

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA INTEGRADAS
A PLATAFORMA BIM: ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO
UNIFAMILIAR**

Matheus Castillo Llave

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristiane Bueno

São Carlos
2020

MATHEUS CASTILLO LLAVE

**FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA INTEGRADAS
A PLATAFORMAS BIM: ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO
UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de São Carlos como parte dos
requisitos para a conclusão da
graduação em Engenharia Civil.

São Carlos, 18 de dezembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Cristiane Bueno

Prof.^a Dr.^a Sheyla Mara Baptista Serra

Prof. Dr. Douglas Barreto

AGRADECIMENTOS

Á minha família, em especial à minha companheira, Ana Beatriz; aos meus pais, Suzana e Wilson; e aos meus irmãos, Mayara e Felipe.

A todos os meus professores, especialmente à Prof^a. Dr.^a Cristiane Bueno.

A todas e todos que me auxiliaram ao longo dos meus anos de graduação.

A você, que lê este trabalho.

RESUMO

Na busca por métodos de gestão ambiental que possam mitigar o impacto ambiental significativo da construção de edificações, encontra-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A integração de ferramentas computacionais de realização de ACV a plataformas de *Building Information Modelling* (BIM) vem mostrando-se promissora quanto às possibilidades de aumento da sustentabilidade das edificações, sobretudo nas fases iniciais. Este projeto buscou avaliar as potencialidades e limitações do uso de ferramentas de ACV integradas a plataformas BIM, a partir da comparação dos resultados de uma ACV realizada pelo método tradicional e duas análises elaboradas com auxílio de *softwares* de ACV. Os resultados indicaram vantagens na execução de ACVs por meio de *softwares* integrados a plataformas BIM no que tange a velocidade de execução e redução da complexidade do processo. As limitações encontradas, no entanto, mostraram que os resultados das categorias de impacto analisadas não são representativos, dadas as restrições de personalização do escopo, dos dados de inventário e da metodologia de cálculo. São necessários novos desenvolvimentos que permitam a adaptação dos métodos a diferentes situações, reduzindo a especificidade dos dados e cálculos adotados.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida, BIM, Sustentabilidade da construção

ABSTRACT

In the search for environmental management methods that can mitigate the significant impact of building construction, Life Cycle Assessment (LCA) is found. The integration of LCA software to Building Information Modelling (BIM) has been showing promising results regarding the possibilities of building sustainability enhancement, mainly in the early stages. This project aimed to evaluate the potentialities and limitations of LCA tools integrated to BIM platforms, through a comparison of the results of an LCA elaborated using the traditional method and LCA software results. Findings indicated advantages in the execution of LCAs through BIM-integrated software, regarding time consumed and complexity of the process. Limitations found, however, showed that the impact categories' results are not representative, given the restrictions related to scope, database and methodology customization. New developments are necessary to allow the adaptation of methods to different situations, reducing the specificity of the data and calculations used.

Keywords: Life Cycle Assessment, BIM, Construction sustainability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fases da ACV	14
Figura 2 – Simplificações admitidas de acordo com a fase de projeto.....	20
Figura 3 – Visão geral da edificação estudada.....	30
Figura 4 – Interface de associação de materiais do Tally	36
Figura 5 – Exemplo de gráfico produzido pelo relatório do <i>software</i> Tally	38
Figura 6 – Organização de projetos na plataforma do <i>software</i> eToolLCD	40
Figura 7 – Interface de associação de materiais do <i>software</i> eToolLCD	41
Figura 8 – Interface de resumo dos resultados do <i>software</i> eToolLCD.....	41
Figura 9 – Exemplo de representação de resultados do relatório do <i>software</i> eToolLCD	43
Figura 10 – Fluxograma da metodologia aplicada ao presente trabalho.....	46
Figura 11 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Aquecimento Global”	51
Figura 12 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Acidificação”	52
Figura 13 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Destruição de Ozônio”	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – <i>Softwares</i> de ACV com integração a plataformas BIM.....	25
Quadro 2 – Opções de vedação externa estrutural dos modelos BIM da edificação em estudo.....	31
Quadro 3 – Categorias de impacto analisadas pela ReCiPe 2008.....	32
Quadro 4 – Materiais componentes das vedações externas em <i>steel frame</i> para o <i>software</i> Tally	36
Quadro 5 – Materiais componentes das vedações externas em blocos de concreto para o <i>software</i> Tally	36
Quadro 6 – Categorias de impacto consideradas na análise com o <i>software</i> Tally ..	37
Quadro 7 – Módulos de ciclo de vida considerados	37
Quadro 8 – Categorias de impacto consideradas na análise com o <i>software</i> eToolLCD	39
Quadro 9 – Materiais componentes das vedações externas em <i>steel frame</i> para o <i>software</i> eToolLCD.....	42
Quadro 10 – Materiais componentes das vedações externas em blocos de concreto para o <i>software</i> eToolLCD.....	42
Quadro 11 – Solução construtiva mais potencialmente impactante segundo cada <i>software</i> /método para a respectiva categoria de impacto	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de <i>steel frame</i> , no <i>software</i> Tally, divididos em estágio de ciclo de vida	47
Tabela 2 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de blocos de concreto, no <i>software</i> Tally, divididos em estágio de ciclo de vida.....	48
Tabela 3 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de <i>steel frame</i> , no <i>software</i> eToolLCD, divididos em estágio de ciclo de vida.....	49
Tabela 4 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de blocos de concreto, no <i>software</i> eToolLCD, divididos em estágio de ciclo de vida	49
Tabela 5 – Resultados das categorias de impacto da ACV original para o sistema de <i>steel frame</i>	50
Tabela 6 – Resultados das categorias de impacto da ACV original para o sistema de blocos de concreto	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
BIM	<i>Building Information Modelling</i> , ou Modelagem da Informação da Construção
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i> , ou Declaração de Produto Ambiental
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.2. JUSTIFICATIVA	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	14
2.1.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO.....	15
2.1.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA.....	16
2.1.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA.....	17
2.1.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	18
2.1.5. ACV DE EDIFICAÇÕES.....	19
2.2. BUILDING INFORMATION MODELLING	22
2.2.1. INTEROPERABILIDADE.....	23
2.3. INTEGRAÇÃO ENTRE ACV E BIM	25
3. METODOLOGIA	29
3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	29
3.2. CONSTRUÇÃO E SOLUÇÃO DO MODELO	32
3.2.1. TALLY.....	33
3.2.2. ETOOLLCD.....	39
3.3. VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO	44
4. RESULTADOS	47
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
6. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	67

1. INTRODUÇÃO

O setor da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) é notório pelo impacto ambiental de seus produtos e processos. Na construção civil, os altos níveis de desperdício, geração de resíduos e consumo de energia tornam as edificações onerosas ao meio ambiente. Neste contexto, a construção sustentável tenta mitigar os problemas ambientais decorrentes dos processos construtivos.

As ferramentas de gestão ambiental de edificações analisam atributos relacionados à construção, em busca da otimização dos projetos e consequente redução dos impactos. Dentre os métodos existentes, encontra-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que busca entender sistematicamente as consequências da edificação ao longo de todo seu ciclo de vida.

As particularidades das edificações, no entanto, dificultam a implementação de ACV no setor. Longos ciclos de vida, grande quantidade de materiais, variações de uso, entre outras características, inserem níveis de incerteza à simulação do produto. A complexidade do modelo exige experiência dos usuários acerca do tema, além de volumes expressivos de dados, que nem sempre estão disponíveis. Consequentemente, a confiabilidade dos resultados é comprometida.

O uso de ferramentas de ACV integradas a plataformas BIM aparece como solução para alguns destes problemas. A incorporação com a interface de desenvolvimento de projeto torna o processo mais intuitivo e produtivo, e bases de dados ambientais associadas aos *softwares* fornecem dados genéricos, como opção frente a dados faltantes. É um processo promissor e recente, havendo, portanto, evolução rápida dos métodos e soluções das limitações associadas.

Neste trabalho, buscou-se entender a integração de ferramentas de ACV a plataformas BIM, quanto às suas potencialidades e limitações, a partir do estudo de caso de uma edificação. Os resultados foram comparados com uma ACV realizada pelo método tradicional (BUENO et al., 2016), a fim de aferir a acurácia do procedimento.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as potencialidades e limitações do uso de ferramentas de ACV integradas a plataformas BIM, desde as etapas iniciais do processo de projeto, a partir de um estudo de caso de uma edificação.

Objetivou-se, assim, a verificação das potencialidades de duas metodologias atuando conjuntamente, – BIM além da representação e modelagem geométrica, com extração e manejo de dados e ACV além do estudo tradicional, com abordagem paramétrica.

Dentre os objetivos específicos, destacou-se:

- Estudo da aplicabilidade da metodologia ACV integrada a modelos BIM em edificações;
- Verificação da acurácia dos resultados do estudo de caso, utilizando ferramentas de ACV integradas à plataforma BIM, em comparação com os resultados do método tradicional;
- Verificação da influência da metodologia integrada no armazenamento e manipulação de dados ambientais.

1.2. JUSTIFICATIVA

ACV é um tema de crescente relevância, à medida que são reconhecidos os impactos ambientais das práticas construtivas – é consenso que a indústria AECO é caracterizada por altos índices de desperdício, gasto de energia e geração de resíduo (SJOSTROM & BAKENS, 1999; CARDOSO et al., 2006; NAGALI, 2016). Este trabalho buscou colaborar com o desenvolvimento e aplicação de ferramentas que visam a avaliação de impactos e, potencialmente, a redução das consequências da construção ao meio ambiente, a partir do desenvolvimento de técnicas de gestão ambiental de edificações.

As metodologias de ACV e BIM, bem como a integração entre elas, são constantemente atualizadas, por serem tópicos atuais. Novos estudos tratam de ferramentas e abordagens recentes e reproduzíveis (BUENO & FABRÍCIO, 2018; NAJJAR et al., 2019; SANTOS et al., 2020), disponibilizando dados rigorosos. Buscou-se colaborar, portanto, com a comunidade científica a partir deste projeto.

É atividade, ainda, do engenheiro civil, a padronização, mensuração e controle de qualidade, segundo a Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973, do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA). O estudo de ACV integrado a plataformas BIM corrobora todos estes itens: a padronização da metodologia empregada, a mensuração de indicadores ambientais e o controle de qualidade a partir dos resultados da ACV.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

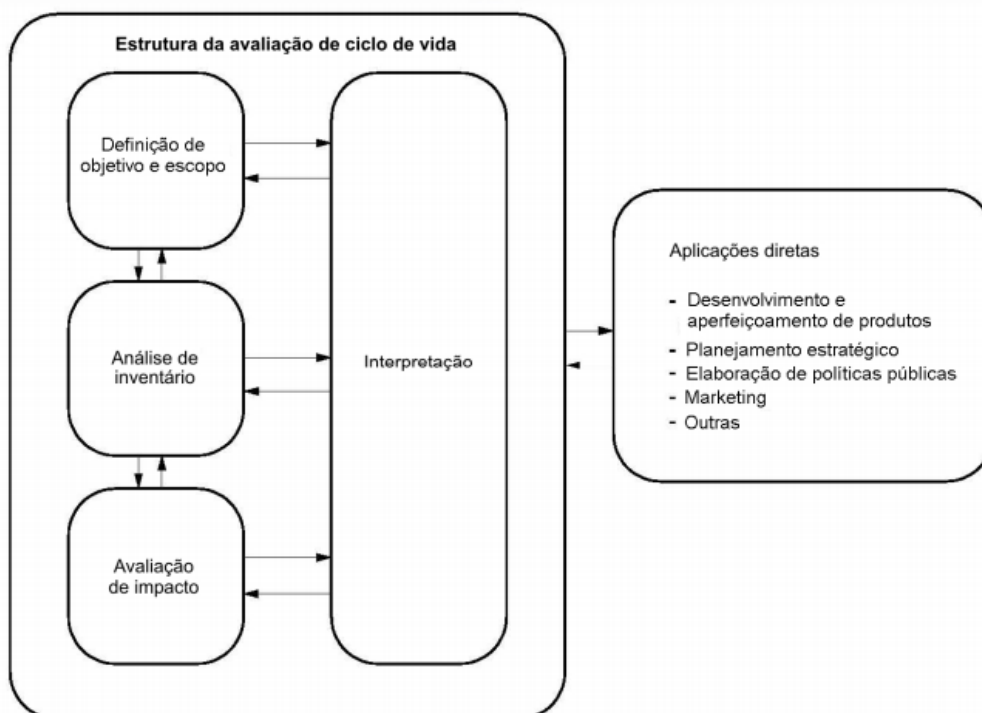
Neste tópico, será realizado um levantamento da bibliografia científica produzida acerca do tema da pesquisa. Serão mostrados os consensos e as divergências em relação ao conhecimento teórico fundamental para compreensão dos métodos, resultados e conclusões.

2.1. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia de gestão ambiental que verifica sistematicamente os potenciais impactos ambientais de um produto ou processo, durante todos os estágios do ciclo de vida (JÚNIOR et al., 2008). Isso é realizado a partir da quantificação das entradas e saídas, e possíveis efeitos ao meio ambiente, do berço ao túmulo (ABNT, 2009).

No Brasil, a ABNT NBR ISO 14040 (2009) normaliza a realização e relatos de estudos de ACV. A norma estabelece, também, princípios fundamentais da ACV e divide sua metodologia em quatro etapas – definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos dados. A Figura 1 esquematiza o processo de uma ACV.

Figura 1 – Fases da ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009).

2.1.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

A ACV começa pelo estabelecimento do objetivo, ou seja, as aplicações pretendidas da análise. O objetivo deve contextualizar a ACV, abordando os agentes responsáveis e influentes, o público alvo, e limitações, suposições e abrangência do método, a fim de orientar todas as etapas seguintes (BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

A definição de escopo, por sua vez, é a segmentação e determinação das características e requisitos da ACV. Detalha-se, aqui, informações para a modelagem do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) – o conjunto de dados necessários para que o objetivo seja atingido (EC-JRC, 2010).

A especificidade das características de um estudo, como objetivos, requisitos e localização, dificulta a comparação entre análises diferentes, sendo fundamental, portanto, a descrição detalhada do caso a ser avaliado (KHASREEN et al. 2009; BUYLE et al., 2013). A ABNT NBR ISO 14040 (2009) estabelece os seguintes itens a serem descritos:

- objeto(s) de estudo e suas funções;
- unidade funcional e fluxo de referência;
- fronteiras de sistema e critérios de corte;
- indicadores de impacto e metodologia de AICV;
- requisitos de dados;
- suposições e limitações;
- aplicabilidade e tipo de análise crítica;
- apresentação e formatação do relatório.

A unidade funcional refere-se à medida usada para quantificar o desempenho do objeto de estudo. Já o fluxo de referência diz respeito às entradas e saídas exclusivas da unidade funcional – os demais fluxos são derivações do fluxo de referência (BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

Assim, a ACV vai determinar o balanço de materiais e energia, a partir da modelagem do sistema que descreve as entradas e saídas de um produto. Chevalier e Le Teno (1996) listam as hipóteses básicas para a realização de uma ACV:

- estabilidade no tempo: remoção da escala temporal, de forma que avanços tecnológicos de processos e alterações ambientais ao longo do ciclo de vida são desconsideradas;
- separabilidade: produtos fora do limite do sistema são considerados completamente independentes;
- precisão: os fluxos possuem valores únicos;
- estado de equilíbrio: riscos não são avaliados;
- modelo mundial, pontual e contínuo: fluxos vêm de e voltam para a mesma fonte. As solicitações contínuas possuem reações contínuas, segundo o modelo mundial.

2.1.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

As definições anteriores orientam a coleta de dados dos fluxos de entrada e saída do sistema, formando o ICV. As características definidas no escopo estabelecem a significância dos conjuntos de dados a serem obtidos, dividindo o sistema em processos de primeiro e segundo planos (ABNT, 2009; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

Em geral, os esforços desta etapa são concentrados na coleta de dados reais para o sistema de primeiro plano, como medições diretas, especificações técnicas ou ensaios de laboratório. Estes dados podem ser interpretados ou utilizados em procedimentos de cálculo, conforme escopo e objetivo do estudo (ABNT, 2009; EC-JRC, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

Para o segundo plano, admite-se dados médios ou genéricos, de bases de dados disponíveis, caso sejam metodologicamente consistentes com os de primeiro plano. Dados faltantes devem ser revisados e, caso sejam de fato importantes para as análises, podem ser estimados. Na falta de estimativas, documenta-se a lacuna de dados. Informações que não se relacionam diretamente com os fluxos podem ser

levantadas, caso mostrem-se pertinentes (ABNT, 2009; EC-JRC, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

Assim, o ICV é modelado. É quantificada a influência do fluxo de um determinado processo sobre outro processo, a unidade funcional ou o fluxo de referência. Os resultados do ICV são analisados, certificando que o sistema concorda com as definições iniciais de qualidade e representa suficientemente o objeto de estudo (BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

É considerada a etapa que requer mais esforço e recursos, uma vez que estabelece os dados utilizados nas fases de AICV e interpretação. Durante o estudo, definições iniciais podem ser atualizadas, já que ACV é um processo iterativo. Os resultados são retroalimentados, permitindo o ajuste do escopo e objetivo, o que pode alterar a modelagem do sistema ou exigir novos dados. (ABNT, 2009; EC-JRC, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

2.1.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA

Os resultados da fase anterior, de análise de inventário, são empregados para avaliar a contribuição ao impacto ambiental do sistema. Ocorre a associação dos fluxos do sistema a variadas categorias de impacto, a depender do método de avaliação de impacto utilizado, do escopo e objetivos da ACV (CABEZA, 2014).

A metodologia de avaliação pode ser *midpoint*, *endpoint* ou ambas (do inglês, ponto intermediário e ponto final, respectivamente). A primeira geralmente considera quantidades maiores de categorias de impacto e possui resultados mais acurados, enquanto avaliações *endpoint* possuem abordagens mais abrangentes, já que atendem simultaneamente a saúde humana, a qualidade do ecossistema e o uso de recursos (ABNT, 2009; EC-JRC, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

Nesta fase, é necessário, segundo a ABNT NBR ISO 14040:

- selecionar as categorias de impacto relevantes;
- associar os dados às categorias de impacto;
- modelar os dados dentro das categorias de impacto, apresentando os indicadores ambientais.

Existem, ainda, as etapas opcionais de normalização, agrupamento e ponderação. A normalização busca calcular a magnitude de uma categoria de impacto sobre uma referência, a fim de entender efeitos relativos. O agrupamento é a divisão pré-definida das categorias ambientais (como alta, média e baixa prioridades, ou escalas global, regional e local). A ponderação é a adoção de fatores de multiplicação subjetivos para os indicadores ambientais, a partir de suposições (documentadas) que visam mostrar o impacto em grande escala ou auxiliar na tomada de decisões (REITER, 2010; BUYLE et al., 2013).

Não há definições exatas para a metodologia de AICV a ser adotada, desde que siga os requisitos apontados. O método utilizado deve tratar de todas as questões ambientais envolvidas no sistema. Suposições ou considerações acerca das categorias de impacto, como exclusão de um indicador, devem ser documentadas e consideradas na interpretação de resultados (ABNT, 2009; EC-JRC, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

2.1.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados é a etapa de análise rigorosa das informações adquiridas na análise de inventário e AICV. Pode ser dividida em três etapas:

- identificação de itens significativos para a ACV;
- análise de sensibilidade das questões identificadas;
- conclusões, recomendações e relatório das informações.

Assim, podem ser apresentadas as consequências ambientais em diferentes momentos de avaliação ambiental, atingindo os objetivos estipulados, gerando conclusões e recomendações, ou pode-se usar os resultados obtidos até então para ajustar etapas anteriores e refinar os resultados. Ao fim, um relatório é redigido e pode ser realizada uma revisão crítica – uma análise da ACV por um terceiro que garante a validade do estudo (ABNT, 2009; REITER, 2010; BUENO & ROSSIGNOLO, 2016).

2.1.5. ACV DE EDIFICAÇÕES

A ACV é usada desde 1990 nos setores AECO como metodologia de avaliação objetiva das consequências ambientais de práticas construtivas, diferenciando-se de outros métodos de gestão ambiental (considerados simplificados) por modelar o ciclo de vida da edificação. Assim, a análise inclui, além da construção, a produção, uso, possibilidades de reuso, demolição e destino de resíduos (REITER, 2010; CABEZA et al., 2014).

Em comparação com os demais produtos, as edificações são especiais: são produtos únicos (nunca são construídas duas edificações idênticas), possuem ciclos de vida longos, portanto difíceis de prever, estão sujeitas a impactos regionais e locais, são suscetíveis a mudança de uso, evoluem de forma única e são constituídas de muitos materiais, que podem ter usos distintos (REITER, 2010; CABEZA et al., 2014).

Chevalier e Le Teno (1996) afirmam, assim, que são necessárias modificações às hipóteses usuais de ACV. As mudanças são listadas abaixo:

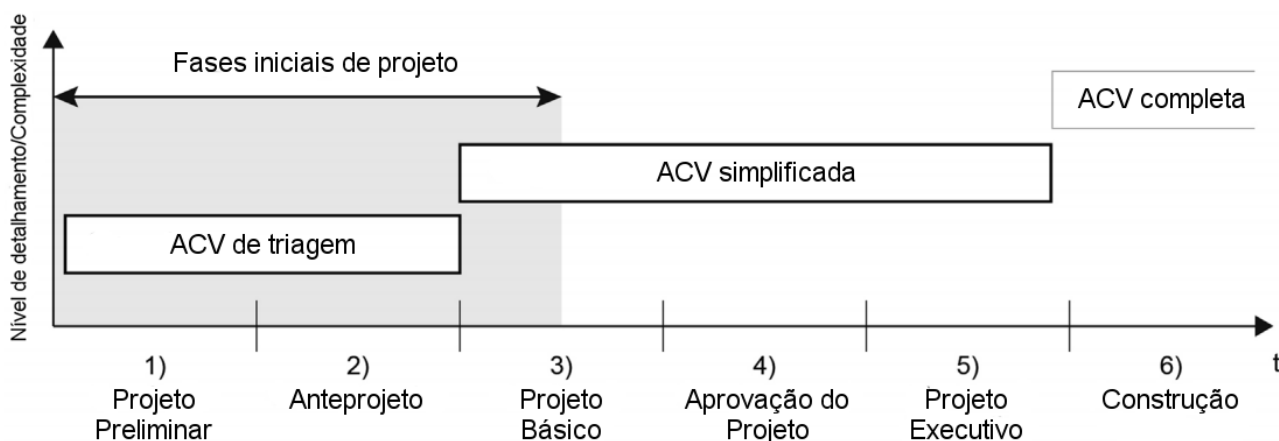
- a separabilidade deve ser forçada a partir de regras de corte especiais;
- processos específicos ao produto da construção devem ser modelados;
- a hipótese de estabilidade no tempo deve ser forçada ou cancelada, de acordo com o que for possível ou adequado;
- a hipótese de precisão deve ser cancelada;
- a qualidade e relação entre dados deve ser documentada e preservada durante todo o processo, com auxílio computacional, por exemplo;
- a lista de estressores de impacto deve ser aberta segundo critérios definidos pelo usuário, em um procedimento de negociação documentado;
- deve ser dado auxílio aos usuários lidando com resultados com muitas categorias, para que sejam interpretados como tal;
- o processo deve ser auxiliado por *softwares* desenvolvidos para este propósito.

A padronização da metodologia de ACV para edificações, em decorrência de suas singularidades, é uma tarefa difícil (WITTSTOCK et al., 2012). Neste contexto, surgem as EPDs (*Environmental Product Declarations* ou Declarações Ambientais de Produtos), normatizadas pela EN 15804:2012 (CEN, 2012), em conjunto com a EN 15978:2011 (EN, 2011), norma referente à avaliação de performance ambiental de edificações, como uma tentativa de estruturar a ACV de produtos da construção.

EPDs são avaliações ambientais e sanitárias de produtos industrializados, entre eles, sistemas construtivos, que visam permitir a comparação do impacto ambiental de produtos. Na construção, contudo, materiais iguais podem apresentar diferentes funções na mesma edificação. Escopos distintos limitam, portanto, o uso exclusivo de EPDs na comparação de impacto ambiental de componentes da construção (BUENO & ROSSIGNOLO, 2016 apud AFNOR, 2004).

O EeBGuide (WITTSTOCK et al., 2012) é outra tentativa de padronização de ACVs na construção. É um guia com recomendações metodológicas para todas as etapas da ACV de edificações e produtos da construção energeticamente eficientes. Nele, são estabelecidos os tipos de estudo de ACV na construção: completo, de triagem e simplificado. A separação entre eles ocorre a partir das simplificações admitidas nos dados de ICV, segundo o nível de desenvolvimento do projeto. A Figura 2 indica a complexidade máxima do estudo de ACV em função da fase em que o projeto se encontra.

Figura 2 – Simplificações admitidas de acordo com a fase de projeto.



Fonte: Adaptado de Meex, E. et al. (2018).

As ACVs de triagem e simplificada, usadas em geral nos estágios iniciais, dão suporte para a tomada de decisões no projeto, acerca da escolha de tipologias construtivas e materiais. Neste caso, são adotados dados genéricos ou de EPDs, estabelecendo um quadro geral da situação, já que dados específicos ainda não estão disponíveis. Esta é uma abordagem “de baixo para cima” – são analisadas partes subdivididas que formam um todo (ERLANDSSON & BORG, 2003; MEEEX et al., 2018).

As fases iniciais têm grande potencial de melhora da performance ambiental da edificação, dada a flexibilidade do projeto quanto a decisões impactantes. Assim, deve ser a primeira etapa a ser considerada para alcançar a sustentabilidade. É possível, a partir da ACV nestas etapas, comparar soluções construtivas, guiar a seleção de materiais, planejar o manejo de resíduos e a fase construtiva, entre outros objetivos que influenciam o impacto ambiental da edificação (DÍAZ & ANTÖN, 2014; MEEEX et al., 2018).

Ao atingir fases de projeto posteriores, o maior nível de detalhamento permite o uso de dados reais, resultando no aumento da acurácia e da profundidade das análises. A abordagem pode ser “de cima para baixo” – a análise considera toda a edificação como ponto de partida. Pode ser usada, por exemplo, para a tomada de decisão acerca de tipos específicos de materiais (como escolher um concreto com impacto ambiental reduzido, dentre os concretos disponíveis) (ERLANDSSON & BORG, 2003; MEEEX et al., 2018).

O tempo expressivo gasto na compilação, inserção e atualização manual de dados, sobretudo relativos à fase operacional, é um fator limitante na aplicação de ACVs em edificações. A ausência de ferramentas de ACV ou dados previamente levantados torna a criação de ICVs uma tarefa demorada; assim, análises são realizadas em etapas tardias ou após a construção do edifício (PAULSEN, 2001; EASTMAN et al., 2011).

Percebe-se, portanto, que a usabilidade, aplicabilidade e acurácia dos resultados das ACVs de edificações estão diretamente relacionadas com a quantidade e qualidade dos dados empregados no modelo (BILEC et al., 2010). Scheuer et al. (2003) concordam ao afirmar que a falta de dados é um obstáculo para a realização de ACVs detalhadas.

O uso de *Building Information Modelling* (BIM) aparece como solução para o manejo de dados, auxiliando sobretudo ACVs nos estágios iniciais, conforme será mostrado no item 2.3. Uma forma de mitigar o problema da falta de dados seria a criação de bancos de dados nacionais e internacionais. No entanto, a alta complexidade das edificações é um grande impedimento para o desenvolvimento de bases para a construção (SCHEUER et al., 2003; KHASREEN et al., 2009).

Dessa forma, verifica-se que a ACV é uma abordagem científica de estudos de impacto ambiental que considera o produto ou processo de forma holística. É uma metodologia recente no que tange os setores AECO e esbarra, portanto, em problemas como falta de dados e de padronização, potencializados pelas particularidades das edificações.

2.2. BUILDING INFORMATION MODELLING

Building Information Modelling (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, é um conjunto de interações políticas, processos e tecnologias que geram uma metodologia para gerenciar os dados essenciais de projetos de construção, ao longo do ciclo de vida da edificação (SUCCAR, 2009).

Corroborando isso, o Instituto Nacional de Ciências da Construção dos EUA (*National Institute of Building Sciences*, ou NIBS) define o BIM como uma representação digital das características funcionais de uma instalação e um recurso de conhecimento compartilhado dessas informações que forma uma base de dados confiável para decisões durante seu ciclo de vida (NIBS, 2007).

A atividade de modelagem da informação da construção diferencia-se do objeto, ou seja, do modelo gerado pelo uso da metodologia. BIM é uma mudança no gerenciamento de todas as etapas da construção de edificações. O modelo BIM é um passo além da representação gráfica dos componentes da edificação (EASTMAN et al., 2011).

No modelo BIM, são incorporadas características aos elementos, pela associação da representação com propriedades como materiais, custo e indicadores ambientais. Estas informações passam a ser tão importantes quanto o desenho em si, abrindo portas tanto para a expressão gráfica quanto para a análise construtiva, a quantificação de trabalhos e tempos de execução em todas as fases da obra (GARCIA et al., 2014).

A incorporação de informação nos elementos possibilita a simulação e análise do ciclo de vida do projeto, derivando do modelo 3D original e tornando-se “nD” (FU et al., 2006). Modelos nD são caracterizados, segundo Monteiro e Martins (2011), por sua capacidade de extrapolar o espaço euclidiano. A quarta dimensão, por exemplo, refere-se ao tempo, ou seja, a plataforma permite a modelagem do ciclo de vida da construção, estratificando o modelo por fases de execução.

O uso do termo “nD” é corroborado por Smith (2014), ao citar a capacidade das plataformas BIM de acrescentar inúmeras dimensões aos modelos. Não há consenso, contudo, na definição de dimensões além do 5D (custos). De fato, Charef et al. (2018) argumentam que BIM tem apresentado resultados positivos quanto ao uso de 4D e 5D devido à definição precisa e consenso acerca destas dimensões. O uso de múltiplas dimensões em conjunto com a interoperabilidade permite que os colaboradores tenham acesso e uso mútuo de dados e informações de todas as fases do projeto.

Uma investigação acerca das dimensões de BIM, proposta por Koutamanis (2020), indica que o uso de BIM 4D implica na existência de dados suficientes para aplicações de demais dimensões, em conjunto com práticas e cálculos específicos. A realização de projetos sustentáveis de edificações em ambientes BIM, no entanto, é um processo pouco desenvolvido. Não existem definições nítidas das etapas de um design sustentável, tendo em vista a complexidade de análises não-lineares, apesar das potencialidades de BIM quanto à avaliação ambiental de edificações (ZANNI et al., 2017; LIU et al., 2019).

O BIM, assim sendo, possui uma diferença para os outros métodos de desenho que está diretamente ligada com os seus princípios. O conceito BIM prevê a construção em ambiente 3D virtual de objetos característicos e não só da sua representação.

2.2.1. INTEROPERABILIDADE

Interoperabilidade é definida por Bishr (1997) como a competência acerca da troca de dados e aplicações entre sistemas. Eastman et al. (2011) corroboram com esta colocação ao entender o termo como a capacidade de identificar e passar informações entre aplicações.

Ao longo de um projeto, há constante troca de informações entre os indivíduos envolvidos. A baixa interoperabilidade aparece como um obstáculo ao uso de BIM, a partir do momento que o compartilhamento de informações se restringe ao formato de troca de dados do arquivo (ANDRADE & RUSCHEL, 2009). De fato, BIM depende da interoperabilidade, tendo como base o constante fluxo de dados entre agentes e fases de um empreendimento (SANTOS, 2007).

A troca de dados entre *softwares* pode ser realizada de quatro maneiras: ligação direta, formatos proprietários, formatos de domínio público e formatos baseados em XML (EASTMAN et al., 2011). O primeiro é definido pela conexão binária entre a interface de dois sistemas. O formato proprietário diz respeito à arquivos cuja interoperabilidade está limitada à organização comercial a que fazem parte. Formatos de domínio público são abertos e permitem o uso livre a partir do momento que a aplicação os suporta. Por fim, os formatos baseados em XML são extensões da linguagem de programação HTML (ANDRADE & RUSCHEL, 2009).

Neste contexto, surge o *Industry Foundation Classes* (IFC). Kiviniemi et al. (2008) definem IFC como uma “especificação internacional para troca e compartilhamento de dados entre produtos da indústria AECO” e explicam, ainda, o surgimento do formato IFC como uma forma de padronização do fluxo de informações, de forma eficiente e acessível a todos. É um formato de domínio público e, portanto, livre para implementação, permitindo troca de informações direta entre diferentes *softwares* (BAZJANAC, 1997).

IFC é o principal protocolo internacional de trocas de dados entre aplicações e processos disponível atualmente e a grande ferramenta para a instituição da interoperabilidade entre *softwares* da indústria AECO. É capaz de armazenar a geometria dos elementos, suas relações e algumas de suas propriedades, sendo, assim, o formato de troca aberto mais elaborado do setor (EASTMAN, 1999; ANDRADE & RUSCHEL, 2009).

Andrade e Ruschel (2009) apresentam, contudo, limitações em seu uso. Parâmetros não geométricos podem ser perdidos na conversão de um formato proprietário para IFC, levando à eventual inviabilização de seu uso. Dessa forma, é necessário um esforço contínuo de aprimoramento do formato, guiado pelas necessidades da indústria (KIVINIEMI et al., 2008)

A interoperabilidade, assim, é o meio pelo qual é possível que ferramentas de ACV troquem informação com modelos BIM. O uso do formato IFC, de domínio público, é fundamental para garantir a comunicação entre sistemas de forma padronizada e aberta, ainda que careça atualizações.

2.3. INTEGRAÇÃO ENTRE ACV E BIM

Conforme apontado em 2.1.5, o uso da metodologia ACV na construção busca reduzir o impacto ambiental de edificações. As particularidades das edificações inserem limitações no processo, que podem ser reduzidas a problemas com dados – grande número de variáveis, dados indisponíveis e modelagem complexa (KREINER et al., 2015).

De fato, um dos impedimentos do uso de ferramentas de simulação ambiental disponíveis atualmente é a complexidade dos modelos, sobretudo a quantidade de detalhes exigidos. Além disso, os resultados proporcionados são informações excessivas e pouco visuais, o que dificulta a adoção destas ferramentas por profissionais com pouca experiência acerca do tema (MARSH, 2016; MEEEX et al., 2018).

A integração de ACV com plataformas BIM é uma forma de solucionar os problemas apontados (KREINER et al., 2015). As ferramentas existentes abordam a ACV e a integração com BIM de formas distintas. O Quadro 1 lista algumas das ferramentas de ACV com integração a plataformas BIM disponíveis atualmente.

Quadro 1 – Softwares de ACV com integração a plataformas BIM

Software	Desenvolvedor	Funcionamento
One click LCA	Bionova	<i>Software</i> de ACV simplificada, compatível com padrões internacionais. Possui EPDs como base de dados e integração com diversos softwares BIM.
eToolLCD	eTool	<i>Software</i> de ACV completa, compatível com a ISO 14040 e a EN 15978. Possui <i>plug-in</i> para Revit para extração de quantitativos, mas deve ser usado no navegador. Base de dados customizada.
Tally	KT Innovations, thinkstep e Autodesk	<i>Plug-in</i> do Revit para ACV completa. Integração direta com a interface do Revit, sem exigir modelagem adicional. Base de dados customizada.
Brightway2	Empenho internacional	<i>Framework</i> livre de ACV escrito em Python, que usa a Ecoinvent como base de dados. Integração com Revit possível através do Dynamo.

Software	Desenvolvedor	Funcionamento
Caala	Caala Consulting	Desenvolvido para padrões europeus, possui EPDs como base de dados e integração com Revit, Rhino, Sketchup e ArchiCAD.
ELODIE	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	Software de ACV simplificada, compatível com padrões franceses. Possui integração com Revit para extração de quantitativos.
SimulEIcon	College of Engineering and Computing, Florida International University	Plug-in do Revit, usa o Microsoft Access para gerenciamento da base de dados e algoritmo genético para otimizar as soluções.

Fonte: Adaptado de Bueno & Fabricio (2018).

A eficiência de futuras ACVs na indústria AEC está diretamente relacionada à interoperabilidade e compatibilidade entre ACV e BIM, um dos grandes desafios dos desenvolvedores de *softwares* para o setor (AJAYI et al., 2015; SOUST-VERDAGUER et al., 2017; CAVALLIERE et al., 2019). Percebe-se, por exemplo, que ferramentas consolidadas de ACV de edificações, como GaBi, da thinkstep, SimaPro da PRé Sustainability e Athena Impact Estimator do Athena Institute, não possuem integração com BIM. De fato, os processos que promovem a interoperabilidade entre ferramentas de ACV e plataformas BIM são voltados, em sua maioria, para pesquisadores e especialistas (ARAUJO et al., 2017).

