza o consumo de recursos fósseis e nucleares, com exclusão de fontes de energia renováveis em todos os estágios do ciclo de vida e em todos os processos antecessores. A extração mineral é uma estimativa do aumento da energia que será exigida para se obter maiores quantidades adicionais de substâncias da terra devido à retirada dos recursos inventariados para cada sistema (baseado no método Eco-indicador 99). O uso de energia primária não-renovável contabiliza o consumo de recursos fósseis e nucleares, com exclusão de fontes renováveis de energia em todos os estágios do ciclo de vida e em todos os processos antecessores (entretanto, energia não-renovável necessária à produção de energia renovável é considerada). A medida é expressa em megajoules (MJ).

**Retirada de Água** inclui o uso da água (em m<sup>3</sup> de água necessária, seja evaporada, consumida ou liberada novamente) sem água turbinada (por exemplo, água fluindo através das represas de hidroelétricas). Ela considera água potável, de irrigação e água para processos industrializados e dentro deles (inclusive água para resfriamento). Água doce e salgada são consideradas.

### **Interpretação**

A interpretação, quarto passo do processo ACV, tem como objetivo a análise dos resultados para se tirar conclusões, entender as limitações e fazer recomendações baseadas nos resultados das etapas anteriores. A interpretação deve respeitar os requerimentos definidos no objetivo e escopo e deve levar em conta as limitações relativas às hipóteses feitas, assim como as incertezas dos dados usados no modelo de AICV selecionado.

## 6.2 Apêndice B—Entrada de Materiais e Energia

Tabela 6-1—Dados de Entrada de Material e Energia para Telhas de Cerâmica

Fase do Ciclo de Vida	Dados	Quantidade	Unidade	Detalhes	Fonte
<b>Materiais Crus</b>	Diesel	200	L/dia	escavadeira, retroescavadeiras, crawlertractors	ANICER
	Argila	33.33	m <sup>3</sup> /dia	2000 m <sup>3</sup> a cada 60 dias	ANICER
<b>Transporte</b>	Produção	22000	telha-equivalente/dia		ANICER
	Carga	14000	kg/carga	3.818 kg/telha	ANICER
	Distância	108	km/um sentido (retorna vazio)		ANICER
<b>Preparação da massa</b>	Diesel	200	L/semana	loadingshovels	ANICER
	Massa	100000	kg/dia	equivalente a 22000 telhas @ 4.545 kg/telha	ANICER
<b>Modelação</b>	Produção	600000	telhas/mês		ANICER
	Perda	0	%		ANICER
	Gás Natural	200	m <sup>3</sup> /mês		ANICER
	Lubrificante	800	L/mês		ANICER
<b>Secagem</b>	Produção	22200	telhas/mês	Redução da umidade de 25% de 3%	ANICER
	Perdas	0.5	%	Reincorporação no processo	ANICER
	Fornos	12	Peças	25 m <sup>3</sup> /forno/semana	ANICER
<b>Descarte</b>	Produção	11000	telhas/lote	Um lote a cada 27 horas	ANICER
	Perdas	1.5	%	95% de corte, 5% do processo	ANICER
	Lascas de madeira	25	m <sup>3</sup> /lote		ANICER
	Lascas de madeira	1200	m <sup>3</sup> /mês		ANICER
<b>Distribuição</b>	Produção	480000	tiles/mês		ANICER
	Fábrica - Loja	120	km (ida)	Média. Máx 250 km. Retorna vazio	ANICER
	Carga de caminhão	5000	telhas/caminhão	Máx carregado	ANICER
	Perdas	1	%	Para o aterro	ANICER
	Loja – Cliente	5	km		ANICER