A interoperabilidade pode ocorrer pelo uso direto de plataformas BIM ou por ferramentas paramétricas. O Brightway2 é um método paramétrico – o *framework* extrai dados da base de dados Ecoinvent e do modelo BIM (com auxílio do Dynamo, linguagem de programação visual do Revit). Estes dados são usados para a realização da ACV, ou seja, são transformados, e os resultados podem ser carregados a qualquer sistema programável. Bueno et al. (2018) desenvolveram uma tecnologia similar para resolver a interoperabilidade: um algoritmo do Dynamo foi usado como ponte entre os dados de ICV e a metodologia de AICV ReCiPe 2008 (GOEDKOOOP et al., 2009).

Santos et al. (2020) defendem o uso de sistemas livres para administração de dados em detrimento de ferramentas proprietárias, em benefício da interoperabilidade. Araujo et al. (2017) sugerem o desenvolvimento de APIs (*Application Programming Interfaces* ou Interfaces de Programação de Aplicativos) nos *softwares* BIM como forma de auxiliar a interoperabilidade, facilitando a incorporação de outros sistemas. Shadram et al. (2015) indicam o uso de tecnologias ETL (*Extract, Transform, Load*, inglês para “Extrair, Transformar,

Carregar”), aplicações desenvolvidas para a manipulação de dados dentro de sistemas, como uma alternativa pouco explorada frente à falta de interoperabilidade.

A ferramenta ideal de ACV deve integrar-se diretamente às aplicações usadas para desenvolvimento de projetos, reduzindo a curva de aprendizado e o esforço despendido nas análises. Os métodos devem ser traduzidos, ou seja, transformados em ferramentas e incorporados às rotinas de trabalho dos profissionais, através da adaptação à interface de design da plataforma BIM (KREINER et al., 2015; MEEEX et al., 2018). Neste sentido, *plug-ins* do Revit como Tally e SimuleIcon mostram-se promissores (ARAUJO et al., 2017).

A incorporação de sistemas de ACV ao processo de desenvolvimento de projetos pode auxiliar, também, na redução do tempo despendido nas análises. Conforme mencionado anteriormente, tempo expressivo é gasto com as análises, sobretudo na etapa de ICV. O uso conjunto de ferramentas de ACV e BIM é uma solução, uma vez que é inerente às plataformas de modelagem a parametrização do espaço e o manejo de dados (AJAYI et al., 2015; MEEEX et al., 2018).

A extração de quantitativos é a ferramenta de plataformas BIM mais utilizada efetivamente para ACV, em conjunto com o gerenciamento e coordenação das informações do modelo (AZHAR & BROWN, 2009; MEEEX et al., 2018; CAVALLIERE et al., 2019). Soust-Verdaguer et al. (2017) mostraram que reduzir o tempo despendido na inserção e tratamento de dados com o uso integrado de ACV e BIM facilita a comparação entre cenários energéticos e materiais de construção, ainda que limitadamente. O menor tempo gasto permite, ainda, que a ACV seja realizada nos estágios iniciais de projeto, melhorando a sustentabilidade de edificações a longo prazo (SCHULTZ et al., 2016).

ACVs de estágios iniciais esbarram, contudo, na falta de dados, ou em dados imprecisos para as análises. (AZHAR & BROWN, 2009). Softwares abordam este problema a partir de simplificações da metodologia ACV ou do uso de dados generalizados, como de EPDs ou bases de dados. Este tratamento pode, no entanto, gerar resultados inconsistentes, a depender da disponibilidade e exatidão de dados e alternativas construtivas (BUENO & FABRICIO, 2018).

Modelos BIM podem armazenar informações ambientais e econômicas, abrindo portas para a criação de repositórios de dados históricos na plataforma

utilizada e análises preditivas a partir de dados não regionalizados. De fato, a aplicação das técnicas de ACV é influenciada pela flexibilidade e integração da base de dados nos modelos BIM (SANTOS et al., 2020).

Além disso, o uso de BIM, ferramentas de ACV e bases de dados ambientais em conjunto amplia a extensão de categorias de impacto analisadas simultaneamente, embora acompanhe um aumento na quantidade de dados exigidos (SOUST-VERDAGUER et al., 2017).

Exemplos recentes de integração entre ACV e BIM incluem a avaliação da pegada de carbono de diferentes combinações de aço e concreto estruturais em um edifício na Malásia (SHAFIQ et al., 2015), um estudo de caso referente ao consumo de energia de elementos pré-fabricados na China (XU et al., 2019) e a análise de cenários de renovação ou reconstrução para um centro urbano no Canadá (FENG et al., 2020).

Assim sendo, ACVs integradas a modelos BIM formam análises mais complexas, de forma mais produtiva, priorizando a sustentabilidade a longo prazo. Contudo, é necessário atentar-se às limitações, que variam de acordo com o escopo do estudo e que podem produzir resultados incertos.

3. METODOLOGIA

A fim de embasar teoricamente o estudo desenvolvido ao longo deste trabalho, o primeiro passo foi a realização de revisão da literatura sobre os métodos de ACV tradicionais e integrados a plataformas BIM. Com isso, formou-se uma base para a comparação posterior de resultados. A avaliação das potencialidades e limitações de ferramentas de ACV integradas a plataformas BIM se deu a partir de uma análise qualitativa e quantitativa da aplicação de dois softwares de ACV a um modelo BIM.

Destaca-se, dentre as informações levantadas na revisão bibliográfica, as normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), que normatiza as premissas básicas de uma ACV e a EN 15978 (EN, 2011), que apresenta a metodologia de cálculo de ACV de edificações, além do ILCD Handbook (EC-JRC, 2010), cuja proposta é detalhar e auxiliar a aplicação da metodologia de ACV. Buscou-se, também, aferir o estado da arte quanto aos *softwares* de ACV com integração a plataformas BIM existentes, bem como suas aplicações e limitações.

Para o desenvolvimento da pesquisa proposta, foi adotado um método híbrido de pesquisa operacional e estudo de caso. É possível dividir os procedimentos metodológicos da pesquisa operacional em quatro fases, já aplicadas ao presente projeto (CAUCHICK et al., 2011): definição do problema, construção do modelo, solução do modelo e implementação. Ao fim, realiza-se a validação e verificação dos resultados.

3.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

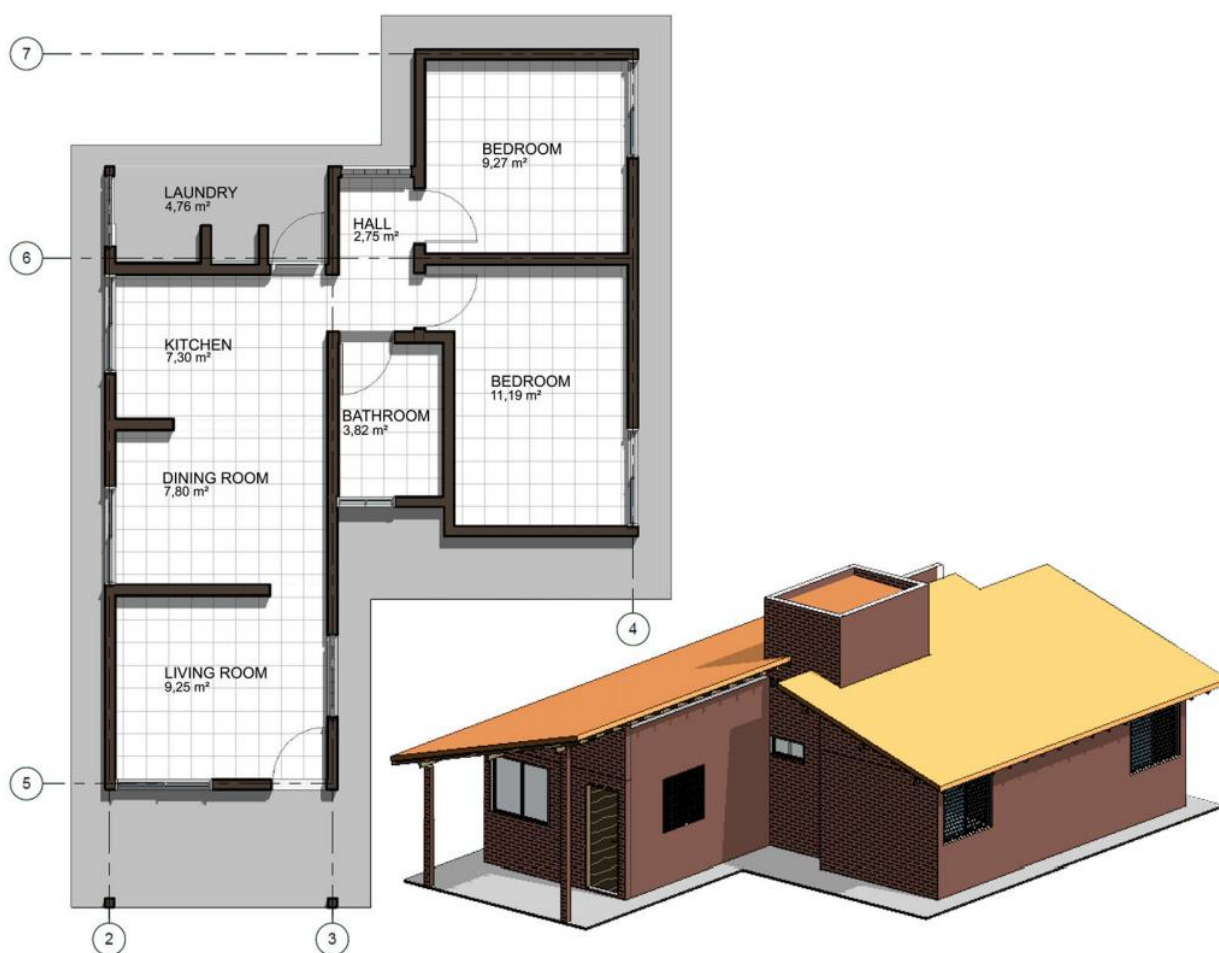
A primeira etapa consiste na determinação precisa da situação em estudo. São definidos objetivos específicos e limitações da simulação, as variáveis que podem interferir no modelo e o que deve ser estudado. A definição do problema influi diretamente no caminho a ser tomado pelo estudo, uma vez que a abordagem da pesquisa operacional é holística (HILLIER & LIEBERMAN, 2013; ARENALES et al., 2007).

Uma edificação de interesse social foi escolhida para aplicação do estudo de caso. Trata-se de uma tipologia de residência térrea e unifamiliar, desenvolvida coletivamente para atender às necessidades de reassentamento do povo de Piquiá de Baixo, no Maranhão. A participação dos moradores da comunidade se deu no

processo de projeto e na construção desta e de outras duas tipologias de edificações, subsidiadas pelo programa governamental Minha Casa Minha Vida.

De acordo com as informações obtidas do projeto, a área total construída é de 56m², divididos em sala de estar, de jantar, cozinha, dois dormitórios, um banheiro e uma área de serviço. As construções originais adotaram alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e cobertura em telhas cerâmicas, sem laje. A Figura 3 indica uma planta baixa e uma vista 3D do modelo BIM da edificação em estudo.

Figura 3 – Visão geral da edificação estudada



Fonte: Bueno, C. et al., 2018.

A edificação fora previamente modelada em ambiente BIM, neste caso o Revit, da Autodesk, com quatro opções de vedação externa estrutural. O Quadro 2 descreve as opções construtivas fornecidas nos modelos BIM.

Quadro 2 – Opções de vedação externa estrutural dos modelos BIM da edificação em estudo

Modelo	Vedação vertical
1	Alvenaria de blocos cerâmicos
2	Alvenaria de blocos de concreto
3	Paredes de concreto leve
4	Sistema de steel framing com fechamento interno de placas de gesso acartonado e externo de placas cimentícias preenchidas em madeira

Fonte: Autor.

O presente trabalho propôs a análise *midpoint* dos ciclos de vida dos sistemas de vedações externas estruturais da edificação a partir da aplicação de ferramentas de ACV com possibilidade de integração a plataformas BIM. Dentre as opções construtivas, optou-se pelo sistema de *steel framing* com fechamento interno de placas de gesso acartonado e externo de placas cimentícias preenchidas em madeira, e pela alvenaria de blocos de concreto.

Dois *softwares*, dentre os apontados no Quadro 1, foram escolhidos e aplicados ao modelo BIM fornecido. A metodologia de AICV, a fonte de dados e as simplificações adotadas dependeram da ferramenta escolhida. A unidade funcional adotada foi o conjunto das vedações externas e cobertura de uma edificação unifamiliar de interesse social de 56m², de acordo com os requisitos da cidade de São Paulo (Zona bioclimática 3), por 40 anos (segundo critérios da ABNT NBR 15575-1).

Uma ACV realizada por Bueno et al. (2016) abordou as opções construtivas do Quadro 2, considerando uma unidade funcional de 1m² de elemento de vedação. Esta ACV será chamada de “ACV original” ao longo deste trabalho. O estudo abordou a análise por meio do processo tradicional, sem modelagem BIM, tendo por objetivo, dentre outros, uma análise de sensibilidade de resultados de diferentes metodologias de AICV.

A etapa de AICV da ACV original foi conduzida a partir de cinco metodologias distintas, com avaliações *midpoint* e *endpoint*, que indicaram as vedações em sistema de *steel framing* com fechamento interno de placas de gesso acartonado e externo de placas cimentícias preenchidas em madeira como a alternativa de maior potencial de consequência ambiental, enquanto a alvenaria em blocos de concreto apresentou os menores índices de impacto.

Foram selecionados os resultados referentes à metodologia ReCiPe 2008 como parâmetros de comparação para os valores encontrados ao longo do trabalho. A ACV original adotou dados primários e a metodologia tradicional, de forma que os resultados foram validados. Assim, estabeleceu-se uma base comparativa com dados rigorosos. O Quadro 3 aponta as categorias de impacto analisadas pela ReCiPe 2008, aplicada à ACV original.

Quadro 3 – Categorias de impacto analisadas pela ReCiPe 2008

Categoria de impacto	Unidade de medida
Ocupação de solo agrícola	m ² a
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq
Esgotamento de recursos fósseis	kg petróleo eq
Ecotoxicidade em água doce	kg 1,4-DB eq
Eutrofização em água doce	kg P eq
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq
Radiação ionizante	kg U235 eq
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DB eq
Eutrofização marinha	kg N eq
Esgotamento de metais	kg Fe eq
Transformação de solo natural	m ²
Depleção de ozônio	kg CFC-11 eq
Formação de partículas	kg PM10 eq
Formação de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq
Ocupação de solo urbano	m ² a
Esgotamento de água	m ³

Fonte: Adaptado de Bueno et al. (2016).

A metodologia ReCiPe 2008 realiza a avaliação e quantificação dos fluxos de entrada e saída de forma própria, adequando-se às premissas das normas internacionais. Os critérios de corte, de modelagem, entre outras considerações, são detalhados na literatura (GOEDKOOOP et al., 2009).

3.2. CONSTRUÇÃO E SOLUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo é a etapa de formulação de um modelo matemático que represente a situação definida anteriormente. Hillier e Lieberman (2013) descrevem esse processo como a determinação de uma função que descreva o

problema a partir de parâmetros, variáveis de decisão (quantificação relacionada à importância de um parâmetro no modelo) e restrições.

A etapa seguinte consiste nas soluções desta função – são utilizados procedimentos que apresentem os resultados, de acordo com o objetivo do estudo. Pode haver otimização dos procedimentos a partir de resultados iniciais, aproximando o modelo da realidade em um processo iterativo e devidamente documentado (HILLIER & LIEBERMAN, 2013).

Assim, as informações coletadas na etapa anterior formaram o ICV – conjunto de variáveis associadas aos fluxos de entrada e saída da edificação – possibilitando a modelagem da situação. Ao longo da elaboração do ICV, esperou-se dados incompletos ou faltantes. A estratégia para resolução destes casos baseava-se na consulta a bancos de dados de ACV públicos e bibliografia científica. Não houve necessidade de aplicar este artifício ao longo da pesquisa.

O modelo utilizado, ou seja, as variáveis de decisão adotadas, bem como os parâmetros e categorias de impacto ambiental considerados variaram de acordo com os *softwares* utilizados para a ACV. As diferenças decorrem das metodologias distintas adotadas pelas ferramentas.

Dois *softwares* de ACV com possibilidade de integração a plataformas BIM foram escolhidos e aplicados ao modelo – Tally, da KT Innovations juntamente com a thinkstep e a Autodesk; e eToolLCD, da eTool. Foram verificadas as formas de integração das ferramentas de ACV selecionadas com a plataforma BIM, seus métodos de AICV, bases de dados, requisitos, critérios e usabilidade, de forma a buscar a maior consistência e, portanto, assegurar a compatibilidade dos resultados.

Os resultados extraídos dos *softwares* foram as quantificações dos indicadores de impacto ambientais referentes ao sistema analisados, além de informações adicionais de acordo com as soluções de cada ferramenta.

3.2.1. TALLY

Tally é um plug-in do Revit de quantificação de impacto ambiental de materiais da construção, desenvolvido desde 2008. Foi escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho por sua integração com a plataforma BIM

escolhida para a modelagem, seu uso difundido e relevância em pesquisas envolvendo ACV de construções.

A base de dados da ferramenta é customizada e, segundo os desenvolvedores (KT INNOVATIONS, 2020), representa valores de 2017 dos Estados Unidos, sendo usados dados genéricos para preencher lacunas. São apresentadas informações detalhadas acerca dos materiais associados – considerações de levantamento de dados, usos pretendidos, vida útil de serviço, quantidade de material necessária, além de área, perímetro e comprimento totais.

A metodologia de AICV utilizada pelo Tally é a TRACI 2.1 (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts*, do inglês Ferramenta para a Redução e Avaliação de Impactos Químicos e Outros ao Meio-ambiente), desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*US Environmental Protection Agency – EPA*). A TRACI 2.1 quantifica o potencial de contribuição para um determinado efeito ao meio ambiente. As categorias analisadas pela metodologia são os potenciais de destruição de ozônio, de mudança climática/aquecimento global, de acidificação, de eutrofização, de ecotoxicidade, de formação de ozônio troposférico (poluição do ar), efeitos à saúde humana e efeitos do consumo de combustíveis fósseis (BARE et al., 2012).

Os fluxos de entrada e saída foram elaborados pelos desenvolvedores da metodologia, ou seja, critérios e considerações frente à quantificação de uma categoria de impacto são particulares aos métodos de cálculo adotados. A comparação de diferentes metodologias de AICV pode gerar resultados incertos (BUENO et al., 2016), e a influência dos métodos nos resultados será discutida na Seção 4 e na Seção 5.

Por ser um plug-in, a ferramenta é ativada na interface de modelagem do *software* BIM. Ao ser inicializada, o usuário deve indicar o objeto pretendido de estudo. São indicadas duas alternativas – ACV da edificação completa e comparação de opções do modelo.

A primeira escolha, aplicada à pesquisa, permite a seleção dos elementos construtivos modelados que são relevantes à ACV. É possível indicar as categorias, fases construtivas e conjuntos desejados, restringindo a análise ao escopo almejado. Para esta pesquisa, foram escolhidas as categorias “Paredes” e foram

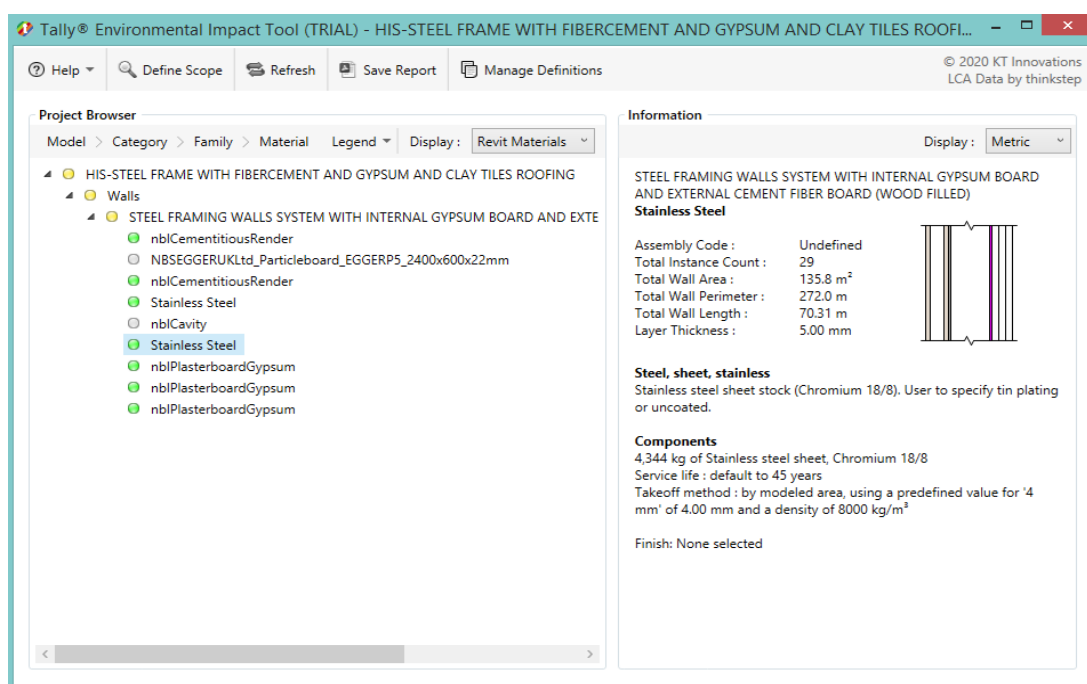
consideradas todas as fases do ciclo de vida. As opções indicadas determinam os dados extraídos do modelo BIM.

A segunda escolha depende do estabelecimento de opções de design na plataforma BIM, ou seja, exige a modelagem de diferentes possibilidades dentro de um mesmo modelo. No caso do presente trabalho, arquivos distintos separam as alternativas construtivas, de forma que não foi possível realizar uma análise comparativa diretamente pelo Tally.

Os dados importados são referentes aos elementos modelados no Revit, divididos em camadas, quando aplicável, e os respectivos quantitativos, agrupados e disponibilizados em uma interface. O *software* exige que todas as camadas componentes dos elementos incluídos na ACV devem ser detalhadas, ou seja, é necessário atribuir materiais, presentes na base de dados do Tally, aos elementos importados. Dessa forma, o programa entende o comportamento do objeto de estudo frente às diferentes categorias de impacto e elabora o ICV.

A Figura 4 mostra a interface de associação de materiais às diferentes camadas de *steel frame* com placas de gesso internas e placas de aglomerado de madeira externas com revestimento cimentício. Cada material (aglomerado, placa de gesso, aço galvanizado) foi associado à base de dados do Tally.

Figura 4 – Interface de associação de materiais do Tally



Fonte: Autor.

Buscou-se escolher composições de materiais, camadas e espessuras que se aproximem da ACV original. Os materiais da vedação em *steel frame* podem ser visualizados na interface da Figura 4, e estão listados no Quadro 4, a seguir. Os materiais da alvenaria de blocos de concreto encontram-se no Quadro 5. Na ocorrência de mudanças no modelo BIM ao longo da execução da análise, a ferramenta permite a atualização dos dados importados, sem afetar elementos que não sofreram alteração.

Quadro 4 – Materiais componentes das vedações externas em *steel frame* para o software Tally

Material	Espessura [mm]	Camadas
Revestimento cimentício	7,5	2
Aglomerado de partículas	25	1
Aço galvanizado	5	2
Placa de gesso acartonado	12,5	3
Ar	70	1

Fonte: Autor.

Quadro 5 – Materiais componentes das vedações externas em blocos de concreto para o software Tally

Material	Espessura [mm]	Camadas
Bloco de concreto	140	1
Revestimento em argamassa	20	2

Fonte: Autor.

Uma vez associados todos os materiais, foi possível extrair um relatório de impacto ambiental, de acordo com opções selecionadas pelo usuário. O modelo de relatório mais completo inclui a lista de materiais como tabela do Excel, dividida de diferentes maneiras – por elemento construtivo, por categoria do Revit, por tipo de material, entre outras – juntamente de um arquivo .PDF que compila os resultados em tabelas e gráficos. As categorias de impacto ambiental consideradas pelo método e extraídas do Tally estão listadas no Quadro 6, juntamente com sua unidade de medida.

Quadro 6 – Categorias de impacto consideradas na análise com o software Tally

Categoria de impacto	Sigla	Unidade de medida
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq
Potencial de acidificação	AP	kg SO ₂ eq
Potencial de eutrofização	EP	kg N eq
Potencial de destruição de ozônio	ODP	kg CFC-11 eq
Potencial de formação de poluição	SFP	kg O ₃ eq
Demanda de energia primária	PED	MJ
Demanda de energia não-renovável	-	MJ
Demanda de energia renovável	-	MJ

Fonte: Autor.

Os estágios de ciclo de vida e os respectivos módulos considerados na ACV realizada pelo Tally estão dispostos no Quadro 7. A divisão dos estágios é dada pela EN 15978. Assim como na ACV original, o estágio de uso não foi considerado neste estudo, já que é possível assumir desempenho idêntico entre as opções, no que tange durabilidade e manutenção.

Quadro 7 – Módulos de ciclo de vida considerados

Estágio	Módulos
Produção	A1-A3
Construção	A4
Final da vida útil	C2-C4
Módulo D (Reuso, recuperação e reciclagem)	D

Fonte: Autor.

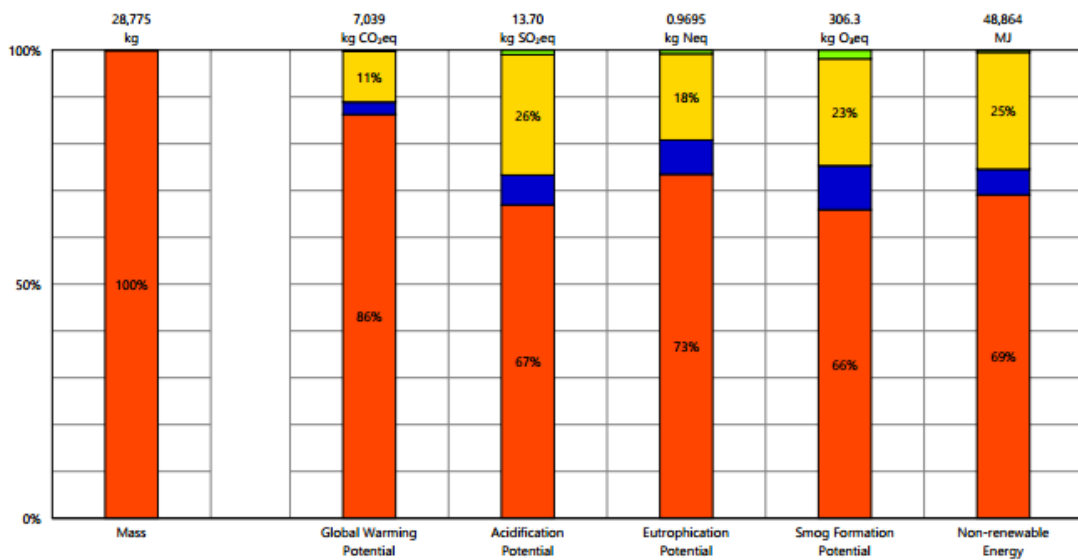
A análise pode levar em consideração, ainda, gastos de energia operacional, consumos de obra externos à construção dos elementos modelados e meios de transporte customizados. É possível considerar o transporte por caminhão, trem,

navio de contêineres e barca. Para este trabalho, considerou-se exclusivamente o caminhão, com uma distância de 100km para o transporte de todos os materiais.

A Figura 5 ilustra um modelo de representação gráfica dos resultados, adotado pelo relatório extraído do Tally.

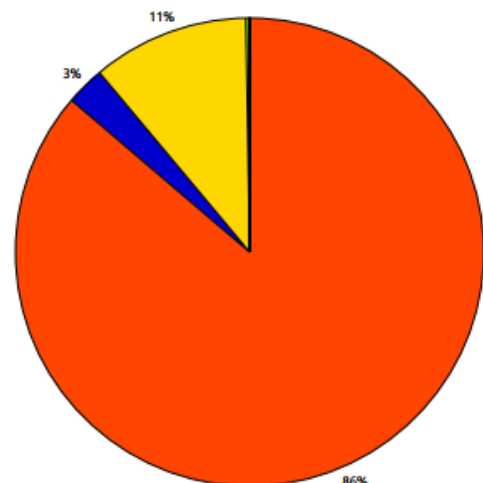
Figura 5 – Exemplo de gráfico produzido pelo relatório do *software* Tally

Results per Life Cycle Stage



Legend

- Life Cycle Stages
- Product [A1-A3]
 - Transportation [A4]
 - Maintenance and Replacement [B2-B5]
 - End of Life [C2-C4]
 - Module D [D]



Global Warming Potential

Fonte: Autor.

Ao final do relatório, são apresentadas, através de textos padronizados, considerações acerca do objeto de análise de cada categoria de impacto, da divisão dos estágios de ciclo de vida e dos dados e métodos empregados. Os relatórios completos para o presente trabalho encontram-se na seção de anexos.

3.2.2. ETOOLLCD

eToolLCD é uma ferramenta de ACV com opção de integração ao Revit, em desenvolvimento desde 2009. Possui foco na quantificação da emissão de CO₂ ao meio-ambiente, ainda que trabalhe com outras categorias de impacto. Optou-se pelo eToolLCD devido ao seu módulo de uso gratuito e sua integração com o Revit. O funcionamento da ferramenta é considerado parcialmente integrado – os dados são extraídos do modelo BIM na interface de modelagem para a ferramenta *web-based*, ou seja, de navegador.

Segundo o desenvolvedor, a base de dados do eToolLCD é customizada e reproduz dados dos Estados Unidos, sem indicar o período que pretende retratar. A metodologia de AICV usada pelo software é personalizada, e segue as principais normas internacionais de ACV, além de ser certificada por esquemas de caracterização como o IMPACT, desenvolvido pelo BRE Group (BRE, 2020).

Para utilizar a ferramenta, é necessário criar um projeto na plataforma *online*, onde são os definidos dados gerais: localização, área do terreno, módulos de ciclo de vida e categorias de impacto a considerar. Foi possível personalizar as definições de forma que foram adotados parâmetros similares aos descritos no Quadro 7 da ferramenta anterior. As categorias de impacto consideradas estão dispostas no Quadro 8, abaixo. Ainda que o software permitisse a análise de uma maior quantidade de categorias de impacto, não foi possível adotar as mesmas categorias do Tally, indicadas no

Quadro 6, dada a diferença de metodologia de AICV.

Quadro 8 – Categorias de impacto consideradas na análise com o software eToolLCD

Categoria de impacto	Sigla	Unidade de medida
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq
Potencial de acidificação	AP	kg SO ₂ eq
Potencial de eutrofização	EP	kg PO ₄ eq
Potencial de destruição de ozônio	ODP	kg CFC-11 eq

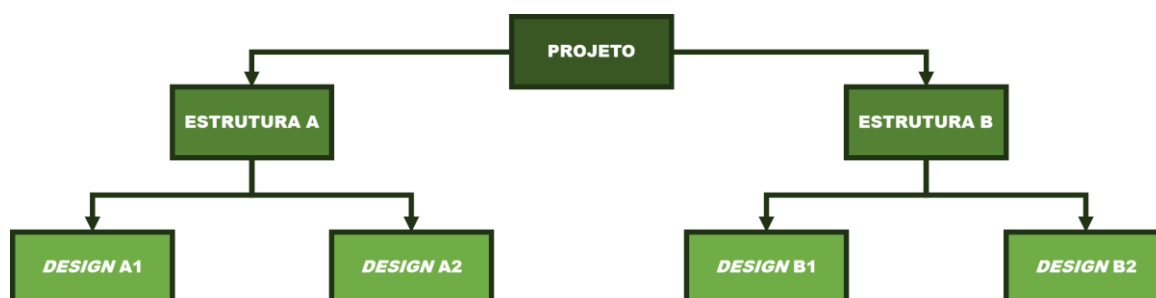
Categoria de impacto	Sigla	Unidade de medida
Uso total de energia primária	PERT	MJ
Uso total de energia não-renovável	PENRT	MJ
Ocupação do solo	-	m ² a
Ecotoxicidade	-	uCTUe
Ecotoxicidade em água doce	-	CTUe
Radiação ionizante	-	kBq U235 eq

Fonte: Autor.

Os projetos são compostos de divisões chamadas de “estruturas”, que também devem ser criadas no *website*. Um escopo mais restrito é definido nesta etapa, a citar o tipo de estrutura, que pode ser uma edificação ou infraestrutura; o escopo da ACV, sendo considerada a edificação inteira, dentre as demais opções de estrutura civil e análise de eficiência; e os sistemas da construção a considerar, ou seja, as tarefas, elementos e outros trabalhos cujos ciclos de vida serão avaliados. Neste caso, optou-se exclusivamente pela avaliação das vedações externas.

Por fim, cada “estrutura” está associada a um ou mais *designs*, uma subdivisão que permite separar e comparar opções construtivas dentro de uma mesma estrutura, escolher o propósito da ACV e a função da edificação, além de indicar a vida útil de projeto da solução. A Figura 6 apresenta graficamente a organização de projetos dentro da plataforma de navegador.

Figura 6 – Organização de projetos na plataforma do software eToolLCD



Fonte: Autor.

Uma vez instituídas todas as subdivisões, os modelos BIM foram associados aos *designs* criados, por meio de um botão na interface de modelagem. A plataforma *online* foi alimentada com os dados dos elementos modelados – material do Revit e quantitativos.

Foi necessário associar os materiais importados a composições do banco de dados do eToolLCD, bem como indicar as unidades de medida consideradas. A

divisão em camadas, realizada pelo Revit, foi desconsiderada pela ferramenta, sendo permitida exclusivamente a adoção de composições pré-definidas. A Figura 7 apresenta a interface de associação de materiais do eToolLCD.

Figura 7 – Interface de associação de materiais do software eToolLCD

Category	Item	Area (m2)	Volume (m3)	Length (m)	Count	Import Unit Chosen	Template	Template Unit	Design Function
T1 planta.dwg	location -Not Shared-	0	0	0	96	Ignore	Ignore		Residência unif...
Walls	STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERNAL CEMENT FIBER BOARD (WOOD FILLED)	135.7528	21.3243	70.3137	29	m2 (Area)	STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERN...	m2	Residência unif...
Windows	Family Type: Veneziana 1.50 x 1.20, Family: JANELA	8.9114	0.1277	0	2	Ignore	Ignore		Residência unif...
Windows	Family Type: Painéis (2x1) 0.90 x 0.40, Family: JANELA	1.1789	0.0182	0	1	Ignore	Ignore		Residência unif...
Doors	Family Type: giro simples - 0.80 x 2.10 1 folha de abrir, lisa, maciça, mexicana., Family: PORTA	6.1972	0.1231	0	1	Ignore	Ignore		Residência unif...
Doors	Family Type: giro simples - 0.80 x 2.10 1 folha de abrir, lisa, maciça, mexicana., Family: PORTA veneziana	6.9505	0.0987	0	1	Ignore	Ignore		Residência unif...
Floors	Piso cerâmico 35x35cm	53.0002	1.06	0	2	Ignore	Ignore		Residência unif...
Floors	contrapiso	33.9408	6.7882	0	1	Ignore	Ignore		Residência unif...
Roofs	CLAY TILE ROOFING	95.457	9.5457	0	2	Ignore	Ignore		Residência unif...
Floors	Laje Plana de Concreto Armado Maciça	5.0615	0.6074	0	1	Ignore	Ignore		Residência unif...
Wall Sweeps	Cinta de amarração em concreto	0	0	27.065	5	Ignore	Ignore		Residência unif...

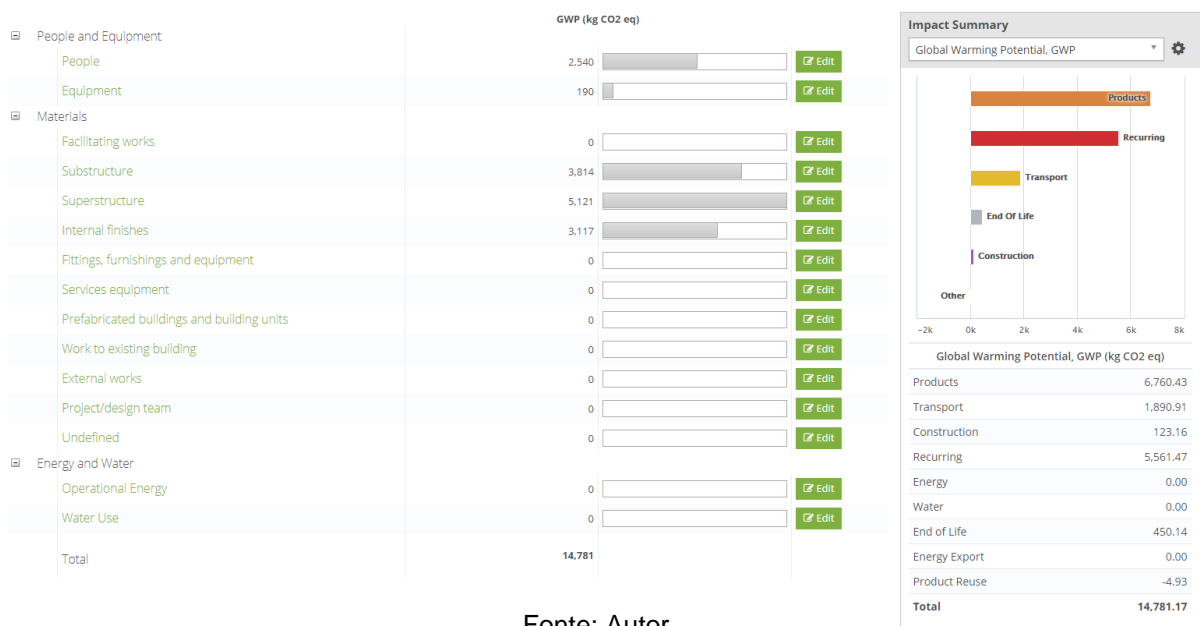
Rows : 16

Exit Reviewed

Fonte: Autor.

Efetuada as associações, a interface da ferramenta foi automaticamente atualizada, mostrando resumos dos resultados por etapa do ciclo de vida, segundo uma dada categoria de impacto ambiental, conforme indica a Figura 8. A interface, ainda segundo a Figura 8, divide os resultados por tipo de insumo – pessoas e equipamentos; materiais, subdivididos em sistemas construtivos; e energia e água de operação.

Figura 8 – Interface de resumo dos resultados do software eToolLCD



Fonte: Autor.

O eToolLCD permite, ainda que limitadamente, a edição de materiais de seu banco de dados, para cada subsistema ao qual o material em análise está inserido. Foi possível alterar valores de espessura, densidade e vida útil, assim como adicionar e remover materiais à composição pré-definida. Não foi possível alterar valores referentes ao impacto ambiental considerado por material.

O Quadro 9 e o Quadro 10, abaixo, apresentam a configuração dos sistemas de vedação externa estrutural analisados pelo eToolLCD. Dadas as diferenças nas bases de dados, a composição adotada no Tally, segundo o Quadro 4 e Quadro 5, difere da composição do eToolLCD. Foram escolhidos os materiais que mais se aproximam da composição das vedações externas estabelecidas pela ACV original.

Quadro 9 – Materiais componentes das vedações externas em *steel frame* para o software eToolLCD

Material	Espessura [mm]	Camadas
Placa de fibrocimento com preenchimento em aglomerado de madeira	40	1
<i>Steel frame</i>	-	1
Placa de gesso acartonado	12	3

Fonte: Autor.

Quadro 10 – Materiais componentes das vedações externas em blocos de concreto para o software eToolLCD

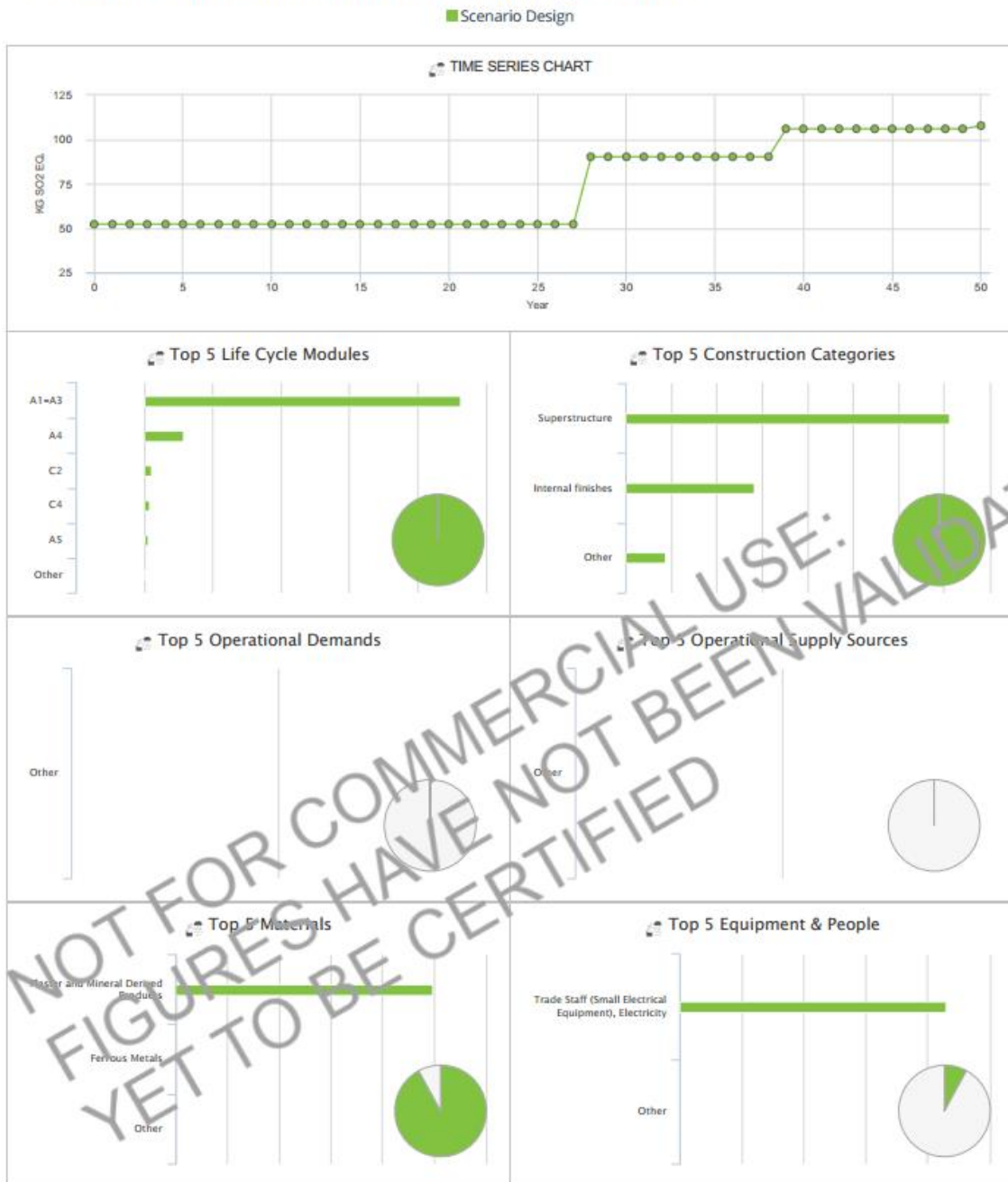
Material	Espessura [mm]	Camadas
Bloco de concreto	140	1
Revestimento em argamassa	20	2

Fonte: Autor.

Foi possível gerar um relatório de impacto ambiental resumido, contendo os resultados de todas as categorias analisadas, em formato de tabela do Excel. Além do resumo por categoria e por etapa do ciclo de vida, são incluídos dados de cada componente considerado na análise. Há diversas opções de relatórios completos, extraídos no formato .PDF, cujas informações variam de acordo com a finalidade do estudo. A Figura 9 ilustra um modelo de representação dos resultados do relatório do eToolLCD.

Figura 9 – Exemplo de representação de resultados do relatório do software eToolLCD

6.3 Acidification Potential for Soil and Water, AP Profile



Fonte: Autor.

O relatório completo extraído pelo eToolLCD incluiu, além de gráficos e considerações generalizadas sobre a metodologia de cálculo, alguns parâmetros de análise da qualidade do estudo produzido. Foram apresentados *benchmarks*, listas de conferência da qualidade dos dados e interpretações acerca dos resultados, dentre outras informações. O documento íntegro foi disponibilizado na seção de anexos.

3.3. VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO

A implementação é a última etapa da pesquisa operacional. Aqui, aplica-se o modelo otimizado de acordo com o objetivo de sua construção, sendo monitorado seu uso para constante aprimoramento (HILLIER & LIEBERMAN, 2013).

Terminada a fase de modelagem e simulação, foi feita a verificação e validação. Para Seila (1995) a validação é o processo que assegura que o modelo computacional se aproxima adequadamente do comportamento desejado do sistema real. A verificação envolve coletar dados do sistema real e do sistema simulado, comparando-os.

Neste caso, a implementação foi convertida na obtenção de conhecimento acerca da integração de *softwares* de ACV e plataformas BIM. Foram elencadas as potencialidades e limitações do processo e dos métodos empregados, a fim de contribuir com o aprimoramento das ferramentas existentes.

A validação do modelo qualificou a consistência da ACV realizada quanto aos métodos de inserção de dados, de análises e de extração de resultados, bem como a qualidade dos dados adotados. Buscou-se definir, assim, se as ACV integradas à plataforma BIM desenvolvidas ao longo da pesquisa estão corretas. A verificação tratou da comparação entre os resultados obtidos e os da abordagem tradicional (BUENO et al., 2016), anteriormente validados.

As metodologias adotadas no presente trabalho diferem quanto a categorias de impacto analisadas, unidades de medidas adotadas e, sobretudo, as considerações para formação e quantificação dos fluxos de entrada e saída dos materiais e processos. Os dados de ICV diferem entre softwares, assim como as composições de materiais, uma vez que há diferenças entre as fontes de dados. Assim, esperou-se, em análise preliminar, resultados inconsistentes, dada a baixa representatividade da simulação.

Juntamente dos resultados da metodologia ReCiPe da ACV original, foi realizada uma análise de sensibilidade entre as diferentes metodologias de ACV pelo método tradicional, que apontou a influência significativa da origem dos dados de ICV em todas as categorias de impacto, e dos métodos de ranqueamento de perfis ambientais para as categorias mudança climática, ocupação de solo industrial,

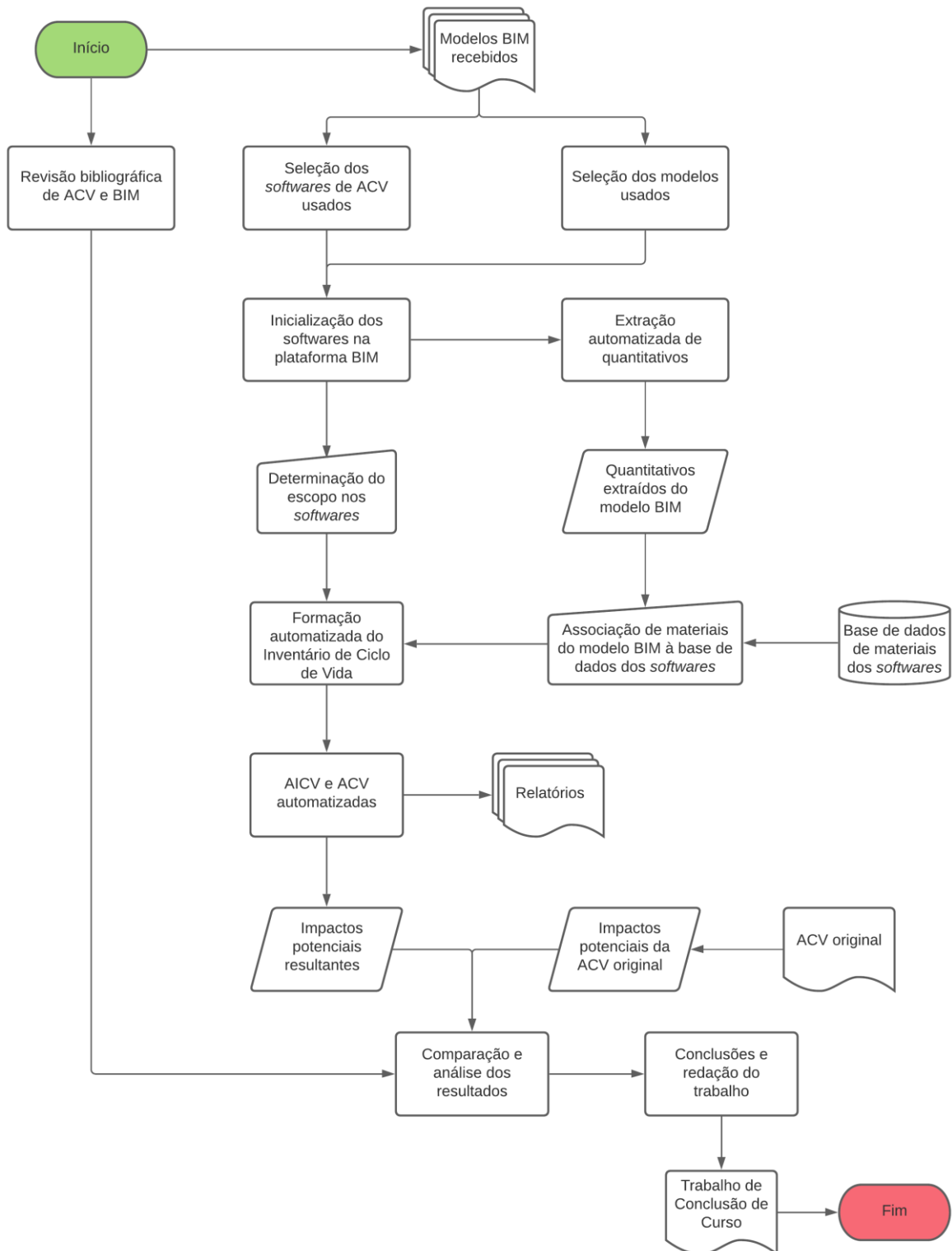
esgotamento de recursos fósseis, eutrofização marinha e ecotoxicidade terrestre (BUENO et al., 2016).

A análise quantitativa considerou, além dos valores de potencial impacto ao meio ambiente e da solução apontada como mais potencialmente sustentável, as premissas referentes às fontes de dados e metodologias adotadas. Foram comparadas as três categorias com unidades de medida coincidentes entre os métodos, a citar “mudança climática/aquecimento global”, “potencial de acidificação” e “potencial de destruição de ozônio”.

Não foram realizadas análises estatísticas nos valores encontrados, por conta da baixa representatividade aferida preliminarmente e pelo baixo número de amostras. Foram investigados, no entanto, os métodos de quantificação das categorias comparadas, a fim de entender as semelhanças e diferenças nos resultados obtidos.

A Figura 10 apresenta a sequência de processos adotada na aplicação da metodologia descrita.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia aplicada ao presente trabalho



Fonte: Autor.

Os resultados do trabalho são apresentados a seguir.

4. RESULTADOS

Os resultados numéricos da realização de ACV integrada à plataforma BIM, para ambos os *softwares* utilizados, foram adquiridos na forma de relatório. As informações apresentadas incluíram os valores de cada categoria de impacto, apresentados em tabelas, bem como dados referentes ao escopo, metodologia e considerações adotadas ao longo da realização da ACV.

Para o Tally, o relatório contava com gráficos pré-definidos, compilando os resultados visualmente. A Tabela 1 e a Tabela 2 exprimem os resultados das categorias de impacto para os sistemas de *steel frame* e de blocos de concreto, respectivamente, divididos em estágios de ciclo de vida.

Tabela 1 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de *steel frame*, no software Tally, divididos em estágio de ciclo de vida

Categoria de impacto	Unidade de medida	Produção (A1-A3)	Construção (A4)	Final da Vida Útil (C2-C4)	Módulo D (D)	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	59429,0	355,5	4834,0	-48681,0	15937,5
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	465,800	1,555	20,710	-413,000	75,065
Potencial de eutrofização	kg N eq	55,440	0,127	3,272	-12,400	46,439
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	3582,000	51,370	238,800	-4642,000	-769,830
Potencial de formação de poluição	kg O ₃ eq	2,01E-03	1,15E-11	4,31E-10	-2,99E-04	1,71E-03
Demanda de energia primária	MJ	829582,0	4879,0	39625,0	-667591,0	206495,0
Demanda de energia não-renovável	MJ	698977,0	4762,0	37057,0	-636209,0	104587,0
Demanda de energia renovável	MJ	130158,0	118,0	2602,0	-31776,0	101102,0

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de blocos de concreto, no software Tally, divididos em estágio de ciclo de vida

Categoria de impacto	Unidade de medida	Produção (A1-A3)	Construção (A4)	Final da Vida Útil (C2-C4)	Módulo D (D)	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	6070,0	188,4	762,1	18,1	7038,6
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	9,171	0,873	3,519	0,137	13,700
Potencial de eutrofização	kg N eq	0,712	0,071	0,179	0,008	0,970
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	9,19E-10	6,45E-12	1,40E-10	-4,04E-11	1,03E-09
Potencial de formação de poluição	kg O ₃ eq	201,80	28,84	69,94	5,67	306,25
Demanda de energia primária	MJ	37285,0	2739,0	13054,0	156,0	53234,0
Demanda de energia não-renovável	MJ	33759,0	2674,0	12206,0	224,9	48863,9
Demanda de energia renovável	MJ	3526,0	66,2	861,6	-69,8	4384,0

Fonte: Autor.

Percebe-se que a ACV do sistema de *steel frame* por meio do software Tally resultou em valores superiores ao sistema de bloco de concreto para todas as categorias de impacto, com exceção do potencial de formação de poluição e do potencial de destruição de ozônio.

Em ambos os casos, o estágio de produção (A1-A3) apresentou a maior contribuição para os indicadores, enquanto o módulo D, referente ao reuso, recuperação e reciclagem, indicou a menor participação – os valores negativos referem-se a atividades que reduzem o potencial de impacto ambiental para a categoria analisada.

No caso do eToolLCD, o relatório também apresentava gráficos pré-definidos, bem como os fluxos de entrada e saída considerados. Estavam presentes, também, descrições detalhadas do sistema e do escopo, critérios de corte e considerações a respeito da qualidade dos dados. A Tabela 3 e a Tabela 4 demonstram os resultados das categorias de impacto para os sistemas de *steel frame* e de blocos de concreto, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de *steel frame*, no *software* eToolLCD, divididos em estágio de ciclo de vida

Categoria de impacto	Unidade de medida	Produção e Construção (A1-A4)	Final da Vida Útil (C2-C4)	Módulo D (D)	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	13900,0	374,8	-5,9	14268,9
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	52,300	1,810	-0,028	54,082
Potencial de eutrofização	kg PO ₄ eq	15,700	0,436	-0,011	16,125
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	1,00E-03	7,28E-05	-5,69E-07	1,07E-03
Uso total de energia primária	MJ	20400,0	128,4	-3,4	20524,9
Uso total de energia não-renovável	MJ	155000,0	7493,3	-96,9	162396,4
Ocupação do solo	m ² a	0,217	5,13E-03	-1,95E-05	0,222
Ecotoxicidade	uCTUe	9,15E-07	1,89E-08	-1,16E-09	9,33E-07
Ecotoxicidade em água doce	CTUe	3,11E+07	4,18E+05	-45922	3,14E+07
Radiação ionizante	kBq U235 eq	675	10,042	-0,648	685

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Resultados das categorias de impacto para o sistema de blocos de concreto, no *software* eToolLCD, divididos em estágio de ciclo de vida

Categoria de impacto	Unidade de medida	Produção e Construção (A1-A4)	Final da Vida Útil (C2-C4)	Módulo D (D)	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	15169,0	1383,0	-129,0	16423,0
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	67,857	6,662	-0,878	73,641
Potencial de eutrofização	kg PO ₄ eq	10,578	1,605	-0,318	11,865
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	8,06E-04	2,69E-04	-5,75E-06	1,07E-03
Uso total de energia primária	MJ	5161,6	472	-608,5	5025,1
Uso total de energia não-renovável	MJ	120000,0	27602,0	-1179,0	146423,0
Ocupação do solo	m ² a	0,0581	0,0188	-2,85E-04	0,0766
Ecotoxicidade	uCTUe	1,52E-05	6,92E-08	-2,69E-09	1,52E-5
Ecotoxicidade em água doce	CTUe	1,85E+07	1,54E+06	-2,87E+06	1,72E+07
Radiação ionizante	kBq U235 eq	213,27	36,99	-2,81	247,44

Fonte: Autor.

Neste caso, o sistema de blocos de concreto obteve resultados superiores ao sistema de *steel frame* para as categorias “potencial de aquecimento global”, “ecotoxicidade” e “potencial de acidificação”. Para “potencial de destruição de ozônio”, ambas as alternativas apresentaram resultado similar. As seis demais categorias indicaram o sistema de *steel frame* com maior potencial de impacto ambiental.

A maior contribuição se deu nos estágios de produção e construção, enquanto a menor ocorreu no módulo D, para todas as categorias analisadas. O eToolLCD não separa os estágios A1-A3 (Produção) do A4 (Construção).

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam os resultados da ACV original segundo a metodologia ReCiPe 2008 para as categorias presentes nas análises dos *softwares* estudados. No documento original, os valores são expressos em função do m² de solução construtiva adotada.

Para o presente trabalho, foi feita a multiplicação pelo quantitativo de vedação externa estrutural referente ao objeto de estudo, neste caso, 135,8m² para o sistema de *steel frame* e 137,6m² para os blocos de concreto. Atribuiu-se a variação de quantitativos a divergências no modelo, que foram julgadas pouco significativas. Não há divisão em estágios de ciclo de vida para estes dados.

Tabela 5 – Resultados das categorias de impacto da ACV original para o sistema de steel frame

Categoria de impacto	Unidade de medida	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO2 eq	20640,0
Potencial de acidificação	kg SO2 eq	48,160
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	2,44E-03

Fonte: Adaptado de Bueno et al. (2016).

Tabela 6 – Resultados das categorias de impacto da ACV original para o sistema de blocos de concreto

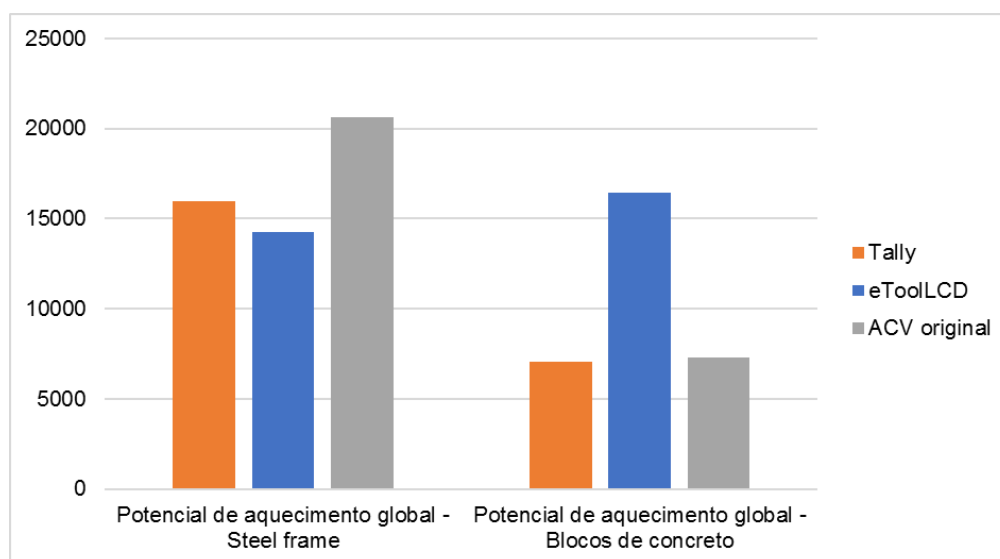
Categoria de impacto	Unidade de medida	TOTAL
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	7265,3
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	20,090
Potencial de destruição de ozônio	kg CFC-11 eq	5,04E-04

Fonte: Adaptado de Bueno et al. (2016).

Os resultados das três categorias de impacto consideradas nas três análises (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de destruição de ozônio) foram compilados graficamente para posterior análise. Da Figura 11 à Figura 13 são comparados os resultados por método/*software* de ACV, para cada categoria de impacto e solução construtiva adotada, por meio de gráficos de barras.

A Figura 11 aponta o sistema de *steel frame* como o mais potencialmente impactante para a ACV original e para o Tally, no que tange a categoria de impacto em questão. O eToolLCD, por outro lado, mostra os blocos de concreto como alternativa que mais contribui para o potencial de aquecimento global.

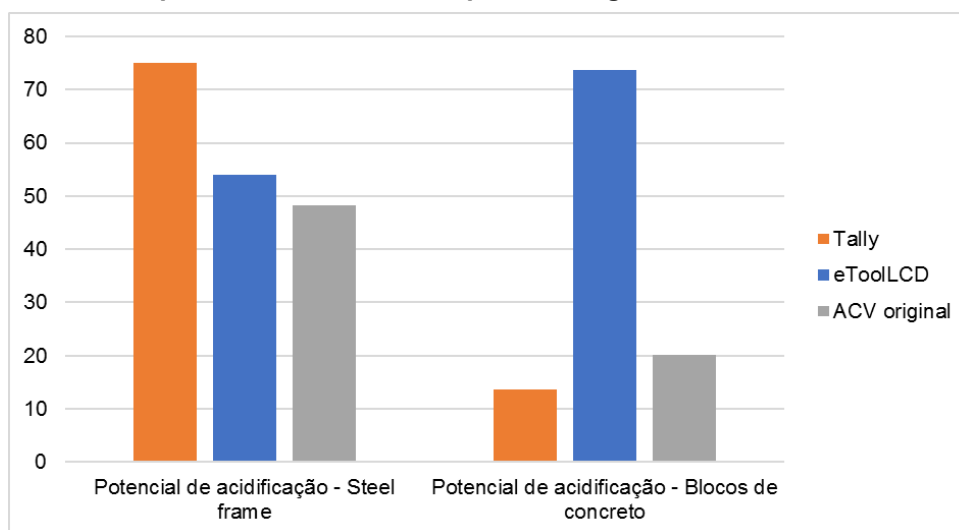
Figura 11 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Aquecimento Global”



Fonte: Autor.

A Figura 12 indica o sistema de blocos de concreto como o maior colaborador apenas para a análise do eToolLCD. Para o Tally e a ACV original, o sistema de *steel frame* apresenta-se como maior participante para o potencial de acidificação.

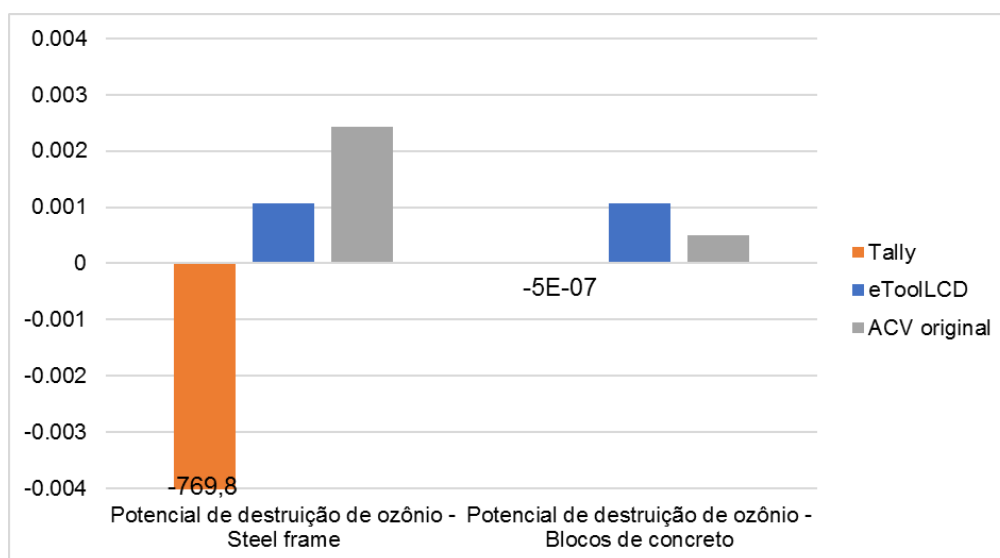
Figura 12 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Acidificação”



Fonte: Autor.

A Figura 13 ilustra os resultados para o potencial de destruição de ozônio. Os resultados do Tally indicam o *steel frame* como opção mais potencialmente favorável ao meio ambiente. O eToolLCD e a ACV original apontam o sistema de blocos de concreto como o menor participante para a categoria.

Figura 13 – Comparação dos resultados para a categoria “Potencial de Destruição de Ozônio”



Fonte: Autor.

Os resultados do Tally para o potencial de destruição de ozônio mostraram-se destoantes dos valores do eToolLCD e da ACV original em relação à ordem de grandeza. Um resumo dos resultados comparativos está indicado no Quadro 11. É apresentada a solução construtiva potencialmente mais impactante ao meio ambiente, em relação às categorias de impacto comuns aos dois *softwares* e à ACV original.

Quadro 11 – Solução construtiva mais potencialmente impactante segundo cada software/método para a respectiva categoria de impacto

Categoria de impacto	Tally	eToolLCD	ACV original
Potencial de aquecimento global	SF	BC	SF
Potencial de acidificação	SF	BC	SF
Potencial de destruição de ozônio	BC	SF	SF
Legenda			
SF	<i>Steel framing</i> com fechamento interno de placas de gesso acartonado e externo de placas cimentícias preenchidas em madeira		
BC	Alvenaria de blocos de concreto		

Fonte: Autor.

Foi realizada uma análise aprofundada das considerações realizadas por cada metodologia, a partir de informações da literatura, para embasamento da discussão dos resultados.

A metodologia ReCiPe 2008 considera, para o potencial de mudança climática/aquecimento global, o efeito marginal de adicionar uma pequena quantidade de gases do efeito estufa. Em contrapartida, é comum, para os demais métodos, aferir o impacto de todas as emissões (GOEDKOOPE et al., 2009). A TRACI 2.1 adota horizontes de 100 anos para as caracterizações, segundo padrões dos Estados Unidos (BARE et al., 2012).

Para o potencial de acidificação, aferiu-se que a metodologia ReCiPe 2008 adota fatores de caracterização para a acidificação em plantas de ecossistemas de florestas europeias (GOEDKOOPE et al., 2009). A TRACI 2.1, por outro lado, busca caracterizar o potencial efeito a plantas, animais, ecossistemas e edificações nos Estados Unidos (BARE et al., 2012).

A caracterização dos impactos potenciais da destruição de ozônio adotada pela TRACI 2.1 está de acordo com uma metodologia internacionalmente consolidada (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1999 apud. BARE et al., 2012). Para a ReCiPe 2008, contudo, o cálculo diz respeito exclusivamente aos efeitos à saúde humana, sendo desconsiderada a influência sobre plantações, por exemplo (GOEDKOOPE et al., 2009). A descrição da categoria de impacto do Tally indica, ainda, que a margem de erro desta categoria é superior às demais, uma vez que a ordem de grandeza dos resultados é pequena em relação às outras quantificações.

Dentre todas as categorias de impacto analisadas pela ACV original, 78% (14 de 18) indicaram o sistema de steel frame como o mais potencialmente impactante. No caso do Tally, este valor é de 75% (6 de 8). Para o eToolLCD, 60% (6 de 10).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção, foi realizado um balanço das potencialidades e limitações encontradas ao longo do uso dos softwares de ACV integrados a plataformas BIM, no que tange o processo de realização da avaliação em comparação com o método tradicional. Foram analisados, também, os resultados de potencial de impacto extraídos dos *softwares* avaliados.

A associação de *softwares* de ACV à interface de modelagem BIM permitiu acesso instantâneo às ferramentas de realização de análises, durante todas as etapas do processo de projeto. Foi possível avaliar os impactos potenciais de todos os elementos e tarefas modelados, sendo verificada, portanto, a integração ao fluxo de trabalho. Assim, confirmou-se as vantagens da metodologia integrada quanto à velocidade de execução e possibilidades de uso das análises, em concordância com o que foi apontado na revisão bibliográfica.

A extração de quantitativos dos componentes, mencionada na literatura como a funcionalidade mais utilizada na integração entre *softwares* de ACV e plataformas BIM, mostrou-se fundamental para as aplicações estudadas, no que tange a construção do inventário de ciclo de vida de maneira ágil e confiável. Neste contexto, ressaltam-se as opções de atualização do modelo BIM importado pelos *softwares*. Os materiais e quantitativos extraídos podem ser revisados, sem afetar o progresso alcançado até então, reduzindo, desta maneira, o retrabalho.

A rápida execução de ACVs a partir da interface de modelagem cria novas possibilidades de uso das análises. Os métodos tradicionais de ACV são utilizados, em sua maioria, após a conclusão do projeto, para fins de certificação, de acordo com a revisão bibliográfica. A metodologia integrada, no entanto, permite análises em todas as etapas, ainda que limitadamente.

As soluções podem ser comparadas em instantes, tendo em vista que os resultados são fornecidos tão logo é finalizada a etapa de formação do inventário. A tomada de decisão, assim sendo, é embasada tecnicamente, fornecendo direcionamentos para projetistas que têm em vista um produto menos potencialmente nocivo. O eToolLCD mostrou-se mais eficiente no confronto de soluções, em comparação com o Tally, já que apresentou graficamente os valores das categorias de impacto sem a necessidade de geração de relatório.

Verificou-se que a facilidade de uso das ferramentas pode aproximar a metodologia de ACV à profissionais além de especialistas e pesquisadores, em concordância com as informações disponíveis na literatura. A integração ao fluxo de trabalho e a simplificação da administração de dados e de processos de cálculo removeu barreiras técnicas e evitou a necessidade da modelagem manual das etapas de ACV.

Por definição, *softwares* de ACV com integração a plataformas BIM permitem alguma forma de incorporação à interface de modelagem. Além disso, a extração de quantitativos é uma característica inata a modelos BIM. Sendo assim, é possível extrapolar os resultados referentes à integração entre as ferramentas e o manejo de dados para demais *softwares* com conexão a modelos BIM.

Percebeu-se que o *software* Tally, incorporado totalmente à plataforma BIM, permitiu análises mais velozes e mais integradas, em comparação com a ferramenta baseada no navegador do eToolLCD. Por outro lado, tratando-se de adaptação das análises para a situação em estudo, o eToolLCD apresentou mais opções de controle de escopo e de base de dados.

No que tange a particularização do estudo, na busca da maior representatividade de dados e métodos, observou-se limitações críticas. Ambos os *softwares* adotados permitem a personalização do escopo a partir de parâmetros pré-definidos. Além disso, as bases de dados e o potencial de impacto ambiental dos materiais que as compõem são determinados previamente, impossibilitando alterações dos usuários – deve-se escolher a composição mais representativa dentre as disponíveis para consolidação do ICV. Ademais, para a etapa de AICV, a metodologia adotada é automatizada, com pouca ou nenhuma informação referente às considerações de cálculo e não permite alterações.

O aumento da velocidade de execução das ACVs em relação ao método tradicional está associado, portanto, à generalização de parâmetros, dados e metodologias por parte dos *softwares*. A vantagem acompanha, assim, uma limitação à representatividade dos resultados, já que não é possível inserir alguns dados coletados (primários) da situação em estudo na simulação. Os componentes das fontes de dados eram restritos, de forma que não foi possível replicar as composições entre *softwares*, tampouco adaptar a quantificação dos dados

secundários empregados, o que inviabilizou a determinação de uma simulação representativa.

De fato, a acurácia da análise está diretamente relacionada à correta caracterização da situação por meio de dados representativos. As generalizações realizadas, explicadas pelas limitações de base de dados e de metodologias das ferramentas, distorcem o contexto geográfico da situação em estudo – os *softwares* estudados contavam com bases de dados que buscavam representar valores dos Estados Unidos.

Sendo assim, esperou-se a existência de distorções nos valores das categorias de impacto ambiental. A falta de ferramentas de inserção de dados primários e/ou customização das bases de dados foi uma limitação encontrada em ambas as ferramentas, bem como a disponibilidade de dados regionais adequados. Ainda, a capacidade de armazenamento de dados de plataformas BIM foi pouco explorada – dados de ICV, caso inseridos nos parâmetros dos elementos do modelo BIM, seriam inutilizados pelos *softwares*.

Outra restrição encontrada diz respeito à transparência da fonte de dados e das metodologias adotadas. Em ambos os *softwares*, adotou-se bancos de dados que não exprimem ou indicam limitadamente os métodos de coleta e informações geográficas. Informações referentes à metodologia de cálculo estavam presentes exclusivamente nos relatórios, na forma de textos padronizados, relatando considerações gerais frente às etapas de ACV, restringindo a compreensão das considerações adotadas e dos resultados.

A plataforma do eToolLCD mostrou-se mais customizável quanto à definição de escopo e de parte dos dados de ICV. Além disso, os relatórios completos apresentaram maior quantidade de informação em comparação com os resultados do Tally, sendo indicados parâmetros como critérios de corte, fronteiras do sistema e fluxos de entrada e saída. Em ambos os casos, contudo, os fluxos de entrada e saída considerados para cada material, juntamente com a quantificação de impacto ambiental de recursos e processos, permaneceram inalterados, por impossibilidade de edição.

Considerando as informações elencadas, não é possível afirmar, em primeiro momento, que as conclusões referentes aos resultados de impacto ambiental são representativas da situação em estudo. Não obstante, a comparação do processo de ACV entre os *softwares* estudados mostrou bancos de dados, composições de elementos e metodologias de AICV distintas. As situações analisadas por cada software são, portanto, diferentes e as divergências quanto aos resultados das categorias de impacto podem ser atribuídas a estes fatores.

Percebe-se, assim, a inviabilidade da unificação de metodologias. ACV é um processo dependente de um grande volume de dados, sendo que parâmetros com sensibilidade significativa, como dados de ICV e metodologia de cálculo, são vinculados a fatores geográficos para assegurar a representatividade. Percebeu-se, dessa forma, que a metodologia mais adequada para a realização de uma ACV é aquela que melhor se adapta para a situação em estudo.