Tabela6-2–Dados de Entrada de Materiais e Energia para Telhas de Concreto

Fase do Ciclo de Vida	Dados	Quantidade	Unidade	Detalhes	Fonte
<b>Materiais crus</b>	Areia	3.6	kg areia / telha	80% peso seco	ANICER
	Cimento Portland	0.9	kg cimento/ telha	20% peso seco	ecoinvent
	Calcário	0.76	kg calcário / telha	84% de clínquerno peso final	ecoinvent
	Calcário marga	0.42	kg marga/ telha	47% declínquerno peso final	ecoinvent
	Argila	0.30	kg argila/ telha	33% de clínquerno peso final	ecoinvent
	Cobertura	0.004	kg selador/ telha		ANICER
<b>Transporte</b>	Areia	150	Km		ANICER
	<i>Argila</i>	-	Km	Agregados em dados do cimento	Hipótese
	<i>Calcário</i>	-	Km	Agregados em dados do cimento	Hipótese
	Cobertura	700	Km		ANICER
<b>Clinquerização</b>	Eletricidade	0.0471366	kWh/ telha		ecoinvent
	Diesel	0.01089018	MJ/ telha		ecoinvent
	Hulha	0.02876958	kg/ telha		ecoinvent
	Gás Natural	0.00553449	MJ/ telha		ecoinvent
	Óleo pesado	0.02072385	kg/ telha		ecoinvent
	Óleo leve	0.00030395	kg/ telha		ecoinvent
	Coque de petróleo	0.00317766	kg/ telha		ecoinvent
<b>Produção de cimento</b>	Eletricidade	0.02628	kWh/ telha		ecoinvent
<b>Transporte</b>	Para produção de concreto	300	km		ANICER
<b>Produção de telhas de concreto</b>	Diesel	0.0972	MJ/ telha		ecoinvent
	Eletricidade		kWh/ telha		
	Perdas	5	%	A maioria, para plantas não-automatizadas	ANICER
<b>Distribuição</b>	Para a loja	450	km		ANICER
	Para o cliente	5	km	Supõe-se ser o mesmo da cerâmica	ANICER

### 6.3 ApêndiceC–Legenda da Avaliação de Qualidade dos Dados

Qualificação	Confiabilidade		Representatividade		Comentários
Ótima qualidade	1	Dados específicos validados ou calculados	1	Boa representatividade geográfica e tecnológica	Padrão de Satisfação de Nível Elevado
Qualidade aceitável	2	Dados validados ou calculados por outra fonte	2	Falta de representatividade geográfica e tecnológica	Padrão de satisfação na média
Baixa qualidade	3	Qualificação estimada	3	Falta de representatividade geográfica e tecnológica	Padrão mínimo de satisfação
Qualidade muito baixa	4	Estimativa aproximada	4	Proxy	Requer melhorias

## 6.4 Apêndice D -Resultados da AICV

Indicador	Unidade	Total	Extração	Transporte desde a Extração	Preparação da massa	Operação de forma	Secagem	Aquecimento	Distribuição	Fim da vida
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	4.97E+00	5.14E-01	1.47E+00	7.20E-02	0.33467169	0.002536	0.44122	1.52078436	0.61547216
Saúde Humana	DALY	1.23E-05	9.84E-07	1.56E-06	1.37E-07	2.70E-07	3.34E-09	7.11E-06	1.52114E-06	7.25E-07
Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> *ano	2.127163	0.077612556	0.49367105	0.012148217	0.091825149	7.16E-04	0.791183	0.469955278	0.19005151
Recursos	MJ primário	78	7.6890435	24	1.0724757	3.672567	0.06978	4.504597	24.7590577	13.037818
Retirada da água	m <sup>3</sup>	0.055494	0.002160543	0.012642648	0.00587614	0.003617138	7.30E-05	0.006375	0.01392501	0.010824642

Categoria do dano	Unidade	Total	Cimento Portland	Transporte Intermediário	Produção da telha	Empacotamento	Distribuição	Fim da vida
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	15.68559	8.4699878	1.568720392	0.456925808	0.26518122	4.17E+00	0.75010669
Saúde Humana	DALY	1.03E-05	2.48E-06	1.66726E-06	6.24365E-07	2.96E-07	4.32E-06	8.83E-07
Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> *ano	3.048058	0.67891902	0.518145715	0.168857065	0.12245067	1.33E+00	0.23162528
Recursos	MJ primário	185.8406	64.521925	25.14869022	8.384368783	4.6123461	6.73E+01	15.889841
Retirada da água	m <sup>3</sup>	0.180174	0.040342733	0.013291531	0.069016996	0.007985907	3.63E-02	0.013192533