É possível afirmar que ambos os softwares de ACV com integração à plataforma BIM aferiram a solução de alvenaria de blocos de concreto como a mais potencialmente benéfica ao meio ambiente, em comparação com o sistema de *steel framing* com placas cimentícias preenchidas em madeira e de gesso acartonado. Este resultado está de acordo com as conclusões da ACV original.

Foram observadas, contudo, inconsistências nos resultados obtidos pelos *softwares*, a partir da comparação entre os indicadores ambientais. A comparação de categorias de impacto não apresentou concordância a respeito da solução com menor potencial de impacto.

A ACV original indicava o sistema de blocos de concreto como mais sustentável, a partir do resultado favorável de 78% das categorias de impacto. Foram usados dados primários e análises aprofundadas dos fluxos de entrada e saída e das considerações de cálculo, dentre outros métodos, para embasar as conclusões do estudo.

Os resultados dos *softwares*, ainda que apontem para a direção dos resultados da ACV original, carecem embasamento estatístico e metodológico para validação. Não há evidências de que os resultados extraídos dos softwares são expressivos da situação em estudo, conforme esperado.

Tendo em vista as divergências nas considerações do cálculo das categorias de impacto, apontadas nos resultados, é possível afirmar que as inconsistências encontradas estão relacionadas às diferentes metodologias adotadas. Para ambos os *softwares*, os métodos são fechados, impossibilitando a compreensão das premissas e cálculos, além de pouco customizáveis, impedindo adaptações a favor da representatividade.

Sendo assim, são necessárias adaptações frente às limitações apontadas, sobretudo no que tange a disponibilidade de dados e métodos geograficamente variados ou que permitam adaptações referentes à localidade, para garantir a confiabilidade dos resultados fornecidos pelos *softwares*.

6. CONCLUSÃO

O uso de ferramentas de ACV integradas a plataformas BIM apresentou aumento da produtividade no que tange a administração de dados de ICV e velocidade de execução de análises de impacto, em comparação com métodos tradicionais de ACV. A extração de quantitativos, típica de plataformas BIM, é uma ferramenta consolidada e amplamente utilizada para composição do inventário de forma ágil e confiável.

Contudo, os resultados das categorias de impacto não podem ser considerados representativos, dadas as limitações elencadas ao longo das análises de resultados e a complexidade da ACV de edificações. Os softwares estudados não permitiram a definição de uma situação representativa, tendo em vista as predefinições de parâmetros, bases de dados e métodos empregados, sem possibilidades de alterações.

Ainda assim, as adaptações realizadas dentro das margens das funcionalidades dos *softwares* resultaram na indicação da opção correta no que diz respeito ao menor potencial de impacto. A adoção da metodologia integrada apresenta potencial mediante o desenvolvimento dos *softwares*, sendo oportunas novas pesquisas que busquem mitigar as limitações elencadas.

Esforços futuros devem ser direcionados, por parte dos desenvolvedores de *software*, para a ampliação das opções de personalização e da transparência dos métodos e considerações adotados. As metodologias empregadas pelas ferramentas devem ser adaptáveis, evitando a especificidade, de modo que uma possam ser usadas em diferentes contextos.

Resultados representativos estão diretamente relacionados à qualidade dos dados e métodos empregados para a situação em estudo. Aponta-se o desenvolvimento, aprimoramento e divulgação de bases de dados e metodologias que reproduzam o contexto geográfico brasileiro como outra forma de mitigar as atuais insuficiências da ACV de edificações integrada a plataformas BIM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJAYI, S. et al. Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 6, n. 1, p. 14-24, 2015.
- ANDRADE, M.; RUSCHEL, R.; Interoperabilidade de Aplicativos BIM usados em arquitetura por meio de arquivo IFC. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 2, p. 76-111, 2009.
- ARAUJO, A. et al. Interoperabilidade de ferramentas BIM e avaliação do ciclo de vida de edificações. **1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, 2017.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional**. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura**. ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: edifícios habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- AZHAR, S.; BROWN, J. BIM for sustainability analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276-292, 2009.
- BARE, J. et al. **Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI)**. 2012.
- BAZJANAC, V; CRAWLEY, D. **The implementation of Industry Foundation Classes in simulation tools for the building industry**. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 1997.
- BILEC, M. et al. Life-cycle assessment modeling of construction processes for buildings. **Journal of infrastructure systems**, v. 16, n. 3, p. 199-205, 2010.
- BISHR, Y. **Semantic Aspect of Interoperable GIS**. Tese (Pós-Doutorado), Wageningen Agricultural University, Holanda, 1997.
- BUENO, C. et al. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2208-2220, 2016.
- BUENO, C. et al. Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 14, n. 5, p. 332-346, 2018.

BUENO, C.; FABRICIO, M. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. **Automation in construction**, v. 90, p. 188-200, 2018.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de Sistemas Construtivos. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**, p. 412, 2016.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE) The IMPACT database. **BRE Group**, 2020. Disponível em: <<https://www.bregroup.com/impact/the-impact-database/>>. Acesso em 14/12/2020.

BUYLE, M. et al. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 26, p. 379-388, 2013.

CABEZA, L. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.

CARDOSO, F. et al. Impactos ambientais dos canteiros de obras: uma preocupação que vai além dos resíduos. **XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis**. Florianópolis: ANTAC, 2006.

CAUCHICK, P. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Elsevier Brasil, 2011.

CAVALLIERE, Carmine et al. Towards an Accessible Life Cycle Assessment: A Literature Based Review Of Current BIM And Parametric Based Tools Capabilities. In: **Proceedings of the 16th IBPSA Conference**. Roma, 2019.

CEN, E. 15804, Sustainability of construction works: **Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products**. The British Standards Institution, 2012.

CHAREF, R. et al. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242-257, 2018.

CHEVALIER, J.; LE TENO, J. Requirements for an LCA-based model for the evaluation of the environmental quality of building products. **Building and environment**, v. 31, n. 5, p. 487-491, 1996.

DÍAZ, J.; ANTÖN, L. Sustainable construction approach through integration of LCA and BIM tools. In: **Computing in Civil and Building Engineering (2014)**. 2014. p. 283-290.

EASTMAN, C. **Building product models: computer environments, supporting design and construction**. CRC press, 1999.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

EN, B. 15978: 2011. **Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method**, 2011.

ERLANDSSON, M.; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. **Building and environment**, v. 38, n. 7, p. 919-938, 2003.

EUROPEAN COMMISSION: JOINT RESEARCH CENTRE OF THE (EC-JRC). **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook** – General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance. 2010.

FENG, H. et al. BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 119543, 2020.

FU, C. et al. IFC model viewer to support nD model application. **Automation in Construction**, v. 15, n. 2, p. 178-185, 2006.

GARCÍA, D. et al. **Diretrizes para o Desenvolvimento de um Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários: o conceito BIM na construção da plataforma SAEPRO**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2014.

GOEDKOOPE, Mark et al. ReCiPe 2008. **A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**, v. 1, p. 1-126, 2009.

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

JÚNIOR, A. et al. Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. **Revista Ibero Americana de Estratégia**, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008.

KHASREEN, M. et al. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. **Sustainability**, v. 1, n. 3, p. 674-701, 2009.

KIVINIEMI, A. et al. **Review of the development and implementation of IFC compatible BIM**. Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby, 2008.

- KOUTAMANIS, A. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? **Automation in Construction**, v. 114, p. 103153, 2020.
- KREINER, H. et al. A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage. **Energy and Buildings**, v. 109, p. 385-396, 2015.
- LIU, X. et al. BIM model for evaluating green building through its life cycle. In: **Sustainable Buildings and Structures: Building a Sustainable Tomorrow: Proceedings of the 2nd International Conference in Sustainable Buildings and Structures (ICSBS 2019), October 25-27, 2019, Suzhou, China**. CRC Press, 2019. p. 228.
- MARSH, Rob. LCA profiles for building components: Strategies for the early design process. **Building Research & Information**, v. 44, n. 4, p. 358-375, 2016.
- MEEEX, E. et al. Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. **Building and Environment**, v. 133, p. 228-236, 2018.
- MONTEIRO, A; MARTINS, J. P. Building Information Modeling (BIM) - teoria e aplicação. In: **International Conference on Engineering UBI**. 2011.
- NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos, 2016.
- NAJJAR, M et al. Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings. **Applied Energy**, v. 250, p. 1366-1382, 2019.
- NIBS. **National Building Information Modeling Standard**. Instituto Nacional de Ciências da Construção dos EUA, 2007.
- PAULSEN, J. **Life Cycle Assessment for Building Products - The significance of the usage phase**. 2001. Tese de Doutorado. Institutionen för byggnader och installationer.
- REITER, Sigrid. Life cycle assessment of buildings-a review. In: **Proceedings of ArcelorMittal International Network in Steel Construction 2010: Sustainability Workshop**. Bruxelles, 2010.
- SANTOS, R. et al. BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. **Building and Environment**, v. 169, p. 106568, 2020.

SANTOS, E. Building Information Modeling você realmente sabe o que é. In: **VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios WBGPPCE**, Curitiba. 2007.

SCHEUER, C. et al. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and buildings**, v. 35, n. 10, p. 1049-1064, 2003.

SCHULTZ, J. et al. A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 7, n. 3-4, p. 219-229, 2016.

SEILA, A. Introduction to simulation. In: **Winter Simulation Conference Proceedings, 1995**. IEEE, 1995. p. 7-15.

SHADRAM, F et al. An integrated BIM-based framework for the energy assessment of building upstream flow. In: **ICCREM 2015**. p. 107-118. 2015.

SHAFIQ, N. et al. Carbon footprint assessment of a typical low-rise office building in Malaysia using building information modelling (BIM). **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 6, n. 3, p. 157-172, 2015.

SJOSTROM, C.; BAKENS, W. CIB Agenda 21 for sustainable construction: why, how and what. **Building Research & Information**, v. 27, n. 6, p. 347-353, 1999.

SMITH, P. BIM & the 5D project cost manager. **27th IPMA (International Project Management Association)**, 2014.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment: Background document for the second working group on life cycle impact assessment of SETAC-Europe (WIA-2). **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 4, n. 2, p. 66–74, 1999.

SOUST-VERDAGUER, B. et al. Critical review of bim-based LCA method to buildings. **Energy and Buildings**, v. 136, p. 110-120, 2017.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

VENTURA, M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

WITTSTOCK, B. et al. EeBGuide guidance document part B: buildings. **Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative**, p. 1-360, 2012.

XU, Z. et al. Integration of BIM and Energy Consumption Modelling for Manufacturing Prefabricated Components: A Case Study in China. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, 2019.

ZANNI, M. et al. Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles, responsibilities, and requirements. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 13, n. 2, p. 101-129, 2017.

ANEXOS

Nesta seção, são disponibilizados os relatórios íntegros extraídos dos softwares Tally e eToolLCD, para os sistemas de *steel frame* e de blocos de concreto.

HIS

ACV - resultados

11/15/2020

Table of Contents

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by Division	3
Results per Division	4
Results per Division, itemized by Tally Entry	5
Results per Division, itemized by Material	6
Results per Revit Category	7
Results per Revit Category, itemized by Family	8
Results per Building Element	9
Appendix	
Calculation Methodology - Life Cycle Assessment Methods	10
Calculation Methodology - Life Cycle Stages	11
Calculation Methodology - Environmental Impact Categories	12
LCI Data	13

Report Summary

Created with Tally

Non-commercial Version 2020.06.09.01

Goal and Scope of Assessment

Análise de impacto midpoint dos elementos construtivos da vedação vertical externa

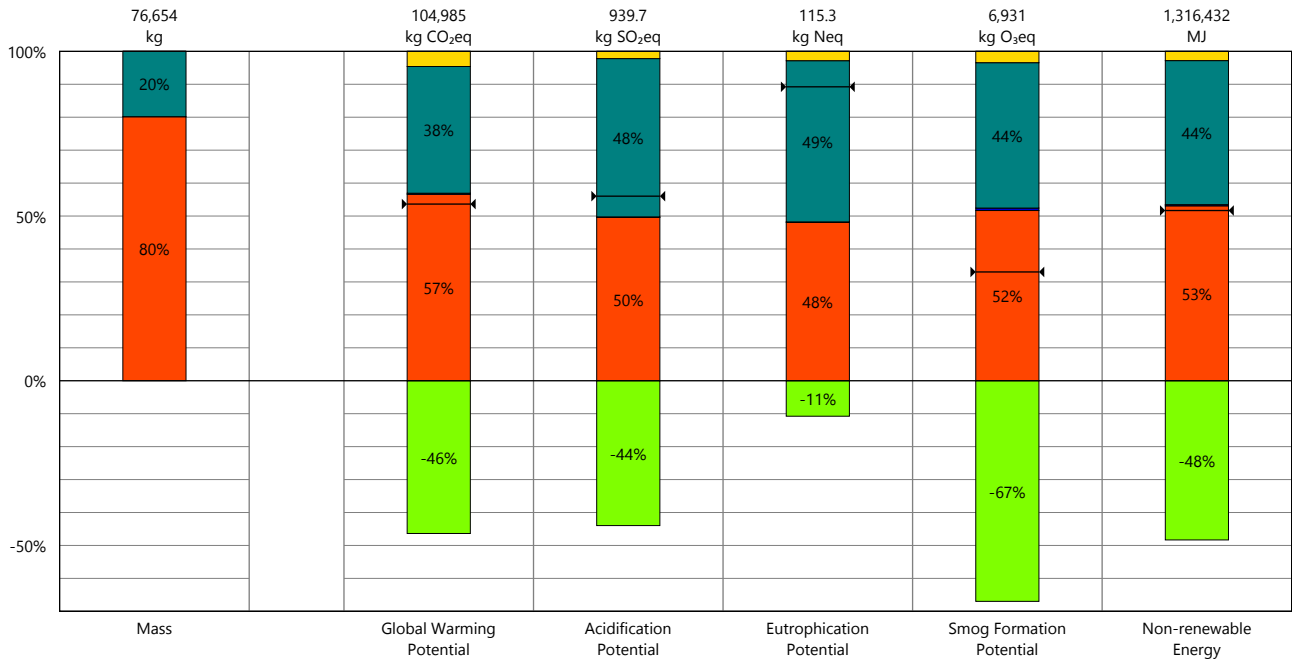
Author matheus.llave
Company UFSCar
Date 11/15/2020

Project HIS
Location São Paulo
Gross Area 56 m²
Building Life 50 years

Boundaries Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

Environmental Impact Totals	Product Stage [A1-A3]	Construction Stage [A4]	Use Stage [B2-B5]	End of Life Stage [C2-C4]	Module D [D]
Global Warming (kg CO ₂ eq)	59,429	335.5	40,387	4,834	-48,681
Acidification (kg SO ₂ eq)	465.8	1.555	451.6	20.71	-413
Eutrophication (kg Neq)	55.44	0.1266	56.42	3.272	-12.4
Smog Formation (kg O ₃ eq)	3,582	51.37	3,059	238.8	-4,642
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	0.002007	1.149E-011	0.002007	4.310E-010	-2.989E-004
Primary Energy (MJ)	829,582	4,879	701,160	39,625	-667,591
Non-renewable Energy (MJ)	698,977	4,762	575,635	37,057	-636,209
Renewable Energy (MJ)	130,158	118.0	125,084	2,602	-31,776
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO ₂ eq/m ²)	1,061	5.991	721.2	86.32	-869
Acidification (kg SO ₂ eq/m ²)	8.318	0.02776	8.065	0.3699	-7.38
Eutrophication (kg Neq/m ²)	0.99	0.00226	1.007	0.05843	-0.2217
Smog Formation (kg O ₃ eq/m ²)	63.96	0.9173	54.63	4.264	-82.9
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m ²)	3.583E-005	2.052E-013	3.583E-005	7.696E-012	-5.337E-006
Primary Energy (MJ/m ²)	14,814	87.12	12,521	707.6	-11,921
Non-renewable Energy (MJ/m ²)	12,482	85.03	10,279	661.7	-11,361
Renewable Energy (MJ/m ²)	2,324	2.107	2,234	46.47	-567

Results per Life Cycle Stage

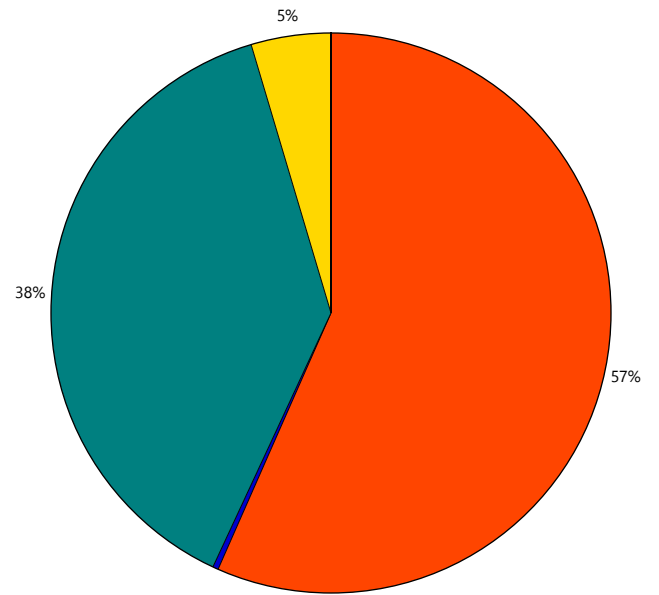


Legend

↔ Net value (impacts + credits)

Life Cycle Stages

- Product [A1-A3]
- Transportation [A4]
- Maintenance and Replacement [B2-B5]
- End of Life [C2-C4]
- Module D [D]



Global Warming Potential

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

↔ Net value (impacts + credits)

Product [A1-A3]

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes

Transportation [A4]

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes

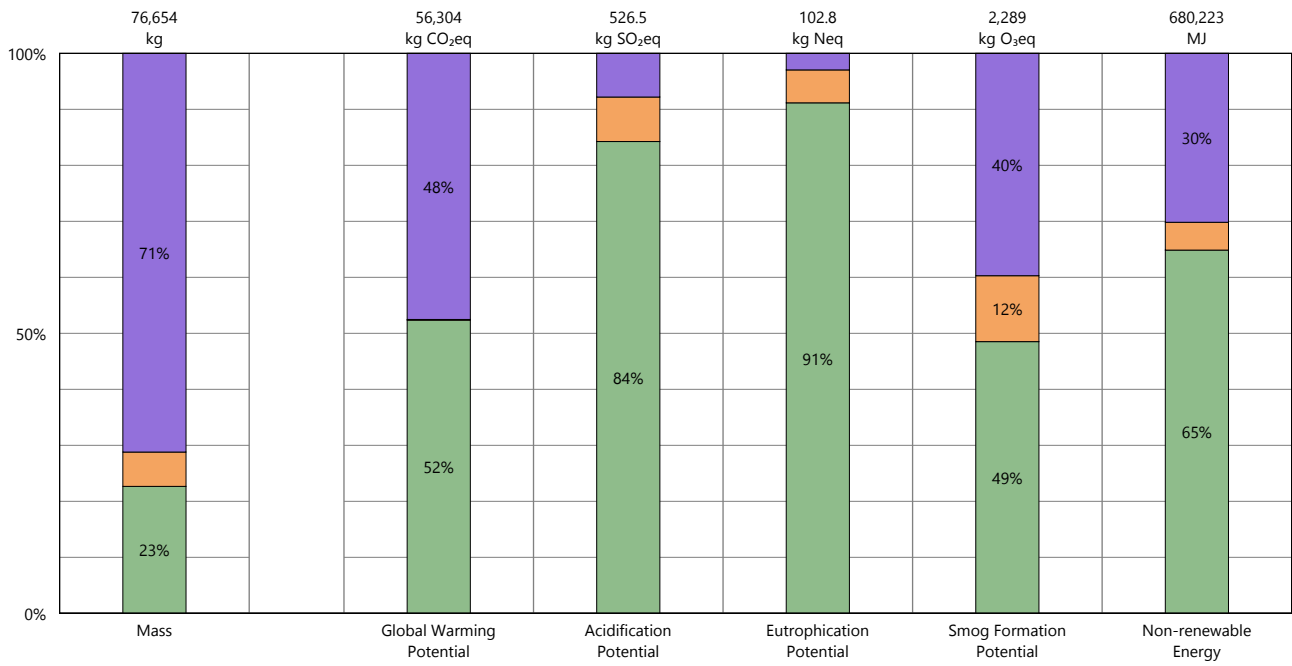
End of Life [C2-C4]

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes

Module D [D]

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes

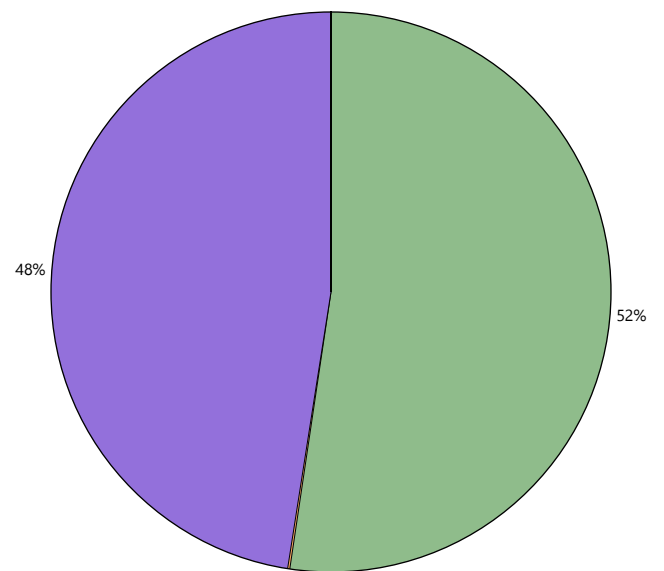
Results per Division



Legend

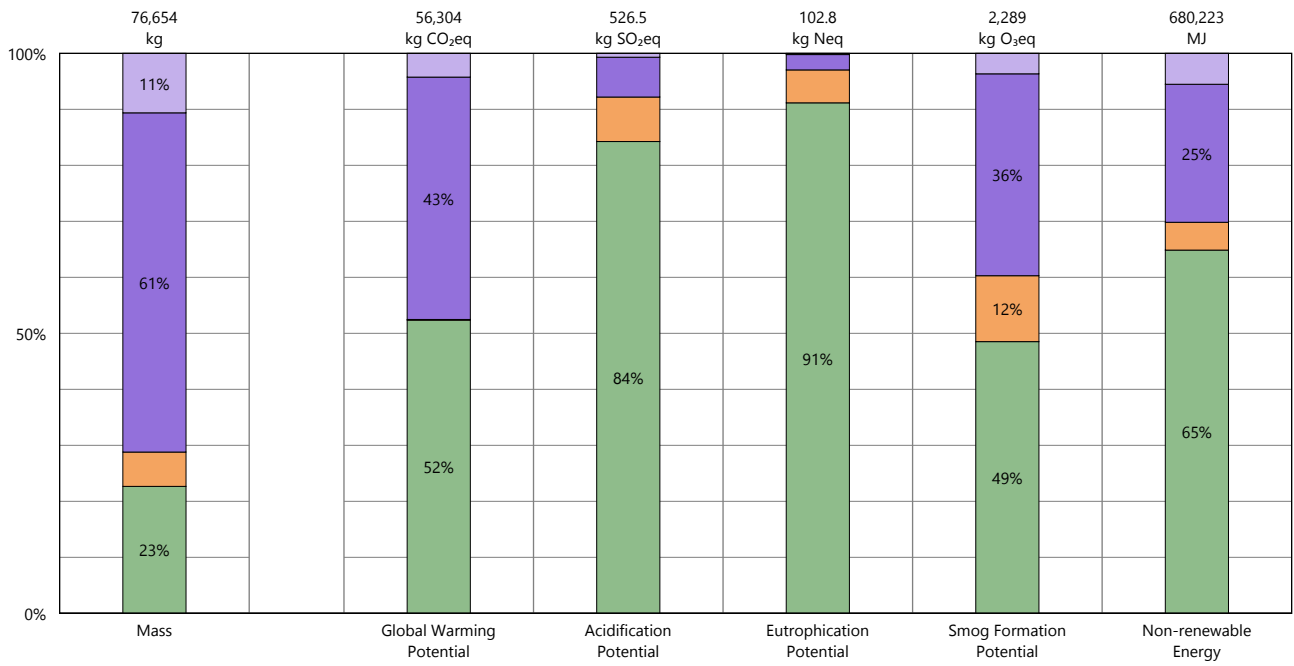
Divisions

- 05 - Metals
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 09 - Finishes



Global Warming Potential

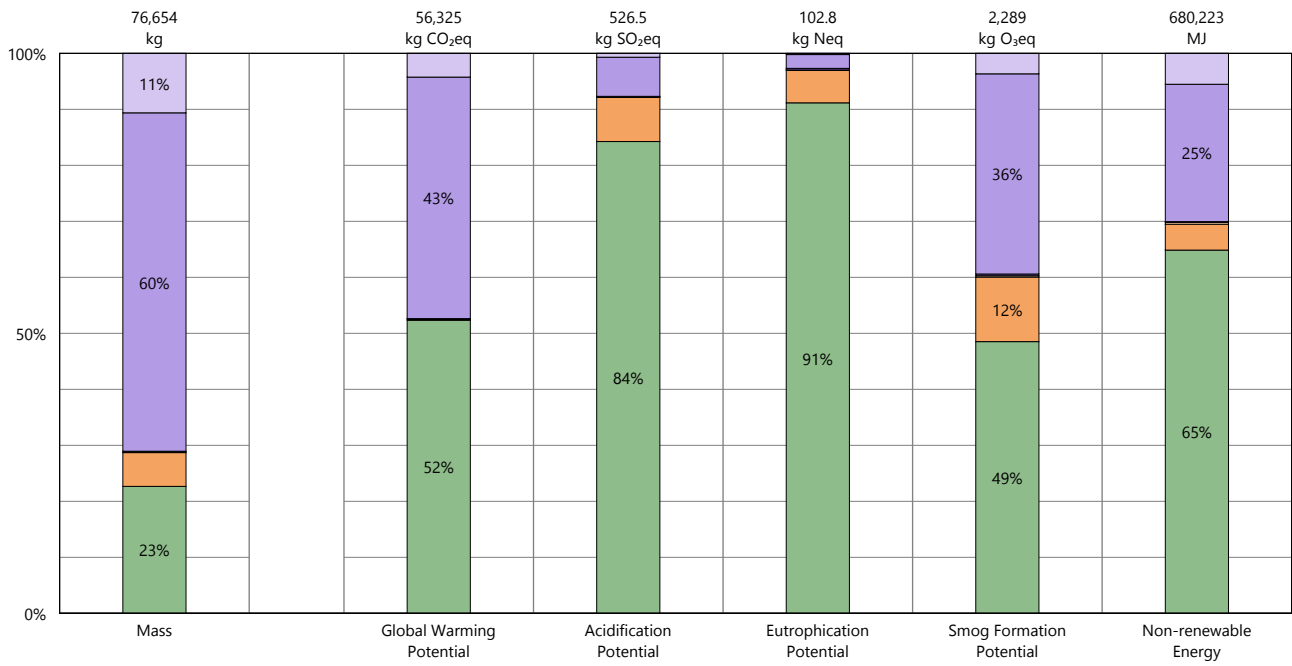
Results per Division, itemized by Tally Entry



Legend

- 05 - Metals
 - Steel, sheet, stainless
- 06 - Wood/Plastics/Composites
 - Particle board
- 09 - Finishes
 - Portland cement stucco
 - Wall board, gypsum

Results per Division, itemized by Material



Legend

05 - Metals

Stainless steel sheet, Chromium 18/8

06 - Wood/Plastics/Composites

Particleboard, AWC - EPD

Wood stain, water based

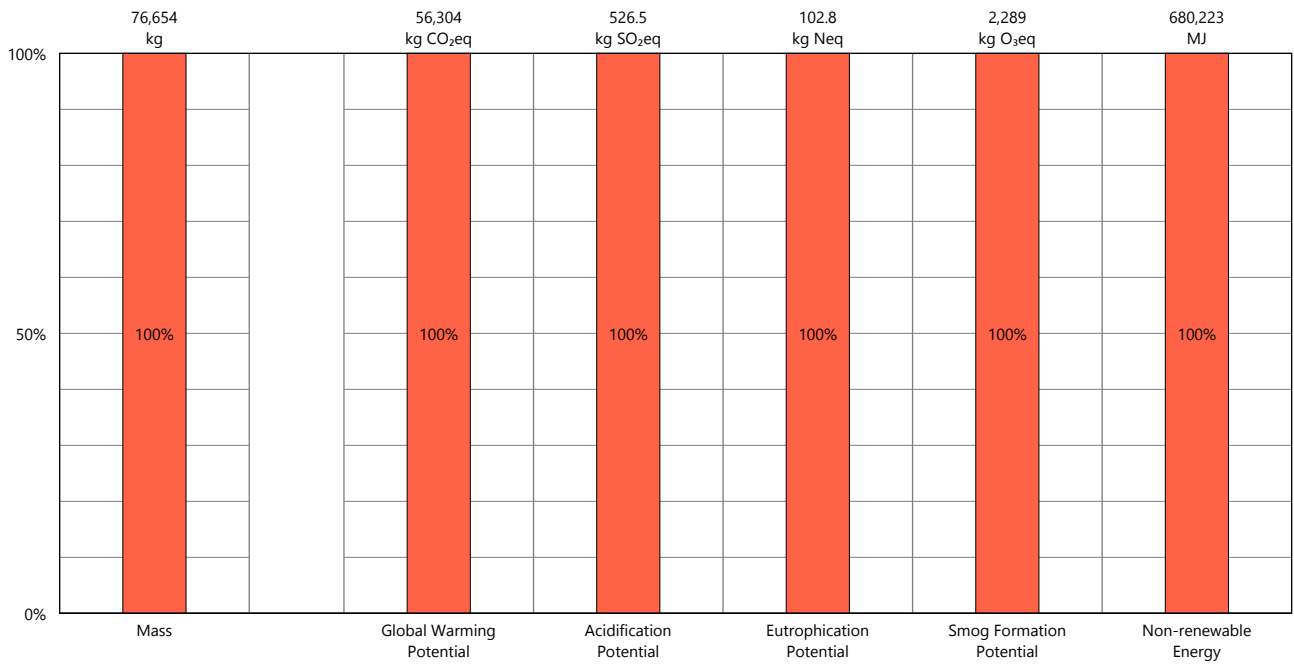
09 - Finishes

Kraft paper

Stucco, portland cement

Wall board, gypsum, natural

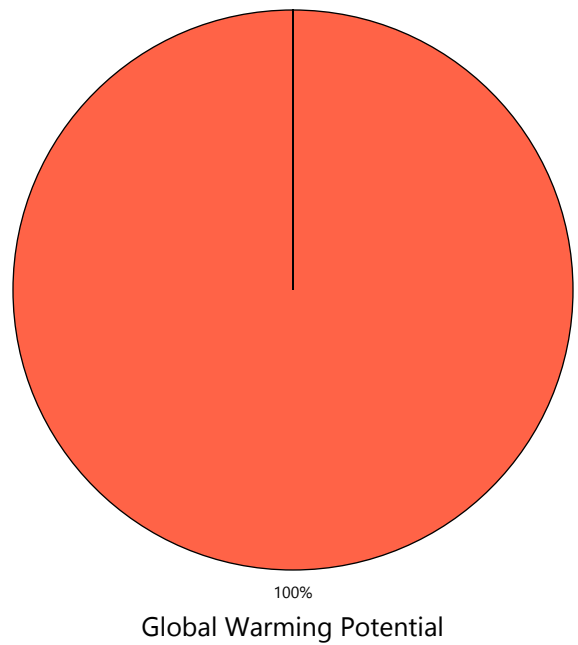
Results per Revit Category



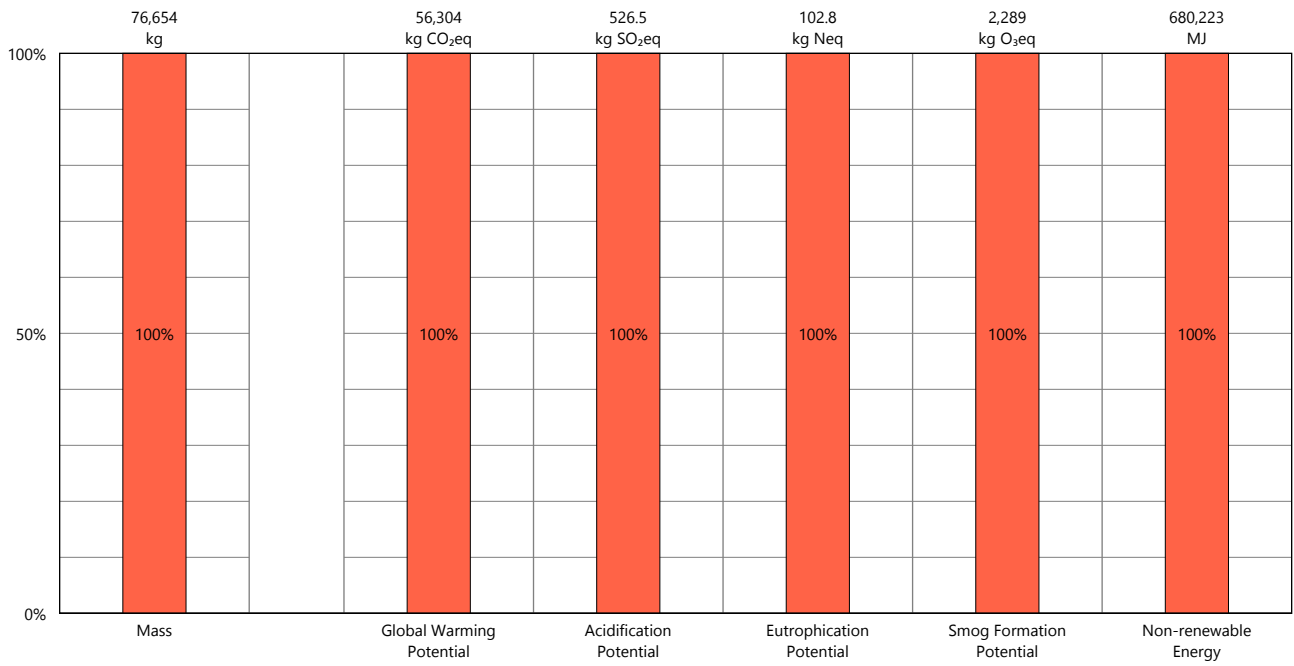
Legend

Revit Categories

Walls



Results per Revit Category, itemized by Family

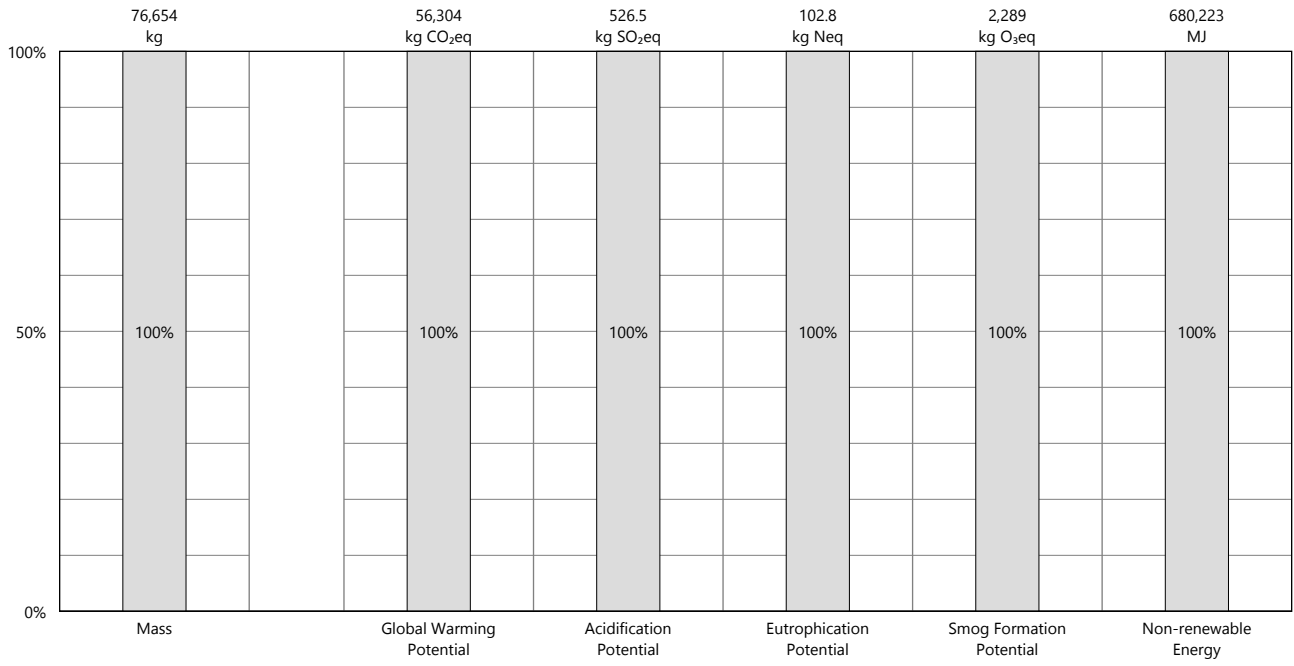


Legend

Walls

■ STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERNAL CEMENT FIB...

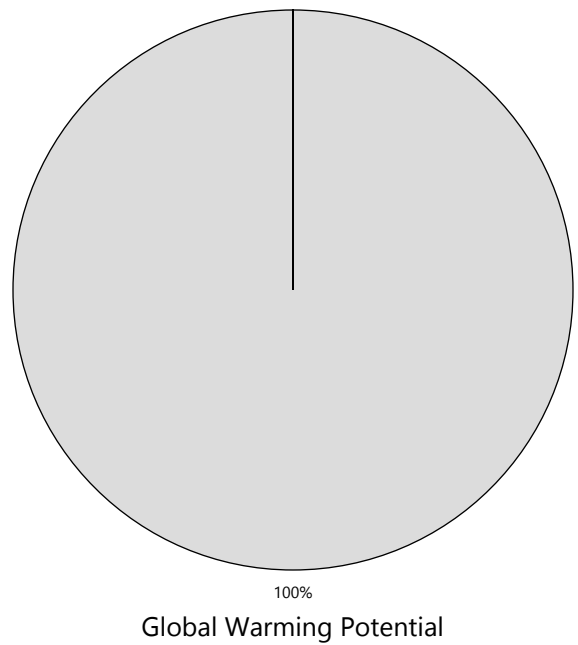
Results per Building Element



Legend

Building Elements

Undefined



Calculation Methodology

LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODS

The following provides a description of terms and methods associated with the use of Tally to conduct life cycle assessment for construction works and construction products. Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012, and EN 15978:2011. For more information about LCA, please refer to these standards or visit www.choosetally.com.

Studied objects

The life cycle assessment (LCA) results reported represent an analysis of a single building, multiple buildings, or a comparative analysis of two or more building design options. The assessment may represent the complete architectural, structural, and finish systems of the building(s) or a subset of those systems. This may be used to compare the relative environmental impacts associated with building components or for comparative study with one or more reference buildings. Design options may represent a full or partial building across various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

Functional unit and reference unit

A functional unit is the quantified performance of a product, building, or system that defines the object of the study. The functional unit of a single building should include the building type (e.g. office, factory), relevant technical and functional requirements (e.g. regulatory requirements, energy performance), pattern of use (e.g. occupancy, usable floor area), and the required service life. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems or products that perform a given function. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the modeler.

The reference unit is the full collection of processes and materials required to produce a building or portion thereof and is quantified according to the given goal and scope of the assessment over the full life of the building. If construction impacts are included in the assessment, the reference unit also includes the energy, water, and fuel consumed on the building site during construction. If operational energy is included in the assessment, the reference unit includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building.

Data source

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 8.5 using GaBi 2018 databases and in accordance with [GaBi databases and modeling principles](#).

The data used are intended to represent the US and the year 2017. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Data quality and uncertainty

Uncertainty in results can stem from both the data used and their application. Data quality is judged by: its measured, calculated, or estimated precision; its completeness, such as unreported emissions; its consistency, or degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source; and geographical, temporal, and technological representativeness. The [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in both industrial and scientific applications. These LCI databases have additionally been used both as internal and critically reviewed and published studies. Uncertainty introduced by the use of proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to appropriately apply the predefined material entries to the building under study.

System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle to grave life cycle of the design options studied across all life cycle stages, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end of life. Optionally, the construction impacts and operational energy of the building can be included within the scope. Product stage impacts are excluded for materials and components indicated as existing or salvaged by the modeler. The modeler defines whether the boundary includes or excludes the flow of biogenic carbon, which is the carbon absorbed and generated by biological sources (e.g. trees, algae) rather than from fossil resources.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing. The materials are included up to a 1% cut-off factor by mass except for known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Calculation Methodology

LIFE CYCLE STAGES

The following describes the scope and system boundaries used to define each stage of the life cycle of a building or building product, from raw material acquisition to final disposal. For products listed in Tally as Environmental Product Declarations (EPD), the full life cycle impacts are included, even if the published EPD only includes the Product stage [A1-A3].

Product [EN 15978 A1 - A3]

This encompasses the full manufacturing stage, including raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. The product stage scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle to gate scope. Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials are not included and are considered outside the scope of assessment.

Transportation [EN 15978 A4]

This counts transportation from the manufacturer to the building site during the construction stage and can be modified by the modeler.

Construction Installation [EN 15978 A5] (Optional)

This includes the anticipated or measured energy and water consumed on-site during the construction installation process, as specified by the modeler.

Maintenance and Replacement [EN 15978 B2-B5]

This encompasses the replacement of materials in accordance with their expected service life. This includes the end of life treatment of the existing products as well as the cradle to gate manufacturing and transportation to site of the replacement products. The service life is specified separately for each product. Refurbishment of materials marked as existing or salvaged by the modeler is also included.

Operational Energy [EN 15978 B6] (Optional)

This is based on the anticipated or measured energy and natural gas consumed at the building site over the lifetime of the building, as indicated by the modeler.

End of Life [EN 15978 C2-C4]

This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Stage C2 encompasses the transport from the construction site to end-of-life treatment based on national averages. Stages C3-C4 account for waste processing and disposal, i.e., impacts associated with landfilling or incineration.

Module D [EN 15978 D]

This accounts for reuse potentials that fall beyond the system boundary, such as energy recovery and recycling of materials. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates.

PRODUCT	CONSTRUCTION	USE	END-OF-LIFE	MODULE D
A1. Extraction A2. Transport (to factory) A3. Manufacturing	A4. Transport (to site) A5. Construction Installation	B1. Use B2. Maintenance B3. Repair B4. Replacement B5. Refurbishment B6. Operational energy B7. Operational water	C1. Demolition C2. Transport (to disposal) C3. Waste processing C4. Disposal	D. Benefits and loads beyond the system boundary from: 1. Reuse 2. Recycling 3. Energy recovery

Life-Cycle Stages as defined by EN 15978. Processes included in Tally modeling scope are shown in bold. Italics indicate optional processes.

Calculation Methodology

ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORIES

A characterization scheme translates all emissions and fuel use associated with the reference flow into quantities of categorized environmental impact. As the degree that the emissions will result in environmental harm depends on regional ecosystem conditions and the location in which they occur, the results are reported as impact potential. Potential impacts are reported in kilograms of equivalent relative contribution (eq) of an emission commonly associated with that form of environmental impact (e.g. kg CO₂eq).

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme, the environmental impact model developed by the US EPA to quantify environmental impact risk associated with emissions to the environment in the United States. TRACI is the standard environmental impact reporting format for LCA in North America. Impacts associated with land use change and fresh water depletion are not included in TRACI 2.1. For more information on TRACI 2.1, reference Bare 2010, EPA 2012, and Guinée 2001. For further description of measurement of environmental impacts in LCA, see Simonen 2014.

Acidification Potential (AP) kg SO₂eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H⁺) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

Eutrophication Potential (EP) kg Neq

A measure of the impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems, increased biomass production may lead to depressed oxygen levels caused by the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

Global Warming Potential (GWP) kg CO₂eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may, in turn, have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

Ozone Depletion Potential (ODP) kg CFC-11eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants. As these impacts tend to be very small, ODP impacts can be difficult to calculate and are prone to a larger margin of error than the other impact categories.

Smog Formation Potential (SFP) kg O₃eq

A measure of ground level ozone, caused by various chemical reactions between nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues, including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage.

Primary Energy Demand (PED) MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED tracks energy resource use, not the environmental impacts associated with the resource use. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources and from renewable resources. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Non-Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) contributing to the PED. Non-renewable resources are those that cannot be regenerated within a human time scale. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar power, etc.) contributing to the PED. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

LCI Data

END-OF-LIFE [C2-C4]

A Life Cycle Inventory(LCI) is a compilation and quantification of inputs and outputs for the reference unit.The following LCI provides a summary of all energy, construction, transportation, and material inputs present in the study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur, along with any notes and system boundaries accompanying their database entries.Each entry lists the detailed scope for the LCI data sources used from the GaBi LCI database and identifies the LCI data source.

For LCI data sourced from an Environmental Product Declaration (EPD), the product manufacturer, EPD identification number, and Program Operator are listed. Where the LCI source does not provide data for all life cycle stages, default North American average values are used. This is of particular importance for European EPD sources, as EPD data are generally only provided for the product stage, and North American average values are used for the remaining life cycle stages.

Where specific quantities are associated with a data entry, such as user inputs, energy values, or material mass, the quantity is listed on the same line as the title of the entry.

TRANSPORTATION [A4]

Default transportation values are based on the three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation is not available.

Transportation by Barge

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by barge.

LCI Source:

GLO: Average ship, 1500t payload capacity/ canal ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Container Ship

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by container ship.

LCI Source:

GLO: Container ship, 27500 dwt payload capacity, ocean going ts (2017)
US: Heavy fuel oil at refinery (0.3wt.% S) ts (2014)

Transportation by Rail

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by cargo rail.

LCI Source:

GLO: Rail transport cargo - Diesel, average train, gross tonne weight 1000t / 726t payload capacity ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Truck

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by diesel truck.

LCI Source:

US: Truck - Trailer, basic enclosed / 45,000 lb payload - 8b ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

LCI Data (continued)

END-OF-LIFE [C2-C4]

Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry based on the US construction and demolition waste treatment methods and rates in the 2016 WARM Model by the US Environmental Protection Agency except where otherwise specified. Heterogeneous assemblies are modeled using the appropriate methodologies for the component materials.

End-of-Life Landfill

Scope:

Materials for which no recycling or incineration rates are known, no recycling occurs within the US at a commercial scale, or which are unable to be recycled are landfilled. This includes glass, drywall, insulation, and plastics. The solids contents of coatings, sealants, and paints are assumed to go to landfill, while the solvents or water evaporate during installation. Where the landfill contains biodegradable material, the energy recovered from landfill gas utilization is reflected as a credit in Module D.

LCI Source:

US: Glass/inert on landfill ts (2017)
 US: Biodegradable waste on landfill, post-consumer ts (2017)
 US: Plastic waste on landfill, post-consumer ts (2017)

Concrete End-of-Life

Scope:

Concrete (or other masonry products) are recycled into aggregate or general fill material or they are landfilled. It is assumed that 55% of the concrete is recycled. Module D accounts for both the credit associated with off-setting the production aggregate and the burden of the grinding energy required for processing.

LCI Source:

US: Diesel mix at refinery ts (2014)
 GLO: Fork lifter (diesel consumption) ts (2016)
 EU - 28 Gravel 2/32 ts (2017)
 US: Glass/inert on landfill ts (2017)

Metals End-of-Life

Scope:

Metal products are modeled using the avoided burden approach. The recycling rate at end of life is used to determine how much secondary metal can be recovered after having subtracted any scrap input into manufacturing (net scrap). Net scrap results in an environmental credit in Module D for the corresponding share of the primary burden that can be allocated to the subsequent product system using secondary material as an input. If the value in Module D reflects an environmental burden, then the original product (A1-A3) contains more secondary material than is recovered.

LCI Source:

Aluminum - RNA: Primary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
 Aluminum - RNA: Secondary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
 Brass - GLO: Zinc mix ts (2012)
 Brass - GLO: Copper (99.99% cathode) ICA (2013)
 Brass - EU-28: Brass (CuZn20) ts (2017)
 Copper - DE: Recycling potential copper sheet ts (2016)
 Steel - GLO: Value of scrap worldsteel (2014)
 Zinc - GLO: Special high grade zinc IZA (2012)

Wood End-of-Life

Scope:

End of Life waste treatment methods and rates for wood are based on the 2014 Municipal Solid Waste and Construction Demolition Wood Waste Generation and Recovery in the United States report by Dovetail Partners, Inc. It is assumed that 65.5% of wood is sent to landfill, 17.5% to incineration, and 17.5% to recovery.

LCI Source:

US: Untreated wood in waste incineration plant ts (2017)
 US: Wood product (OSB, particle board) waste in waste incineration plant ts (2017)
 US: Wood products (OSB, particle board) on landfill, post-consumer ts (2017)
 US: Untreated wood on landfill, post-consumer ts (2017)
 RNA: Softwood lumber CORRIM (2011)

LCI Data

MODEL ELEMENTS

Revit Categories

Walls

HIS-STEEL FRAME WITH FIBERCEMENT AND GYPSUM AND CLAY TILES ROOFING

Worksets

Workset1

Phases

Cobertura

Complementações

Infra-Estrutura

Instalações

Paredes e Paineis

Pavimentação

Revestimento

Serv. preliminares gerais

PRODUCT [A1-A3]

Materials and components are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur. The masses given here refer to the quantity of each material used over the building's life-cycle, which includes both Product [A1-A3] and Use [B2-B5] stages.

Additional provided data describing scope boundaries for each life cycle stage may be useful for interpretation of the impacts associated with the specific material or component. Each material or component is listed with its service life, or period of time after installation it is expected to meet the service requirements prior to replacement or repair. This value is indicated in parentheses next to the mass of the material associated with the listed Revit family. Values for transportation distance or service life shown with an asterisk (*) indicate user-defined changes to default values. Values for service life shown with a dagger (†) indicate materials identified by the modeler as existing or salvaged.

Kraft paper **114.8 kg**
 Used in the following Revit families:
 STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND CLAY TILES ROOFING (2017)
 Used in the following Tally entries:
 Portland cement stucco
 Description:
 Water vapor permeable paper backing
 Life Cycle Inventory:
 100% Kraft paper
 Product Scope:
 Cradle to gate, excludes adhesives, backings, or any additional coatings
 Transportation Distance:
 By truck: 100 km*
 End-of-Life Scope:
 100% Landfilled (biodegradable material)
 Module D Scope:
 Accounts for recovered energy from landfill gas utilization
 LCI Source:
 EU-28: Kraft paper agg (2017)

Particleboard, AWC - EPD **4,625.1 kg**
 Used in the following Revit families:
 STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND CLAY TILES ROOFING (2017)
 Used in the following Tally entries:
 Particle board
 Description:
 Generic particleboard. Industry-wide EPD from the American Wood Council. EPD representative of conditions in the US.
 Life Cycle Inventory:
 For information and quantities, see EPD
 Product Scope:
 Cradle to gate
 Transportation Distance:
 By truck: 100 km*
 End-of-Life Scope:
 14.5% Recovered
 22% Incinerated with energy recovery
 63.5% Landfilled (wood product waste)
 Module D Scope:
 Recovered wood products credited as avoided burden.
 LCI Source:
 RNA: Particleboard CORRIM (2011)

LCI Data (continued)

EPD Source:

[13CA24184.108.1](#)

EPD Designation Holder:

American Wood Council and Canadian Wood Council

EPD Program Operator:

UL Environment

Stainless steel sheet, Chromium 18/8

17,376.4 kg

Used in the following Revit families:

STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERIOR FINISH (17 yrs)

Used in the following Tally entries:

Steel, sheet, stainless

Description:

Stainless steel sheet, Type 304 (Chromium 18/8)

Life Cycle Inventory:

100% Stainless steel plate

Product Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

98% Recovered
2% Landfilled (inert material)

Module D Scope:

Product has 52% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden

LCI Source:

RER: Stainless steel cold rolled coil (304) Eurofer (2010)
GLO: Steel sheet stamping and bending (5% loss) ts (2017)
US: Electricity grid mix ts (2014)
US: Lubricants at refinery ts (2014)
GLO: Compressed air 7 bar (medium power consumption) ts (2014)
RER: Stainless steel flat product (304) - value of scrap Eurofer (2010)

Stucco, portland cement

46,317.9 kg

Used in the following Revit families:

STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERIOR FINISH (17 yrs)

Used in the following Tally entries:

Portland cement stucco

Description:

Portland cement plastering (stucco), 7/8" (22.25 mm) nominal thickness is typical

Life Cycle Inventory:

100% Light plaster (Silica sand, Portland cement, Calcinated lime)

Product Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:

US: Silica sand (Excavation and processing) ts (2017)
US: Portland cement PCA/ts (2015)
US: Lime (CaO) calcination ts (2017)

Wall board, gypsum, natural

8,145.2 kg

Used in the following Revit families:

STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERIOR FINISH (17 yrs)

Used in the following Tally entries:

Wall board, gypsum

Description:

Natural gypsum board

Life Cycle Inventory:

100% Gypsum wallboard (Gypsum, Boric acid, Cement, Glass fibres, Ferrochrome-lignine sulfonate, Silane, Polyglucose, Perlite, Paper, Casein glue)

Product Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:

DE: Gypsum wallboard (EN15804 A1-A3) ts (2017)

Wood stain, water based

74.9 kg

Used in the following Revit families:

STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERIOR FINISH (17 yrs)

Used in the following Tally entries:

Particle board

Description:

Semi-transparent stain for interior and exterior wood surfaces

Life Cycle Inventory:

60% Water
28% Acrylate resin
7% Acrylate emulsion
5% Dipropylene glycol
1.3% NMVOC emissions

Product Scope:

Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

38.7% solids to landfill (plastic waste)

LCI Source:

US: Tap water from groundwater ts (2017)
US: Acrylate resin (solvent-systems) ts (2017)
DE: Acrylate (emulsion) ts (2017)
US: Dipropylene glycol by product propylene glycol via PO hydrogenation ts (2017)

HIS

Full building summary

12/13/2020

Table of Contents

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by Division	3
Results per Division	4
Results per Division, itemized by Tally Entry	5
Results per Division, itemized by Material	6
Results per Revit Category	7
Results per Revit Category, itemized by Family	8
Results per Building Element	9
Appendix	
Calculation Methodology - Life Cycle Assessment Methods	10
Calculation Methodology - Life Cycle Stages	11
Calculation Methodology - Environmental Impact Categories	12
LCI Data	13

Report Summary

Created with Tally

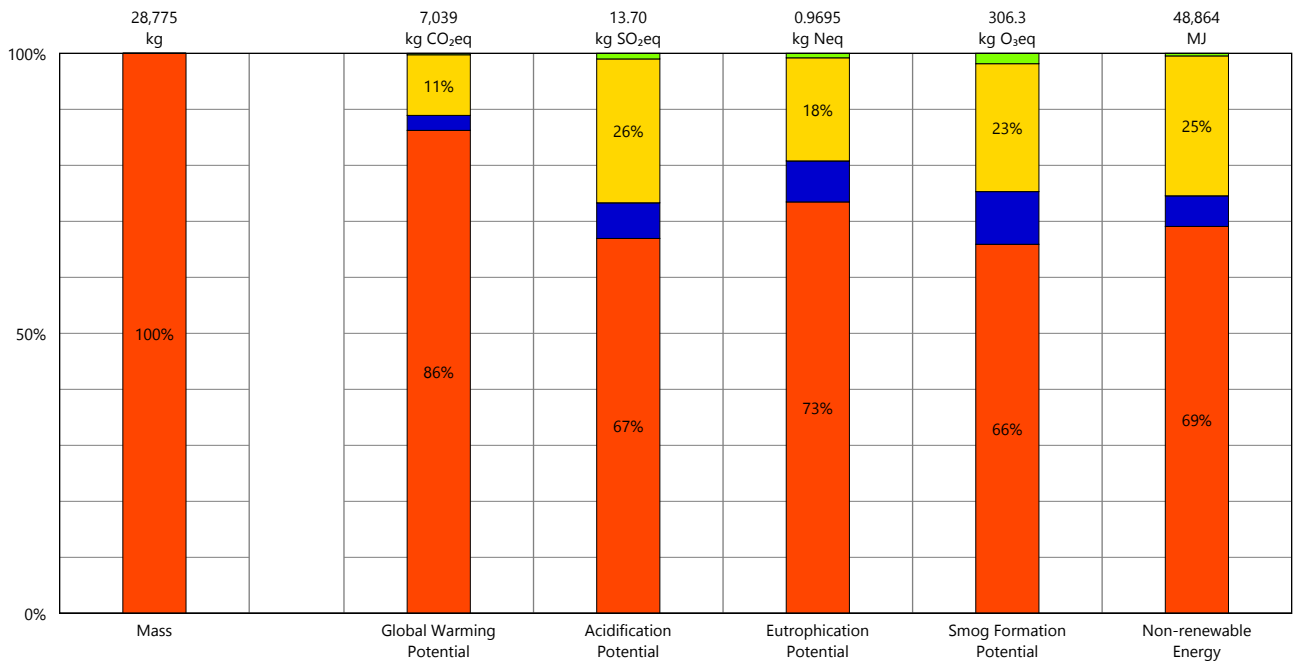
Non-commercial Version 2020.06.09.01

Goal and Scope of Assessment

Author	matheus.llave
Company	UFSCar
Date	12/13/2020
Project	HIS
Location	São Paulo
Gross Area	56 m ²
Building Life	60 years
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

Environmental Impact Totals	Product Stage [A1-A3]	Construction Stage [A4]	Use Stage [B2-B5]	End of Life Stage [C2-C4]	Module D [D]
Global Warming (kg CO ₂ eq)	6,070	188.4	0	762.1	18.10
Acidification (kg SO ₂ eq)	9.171	0.8728	0	3.519	0.137
Eutrophication (kg Neq)	0.7122	0.07107	0	0.1785	0.007747
Smog Formation (kg O ₃ eq)	201.8	28.84	0	69.94	5.665
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	9.181E-010	6.451E-012	0	1.401E-010	-4.040E-011
Primary Energy (MJ)	37,285	2,739	0	13,054	156.0
Non-renewable Energy (MJ)	33,759	2,674	0	12,206	224.9
Renewable Energy (MJ)	3,526	66.24	0	861.6	-69.8
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO ₂ eq/m ²)	108.4	3.364	0	13.61	0.3232
Acidification (kg SO ₂ eq/m ²)	0.1638	0.01559	0	0.06284	0.002447
Eutrophication (kg Neq/m ²)	0.01272	0.001269	0	0.003188	1.383E-004
Smog Formation (kg O ₃ eq/m ²)	3.604	0.515	0	1.249	0.1012
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m ²)	1.639E-011	1.152E-013	0	2.502E-012	-7.215E-013
Primary Energy (MJ/m ²)	665.8	48.91	0	233.1	2.785
Non-renewable Energy (MJ/m ²)	602.8	47.74	0	218.0	4.016
Renewable Energy (MJ/m ²)	62.96	1.183	0	15.39	-1.25

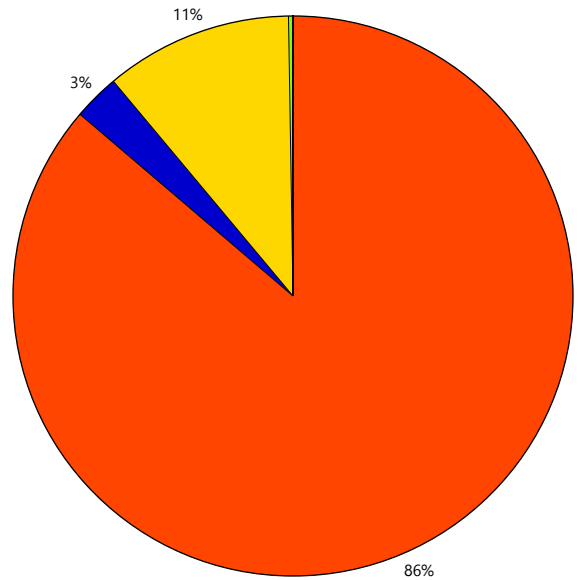
Results per Life Cycle Stage



Legend

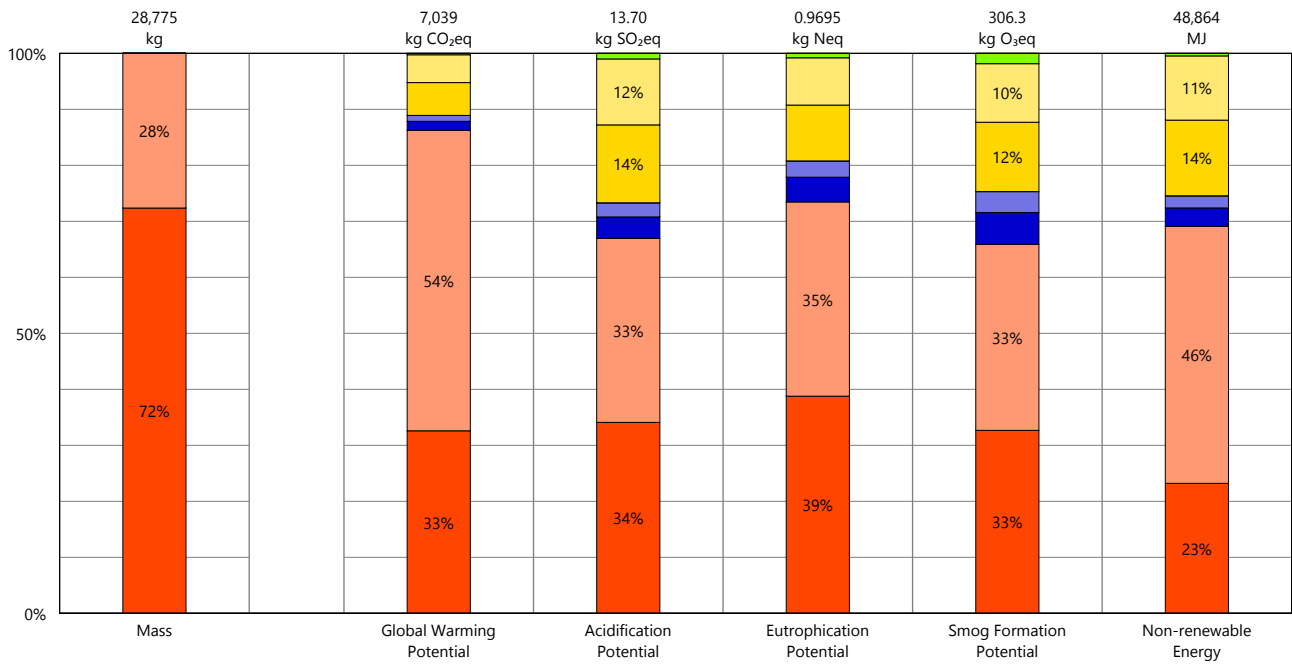
Life Cycle Stages

- Product [A1-A3]
- Transportation [A4]
- Maintenance and Replacement [B2-B5]
- End of Life [C2-C4]
- Module D [D]



Global Warming Potential

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Product [A1-A3]

- 04 - Masonry
- 09 - Finishes

Transportation [A4]

- 04 - Masonry
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]

- 04 - Masonry
- 09 - Finishes

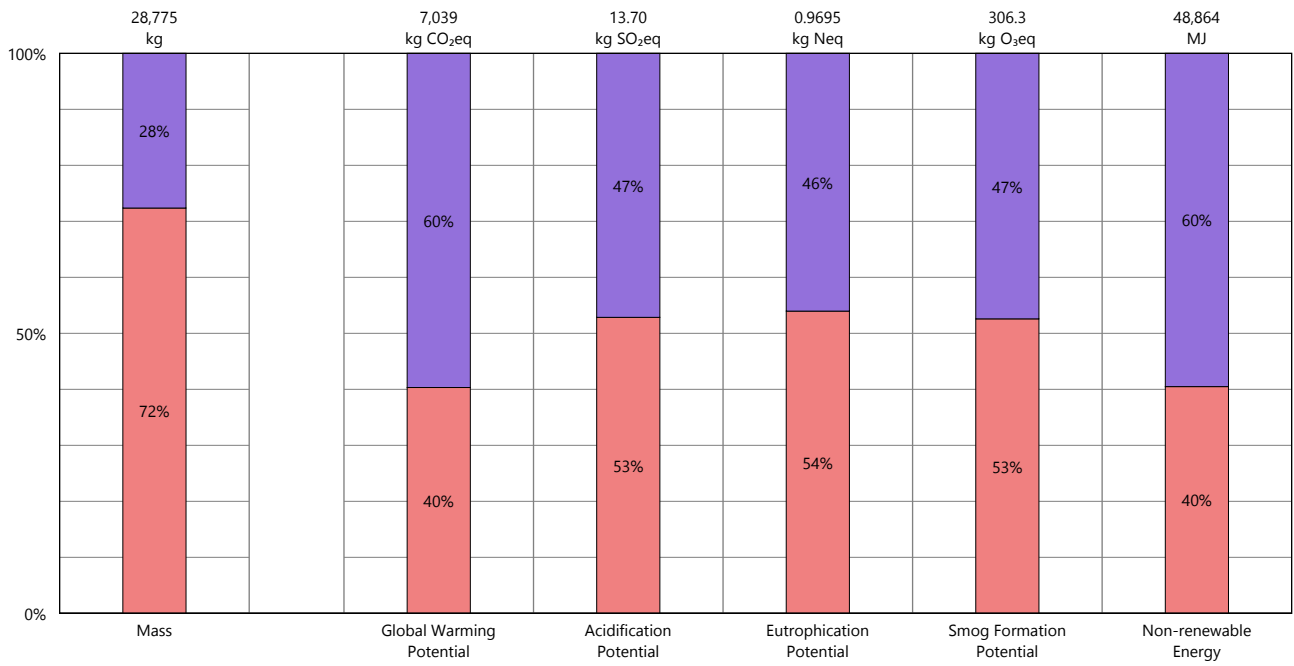
End of Life [C2-C4]

- 04 - Masonry
- 09 - Finishes

Module D [D]