## 6.5 Apêndice E – Contribuição para a categoria de impacto por categoria de impacto

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Telhas de cerâmica</b>	<b>Telhas de concreto</b>
Carcinogênicas	DALY	1.69E-07	2.67E-07
Não-carcinogênicas	DALY	4.68E-07	5.78E-07
Inorgânicos respiratórios	DALY	1.17E-05	9.39E-06
Radiação de Ionização	DALY	8.13E-09	1.66E-08
Esgotamento da camada de ozônio	DALY	7.57E-10	1.74E-09
Orgânicos respiratórios	DALY	9.55E-09	1.67E-08
Ecotoxicidade aquática	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.015	0.035
Ecotoxicidade terrestre	PDF*m <sup>2</sup> *ano	1.434	2.318
ácid/nutri terrestres	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.294	0.412
Ocupação de terra	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.302	0.176
Acidificação aquática	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.000	0.001
Eutrofização Aquática	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.007	0.015
Água turbinada	PDF*m <sup>2</sup> *ano	0.074	0.091
Energia não-renovável	MJ primário	78.407	185.606
Extração Mineral	MJ primário	0.045	0.234

## 6.6 ApêndiceF –Resultados da Avaliação de incertezas por Monte-Carlo

Indicador do dano (ponto final)	A >= B	A<B	Significado	Mediano	Diferença de padrão	Coefficiente de Variação	0.025	0.975	Std.dev.ofmean
Mudança Climática	0%	-100.00%	-1.06E+01	-1.05E+01	1.82E+00	-17.1%	-1.46E+01	-7.53E+00	-6.23E-03
Saúde Humana	6.93%	-93.07%	-8.86E-01	-7.80E-01	7.42E-01	-83.7%	-2.61E+00	3.03E-01	-3.06E-02
Qualidade do ecossistema	82.40%	-17.60%	2.09E-06	2.11E-06	2.27E-06	108%	-2.73E-06	6.36E-06	3.95E-02
Recursos	0%	-100.00%	-1.06E+02	-1.04E+02	2.23E+01	-20.9%	-1.57E+02	-6.86E+01	-7.64E-03
Retirada da água	0%	-100.00%	-1.24E-01	-1.24E-01	8.85E-03	-7.11%	-1.43E-01	-1.09E-01	-2.60E-03

Intervalo de confiança : 95

Categoria de impacto	A >= B	A<B	Significado	Mediano	Diferença de padrão	Coefficiente de Variação	0.025	0.975	Std.dev.ofmean
Acidificação aquática	0.53%	-99.47%	-2.34E-02	-2.26E-02	1.13E-02	-48.1%	-4.85E-02	-5.24E-03	-1.76E-02
Ecotoxicidade Aquática	0%	-100.00%	-3.82E+02	-3.38E+02	2.02E+02	-52.7%	-8.52E+02	-1.73E+02	-1.92E-02
Eutrofização aquática	0.27%	-99.73%	-7.17E-04	-6.25E-04	4.30E-04	-60%	-1.68E-03	-2.78E-04	-2.19E-02
Carcinogênicos	0.13%	-99.87%	-3.47E-02	-3.34E-02	1.41E-02	-40.5%	-6.59E-02	-1.03E-02	-1.48E-02
Aquecimento global	0%	-100.00%	-1.06E+01	-1.05E+01	1.82E+00	-17.1%	-1.46E+01	-7.53E+00	-6.23E-03
Radiação de Ionização	0%	-100.00%	-4.24E+01	-3.16E+01	3.92E+01	-92.3%	-1.39E+02	-1.69E+01	-3.37E-02
Ocupação de terra	98.90%	-1.10%	1.19E-01	1.10E-01	6.74E-02	56.6%	1.20E-02	2.83E-01	2.07E-02
Extração Mineral	0%	-100.00%	-1.90E-01	-1.74E-01	7.93E-02	-41.8%	-3.85E-01	-9.42E-02	-1.53E-02
Não-carcinogênicos	18.40%	-81.60%	-3.94E-02	-3.73E-02	4.89E-02	-124%	-1.45E-01	5.33E-02	-4.53E-02
Energia não-renovável	0%	-100.00%	-1.06E+02	-1.04E+02	2.23E+01	-21%	-1.56E+02	-6.84E+01	-7.65E-03
Esgotamento da camada de ozônio	0%	-100.00%	-9.27E-07	-8.87E-07	3.32E-07	-35.8%	-1.73E-06	-4.29E-07	-1.31E-02
Inorgânicos respiratórios	84.90%	-15.10%	3.31E-03	3.33E-03	3.18E-03	95.8%	-3.25E-03	9.41E-03	3.50E-02
Orgânicos respiratórios	0%	-100.00%	-3.35E-03	-3.19E-03	1.11E-03	-33%	-5.88E-03	-1.67E-03	-1.21E-02
ácid/nutri terrestres	5.20%	-94.80%	-1.11E-01	-1.02E-01	7.98E-02	-72.1%	-2.89E-01	1.55E-02	-2.63E-02
Ecotoxicidade terrestre	5.33%	-94.67%	-1.08E+02	-9.50E+01	8.45E+01	-78%	-3.18E+02	2.54E+01	-2.85E-02
Água turbinada	6%	-94.00%	-4.24E+00	-4.31E+00	2.69E+00	-63.4%	-9.28E+00	1.55E+00	-2.32E-02
Retirada de água	0%	-100.00%	-1.24E-01	-1.24E-01	8.85E-03	-7.11%	-1.43E-01	-1.09E-01	-2.60E-03

Intervalo de confiança : 95

Número de corridas realizadas	750
Cálculo total de tempo	06:50:47.740:812

Parte dos valores contém dados incertos	70.4%
Distribuição	Soma
Total	132913
<i>Indefinido</i>	39383 (29.6%)
<i>Lognormal</i>	93517 (70.4%)
<i>Normal</i>	13 (0.00978%)
<i>Triângulo</i>	0 (0%)
<i>Uniforme</i>	0 (0%)

## 6.7 ApêndiceG– Resultados das Análises de Sensibilidade

A tabela a seguir mostra os resultados de todos os cenários considerados.

Categoria de dano	Unidade	Cerâmica	Concreto	Concreto 10 anos	Concreto 30 anos	Concreto com isolamento de alumínio	Cerâmica Distribuição a 250 km	Concreto Distribuição a 120 km	Empacotamento CE	Emissões de Concreto Canadense	Emissões de Concreto Europeu
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	4.97E+00	15.68559	31.37118	10.45706	17.05975	6.216105	12.69093	5.189922	15.69206	15.39134
Saúde Humana	DALY	1.23E-05	1.03E-05	2.05E-05	6.85E-06	1.09E-05	1.36E-05	7.07E-06	1.26E-05	1.21E-05	9.80E-06
Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> *ano	2.127163	3.048058	6.096117	2.032039	3.21921	2.548168	2.024064	2.227635	3.125684	2.768613
Recursos	MJ primário	78	185.8406	371.6812	123.8937	205.3915	98.46899	137.471	82.23795	185.8406	150.868
Retirada da água	m <sup>3</sup>	0.055494	0.180174	0.360348	0.120116	0.208664	0.066265	0.149061	0.062046	0.180174	0.166667



## 6.8 ApêndiceH –Revisão Crítica

Marisa Vieira	MV
Rosa Crescencio	RC
Carlos Santos	CS

Refnr	Seção	Pág.	Natureza do comentário	Descrição detalhada	Recomendação	De	Resposta
1			geral	O relatório G&S está muito bem estruturado e claro. É em geral um bom relatório.		MV	Obrigado
2		iii	tipo	O sobrenome do revisor está errado.	Rosa Maria Crescencio, Supervisora do Laboratório do Centro Nacional de Tecnologia de Construção, School Senai Orlando LavieriFerraiuolo	RC	Corrigido
3	2.4 Figura 2-1	10	Clarificação	As telhas de cerâmica não são embaladas. Entretanto, há produtor que ainda vende as telhas embaladas em plástico e paletes. A tendência é que os produtores adotem esta prática e isso gerará uma nova demanda das empresas de construção.		CS	A análise de sensibilidade havia testado.
4	2.4.1 Tabela 2-2	12	dados	Eu considero as distâncias de transporte do material cru para as telhas de concreto foram estimadas. Se assim, como foram estimados 150 e 300km?	Nós ainda não sabemos se o transporte é relevante mas, se isto é uma suposição, eu sugiro que peguem as mesmas distâncias como para as telhas de cerâmica.	MV	ANICER perguntou aos produtores de concreto e uma média de dados coletados foram fornecidos.
5	2.4.1 Tabela 2-2	12	Clarificação	No Brasil, há uma argila muito dura ('argilito') que é explorando usando explosivos. Alguns produtores não usam este material porque não têm a tecnologia para esta extração. O 'argilito' é uma argila de melhor qualidade para a produção de telhas e blocos.		CS	A análise de sensibilidade havia testado.
6	2.4 Tabela 2-2	12	Dados	Parágrafo 2 Extração de material cru: Areia artificial pode ser usada.	A areia é extraída de poços de areia de leitos de rios, produzida pelo esmagamento das pedras.	RC	A análise de sensibilidade havia testado.
7	2.4 Tabela 2-2	12	Dados	Transporte: Caminhões percorrem um total de 108km a cada ida entre as pedreiras de argila e as fábricas. Que referência foi usada para calcular as distâncias.		RC	A referência é detalhada no Apêndice de Dados