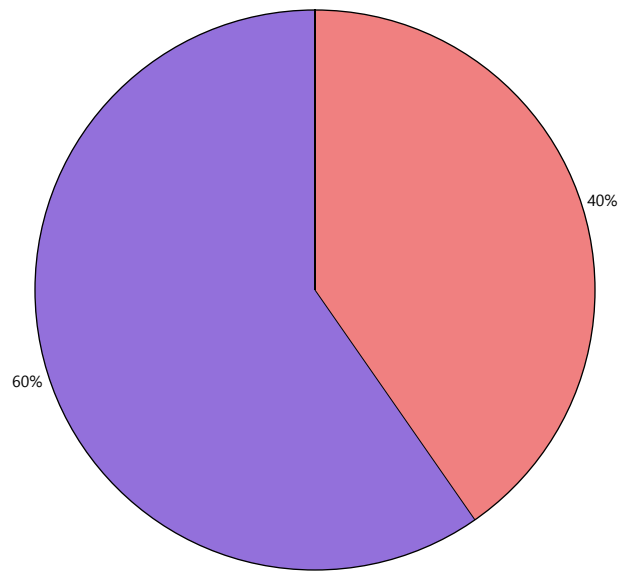
- 04 - Masonry
- 09 - Finishes

Results per Division



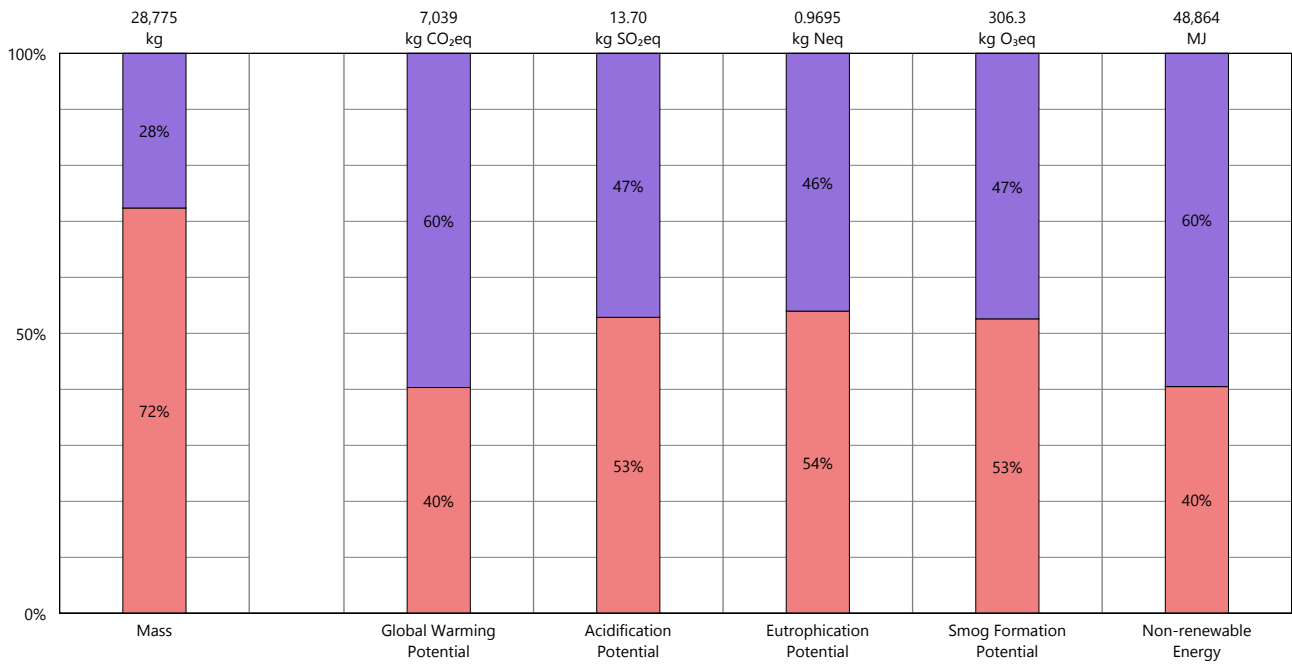
Legend

- Divisions
- 04 - Masonry
 - 09 - Finishes



Global Warming Potential

Results per Division, itemized by Tally Entry



Legend

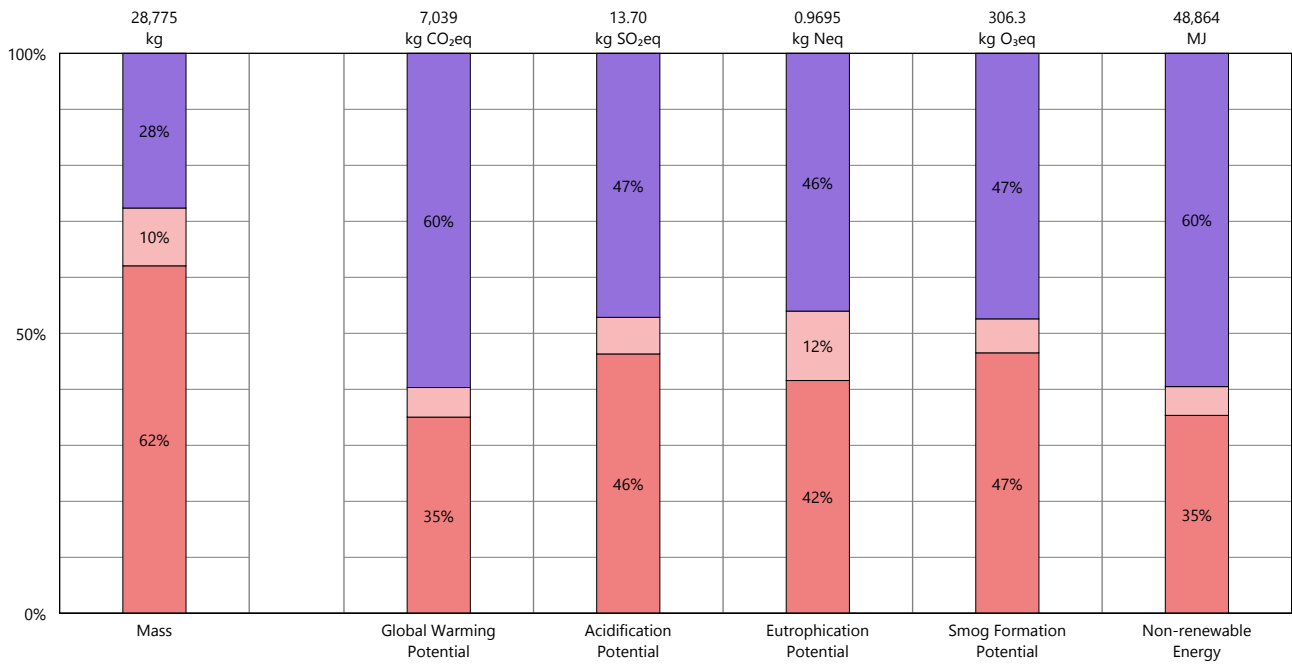
04 - Masonry

■ Hollow-core CMU

09 - Finishes

■ Portland cement stucco

Results per Division, itemized by Material



Legend

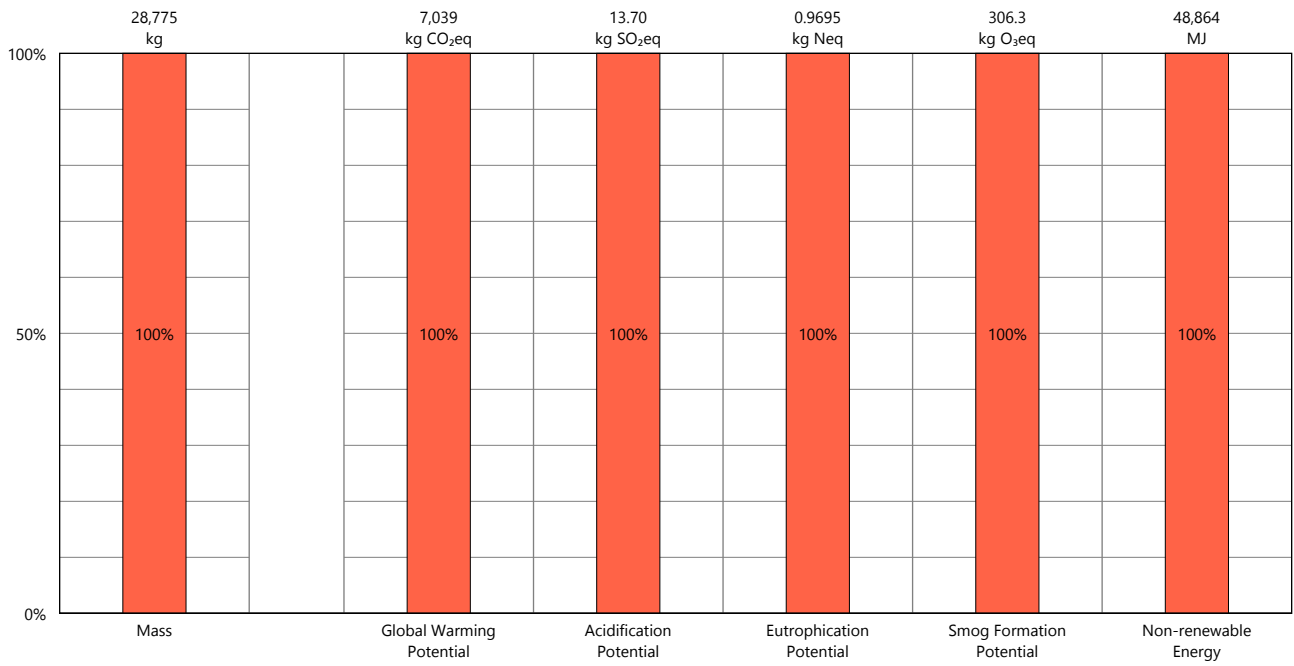
04 - Masonry

- Concrete masonry unit (CMU), hollow-core
- Mortar type N

09 - Finishes

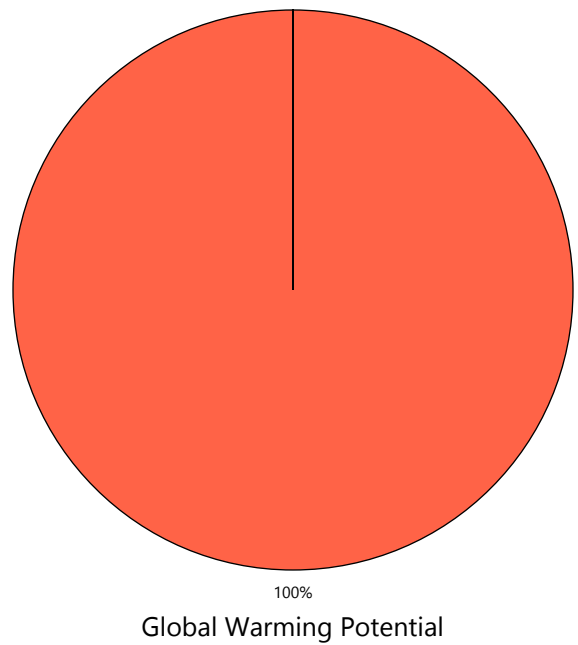
- Stucco, portland cement

Results per Revit Category

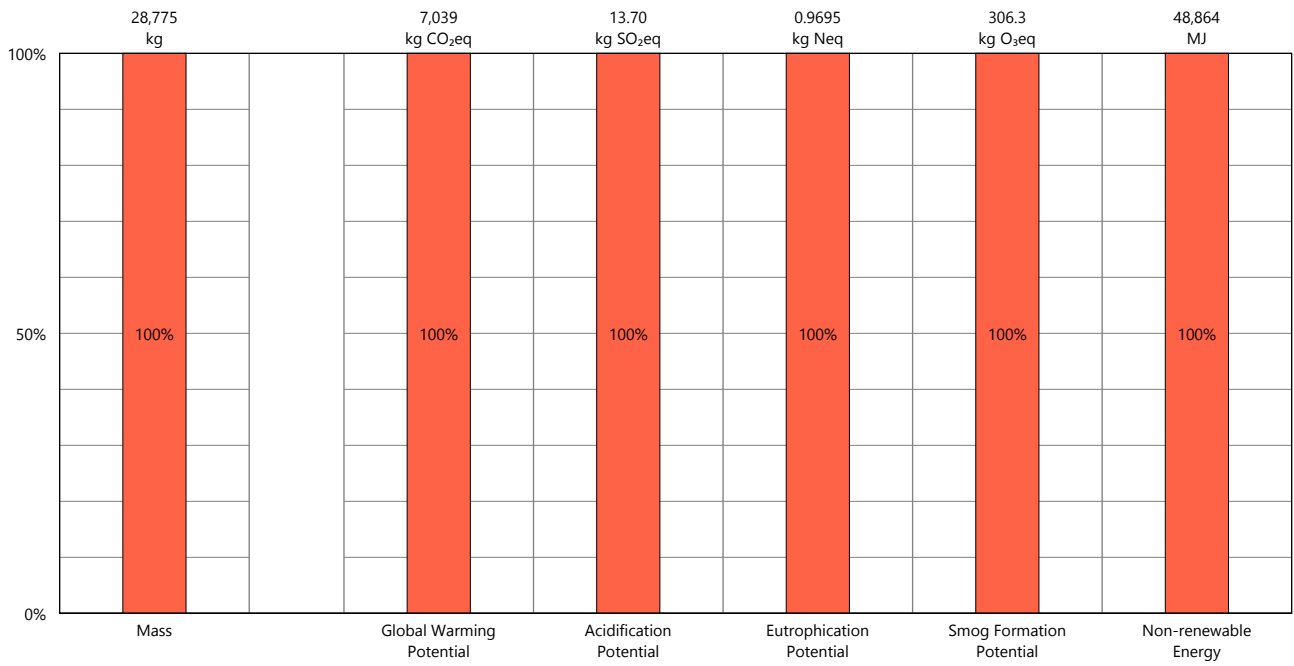


Legend

Revit Categories
Walls



Results per Revit Category, itemized by Family

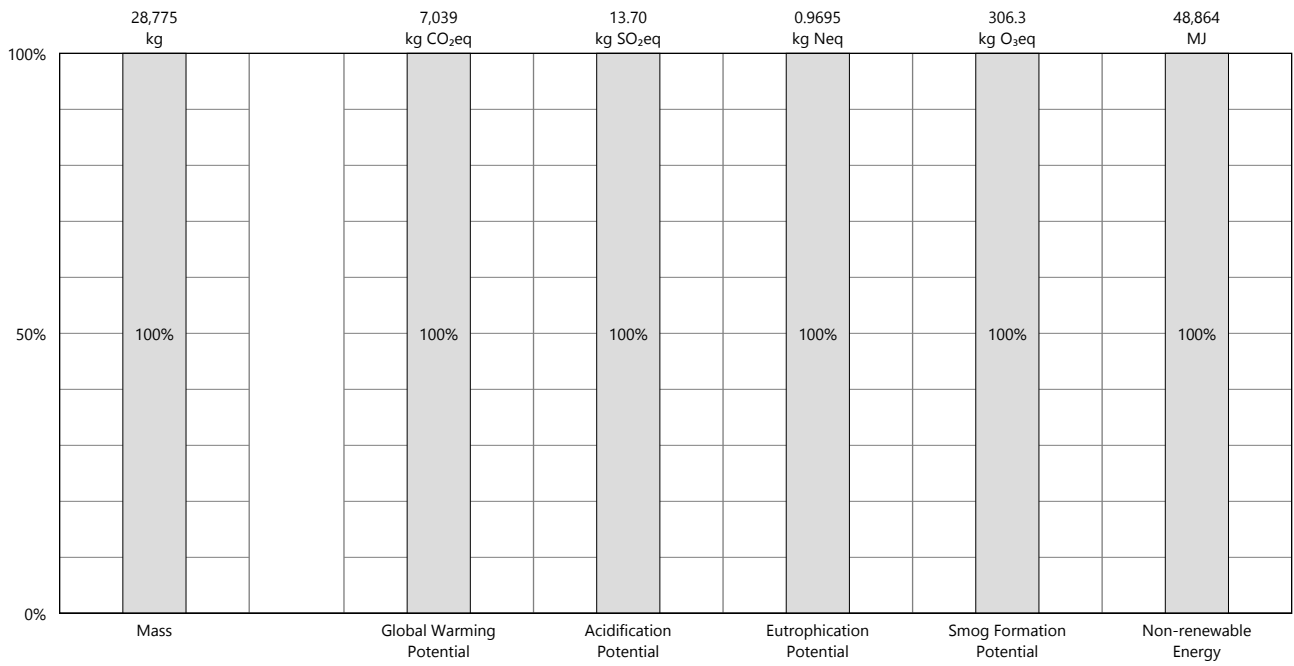


Legend

Walls

█ MASONRY OF CONCRETE BLOCKS

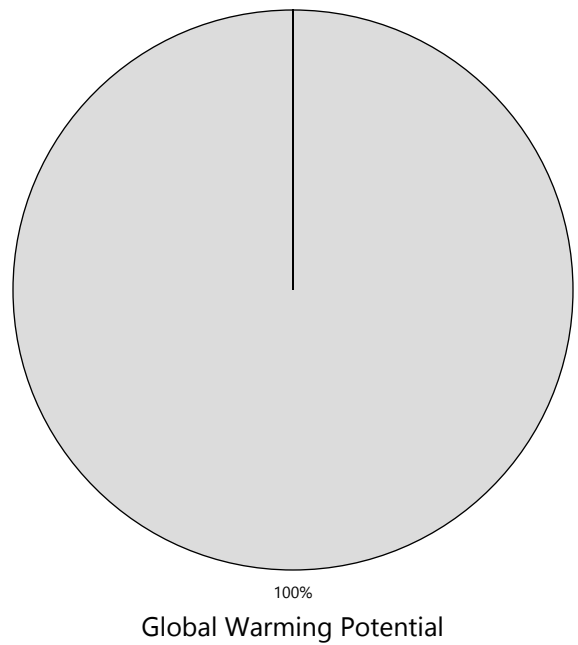
Results per Building Element



Legend

Building Elements

█ Undefined



Calculation Methodology

LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODS

The following provides a description of terms and methods associated with the use of Tally to conduct life cycle assessment for construction works and construction products. Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012, and EN 15978:2011. For more information about LCA, please refer to these standards or visit www.choosetally.com.

Studied objects

The life cycle assessment (LCA) results reported represent an analysis of a single building, multiple buildings, or a comparative analysis of two or more building design options. The assessment may represent the complete architectural, structural, and finish systems of the building(s) or a subset of those systems. This may be used to compare the relative environmental impacts associated with building components or for comparative study with one or more reference buildings. Design options may represent a full or partial building across various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

Functional unit and reference unit

A functional unit is the quantified performance of a product, building, or system that defines the object of the study. The functional unit of a single building should include the building type (e.g. office, factory), relevant technical and functional requirements (e.g. regulatory requirements, energy performance), pattern of use (e.g. occupancy, usable floor area), and the required service life. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems or products that perform a given function. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the modeler.

The reference unit is the full collection of processes and materials required to produce a building or portion thereof and is quantified according to the given goal and scope of the assessment over the full life of the building. If construction impacts are included in the assessment, the reference unit also includes the energy, water, and fuel consumed on the building site during construction. If operational energy is included in the assessment, the reference unit includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building.

Data source

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 8.5 using GaBi 2018 databases and in accordance with [GaBi databases and modeling principles](#).

The data used are intended to represent the US and the year 2017. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Data quality and uncertainty

Uncertainty in results can stem from both the data used and their application. Data quality is judged by: its measured, calculated, or estimated precision; its completeness, such as unreported emissions; its consistency, or degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source; and geographical, temporal, and technological representativeness. The [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in both industrial and scientific applications. These LCI databases have additionally been used both as internal and critically reviewed and published studies. Uncertainty introduced by the use of proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to appropriately apply the predefined material entries to the building under study.

System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle to grave life cycle of the design options studied across all life cycle stages, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end of life. Optionally, the construction impacts and operational energy of the building can be included within the scope. Product stage impacts are excluded for materials and components indicated as existing or salvaged by the modeler. The modeler defines whether the boundary includes or excludes the flow of biogenic carbon, which is the carbon absorbed and generated by biological sources (e.g. trees, algae) rather than from fossil resources.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing. The materials are included up to a 1% cut-off factor by mass except for known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Calculation Methodology

LIFE CYCLE STAGES

The following describes the scope and system boundaries used to define each stage of the life cycle of a building or building product, from raw material acquisition to final disposal. For products listed in Tally as Environmental Product Declarations (EPD), the full life cycle impacts are included, even if the published EPD only includes the Product stage [A1-A3].

Product [EN 15978 A1 - A3]

This encompasses the full manufacturing stage, including raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. The product stage scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle to gate scope. Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials are not included and are considered outside the scope of assessment.

Transportation [EN 15978 A4]

This counts transportation from the manufacturer to the building site during the construction stage and can be modified by the modeler.

Construction Installation [EN 15978 A5] (Optional)

This includes the anticipated or measured energy and water consumed on-site during the construction installation process, as specified by the modeler.

Maintenance and Replacement [EN 15978 B2-B5]

This encompasses the replacement of materials in accordance with their expected service life. This includes the end of life treatment of the existing products as well as the cradle to gate manufacturing and transportation to site of the replacement products. The service life is specified separately for each product. Refurbishment of materials marked as existing or salvaged by the modeler is also included.

Operational Energy [EN 15978 B6] (Optional)

This is based on the anticipated or measured energy and natural gas consumed at the building site over the lifetime of the building, as indicated by the modeler.

End of Life [EN 15978 C2-C4]

This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Stage C2 encompasses the transport from the construction site to end-of-life treatment based on national averages. Stages C3-C4 account for waste processing and disposal, i.e., impacts associated with landfilling or incineration.

Module D [EN 15978 D]

This accounts for reuse potentials that fall beyond the system boundary, such as energy recovery and recycling of materials. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates.

PRODUCT	CONSTRUCTION	USE	END-OF-LIFE	MODULE D
A1. Extraction A2. Transport (to factory) A3. Manufacturing	A4. Transport (to site) A5. Construction Installation	B1. Use B2. Maintenance B3. Repair B4. Replacement B5. Refurbishment B6. Operational energy B7. Operational water	C1. Demolition C2. Transport (to disposal) C3. Waste processing C4. Disposal	D. Benefits and loads beyond the system boundary from: 1. Reuse 2. Recycling 3. Energy recovery

Life-Cycle Stages as defined by EN 15978. Processes included in Tally modeling scope are shown in bold. Italics indicate optional processes.

Calculation Methodology

ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORIES

A characterization scheme translates all emissions and fuel use associated with the reference flow into quantities of categorized environmental impact. As the degree that the emissions will result in environmental harm depends on regional ecosystem conditions and the location in which they occur, the results are reported as impact potential. Potential impacts are reported in kilograms of equivalent relative contribution (eq) of an emission commonly associated with that form of environmental impact (e.g. kg CO₂eq).

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme, the environmental impact model developed by the US EPA to quantify environmental impact risk associated with emissions to the environment in the United States. TRACI is the standard environmental impact reporting format for LCA in North America. Impacts associated with land use change and fresh water depletion are not included in TRACI 2.1. For more information on TRACI 2.1, reference Bare 2010, EPA 2012, and Guinée 2001. For further description of measurement of environmental impacts in LCA, see Simonen 2014.

Acidification Potential (AP) kg SO₂eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H⁺) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

Eutrophication Potential (EP) kg Neq

A measure of the impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems, increased biomass production may lead to depressed oxygen levels caused by the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

Global Warming Potential (GWP) kg CO₂eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may, in turn, have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

Ozone Depletion Potential (ODP) kg CFC-11eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants. As these impacts tend to be very small, ODP impacts can be difficult to calculate and are prone to a larger margin of error than the other impact categories.

Smog Formation Potential (SFP) kg O₃eq

A measure of ground level ozone, caused by various chemical reactions between nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues, including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage.

Primary Energy Demand (PED) MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED tracks energy resource use, not the environmental impacts associated with the resource use. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources and from renewable resources. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Non-Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) contributing to the PED. Non-renewable resources are those that cannot be regenerated within a human time scale. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar power, etc.) contributing to the PED. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

LCI Data

END-OF-LIFE [C2-C4]

A Life Cycle Inventory(LCI) is a compilation and quantification of inputs and outputs for the reference unit.The following LCI provides a summary of all energy, construction, transportation, and material inputs present in the study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur, along with any notes and system boundaries accompanying their database entries.Each entry lists the detailed scope for the LCI data sources used from the GaBi LCI database and identifies the LCI data source.

For LCI data sourced from an Environmental Product Declaration (EPD), the product manufacturer, EPD identification number, and Program Operator are listed. Where the LCI source does not provide data for all life cycle stages, default North American average values are used. This is of particular importance for European EPD sources, as EPD data are generally only provided for the product stage, and North American average values are used for the remaining life cycle stages.

Where specific quantities are associated with a data entry, such as user inputs, energy values, or material mass, the quantity is listed on the same line as the title of the entry.

TRANSPORTATION [A4]

Default transportation values are based on the three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation is not available.

Transportation by Barge

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by barge.

LCI Source:

GLO: Average ship, 1500t payload capacity/ canal ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Container Ship

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by container ship.

LCI Source:

GLO: Container ship, 27500 dwt payload capacity, ocean going ts (2017)
US: Heavy fuel oil at refinery (0.3wt.% S) ts (2014)

Transportation by Rail

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by cargo rail.

LCI Source:

GLO: Rail transport cargo - Diesel, average train, gross tonne weight 1000t / 726t payload capacity ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Truck

Scope:

The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by diesel truck.

LCI Source:

US: Truck - Trailer, basic enclosed / 45,000 lb payload - 8b ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

LCI Data (continued)

END-OF-LIFE [C2-C4]

Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry based on the US construction and demolition waste treatment methods and rates in the 2016 WARM Model by the US Environmental Protection Agency except where otherwise specified. Heterogeneous assemblies are modeled using the appropriate methodologies for the component materials.

End-of-Life Landfill

Scope:

Materials for which no recycling or incineration rates are known, no recycling occurs within the US at a commercial scale, or which are unable to be recycled are landfilled. This includes glass, drywall, insulation, and plastics. The solids contents of coatings, sealants, and paints are assumed to go to landfill, while the solvents or water evaporate during installation. Where the landfill contains biodegradable material, the energy recovered from landfill gas utilization is reflected as a credit in Module D.

LCI Source:

US: Glass/inert on landfill ts (2017)
 US: Biodegradable waste on landfill, post-consumer ts (2017)
 US: Plastic waste on landfill, post-consumer ts (2017)

Concrete End-of-Life

Scope:

Concrete (or other masonry products) are recycled into aggregate or general fill material or they are landfilled. It is assumed that 55% of the concrete is recycled. Module D accounts for both the credit associated with off-setting the production aggregate and the burden of the grinding energy required for processing.

LCI Source:

US: Diesel mix at refinery ts (2014)
 GLO: Fork lifter (diesel consumption) ts (2016)
 EU - 28 Gravel 2/32 ts (2017)
 US: Glass/inert on landfill ts (2017)

Metals End-of-Life

Scope:

Metal products are modeled using the avoided burden approach. The recycling rate at end of life is used to determine how much secondary metal can be recovered after having subtracted any scrap input into manufacturing (net scrap). Net scrap results in an environmental credit in Module D for the corresponding share of the primary burden that can be allocated to the subsequent product system using secondary material as an input. If the value in Module D reflects an environmental burden, then the original product (A1-A3) contains more secondary material than is recovered.

LCI Source:

Aluminum - RNA: Primary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
 Aluminum - RNA: Secondary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
 Brass - GLO: Zinc mix ts (2012)
 Brass - GLO: Copper (99.99% cathode) ICA (2013)
 Brass - EU-28: Brass (CuZn20) ts (2017)
 Copper - DE: Recycling potential copper sheet ts (2016)
 Steel - GLO: Value of scrap worldsteel (2014)
 Zinc - GLO: Special high grade zinc IZA (2012)

Wood End-of-Life

Scope:

End of Life waste treatment methods and rates for wood are based on the 2014 Municipal Solid Waste and Construction Demolition Wood Waste Generation and Recovery in the United States report by Dovetail Partners, Inc. It is assumed that 65.5% of wood is sent to landfill, 17.5% to incineration, and 17.5% to recovery.

LCI Source:

US: Untreated wood in waste incineration plant ts (2017)
 US: Wood product (OSB, particle board) waste in waste incineration plant ts (2017)
 US: Wood products (OSB, particle board) on landfill, post-consumer ts (2017)
 US: Untreated wood on landfill, post-consumer ts (2017)
 RNA: Softwood lumber CORRIM (2011)

LCI Data

MODEL ELEMENTS

Revit Categories

Walls

HIS-CONCRETE BLOCKS MASONRY AND CLAY TILES ROOFING

Worksets

Workset1

Phases

Cobertura

Complementações

Infra-Estrutura

Instalações

Paredes e Paineis

Pavimentação

Revestimento

Serv. preliminares gerais

PRODUCT [A1-A3]

Materials and components are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur. The masses given here refer to the quantity of each material used over the building's life-cycle, which includes both Product [A1-A3] and Use [B2-B5] stages.

Additional provided data describing scope boundaries for each life cycle stage may be useful for interpretation of the impacts associated with the specific material or component. Each material or component is listed with its service life, or period of time after installation it is expected to meet the service requirements prior to replacement or repair. This value is indicated in parentheses next to the mass of the material associated with the listed Revit family. Values for transportation distance or service life shown with an asterisk (*) indicate user-defined changes to default values. Values for service life shown with a dagger (†) indicate materials identified by the modeler as existing or salvaged.

Concrete masonry unit (CMU), hollow-core 17,856.6 kg

Used in the following Revit families:

MASONRY OF CONCRETE BLOCKS

17,856.6 kg (60 yrs*)

Used in the following Tally entries:

Hollow-core CMU

Description:

Hollow-Core Concrete Masonry Unit (CMU), excludes grout and mortar

Life Cycle Inventory:

100% Concrete masonry units

Product Scope:

Cradle to gate, excludes mortar

Anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

55% Recycled into coarse aggregate

45% Landfilled (inert material)

Module D Scope:

Avoided burden credit for coarse aggregate, includes grinding energy

LCI Source:

DE: Concrete bricks (EN15804 A1-A3) ts (2017)

Mortar type N 2,969.4 kg

Used in the following Revit families:

MASONRY OF CONCRETE BLOCKS

2,969.4 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:

Hollow-core CMU

Description:

Mortar Type N (moderate strength mortar) for use in masonry walls and flooring.

Life Cycle Inventory:

Dried mixture: 83% Sand

11% cement

6% limestone (11% water evaporates on drying)

Product Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 100 km*

End-of-Life Scope:

55% Recycled into coarse aggregate

45% Landfilled (inert material)

Module D Scope:

Avoided burden credit for coarse aggregate, includes grinding energy

Full building summary

LCI Data (continued)

LCI Source:

DE: Masonry mortar (MG II a) ts (2017)

Stucco, portland cement**7,949.4 kg**

Used in the following Revit families:

MASONRY OF CONCRETE BLOCKS

7,949.4 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:

Portland cement stucco

Description:

Portland cement plastering (stucco), 7/8" (22.25 mm) nominal thickness is typical

Life Cycle Inventory:

100% Light plaster (Silica sand, Portland cement, Calcinated lime)

Product Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 172 km

End-of-Life Scope:

100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:

US: Silica sand (Excavation and processing) ts (2017)

US: Portland cement PCA/ts (2015)

US: Lime (CaO) calcination ts (2017)



Life Cycle Assessment

HIS

Date : 15 December 2020

Authors :

Peer Reviewer :

Version : 0



eToolLCD Software Disclaimer

The LCA predictions of embodied and operational impacts (including costs) conducted in eToolLCD software, by their very nature, cannot be exact. It is not possible to track all the impacts associated with a product or service back through history, let alone do this accurately. eToolLCD software has been built and tested to enable informed decisions when comparing design options. Generic cost and environmental impact coefficients do not necessarily correspond to those of individual brands of the same product or service due to differences within industries in the way these products and services are delivered.

eTool PTY LTD cannot make assurances regarding the accuracy of these reports for the above reasons.

© 2020 eTool PTY LTD All rights reserved

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Executive Summary

This Life Cycle Assessment has been completed for the Steel Frame, HIS located at . The Author of the study is of and the critical review has been conducted by of .

The goal of this study is to profile and improve the environmental performance of the construction works at . The study has been conducted in accordance with ISO 14044 and EN15978.

The following table summarises environmental impact results.

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction	Use Stage	End of Life Stage	Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
		A	B	C	D	
Environmental Impacts						
Global Warming Potential, GWP	kg CO2 eq	13900	0	374.75	-5.87	14300
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	0.001	0	7.28e-5	-5.69e-7	1.18e-3
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO2 eq.	52.3	0	0.81	-0.0277	54
Eutrophication potential, EP	kg PO4-- eq	15.7	0	0.4561	-0.0111	16.1
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	3.0166	0	0.1	-1.96e-3	3.12
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	0.0204	0	-0.0386	1.18e-4	-0.0182
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	1.35e+5	0	7213.5	-81	1.42e+5
Resource Use						
<input type="checkbox"/> Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	2400	0	13.37	-3.44	20500
<input type="checkbox"/> Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	1.55e+5	0	7493.3	-96.9	1.63e+5
Additional Indicators						
Land Use	m ² year arable	0.27	0	5.13e-3	-1.95e-5	0.222
Ecotoxicity	CTUe	7.15e-7	0	1.89e-8	-1.16e-9	9.33e-7
Freshwater Ecotoxicity	CTUe	3.11e+7	0	4.18e+5	-45922	3.14e+7
Ionizing Radiation	kBq U235 eq	67	0	10.042	-0.648	685

Table 1: Summary of Results

The majority of impacts were found to be caused during the Materials and Construction (Module A) which had the highest impacts in 13 of the 29 environmental indicators.



Scenario Design Performance

(Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit))



14300 kg CO2 eq

Global Warming Potential, GWP



1.08e-3 kg CFC-11 eq

Ozone Depletion Potential, ODP



54 kg SO2 eq.

Acidification Potential for Soil and Water, AP



16.1 kg PO4-- eq

Eutrophication potential, EP



3.12 kg ethylene

Photochemical Ozone Creation Potential, POCP



-0.0182 kg antimony

Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE



1.42e+5 MJ

Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF



0.222 m2.year arable

Land Use



9.33e-7 uCTUe

Ecotoxicity



3.74e+7 CTUe

Freshwater Ecotoxicity



685 kBq U235 eq

Ionizing Radiation

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



Table of Contents

1 Introduction	6
2 Goal of the study	6
3 Scope of the study	6
4 Inventory Analysis	11
5 Life Cycle Impact Assessment	14
6 Life Cycle Interpretation	18
7 Low Impact Strategies	32
7 Conclusions	33
9 References	34
Appendix A: Environmental Indicators Description	35
Appendix B: Detailed Structure Scope Diagram	37

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



1 Introduction

Managing the environmental impacts that arise from the construction and operation of Building is of key importance in mitigating the damage caused directly and indirectly on the biosphere. Life Cycle Assessment (LCA) is the leading industry standard in clearly identifying optimum strategies for reducing environmental impacts. This report presents the results of the LCA completed for the Scenario Design, HIS Project located at . eToolLCD software has been used to model the infrastructure's environmental impacts.

The study has been conducted in accordance with the following standards:

- International Standards 14040 and 14044.
- European Standard EN 15978: *Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method*

The Author of the study is Matheus Llave (Lead) of and the critical review has been conducted by of .

2 Goal of the study

The goal of this study is to provide profile and improve the environmental performance of the construction works at . No comparisons to other design options are being made and as such this study is not a comparative study. The results of the study are intended to be made public.

3 Scope of the study

The LCA study has been conducted in accordance with the EN 15978 standard to assess the direct and indirect potential environmental impacts associated with the construction works at as part of the HIS project.

3.1 Functional Unit

The function of the Building must reflect the core purpose of the asset such that it can be compared accurately to different designs. In this case the functional focus is the Residência unifamiliar and the chosen functional unit is the provision of this function over its life span.

The estimated design life of the design is 50 years which has been adopted for the LCA study period. This takes into consideration the structural service life limit (50 years), as well as redevelopment pressure on the asset such as surrounding density, asset ownership structures, and the architectural design quality.

Note that products with expected service lives of less than the life span of the project are assumed to be replaced at increments reflecting their service life.

3.2 System Boundary

The system boundary, shown in Figure 1, follows guidance given in EN15978.

NOT FOR COMMERCIAL USE;
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



System Boundary

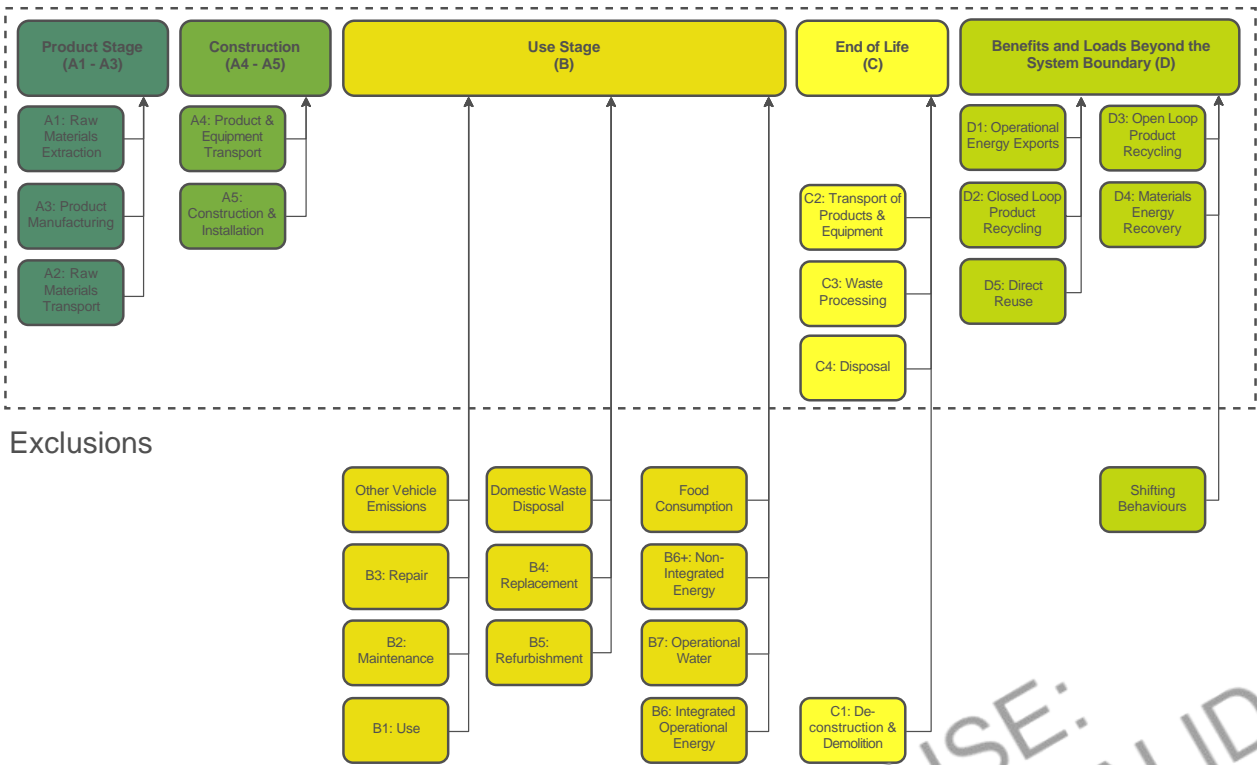


Figure 1: System Boundary Diagram

3.3 Environmental Indicators

The environmental indicators have been included in the study are detailed in Table 2. For further information regarding the environmental indicators please refer to Appendix A.

Environmental Indicator	Unit	Abbreviation	Characterisation Method
Environmental Impacts			
Global Warming Potential, GWP	kg CO2 eq	GWP	CML-IA baseline V4.5
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	ODP	CML-IA baseline V4.5
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO2 eq	AP	CML-IA baseline V4.5
Eutrophication potential, EP	kg PO4 ³⁻ eq	EP	CML-IA baseline V4.5
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	POCP	Institute of Environmental Sciences (CML)
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	ADPE	CML-IA baseline V4.5
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	ADPF	CML-IA baseline V4.5
Resource Use			
Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	PERT	Undefined
Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	PENRT	Undefined
Additional Indicators			
Land Use	m2.year arable	Land	Australian indicator set v6
Ecotoxicity	uCTUe	ETx	ALCAS Australian Indicator Set V6
Freshwater Ecotoxicity	CTUe	ETx H2O	ALCAS Australian Indicator Set V6
Ionizing Radiation	kBq U235 eq	IR	ALCAS Australian Indicator Set V6



Table 2: Environmental Indicators Included in LCA study.

3.4 System Description

The object of the assessment is the structure itself. The assessment includes all the upstream and downstream processes needed to provide the primary function of the structure from construction, maintenance, operation, and finally demolition and disposal. The inventory includes the extraction of raw materials or energy and the release of substances back to the environment or to the point where inventory items exit the system boundary either during or at the end of the project life cycle.

The project location is shown in figures 2 and 3.



Figure 2: Location of the project - Global View.

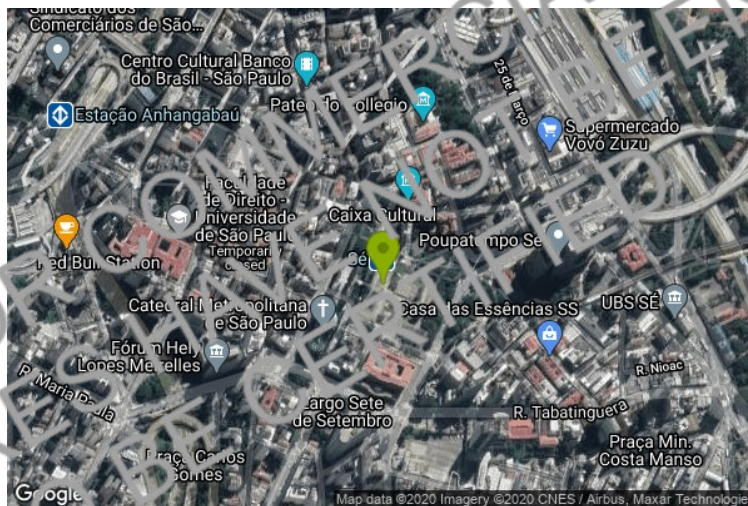


Figure 3: Location of the project - Locality View.

Table 3 below shows the key characteristics of the design.

Scenario Design	
Design Name	Steel Frame
Stories (#)	1
Primary Function	Residência unifamiliar
Structural Service Life Limit	50



Scenario Design	
Predicted Design Life	50
Functional Characteristics	
Dwellings	1
Bedrooms	1
Occupants	1
Total Floor Areas	
Usable Floor Area	1
Net Lettable Area	0
Fully Enclosed Covered Area	1
Unenclosed Covered Area	0
Gross Floor Area	1
Usable and Lettable Yield	100 %

Table 3: Design Characteristics Compared

Table 4 and 5 show the scope (structural and operational) of the inventory collection for the LCA. For further details on structure scope please refer to Appendix B.

Summary Structure Scope Diagram

Key: ✓ In Scope ✓ Partial ✗ Out of Scope

Category Name	Scenario Design
Substructure	✗
Superstructure	✗
Internal finishes	✗
Fittings, furnishings and equipment	✗
Services equipment	✗
Prefabricated buildings and building units	✗
Work to existing building	✗
External works	✗
Facilitating works	✗
Project/design team	✗
Undefined	✓

Table 4: Structural scope of LCI collection

Operational Scope diagram

Key: ✓ In Scope ✗ Out of Scope

Category Name	Scenario Design
Appliances Dishwashers	✗
Appliances Entertainment	✗
Appliances Laundry Appliances	✗
Appliances Office Workstations	✗
Communication	✓
Cooking and Food Preparation	✗
Domestic Water Heating	✗
Electrical Parasitic Loads	✗
Fire Protection	✗
HVAC	✗
Industrial & Manufacturing Equipment	✗
Lifts, Elevators and Conveyors	✗
Lighting	✓
Miscellaneous	✗
Monitoring, Control and Automation	✗
Power Generation and Storage	✓
Refrigeration	✗
Safety and Security	✗
Swimming Pools	✗
Water Pumping	✗
Water Removal and Treatment	✓



Category Name	Scenario Design
Water Supply	✓
Workshops, Garage & Misc	✗

Table 5: Operational scope of LCI collection

3.5 Cut off Criteria

The EN15978 cut-off criteria were used to ensure that all relevant potential environmental impacts were appropriately represented:

- Mass – if a flow is less than 1% of the mass at either a product-level or individual-process level, then it has been excluded, provided its environmental relevance is not of concern.
- Energy – if a flow is less than 1% of the energy at either a product-level or individual-process level, then it has been excluded, provided its environmental relevance is not a concern.
- The total of neglected input flows per module, e.g. per module A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 and module D shall be a maximum of 5% of energy usage and mass.
- Environmental relevance – if a flow meets the above criteria for exclusion, but is considered to potentially have a significant environmental impact, it has been included. All material flows which leave the system (emissions) and whose environmental impact is higher than 1% of an impact category, have been included.

The Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies (Wittstock et al. 2012) states:

The apparent paradox is that one must know the final result of the LCA (so one can show that the omission of a certain process is insignificant for the overall results) to be able to know which processes, elementary flows etc. can be left out.

The approach taken in this study is to continue modelling smaller inputs until confidence is gained that the criteria is safely met.

3.6 Allocation

Allocation rules follow those of EN15804 as given below:

- Allocation will respect the main purpose of the studied processes. If the main purpose of combined processes cannot be defined (e.g. combined mining and extraction of nickel and precious metals), economic allocation may be used to divide resources and emissions between the products.
- The principle of modularity is maintained. Where processes influence the product's environmental performance during its life cycle, they will be assigned to the module where they occur.
- The sum of the allocated inputs and outputs of a unit process are equal to the inputs and outputs of the unit process before allocation. This means no double counting of inputs or outputs is permissible.

3.7 Independent Review

The critical review has been undertaken in accordance with ISO14044.

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



4 Inventory Analysis

The design has been modelled using the available eToolLCD elements, templates and EPDs as shown in Table 6.

eToolLCD Item Type	Count in Design	
	Scenario Design	
Design Templates	9	
Equipment and People Elements	3	
Material Elements	8	
Energy Elements	0	
Water Elements	0	
EPDs	0	

Table 6: Count of elements, templates and EPDs in the design

The eToolLCD library templates are customisable and users may submit templates for validation. The template validation process is undertaken by experienced LCA practitioners and is a process of checking the user inputs and ensuring the assumptions are adequately referenced. Table 7 shows the extend to which validated templates were used in the model.

eToolLCD Item Type	Validated (%)	
	Scenario Design	
Total Design Templates	44.44	
Equipment and People Elements	33.33	
Material Elements	25	
Energy Elements	NaN	
Water Elements	NaN	

Table 7: Use of validated templates

4.1 Templates Comparison

The eToolLCD templates found in each design are provided in Table 8.

Parent Template Name	Units	Quantity
		Scenario Design
Superstructure		
STEEL FRAMING WALLS SYSTEM WITH INTERNAL GYPSUM BOARD AND EXTERNAL CEMENT FIBER BOARD (WOOD FILLED) (Wall, External, Framed, steel frame filled cement weatherboard clad insulated with foundations and finishes)	m ²	135.7528

Table 8: Templates Comparison (showing master templates only)

4.2 eToolLCD software

eToolLCD software was used to model life cycle impacts of the project. eToolLCD uses third party background processes aggregated as mid-point indicators and stored in a number of libraries within the software which are coupled with algorithms and user inputs to output the environmental impact assessment. A map of user inputs, data sources and algorithms (outputs) is given in Figure 4.



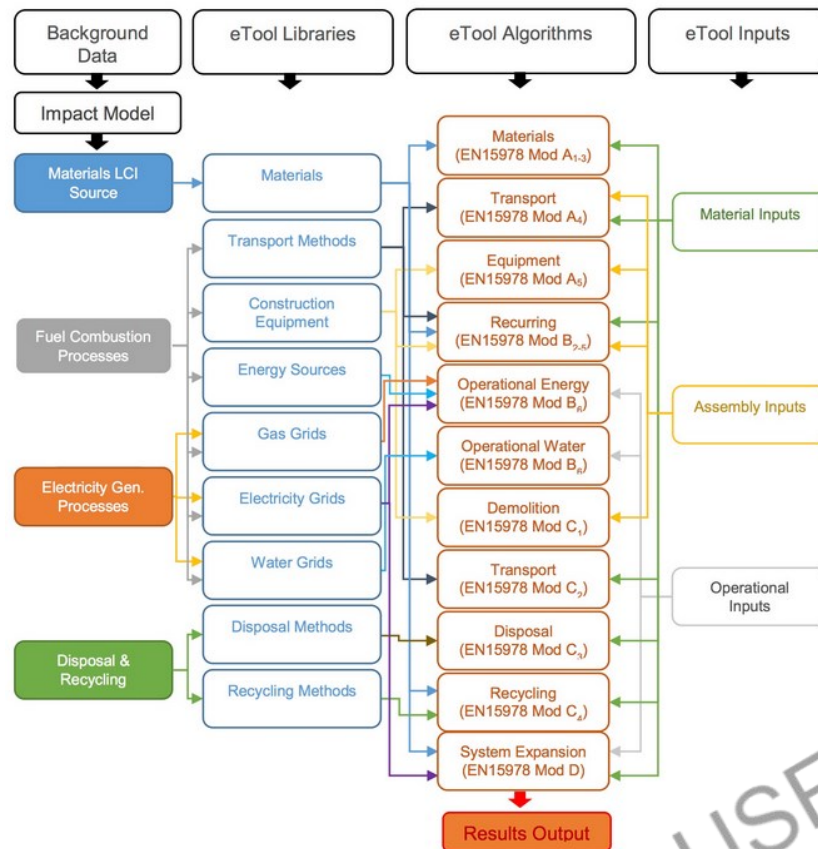


Figure 4: Relationship between LCI background data, eToolLCD software library, inputs and algorithms.

4.3 Data Quality

The data quality requirements for the background data are detailed in Table 9. Each of the criteria has been assessed for compliance and results presented below.

Criteria	Background Data Requirement	Compliance Scenario Design
Temporal Relevancy	For annually fluctuating processes like Grid electricity fuel mixes the datasets must have been updated within the last 2 years. More static processes like materials production must have been updated within the last 10 years. Product specific EPDs must have been updated in the last 5 years.	Failed Grid Passed Materials
Geographical Relevancy	The background data should be specifically compiled for the same country (preferable) or continent as the project location.	Failed
Precision	No requirement specified however a qualitative review undertaken to ensure no erroneous values.	Passed
Completeness	Qualitative assessment of the process to ensure no obvious exclusions	Passed
Technological Relevancy	Ensure that technology assumptions are representative for the product or product group.	Passed
Consistency	The study methodology holds for the background data.	Passed
Reproducibility	The information available about the methodology and the data values reported should allow an independent practitioner to reproduce the results reported in the study.	Passed

Table 9: Summary of data quality requirements for the study.

Criteria	Inventory Collection Requirement (eToolLCD User Inputs)	Compliance Scenario Design
Temporal Relevancy	All inputs into eToolLCD to be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are to be based on industry practices that are consistent with the project commissioning date.	Passed 0/5 Checks



Criteria	Inventory Collection Requirement (eToolLCD User Inputs)	Compliance
		Scenario Design
Geographical Relevancy	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are based on the current practices employed in the project country.	Passed 0/5 Checks
Precision	To avoid aggregated errors a high level of precision is expected inputs into eToolLCD software, being either to 3 significant figures or: <ul style="list-style-type: none"> • Two significant figures or nearest 10 hours for equipment run time • Two significant figures or nearest 10kg for material quantities • Two significant figures or nearest 100MJ / annum for operational energy • Two significant figures or nearest 100kL / annum for operational water use 	Passed 0/3 Checks
Completeness	Inputs to cover all life cycle phases and elements identified in the system boundary. The link between background data, eToolLCD algorithms and subsequent LCA results is not to introduce significant gaps in the data.	Passed 0/9 Checks
Technological Relevancy	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these must be drawn from appropriate examples of like technology.	Passed 0/5 Checks
Consistency	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are drawn from the same reference library.	Passed 0/9 Checks
Reproducibility	The information available about the methodology and the data values reported should allow an independent practitioner to reproduce the results reported in the study.	Passed 0/10 Checks

Table 10: Summary of data quality requirements for the study.

4.4 Completeness

The study aims to follow EN15804 procedures for exclusion of inputs and outputs:

- All inputs and outputs to a (unit) process shall be included in the calculation, for which data are available.
- Data gaps may be filled by conservative assumptions with average or generic data. Any assumptions for such choices shall be documented.
- In case of insufficient input data or data gaps for a unit process, the cut-off criteria shall be 1 % renewable and non-renewable primary energy usage and 1 % of the total mass input of that unit process.
- The total of neglected input flows per module, e.g. per module shall be a maximum of 5 % of energy usage and mass.
- Conservative assumptions in combination with plausibility considerations and expert judgement can be used to demonstrate compliance with these criteria.
- Particular care should be taken to include material and energy flows known to have the potential to cause significant emissions into air and water or soil related to the environmental indicators.

Two major tests were run to determine the compliance with the above cut-off rules.

4.3.1 Inventory Mass Quantities

The cumulative mass of inventory entries is shown in Figure 5. Given that 6 material elements within the LCA base design make up the last 1% of mass inventory entries a high level of confidence exists that the cut off rules have been upheld.

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED





Figure 5: Cumulative Mass Inventory Entries. In this case 85.71% make up the last 5% of mass inventory entries.

4.3.2 Inventory Energy Analysis

The cumulative embodied energy of inventory entries is shown in Figure 6. Given that 7 elements within the LCA base design make up the last 1% of embodied energy inventory entries a high level of confidence exists that the cut off rules have been upheld.

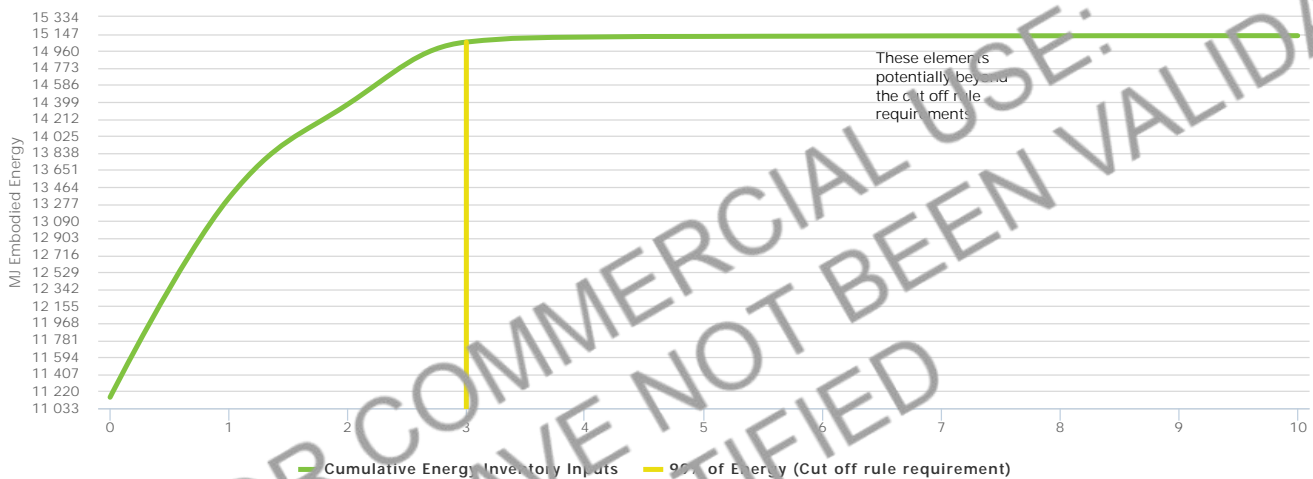


Figure 6: Cumulative Energy Inventory Entries. In this case 63.64% make up the last 5% of energy inventory entries.

5 Life Cycle Impact Assessment

The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results are provided in Table 11 in the EN15978 reporting format. The heat map highlights the highest impacts for each indicators assessed. For further details on the LCIA please refer to interpretation.



5.1 Scenario Design Environmental Impacts Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction			Use Stage							End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total		
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4		D	
Scenario Design																			
	GWP	kg CO2 eq	1.25e+4	1.31e+3	81.69	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	280.13	0	94.62	-5.87	1.43e+4
	ODP	kg CFC-11 eq	7.74e-4	2.17e-4	1.10e-5	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	4.97e-5	0	2.31e-5	-5.69e-7	1.08e-3
	AP	kg SO2 eq.	4.62e+1	5.6736	0.4031	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	1.0475	0	0.7625	-0.0277	5.40e+1
	EP	kg PO4--- eq	1.37e+1	1.8914	0.0916	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	0.2693	0	0.1668	-0.0111	1.61e+1
	POCP	kg ethylene	2.61e+0	3.30e-1	7.74e-2	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	6.71e-2	0	3.33e-2	-1.96e-3	3.12e+0
	ADPE	kg antimony	1.11e-1	-8.45e-2	-5.77e-3	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	-3.83e-2	0	-2.90e-4	-1.18e-4	-1.82e-2
	ADPF	MJ	1.14e+5	1.99e+4	1280.3	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	4436.1	0	2779.4	-81	1.42e+5

Table 11: Environmental Impacts Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



5.2 Scenario Design Resource Use Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction			Use Stage							End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total		
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4		D	
Scenario Design																			
FW	kg	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERE	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERM	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERT	MJ	1.98e+4	621.18	21.37	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	67.22	0	61.15		-3.44	2.05e+4
PENRE	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PENRM	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PENRT	MJ	1.32e+5	2.18e+4	1323.8	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	4617.2	0	2876.1		-96.9	1.63e+5
SM	KG	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
RSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
NRSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0

Table 12: Resource Use Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



5.3 Scenario Design Additional Indicators Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)	Materials and Construction			Use Stage								End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total	
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4	D		
Scenario Design																		
Land	m2.year arable	2.05e-1	1.10e-2	8.14e-4	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	2.00e-3	0	3.13e-3	-1.95e-5	2.22e-1
ETx	uCTUe	8.64e-7	4.74e-8	4.39e-9	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	7.85e-9	0	1.1e-8	-1.16e-9	9.33e-7
ETx H2O	CTUe	2.75e+7	3.46e+6	88573	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	3.26e+5	0	92087	-45922	31443533
IR	kBq U235 eq	6.02e+2	71.842	1.584	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	6.997	0	3.045	-0.648	6.85e+2

Table 13: Additional Indicators Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6 Life Cycle Interpretation

The following sections provide more detailed results of the life cycle impact assessment for each environmental indicator with the aim of identifying the largest areas of impact. A one page profile for each indicator is provided on the subsequent pages giving detailed information about the indicator. Each chart provided is explained below.

Impact Time Series Chart:

A chart displaying when impacts occur during the life of a design. This enables users to gain insights such the “environmental payback period” of a design compared to alternatives, or when there are jumps in an impact value during the life of the project (for example, relating to a large replacement item).

Top Five Charts

Each top 5 chart categorises the buildings and expresses the environmental impacts by these categories. This enables a detailed understanding of what is responsible for the greatest environmental burdens and also compares these burdens between designs. The pie chart associated with each bar chart shows the proportion of the building that is represented in the bar chart. A brief description of the categories is provided below:

- **LC Module Impacts:** The EN15978 Life Cycle Modules. Generally 100% building impacts will be included in the bar chart.
- **Construction Category:** The breakdown of the impacts by construction category. The bar chart will generally only part of the total building impacts.
- **Operational Demand:** The building end use demands that are driving environmental impacts.
- **Energy Supply:** The supply of fuels to the building, in effect the upstream fuel sources supplying energy for on site use during construction, operational and demolition.
- **Materials:** The materials (grouped into common categories) that are driving the environmental impacts.
- **Equipment and People:** The equipment and people required during construction, maintenance and demolition and all associated transport trips that are driving the environmental impacts

All impact figures are quoted per the functional unit selected for the study.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6.1 Global Warming Potential, GWP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.2 Ozone Depletion Potential, ODP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.3 Acidification Potential for Soil and Water, AP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.4 Eutrophication potential, EP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.5 Photochemical Ozone Creation Potential, POCP Profile

■ Scenario Design

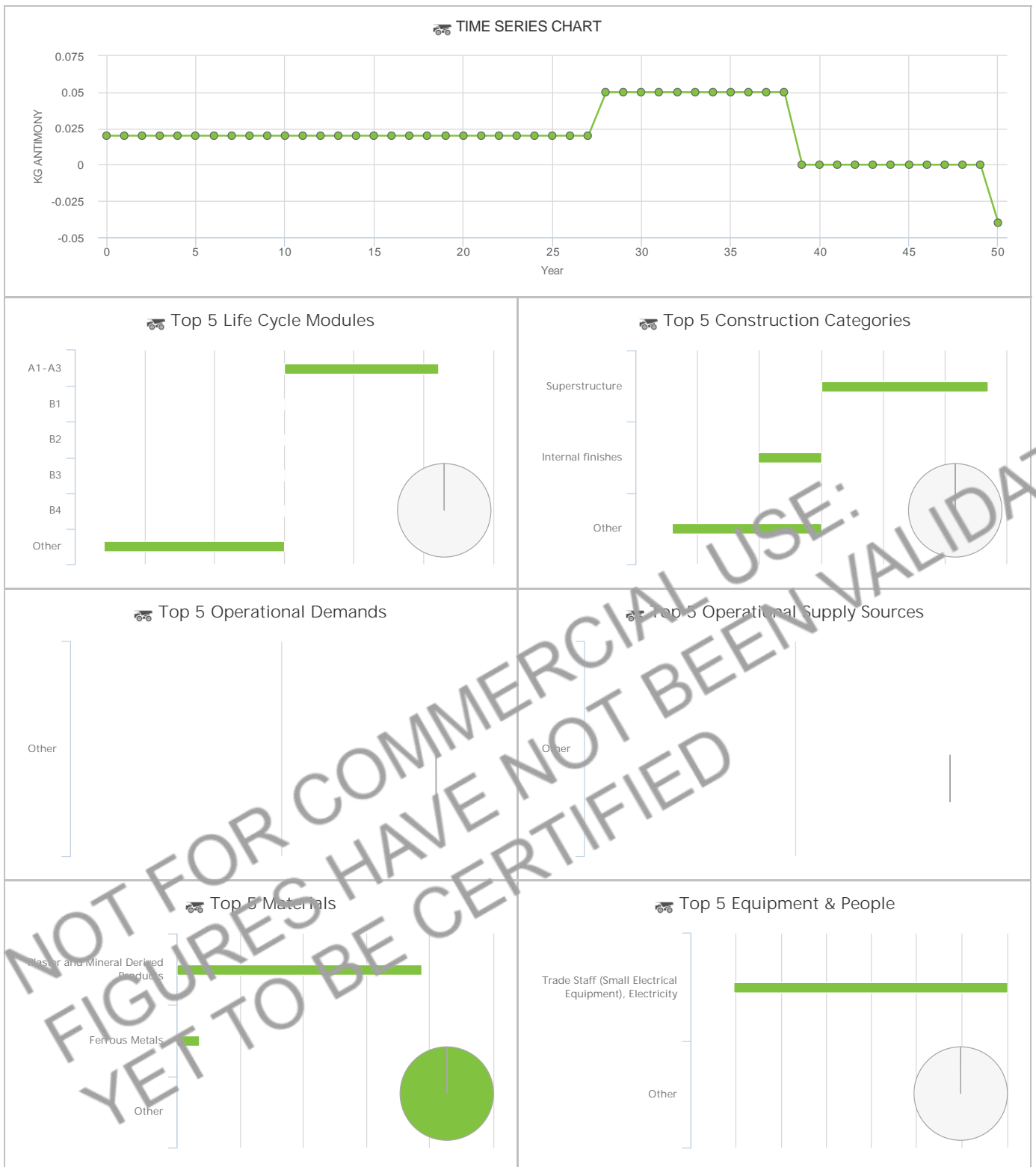


NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.6 Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.7 Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6.8 Total use of renewable primary energy resources, PERT Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.9 Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.10 Land Use Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.11 Ecotoxicity Profile

■ Scenario Design



6.12 Freshwater Ecotoxicity Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6.13 Ionizing Radiation Profile

■ Scenario Design



7 Low Impact Strategies

The following potential low impact design strategies were modelled in the LCA study to determine the relative benefits and aid the design decision making process.

For each design strategy, the relative savings for all indicators is provided and given in context to the other strategies. A basic description of the strategy is also provided.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



7 Conclusions

The majority of impacts were found to be caused during the Materials and Construction (Module A) which had the highest impacts in 13 of the 29 environmental indicators.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



9 References

9.1 Background LCI Data

Life Cycle Strategies, 2015, North American LCI - V15 - Life Cycle Strategies (BETA)

9.2 Inventory - Design Documentation

No design documents were recorded.

9.3 Inventory - Assumptions

2006, Life Expectancy of Building Components, <https://costmodelling.com/lifespans>, [Web Link](#).

Graedel T E, 2011, Recycling Rates of Metals, [Web Link](#).

Rawlinsons, 2011, Rawlinsons Australian Construction Handbook, Perth,

9.4 Environmental Product Declarations

No EPD references were recorded.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Appendix A: Environmental Indicators Description

Global Warming Potential, GWP

Anthropogenic global warming is caused by an increase of greenhouse gasses (GHG) in the earth's atmosphere. These gasses reflect some of the heat radiated from the earth's surface that would normally escape into space back to the surface of the earth. Overtime this warms the earth. Common GHGs include CO₂, N₂O, CH₄ and volatile organic compounds (VOCs). Global Warming Potential (GWP) is expressed in equivalent GHGs released, usually in kgCO₂e.

Ozone Depletion Potential, ODP

Ozone is formed and depleted naturally in the earth's stratosphere (between 15-40 km above the earth's surface). Halocarbon compounds are persistent synthetic halogen containing organic molecules that can reach the stratosphere leading to more rapid depletion of the ozone. As the ozone in the stratosphere is reduced more of the ultraviolet rays in sunlight can reach the earth's surface where they can cause skin cancer and reduced crop yields. Ozone Depletion Potential (ODP) is expressed in equivalent ozone depleting gasses (normally kgCFC11e).

Acidification Potential for Soil and Water, AP

Acidification is a consequence of acids (and other compounds which can be transformed into acids) being emitted to the atmosphere and subsequently deposited in surface soils and water. Increased acidity can result in negative consequences for flora and fauna in addition to increased corrosion of manmade structures (buildings vehicles etc.). Acidification Potential (AP) is an indicator of such damage and is usually measured in kgSO₂e

Eutrophication potential, EP

Over enrichment of aquatic ecosystems with nutrients leading to increased production of plankton, algae and higher aquatic plants leading to a deterioration of the water quality and a reduction in the value and/or the utilisation of the aquatic ecosystem. Eutrophication is primarily caused by surplus nitrogen and phosphorus. Sources of nutrients include agriculture (fertilisers and manure), aquaculture, municipal wastewater, and nitrogen oxide emissions from fossil fuel combustion.

Photochemical Ozone Creation Potential, POCP

Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), commonly known as smog, is toxic to humans in high concentration. Although ozone is protective in the stratosphere at low levels it is problematic from both a health and nuisance perspective. Plant growth is also effected through damaged leaf surfaces and reduced photosynthesis. POCP is formed when sunlight and heat react with Volatile Organic Compounds (VOCs).

Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE

Abiotic Resource Depletion of energy (ADPE) is a measure of the extraction and consumption of primary resources from the earth. Such exploitation reduces resources available to future generations and as such must be managed.

Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF

Abiotic Resource Depletion of energy (ARDE) is a measure of the extraction and consumption of non-renewable energy sources (primarily fossil fuels, but also inclusive of other energy sources such as uranium). Primary energy content of non-renewable energy sources including the embodied energy to extract, process and deliver the non renewable fuels, or manufacture, transport and install the renewable generator. Hence there is usually a non-renewable energy content associated with renewable fuels also.

Total use of renewable primary energy resources, PERT

Total use of renewable primary energy resources

Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT

Total use of non-renewable primary energy resources

Land Use

Land transformation and use causes biodiversity loss. The main cause of the loss of biodiversity can be attributed to the influence of human beings on the world biosphere. Biological diversity is the resource upon which families, communities, nations and future generations depend. There is a general acceptance that the term biodiversity encompasses diversity numerous levels, for example: genetic level, populations/species level, communities/ecosystems level and regional landscapes level). Unfortunately there are currently



no methods which allow for simultaneous measurement of all levels of biodiversity. There have been numerous attempts to integrate direct and indirect land use in LCA and its impact on biodiversity but none of the proposed metrics are fully operational or applied globally.

Ecotoxicity

The potential effect of toxic releases and exposure on environments.

Freshwater Ecotoxicity

Life cycle impact assessment of toxicity takes into account the fate, route of exposure and toxicity impact of toxic substances when released to air, water or land. Categories of chemical substances commonly accounted for are pesticides, heavy metals, hormones and organic chemicals. Human toxicity, non-cancer measures the potential for toxic releases or exposure to cause damage to freshwater environments.

Ionizing Radiation

Ionizing Radiation (IR) characterises impacts from the release of radioactive species (radionuclides) to air and water. The species most commonly accounted for are the radionuclides of caesium, iodine, radon and uranium etc. Anthropogenic sources are the nuclear fuel cycle, phosphate rock extraction, coal power plants, and oil and gas extraction. When released to the environment, they can impact both human health and ecosystems so the end_point areas of protection they relate to are human health and the ecosystem quality.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Appendix B: Detailed Structure Scope Diagram

Key: ✓ In Scope, In Design ✓ In Scope, Not In Design ✓ Partial ✗ Out of Scope

Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
Substructure	Substructure	✗
	Standard foundations	✗
	Specialist foundations	✗
	Lowest floor construction	✗
	Insulation	✗
	Basement excavation	✗
	Basement retaining walls	✗
Superstructure	Frame	✗
	Frame	✗
	Upper floors	✗
	Floors	✗
	Insulation	✗
	Balconies	✗
	Drainage to balconies	✗
	Roof	✗
	Insulation	✗
	Roof structure	✗
	Roof coverings	✗
	Specialist roof systems	✗
	Roof drainage	✗
	Rooflights, skylights and openings	✗
	Roof features	✗
	Stairs and ramps	✗
	Stair/ramp structures	✗
	Stair/ramp finishes	✗
	Stair/ramp balustrades and handrails	✗
	Ladders/chutes/slides	✗
	External walls	✓
	External Paint, Textures and Renders	✓
	External enclosing walls above ground level	✓
	Insulation	✓
	External enclosing walls below ground level	✓
	Solar/rain screening	✓
	External soffits	✓
	Subsidiary walls, balustrades and proprietary balconies	✓
	Facade access/cleaning systems	✓
	Windows and external doors	✗
	External windows	✗
	Security and Fly Screens	✗
	External doors	✗
	Internal walls and partitions	✗
	Walls and partitions	✗
	Insulation	✗
	Balustrades and handrails	✗
	Moveable room dividers	✗
	Cubicles	✗
	Internal doors	✗
	Internal doors	✗
	Internal finishes	✗
	Wall finishes	✗
	Wall finishes	✗
	Cornices & Shadowlines	✗
	Paint - Walls	✗
	Wet Area Walls	✗
Floor finishes	✗	
Finishes to floors	✗	
Wet Area Floors	✗	
Raised access floors	✗	

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	Ceiling finishes	X
	Finishes to ceilings	X
	False ceilings	X
	Demountable suspended ceilings	X
Fittings, furnishings and equipment	Fittings, furnishings and equipment	X
	General fittings, furnishings and equipment	X
	Domestic kitchen fittings and equipment	X
	Special purpose fittings, furnishings and equipment	X
	Signs/notices	X
	Works of art	X
	Non-mechanical and non-electrical equipment	X
	Internal planting	X
	Bird and vermin control	X
Services equipment	Sanitary installations	X
	Sanitary appliances	X
	Sanitary ancillaries	X
	Services equipment	X
	Services equipment	X
	Disposal installations	X
	Foul drainage above ground	X
	Chemical, toxic and industrial liquid waste disposal	X
	Refuse disposal	X
	Water installations	X
	Mains water supply	X
	Cold water distribution	X
	Hot water distribution	X
	Local hot water distribution	X
	Steam and condensate distribution	X
	Heat source	X
	Heat source	X
	Space heating and air conditioning	X
	Central heating	X
	Local heating	X
	Central cooling	X
	Local cooling	X
	Central heating and cooling	X
	Local heating and cooling	X
	Central air conditioning	X
	Local air conditioning	X
	Ventilation systems	X
	Central ventilation	X
	Local and special ventilation	X
	Smoke extraction control	X
	Electrical installations	X
	Electric mains and sub-mains distribution	X
	Power installations	X
	Lighting installations	X
	Specialist lighting installations	X
	Local electricity generation systems	X
	Earthing and bonding systems	X
	Fuel installations	X
	Fuel storage	X
	Fuel distribution systems	X
	Lift and conveyor installations	X
	Lifts and enclosed hoists	X
	Escalators	X
	Moving pavements	X
	Powered stairlifts	X
	Conveyors	X
	Dock levellers and scissor lifts	X

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	Cranes and unenclosed hoists	X
	Car lifts, car stacking systems, turntables and the like	X
	Document handling systems	X
	Other lift and conveyor installations	X
	Fire and lightning protection	X
	Fire-fighting systems	X
	Fire suppression systems	X
	Lightning protection	X
	Communication, security and control systems	X
	Communication systems	X
	Security systems	X
	Central control/building management systems	X
	Specialist installations	X
	Specialist piped supply installations	X
	Specialist refrigeration systems	X
	Specialist mechanical installations	X
	Specialist electrical/electronic installations	X
	Water features	X
	Civil Engineering Structure	X
	Builder's Work in Connection (BWIC) with Services	X
	BWIC with services	X
Prefabricated buildings and building units	Prefabricated buildings and building units	X
	Complete buildings	X
	Building units	X
	Pods	X
Work to existing building	Minor demolitions and alterations	X
	Minor Demolitions and Alterations	X
	Repairs to existing services	X
	Repairs to existing services	X
	Damp proof course/fungus and beetle eradication	X
	Damp Proof Course/Fungus and Beetle Eradication	X
	Façade Retention	X
	Façade Retention	X
	Cleaning Existing Surfaces	X
	Cleaning Existing Surfaces	X
	Renovation work	X
	Renovation Work	X
External works	Site preparation works	X
	Site clearance	X
	Preparation groundworks	X
	Roads, paths and paving	X
	Roads, paths and paving	X
	Special surfacings and pavings	X
	Soft landscaping, planting and irrigation systems	X
	Seeding and turfing	X
	External planting	X
	Irrigation systems	X
	Fencing, railings and walls	X
	Fencing and railings	X
	Walls and screens	X
	Retaining walls	X
	Barriers and guardrails	X
	External fixtures	X
	Site/street furniture and equipment	X
	Ornamental features	X
	External drainage	X
	Surface water and foul water drainage	X
	Ancillary drainage systems	X
	External chemical, toxic and industrial liquid waste drainage	X
	Land drainage	X

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	External services	X
	Water mains supply	X
	Electricity mains supply	X
	External transformation devices	X
	Electricity distribution to external plant and equipment	X
	Gas mains supply	X
	Telecommunications and other communication system connections	X
	External fuel storage and piped distribution systems	X
	External security systems	X
	External/street lighting systems	X
	Local/district heating installations	X
	BWIC with external services	X
	Minor building works and ancillary buildings	X
	Minor building works	X
	Ancillary buildings and structures	X
	Underpinning to external site boundary walls	X
Facilitating works	Toxic/hazardous/contaminated material treatment	X
	Toxic/hazardous material removal	X
	Contaminated land	X
	Eradication of plant growth	X
	Major demolition works	X
	Demolition works	X
	Soft strip works	X
	Temporary support to adjacent structures	X
	Temporary support to adjacent structures	X
	Specialist groundworks	X
	Site dewatering and pumping	X
	Soil stabilisation measures	X
	Ground gas venting measures	X
	Temporary diversion works	X
	Temporary diversion works	X
	Extraordinary site investigation	X
	Archaeological investigation	X
	Reptile/wildlife mitigation measures	X
	Other extraordinary site investigation	X
Project/design team	Consultants	X
	Planning & Approvals	X
	Main contractor's pre-construction design	X
	Project Management	X
	Main contractor's design	X
	Sales and Marketing	X
Undefined		

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED





Life Cycle Assessment

HIS

Date : 15 December 2020

Authors :

Peer Reviewer :

Version : 0



eToolLCD Software Disclaimer

The LCA predictions of embodied and operational impacts (including costs) conducted in eToolLCD software, by their very nature, cannot be exact. It is not possible to track all the impacts associated with a product or service back through history, let alone do this accurately. eToolLCD software has been built and tested to enable informed decisions when comparing design options. Generic cost and environmental impact coefficients do not necessarily correspond to those of individual brands of the same product or service due to differences within industries in the way these products and services are delivered.

eTool PTY LTD cannot make assurances regarding the accuracy of these reports for the above reasons.

© 2020 eTool PTY LTD All rights reserved

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Executive Summary

This Life Cycle Assessment has been completed for the Blocos de concreto, HIS located at . The Author of the study is of and the critical review has been conducted by of .

The goal of this study is to profile and improve the environmental performance of the construction works at . The study has been conducted in accordance with ISO 14044 and EN15978.

The following table summarises environmental impact results.

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction	Use Stage	End of Life Stage	Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
		A	B	C	D	
Environmental Impacts						
Global Warming Potential, GWP	kg CO2 eq	15169	0	1383	-129	1642
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	8.06e-4	0	2.69e-4	-5.75e-6	1.17e-3
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO2 eq.	67.857	0	6.662	-0.878	73.641
Eutrophication potential, EP	kg PO4-- eq	10.578	0	1.005	-0.318	11.865
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	3.8674	0	0.767	-0.064	4.1734
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	-0.156	0	-0.142	2.69e-4	-0.298
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	1.12e+5	0	26500	-1106	1.38e+5
Resource Use						
<input type="checkbox"/> Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	5701.6	0	71.5	-607.8	5025.4
<input type="checkbox"/> Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	1.20e+5	0	27602	-1179	1.46e+5
Additional Indicators						
Land Use	m ² year arable	0.051	0	0.0188	-2.85e-4	0.0766
Ecotoxicity	CTUe	1.52e-5	0	6.92e-8	-2.69e-9	1.52e-5
Freshwater Ecotoxicity	CTUe	1.85e+7	0	1.54e+6	-2.87e+6	1.72e+7
Ionizing Radiation	kBq U235 eq	213.27	0	36.99	-2.81	247.44

Table 1: Summary of Results

The majority of impacts were found to be caused during the Materials and Construction (Module A) which had the highest impacts in 12 of the 29 environmental indicators.



Scenario Design Performance

(Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit))



16400 kg CO2 eq

Global Warming Potential, GWP



1.07e-3 kg CFC-11 eq

Ozone Depletion Potential, ODP



73.6 kg SO2 eq.

Acidification Potential for Soil and Water, AP



11.9 kg PO4-- eq

Eutrophication potential, EP



4.17 kg ethylene

Photochemical Ozone Creation Potential, POCP



-0.298 kg antimony

Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE



1.38e+5 MJ

Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF



0.076 m2.year arable

Land Use



1.52e+5 uCTDe

Ecotoxicity



1.72e+7 CTUe

Freshwater Ecotoxicity



247 kBq U235 eq

Ionizing Radiation

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



Table of Contents

1 Introduction	6
2 Goal of the study	6
3 Scope of the study	6
4 Inventory Analysis	11
5 Life Cycle Impact Assessment	14
6 Life Cycle Interpretation	18
7 Low Impact Strategies	32
7 Conclusions	33
9 References	34
Appendix A: Environmental Indicators Description	35
Appendix B: Detailed Structure Scope Diagram	37

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



1 Introduction

Managing the environmental impacts that arise from the construction and operation of Building is of key importance in mitigating the damage caused directly and indirectly on the biosphere. Life Cycle Assessment (LCA) is the leading industry standard in clearly identifying optimum strategies for reducing environmental impacts. This report presents the results of the LCA completed for the Scenario Design, HIS Project located at . eToolLCD software has been used to model the infrastructure's environmental impacts.

The study has been conducted in accordance with the following standards:

- International Standards 14040 and 14044.
- European Standard EN 15978: *Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method*

The Author of the study is Matheus Llave (Lead) of and the critical review has been conducted by of .

2 Goal of the study

The goal of this study is to provide profile and improve the environmental performance of the construction works at . No comparisons to other design options are being made and as such this study is not a comparative study. The results of the study are intended to be made public.

3 Scope of the study

The LCA study has been conducted in accordance with the EN 15978 standard to assess the direct and indirect potential environmental impacts associated with the construction works at as part of the HIS project.

3.1 Functional Unit

The function of the Building must reflect the core purpose of the asset such that it can be compared accurately to different designs. In this case the functional focus is the Residência unifamiliar and the chosen functional unit is the provision of this function over its life span.

The estimated design life of the design is 50 years which has been adopted for the LCA study period. This takes into consideration the structural service life limit (50 years), as well as redevelopment pressure on the asset such as surrounding density, asset ownership structures, and the architectural design quality.

Note that products with expected service lives of less than the life span of the project are assumed to be replaced at increments reflecting their service life.