8	2.4 Tabela 2-2	12	dados	Transporte: A areia, o calcário e a argila extraídos são transportados por mais de 150km em caminhões até a fábrica de cimento. Que referência foi usada para calcular as distâncias.		RC	A referência é detalhada no Apêndice de Dados
9	2.4 Tabela 2-2	12	dados	Transporte: O cimento é depois transportado por mais de 300km até a fábrica de telhas. Que referência foi usada para calcular as distâncias.		RC	A referência é detalhada no Apêndice de Dados
10	2.4 Tabela 2-2	12 & 13	Dados	Qual é a referência de consumo de combustível para a produção de concreto?		RC	A referência é detalhada no Apêndice de Dados
11	2.5	14	Metodológico	Para o material de fim de vida e recuperação de energia, você decide usar a abordagem limite.	Isto deveria ter sido testado na análise de sensibilidade porque é uma escolha feita no modelo.	MV	Abordagem de limite foi somente utilizada para recuperação de energia na clínquerização. Isto foi testado na análise de sensibilidade.
12	2.6.1	16	dados	Você afirma que nem todo o processo inclui a rede de eletricidade brasileira? Como foram feitas essas seleções?		MV	Todos os processos de produção principal usam a rede brasileira. Processos que não são de produção de fundo podem acontecer em qualquer lugar, como na fábrica de equipamentos. Isto foi adicionado no texto.
13	2.7	19	Metodológico	Mudança Climática (em kg CO <sub>2</sub> -eq) e Retirada de água (em m <sup>3</sup> ) não são categorias de impacto de ponto final.	Como você mencionou depois no relatório, retirada de água (em m <sup>3</sup> ) é um resultado ALC. Mudança climática (em kg CO <sub>2</sub> -eq) é um indicador de ponto médio.	MV	Descrição modificada reflete isso.
14	2.7	19	Metodológico	Somente o dióxido de carbono biogênico foi excluído?	Absorção de carbono e monóxido de carbono biogênico também são excluídos e o CF deveria ser adaptado para balanço de fluxo C.	MV	Não, em IMPACT 2002+, monóxido de carbono biogênico é também excluído, e o metano biogênico tem redução do fator de emissão (em kg CO <sub>2</sub> -eq) Isto foi adicionado ao texto.
15	2.7	19	Metodológico	Que normalização será usada?		MV	Não. Porque normalização requer uma interpretação baseada no julgamento (comparação de categorias, ou julgamento de brasileiros), nós preferimos não usar isso.
16	2.9.1	20	Interpretação	Há somente uma incerteza nos dados do ecoinvent ou há também uma incerteza relevante nos dados de primeiro plano incluídos?		MV	A incerteza foi modelada nos dados de primeiro plano baseada no método da matriz de linhagem usada para os dados ecoinvent.

17	2.10 Tabela 2-5	22		O sobrenome do revisor está errado.	Rosa Maria Crescencio, Supervisora de Laboratório do Centro Nacional de Tecnologia de Construção, School Senai Orlando LavieriFerraiuolo	RC	Corrigido
18	2.10	22	editorial	Os dois primeiros passos da revisão crítica foram feitos em julho ao invés de junho.		MV	Corrigido
19			geral	As recomendações feitas durante a revisão dos Objetivos e escopo do documento foram bem implementadas em todo o relatório bem como mostra o Apêndice G (pp 66-67).		MV	
20	2.8	25	Metodológico		Mencionar o uso de ReCiPe como uma análise de sensibilidade nesta seção.	MV	Adicionado
21	3.1	30	Interpretação	4.97/15.68 é 32% ao invés de 31%.	Devido às incertezas envolvidas nos dados e nos modelos ICVA, você deveria permitir números absolutos como 31%.	MV	Ajustado
22	3.1	30	Interpretação	Pode ser verificado se a ecotoxicidade terrestre é a principal contribuinte no impacto da Qualidade do Ecossistema.	Por favor, forneça uma tabela no apêndice com a análise dos resultados de danos por categoria de impacto.	MV	Adicionado
23	3.2.1	30	Metodológico	Mudança climática e Retirada de água não são categorias de dano.	Por favor, adapte este texto	MV	Corrigido
24	3.3 Tabelas 3-3 & 3-4	37-38	Interpretação	O resultado 2 da representatividade geográfica para a média europeia é uma média para os dados brasileiros.	Um resultado 3 é recomendado.	MV	Aceito, Corrigido
25	3.3 Tabelas 3-3 & 3-4	37-38	Dados	Dados de transporte não são mencionados nesta tabela mas a distribuição é um dos principais contribuintes de todo o impacto.	Por favor, inclua nas tabelas e tente coletar dados de emissão para transporte em caminhões no Brasil.	MV	Informação adicionada nos bancos de dados em 2.6.1
26	3.4.7	44	Dados	É mencionado que “Emissões de combustão permaneceram supostamente as mesmas.”	Substitua emissões por emissões de queima de carvão uma vez que emissões de combustão são um fator importante.	MV	A literatura tem mostrado que emissões de queimas de pneus são menores ou semelhantes a emissões de queima de carvão. Isto, e sua referência, foi adicionado ao texto.
27	4.1	47	dados	A fábrica de cerâmica no Brasil usa sempre lascas de madeira residual como fonte de calor?	Se não, substitua por uma fonte de calor alternativa devido à alta contribuição desta atividade.	MV	Esta questão, muito pertinente, foi indagada para a ANICER. Eles responderam que não fontes de calor alternativas usadas no Brasil.

## 6.9 Apêndice I –Carta de Declaração da Revisão Crítica

### **Declaração da revisão crítica sobre “ACV Comparativa entre Telhas de Cerâmica e de Concreto”**

**Painel da revisão crítica:** Marisa Vieira (PRéConsultants), Carlos Santos (Escola SENAI Mario Amato) e Rosa Crescencio (Escola SENAI Orlando LavieroFerraiuolo)

**Estudo:** Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas de Cerâmica e de Concreto

**Preparado por:** Quantis International

**Preparado para:** ANICER

O painel desta revisão crítica revisou o relatório do estudo comparativo de estudo da ACV de telhas de cerâmica versus telhas de concreto preparado para Anicer para obediência aos padrões ISO 14040 e 14044. Esta revisão crítica é exigida uma vez que o presente estudo visa ser publicado e compara produtos diferentes, o que pode influir nas escolhas de compras e afetar o interesse dos depositários.

O objetivo e escopo do ACV final foram submetidos a revisão. A revisão crítica foi realizada em duas rodadas. Na primeira rodada, comentários revisionais sobre o documento do objetivo e escopo foram coletados e discutidos entre os membros do painel e a equipe da Quantis que conduziu o estudo da ACV. A equipe da ACV fez os ajustes necessários, explicações e/ou comentários sobre a aceitação das recomendações e procederam a complementação do relatório ACV completo. Depois foi submetido a uma segunda rodada de revisão, quando o painel de revisão crítica fez alguns comentários adicionais. Tais comentários estão compilados no Apêndice H do relatório final.

Este estudo compara os ciclos de vida das telhas de cerâmica e de concreto, ambas usadas no Brasil. Os produtos também são usados e descartados no Brasil, daí a necessidade de dados representativos do Brasil para que se avalie a diferença entre elas. Os comentários principais focam a falta de dados para o inventário e avaliação do impacto no Brasil. No tocante aos dados do inventário, foram usadas informações brasileiras sempre que disponíveis. Entretanto, muitos dados de segundo plano foram modelados de acordo com os dados europeus. Recomenda-se que se colem dados de inventário de transporte para o Brasil, por ser este um dos maiores colaboradores. No que concerne à aplicação do IMPACT 2002+ como método de avaliação do impacto, este método não é representativo das condições brasileiras, por exemplo impactos na biodiversidade ao se ocupar ou transformar a terra. Entretanto, a falta de representatividade no método de avaliação de impacto é mais relevante para as categorias de impacto Saúde Humana e Qualidade do Ecossistema e nenhuma conclusão foi tirada deles.

Apesar das limitações mencionadas acima, o painel de revisão crítica acredita que as interpretações feitas pela equipe de ACV consideram as limitações identificadas no objetivo e escopo do estudo. Assim, o painel de revisão crítica acredita que, considerando as limitações e hipóteses do estudo, a conclusão é sólida, isto é, as telhas de cerâmica apresentam benefícios para Mudanças Climáticas, Esgotamento dos Recursos e Retirada de Água.

#### **Assinado pelos revisores:**

Marisa Vieira, PRéConsultants, Holanda (coordenadora do painel de revisão), 4 de agosto de 2011

Carlos Santos, Escola SENAI Mario Amato, Brasil, 4 de agosto de 2011.

Rosa Crescencio, Escola SENAI Orlando LavieroFerraiuolo, Brasil, 4 de agosto de 2011.

Versão 1.0: Relatório final ACV entregue em 3 de agosto de 2011.

## Critical review statement on “Comparative LCA of Ceramic versus Concrete Roof Tiles”

**Critical review panel:** Marisa Vieira (PRé Consultants), Carlos Santos (School SENAI Mario Amato) and Rosa Crescencio (School SENAI Orlando Laviero Ferraiuolo)

**Study:** Comparative Life Cycle Assessment of Ceramic versus Concrete Roof Tiles

**Prepared by:** Quantis International

**Prepared for:** ANICER

The critical review panel reviewed the report<sup>1</sup> of the comparative LCA study of ceramic versus concrete roof tiles prepared for Anicer for compliance with the ISO 14040 and 14044 standards. This critical review is required since this study is intended for public disclosure and it compares different products and can thus influence purchasing choices and affect interests of stakeholders.

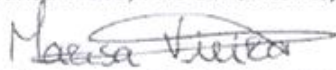
The Goal and Scope and Final LCA reports were subject to revision. The critical review was done in two rounds. In the first round, review comments on the goal and scope document were collected and discussed between the critical review panel and the LCA team who conducted the study from Quantis. The LCA team made the necessary adjustments, clarifications and/or comments on the acceptance of the recommendations and proceeded with completion of the full LCA report. This was then submitted to a second review round, when the critical review panel made some additional comments. These comments are compiled in Appendix H of the final LCA report.

This study compares the life cycle of ceramic and concrete tiles, both used in Brazil. These products are also produced and disposed of in Brazil, hence the need for Brazilian representative data to assess the difference between them. The main comments focus on the lack of data for Brazil for inventory and impact assessment. Regarding inventory data, Brazilian data was used whenever available. However, most background data was modeled on the basis of average European data. It is recommended to gather transport inventory data for Brazil as this is one of the highest contributors. Regarding the application of IMPACT 2002+ as impact assessment method, this method is not representative of Brazilian conditions, e.g. biodiversity impacts when occupying or transforming land. However, the lack of representativity in the impact assessment method is mostly relevant for the damage categories Human Health and Ecosystem Quality and no conclusion has been drawn for these.

In spite of the limitations mentioned above, the critical review panel thinks that the interpretations made by the LCA team consider the limitations identified in the goal and scope of the study. Therefore, the critical review panel thinks that considering the limitations and assumptions of the study, the conclusion is solid, namely that ceramic tiles have benefits on Climate Change, Resource Depletion, and Water Withdrawal.

### **Signed by the reviewers:**

Marisa Vieira, PRé Consultants, Netherlands (head of review panel), August 4<sup>th</sup> 2011



Carlos Santos, School SENAI Mario Amato, Brazil, August 4<sup>th</sup> 2011



Rosa Crescencio, School SENAI Orlando Laviero Ferraiuolo, Brazil, August 4<sup>th</sup> 2011



<sup>1</sup> Version 1.0: final LCA report delivered on the 3rd of August 2011.