3.2 System Boundary

The system boundary, shown in Figure 1, follows guidance given in EN15978.

NOT FOR COMMERCIAL USE;
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



System Boundary

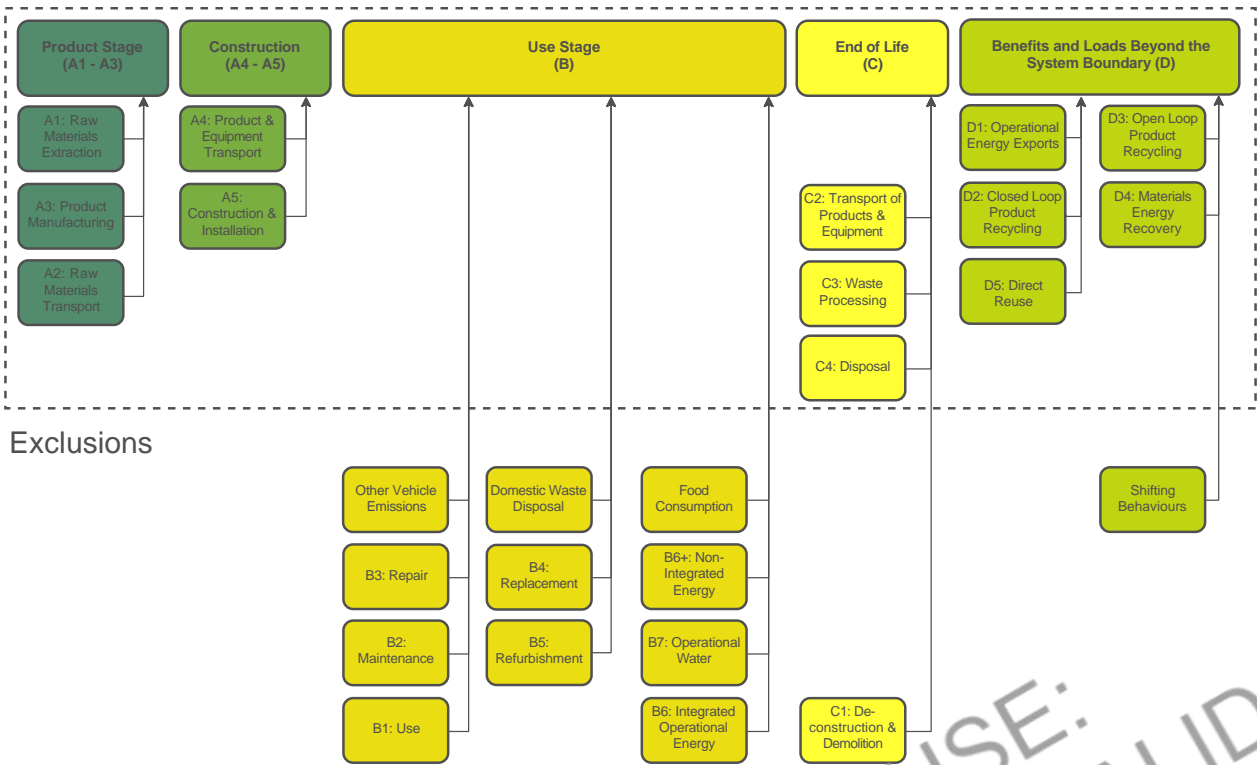


Figure 1: System Boundary Diagram

3.3 Environmental Indicators

The environmental indicators have been included in the study are detailed in Table 2. For further information regarding the environmental indicators please refer to Appendix A.

Environmental Indicator	Unit	Abbreviation	Characterisation Method
Environmental Impacts			
Global Warming Potential, GWP	kg CO2 eq	GWP	CML-IA baseline V4.5
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	ODP	CML-IA baseline V4.5
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO2 eq	AP	CML-IA baseline V4.5
Eutrophication potential, EP	kg PO4 ³⁻ eq	EP	CML-IA baseline V4.5
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	POCP	Institute of Environmental Sciences (CML)
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	ADPE	CML-IA baseline V4.5
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	ADPF	CML-IA baseline V4.5
Resource Use			
Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	PERT	Undefined
Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	PENRT	Undefined
Additional Indicators			
Land Use	m2.year arable	Land	Australian indicator set v6
Ecotoxicity	uCTUe	ETx	ALCAS Australian Indicator Set V6
Freshwater Ecotoxicity	CTUe	ETx H2O	ALCAS Australian Indicator Set V6
Ionizing Radiation	kBq U235 eq	IR	ALCAS Australian Indicator Set V6



Table 2: Environmental Indicators Included in LCA study.

3.4 System Description

The object of the assessment is the structure itself. The assessment includes all the upstream and downstream processes needed to provide the primary function of the structure from construction, maintenance, operation, and finally demolition and disposal. The inventory includes the extraction of raw materials or energy and the release of substances back to the environment or to the point where inventory items exit the system boundary either during or at the end of the project life cycle.

The project location is shown in figures 2 and 3.



Figure 2: Location of the project - Global View.

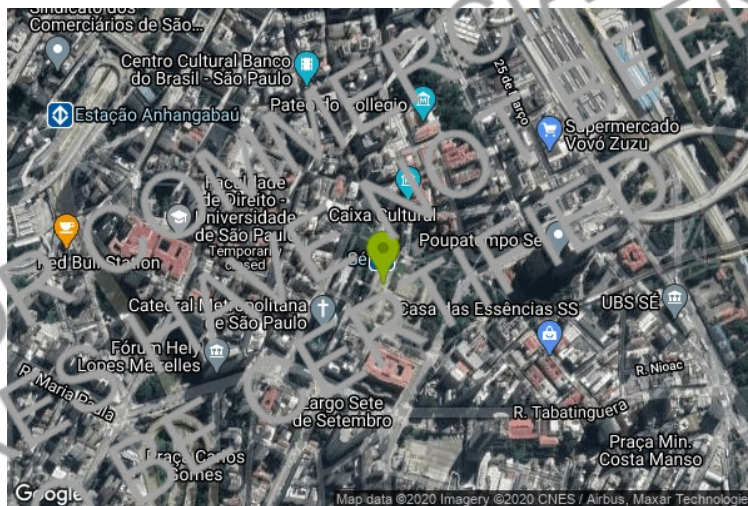


Figure 3: Location of the project - Locality View.

Table 3 below shows the key characteristics of the design.

Scenario Design	
Design Name	Blocos de concreto
Stories (#)	1
Primary Function	Residência unifamiliar
Structural Service Life Limit	50



Scenario Design	
Predicted Design Life	50
Functional Characteristics	
Dwellings	1
Bedrooms	1
Occupants	1
Total Floor Areas	
Usable Floor Area	1
Net Lettable Area	0
Fully Enclosed Covered Area	1
Unenclosed Covered Area	0
Gross Floor Area	1
Usable and Lettable Yield	100 %

Table 3: Design Characteristics Compared

Table 4 and 5 show the scope (structural and operational) of the inventory collection for the LCA. For further details on structure scope please refer to Appendix B.

Summary Structure Scope Diagram

Key: ✓ In Scope ✓ Partial ✗ Out of Scope

Category Name	Scenario Design
Substructure	✗
Superstructure	✗
Internal finishes	✗
Fittings, furnishings and equipment	✗
Services equipment	✗
Prefabricated buildings and building units	✗
Work to existing building	✗
External works	✗
Facilitating works	✗
Project/design team	✗
Undefined	✓

Table 4: Structural scope of LCI collection

Operational Scope diagram

Key: ✓ In Scope ✗ Out of Scope

Category Name	Scenario Design
Appliances Dishwashers	✗
Appliances Entertainment	✗
Appliances Laundry Appliances	✗
Appliances Office Workstations	✗
Communication	✓
Cooking and Food Preparation	✗
Domestic Water Heating	✗
Electrical Parasitic Loads	✗
Fire Protection	✗
HVAC	✗
Industrial & Manufacturing Equipment	✗
Lifts, Elevators and Conveyors	✗
Lighting	✓
Miscellaneous	✗
Monitoring, Control and Automation	✗
Power Generation and Storage	✓
Refrigeration	✗
Safety and Security	✗
Swimming Pools	✗
Water Pumping	✗
Water Removal and Treatment	✓



Category Name	Scenario Design
Water Supply	✓
Workshops, Garage & Misc	✗

Table 5: Operational scope of LCI collection

3.5 Cut off Criteria

The EN15978 cut-off criteria were used to ensure that all relevant potential environmental impacts were appropriately represented:

- Mass – if a flow is less than 1% of the mass at either a product-level or individual-process level, then it has been excluded, provided its environmental relevance is not of concern.
- Energy – if a flow is less than 1% of the energy at either a product-level or individual-process level, then it has been excluded, provided its environmental relevance is not a concern.
- The total of neglected input flows per module, e.g. per module A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 and module D shall be a maximum of 5% of energy usage and mass.
- Environmental relevance – if a flow meets the above criteria for exclusion, but is considered to potentially have a significant environmental impact, it has been included. All material flows which leave the system (emissions) and whose environmental impact is higher than 1% of an impact category, have been included.

The Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies (Wittstock et al. 2012) states:

The apparent paradox is that one must know the final result of the LCA (so one can show that the omission of a certain process is insignificant for the overall results) to be able to know which processes, elementary flows etc. can be left out.

The approach taken in this study is to continue modelling smaller inputs until confidence is gained that the criteria is safely met.

3.6 Allocation

Allocation rules follow those of EN15804 as given below:

- Allocation will respect the main purpose of the studied processes. If the main purpose of combined processes cannot be defined (e.g. combined mining and extraction of nickel and precious metals), economic allocation may be used to divide resources and emissions between the products.
- The principle of modularity is maintained. Where processes influence the product's environmental performance during its life cycle, they will be assigned to the module where they occur.
- The sum of the allocated inputs and outputs of a unit process are equal to the inputs and outputs of the unit process before allocation. This means no double counting of inputs or outputs is permissible.

3.7 Independent Review

The critical review has been undertaken in accordance with ISO14044.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



4 Inventory Analysis

The design has been modelled using the available eToolLCD elements, templates and EPDs as shown in Table 6.

eToolLCD Item Type	Count in Design
	Scenario Design
Design Templates	2
Equipment and People Elements	4
Material Elements	5
Energy Elements	0
Water Elements	0
EPDs	0

Table 6: Count of elements, templates and EPDs in the design

The eToolLCD library templates are customisable and users may submit templates for validation. The template validation process is undertaken by experienced LCA practitioners and is a process of checking the user inputs and ensuring the assumptions are adequately referenced. Table 7 shows the extend to which validated templates were used in the model.

eToolLCD Item Type	Validated (%)
	Scenario Design
Total Design Templates	50
Equipment and People Elements	25
Material Elements	40
Energy Elements	NaN
Water Elements	NaN

Table 7: Use of validated templates

4.1 Templates Comparison

The eToolLCD templates found in each design are provided in Table 8.

Parent Template Name	Units	Quantity
		Scenario Design
Internal finishes		
Internal Finish - Plaster 13mm no paint	m ²	137.7824
Superstructure		
MASONRY OF CONCRETE BLOCKS (Wall - 100mm Concrete Block (m2))	m ²	137.6285

Table 8: Templates Comparison (showing master templates only)

4.2 eToolLCD software

eToolLCD software was used to model life cycle impacts of the project. eToolLCD uses third party background processes aggregated as mid-point indicators and stored in a number of libraries within the software which are coupled with algorithms and user inputs to output the environmental impact assessment. A map of user inputs, data sources and algorithms (outputs) is given in Figure 4.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



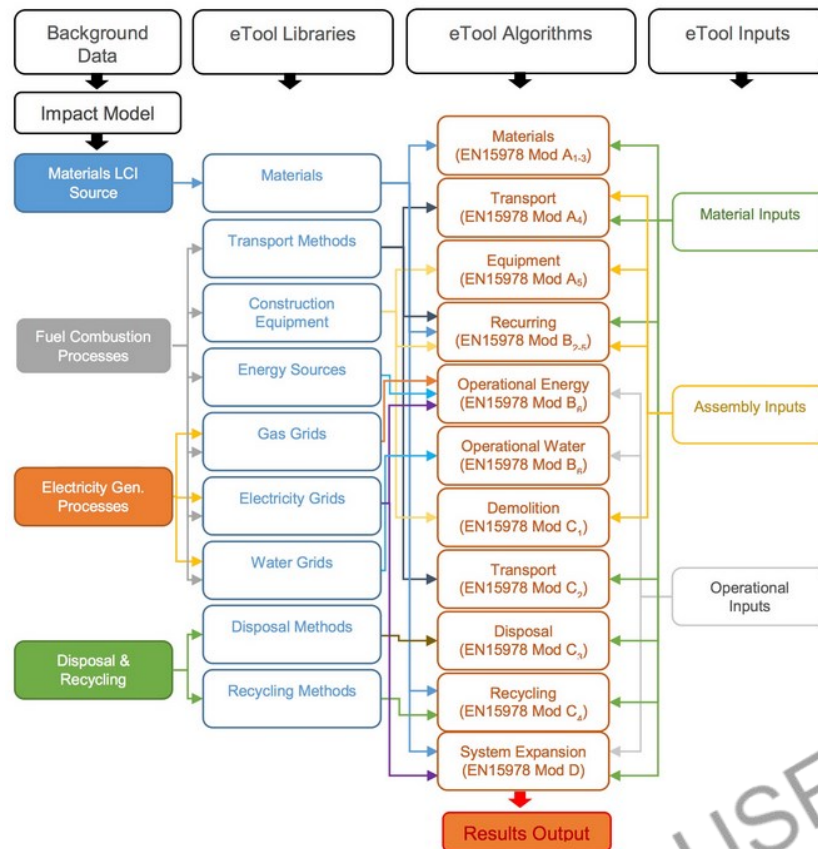


Figure 4: Relationship between LCI background data, eToolLCD software library, inputs and algorithms.

4.3 Data Quality

The data quality requirements for the background data are detailed in Table 9. Each of the criteria has been assessed for compliance and results presented below.

Criteria	Background Data Requirement	Compliance Scenario Design
Temporal Relevancy	For annually fluctuating processes like Grid electricity fuel mixes the datasets must have been updated within the last 2 years. More static processes like materials production must have been updated within the last 10 years. Product specific EPDs must have been updated in the last 5 years.	Failed Grid Passed Materials
Geographical Relevancy	The background data should be specifically compiled for the same country (preferable) or continent as the project location.	Failed
Precision	No requirement specified however a qualitative review undertaken to ensure no erroneous values.	Passed
Completeness	Qualitative assessment of the process to ensure no obvious exclusions	Passed
Technological Relevancy	Ensure that technology assumptions are representative for the product or product group.	Passed
Consistency	The study methodology holds for the background data.	Passed
Reproducibility	The information available about the methodology and the data values reported should allow an independent practitioner to reproduce the results reported in the study.	Passed

Table 9: Summary of data quality requirements for the study.

Criteria	Inventory Collection Requirement (eToolLCD User Inputs)	Compliance Scenario Design
Temporal Relevancy	All inputs into eToolLCD to be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are to be based on industry practices that are consistent with the project commissioning date.	Passed 0/5 Checks



Criteria	Inventory Collection Requirement (eToolLCD User Inputs)	Compliance
		Scenario Design
Geographical Relevancy	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are based on the current practices employed in the project country.	Passed 0/5 Checks
Precision	To avoid aggregated errors a high level of precision is expected inputs into eToolLCD software, being either to 3 significant figures or: <ul style="list-style-type: none"> • Two significant figures or nearest 10 hours for equipment run time • Two significant figures or nearest 10kg for material quantities • Two significant figures or nearest 100MJ / annum for operational energy • Two significant figures or nearest 100kL / annum for operational water use 	Passed 0/3 Checks
Completeness	Inputs to cover all life cycle phases and elements identified in the system boundary. The link between background data, eToolLCD algorithms and subsequent LCA results is not to introduce significant gaps in the data.	Passed 0/9 Checks
Technological Relevancy	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these must be drawn from appropriate examples of like technology.	Passed 0/5 Checks
Consistency	All inputs into eToolLCD must be reflective of the project being assessed and if assumptions are made these are drawn from the same reference library.	Passed 0/9 Checks
Reproducibility	The information available about the methodology and the data values reported should allow an independent practitioner to reproduce the results reported in the study.	Passed 0/10 Checks

Table 10: Summary of data quality requirements for the study.

4.4 Completeness

The study aims to follow EN15804 procedures for exclusion of inputs and outputs:

- All inputs and outputs to a (unit) process shall be included in the calculation, for which data are available.
- Data gaps may be filled by conservative assumptions with average or generic data. Any assumptions for such choices shall be documented.
- In case of insufficient input data or data gaps for a unit process, the cut-off criteria shall be 1 % renewable and non-renewable primary energy usage and 1 % of the total mass input of that unit process.
- The total of neglected input flows per module, e.g. per module shall be a maximum of 5 % of energy usage and mass.
- Conservative assumptions in combination with plausibility considerations and expert judgement can be used to demonstrate compliance with these criteria.
- Particular care should be taken to include material and energy flows known to have the potential to cause significant emissions into air and water or soil related to the environmental indicators.

Two major tests were run to determine the compliance with the above cut-off rules.

4.3.1 Inventory Mass Quantities

The cumulative mass of inventory entries is shown in Figure 5. Given that 1 material elements within the LCA base design make up the last 1% of mass inventory entries a Low level of confidence exists that the cut off rules have been upheld.

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED





Figure 5: Cumulative Mass Inventory Entries. In this case 20.0% make up the last 5% of mass inventory entries.

4.3.2 Inventory Energy Analysis

The cumulative embodied energy of inventory entries is shown in Figure 6. Given that 2 elements within the LCA base design make up the last 1% of embodied energy inventory entries a Low level of confidence exists that the cut off rules have been upheld.

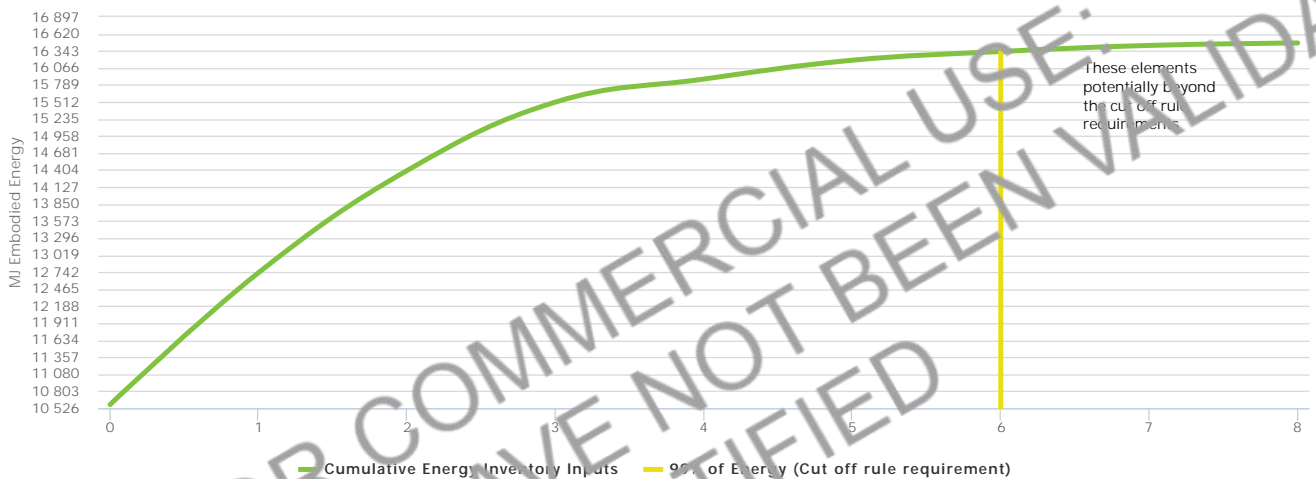


Figure 6: Cumulative Energy Inventory Entries. In this case 22.22% make up the last 5% of energy inventory entries.

5 Life Cycle Impact Assessment

The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results are provided in Table 11 in the EN15978 reporting format. The heat map highlights the highest impacts for each indicators assessed. For further details on the LCIA please refer to interpretation.



5.1 Scenario Design Environmental Impacts Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction			Use Stage							End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total		
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4		D	
Scenario Design																			
	GWP	kg CO2 eq	12755	2103	311	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	1037	0	346	-129	16423
	ODP	kg CFC-11 eq	4.14e-4	3.75e-4	1.61e-5	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	1.84e-4	0	8.43e-5	-5.75e-6	1.07e-3
	AP	kg SO2 eq.	58.273	8.008	1.577	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	3.876	0	2.786	-0.878	73.641
	EP	kg PO4--- eq	8.13	2.118	0.33	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	0.996	0	0.609	-0.318	11.865
	POCP	kg ethylene	2.7858	0.4953	0.5862	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	0.2482	0	0.1219	-0.064	4.1734
	ADPE	kg antimony	-2.51e-2	-1.23e-1	-8.09e-3	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	-1.41e-1	0	-1.06e-3	-2.69e-4	-2.98e-1
	ADPF	MJ	75766	33036	3325	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	16423	0	10156	-1106	1.38e+5

Table 11: Environmental Impacts Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



5.2 Scenario Design Resource Use Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)		Materials and Construction			Use Stage							End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total	
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4		D
Scenario Design																		
FW	kg	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERE	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERM	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PERT	MJ	4590.2	517.1	46.3	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	248.1	0	223.4	-607.8	5025.4
PENRE	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PENRM	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
PENRT	MJ	81934	34521	3401	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	17093	0	10510	-1179	1.46e+5
SM	KG	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
RSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0
NRSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0

Table 12: Resource Use Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



5.3 Scenario Design Additional Indicators Indicators

Characterised Impacts Per Absolute(No Functional Unit)	Materials and Construction			Use Stage									End of Life Stage				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	C1	C2	C3	C4	D		
Scenario Design																		
Land	m2.year arable	4.06e-3	1.59e-2	1.49e-3	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	7.38e-3	0	1.14e-2	-2.85e-4	7.66e-2
ETx	uCTUe	1.50e-5	1.28e-7	1.81e-8	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	2.90e-8	0	4.02e-8	-2.69e-9	1.52e-5
ETx H2O	CTUe	1.54e+7	2.76e+6	3.24e+5	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	1.20e+6	0	3.35e+5	-2.87e+6	17183256
IR	kBq U235 eq	153.23	57.21	2.84	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	MNA	25.86	0	11.13	-2.81	247.44

Table 13: Additional Indicators Impact of Each Life Cycle Phase.

INA: Indicator Not Assessed. MNA: Module Not Assessed.

Impact Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

Savings Key: ■ Top 10% ■ Top 20% ■ Top 30%

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6 Life Cycle Interpretation

The following sections provide more detailed results of the life cycle impact assessment for each environmental indicator with the aim of identifying the largest areas of impact. A one page profile for each indicator is provided on the subsequent pages giving detailed information about the indicator. Each chart provided is explained below.

Impact Time Series Chart:

A chart displaying when impacts occur during the life of a design. This enables users to gain insights such as the “environmental payback period” of a design compared to alternatives, or when there are jumps in an impact value during the life of the project (for example, relating to a large replacement item).

Top Five Charts

Each top 5 chart categorises the buildings and expresses the environmental impacts by these categories. This enables a detailed understanding of what is responsible for the greatest environmental burdens and also compares these burdens between designs. The pie chart associated with each bar chart shows the proportion of the building that is represented in the bar chart. A brief description of the categories is provided below:

- **LC Module Impacts:** The EN15978 Life Cycle Modules. Generally 100% building impacts will be included in the bar chart.
- **Construction Category:** The breakdown of the impacts by construction category. The bar chart will generally only part of the total building impacts.
- **Operational Demand:** The building end use demands that are driving environmental impacts.
- **Energy Supply:** The supply of fuels to the building, in effect the upstream fuel sources supplying energy for on site use during construction, operational and demolition.
- **Materials:** The materials (grouped into common categories) that are driving the environmental impacts.
- **Equipment and People:** The equipment and people required during construction, maintenance and demolition and all associated transport trips that are driving the environmental impacts

All impact figures are quoted per the functional unit selected for the study.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



6.1 Global Warming Potential, GWP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.2 Ozone Depletion Potential, ODP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.3 Acidification Potential for Soil and Water, AP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.4 Eutrophication potential, EP Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.5 Photochemical Ozone Creation Potential, POCP Profile

■ Scenario Design

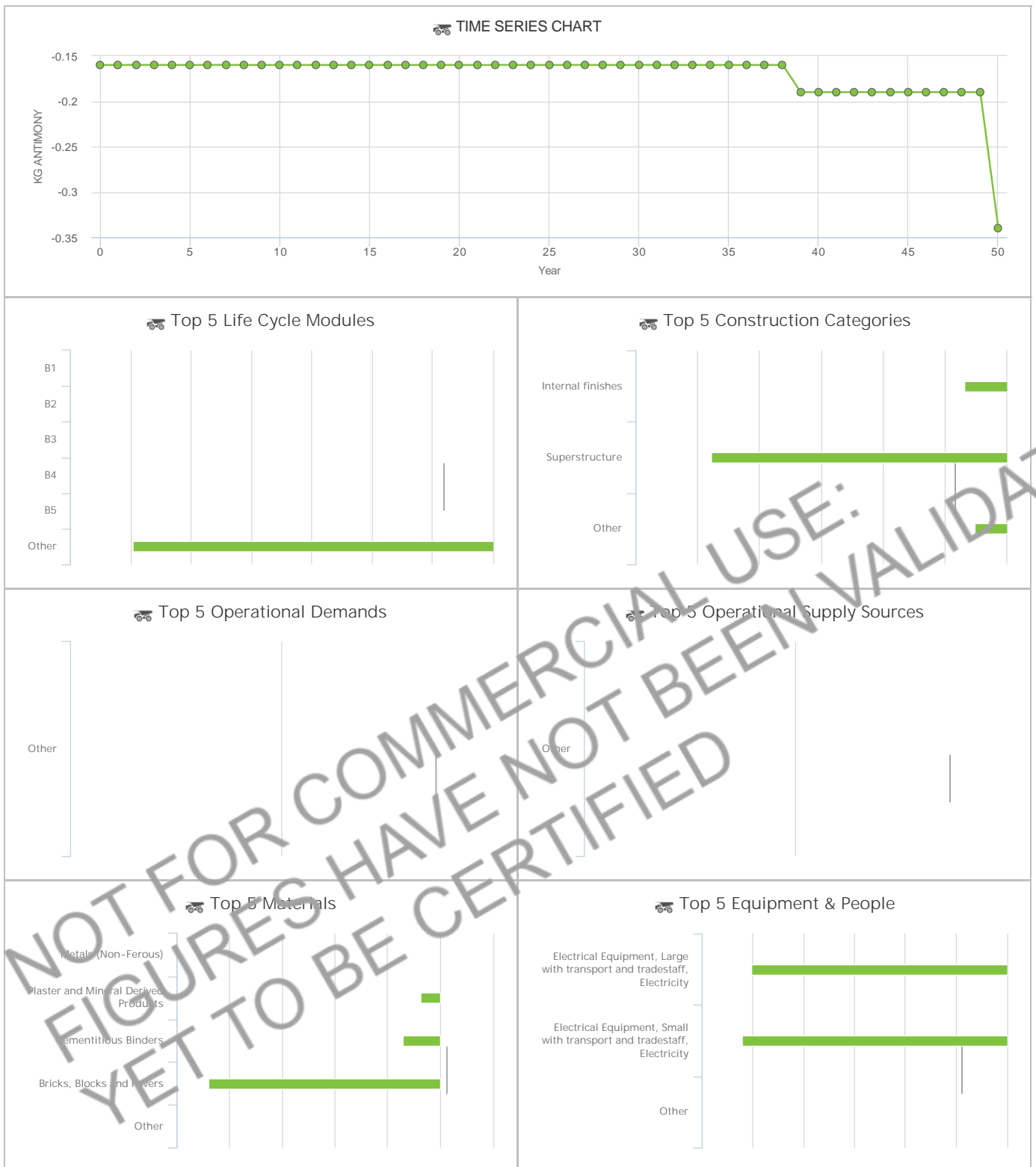


NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.6 Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE Profile

■ Scenario Design

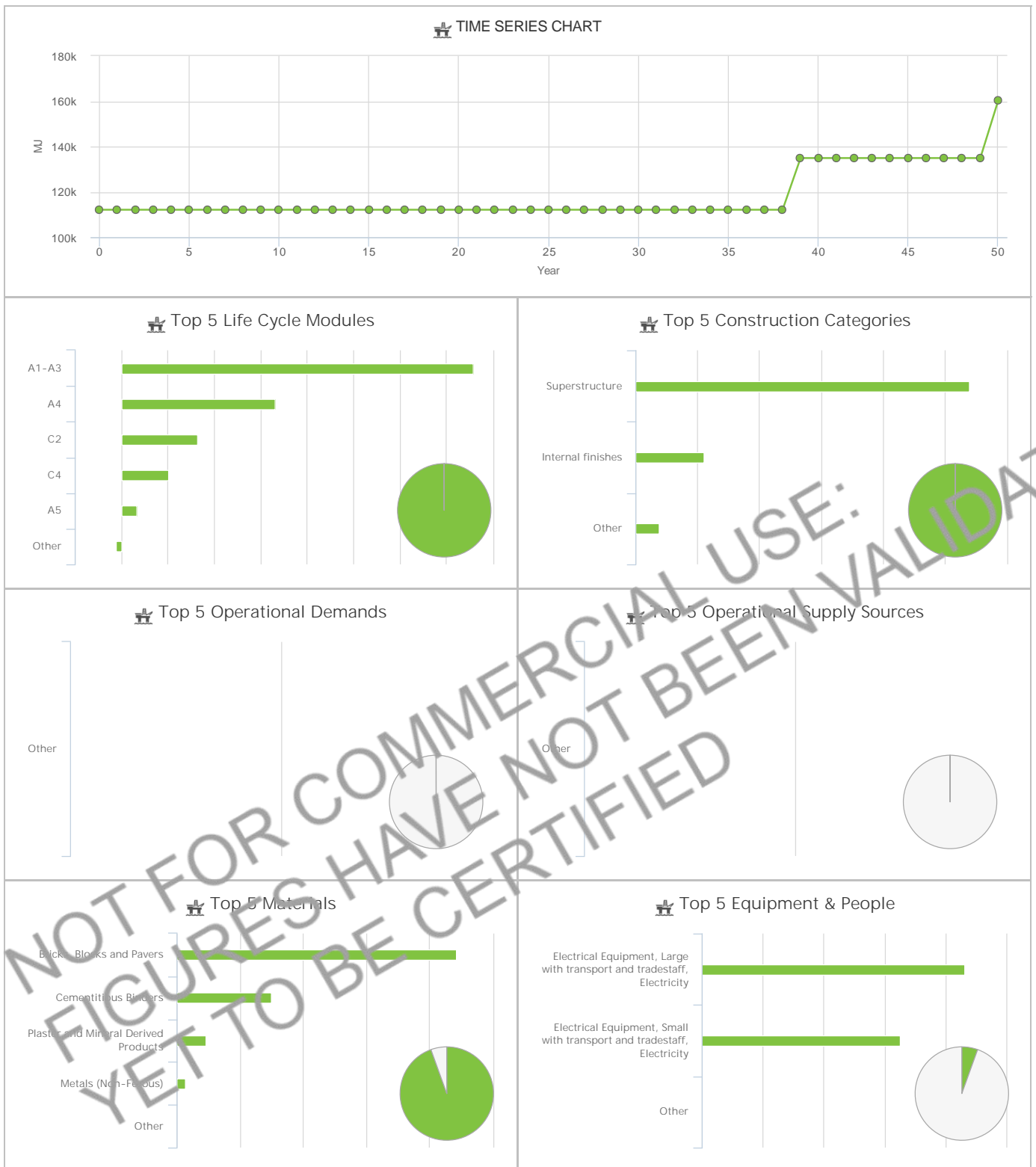


NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.7 Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.8 Total use of renewable primary energy resources, PERT Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.9 Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.10 Land Use Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.11 Ecotoxicity Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.12 Freshwater Ecotoxicity Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



6.13 Ionizing Radiation Profile

■ Scenario Design



NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



7 Low Impact Strategies

The following potential low impact design strategies were modelled in the LCA study to determine the relative benefits and aid the design decision making process.

For each design strategy, the relative savings for all indicators is provided and given in context to the other strategies. A basic description of the strategy is also provided.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



7 Conclusions

The majority of impacts were found to be caused during the Materials and Construction (Module A) which had the highest impacts in 12 of the 29 environmental indicators.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



9 References

9.1 Background LCI Data

Life Cycle Strategies, 2015, North American LCI - V15 - Life Cycle Strategies (BETA)

9.2 Inventory - Design Documentation

No design documents were recorded.

9.3 Inventory - Assumptions

2006, Life Expectancy of Building Components, <https://costmodelling.com/lifespans>, [Web Link](#).
Rawlinsons, 2011, Rawlinsons Australian Construction Handbook, Perth,

9.4 Environmental Product Declarations

No EPD references were recorded.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Appendix A: Environmental Indicators Description

Global Warming Potential, GWP

Anthropogenic global warming is caused by an increase of greenhouse gasses (GHG) in the earth's atmosphere. These gasses reflect some of the heat radiated from the earth's surface that would normally escape into space back to the surface of the earth. Overtime this warms the earth. Common GHGs include CO₂, N₂O, CH₄ and volatile organic compounds (VOCs). Global Warming Potential (GWP) is expressed in equivalent GHGs released, usually in kgCO₂e.

Ozone Depletion Potential, ODP

Ozone is formed and depleted naturally in the earth's stratosphere (between 15-40 km above the earth's surface). Halocarbon compounds are persistent synthetic halogen containing organic molecules that can reach the stratosphere leading to more rapid depletion of the ozone. As the ozone in the stratosphere is reduced more of the ultraviolet rays in sunlight can reach the earth's surface where they can cause skin cancer and reduced crop yields. Ozone Depletion Potential (ODP) is expressed in equivalent ozone depleting gasses (normally kgCFC11e).

Acidification Potential for Soil and Water, AP

Acidification is a consequence of acids (and other compounds which can be transformed into acids) being emitted to the atmosphere and subsequently deposited in surface soils and water. Increased acidity can result in negative consequences for flora and fauna in addition to increased corrosion of manmade structures (buildings vehicles etc.). Acidification Potential (AP) is an indicator of such damage and is usually measured in kgSO₂e

Eutrophication potential, EP

Over enrichment of aquatic ecosystems with nutrients leading to increased production of plankton, algae and higher aquatic plants leading to a deterioration of the water quality and a reduction in the value and/or the utilisation of the aquatic ecosystem. Eutrophication is primarily caused by surplus nitrogen and phosphorus. Sources of nutrients include agriculture (fertilisers and manure), aquaculture, municipal wastewater, and nitrogen oxide emissions from fossil fuel combustion.

Photochemical Ozone Creation Potential, POCP

Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), commonly known as smog, is toxic to humans in high concentration. Although ozone is protective in the stratosphere at low levels it is problematic from both a health and nuisance perspective. Plant growth is also effected through damaged leaf surfaces and reduced photosynthesis. POCP is formed when sunlight and heat react with Volatile Organic Compounds (VOCs).

Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE

Abiotic Resource Depletion of energy (ADPE) is a measure of the extraction and consumption of primary resources from the earth. Such exploitation reduces resources available to future generations and as such must be managed.

Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF

Abiotic Resource Depletion of energy (ARDE) is a measure of the extraction and consumption of non-renewable energy sources (primarily fossil fuels, but also inclusive of other energy sources such as uranium). Primary energy content of non-renewable energy sources including the embodied energy to extract, process and deliver the non renewable fuels, or manufacture, transport and install the renewable generator. Hence there is usually and non-renewable energy content associated with renewable fuels also.

Total use of renewable primary energy resources, PERT

Total use of renewable primary energy resources

Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT

Total use of non-renewable primary energy resources

Land Use

Land transformation and use causes biodiversity loss. The main cause of the loss of biodiversity can be attributed to the influence of human beings on the world biosphere. Biological diversity is the resource upon which families, communities, nations and future generations depend. There is a general acceptance that the term biodiversity encompasses diversity numerous levels, for example: genetic level, populations/species level, communities/ecosystems level and regional landscapes level). Unfortunately there are currently



no methods which allow for simultaneous measurement of all levels of biodiversity. There have been numerous attempts to integrate direct and indirect land use in LCA and its impact on biodiversity but none of the proposed metrics are fully operational or applied globally.

Ecotoxicity

The potential effect of toxic releases and exposure on environments.

Freshwater Ecotoxicity

Life cycle impact assessment of toxicity takes into account the fate, route of exposure and toxicity impact of toxic substances when released to air, water or land. Categories of chemical substances commonly accounted for are pesticides, heavy metals, hormones and organic chemicals. Human toxicity, non-cancer measures the potential for toxic releases or exposure to cause damage to freshwater environments.

Ionizing Radiation

Ionizing Radiation (IR) characterises impacts from the release of radioactive species (radionuclides) to air and water. The species most commonly accounted for are the radionuclides of caesium, iodine, radon and uranium etc. Anthropogenic sources are the nuclear fuel cycle, phosphate rock extraction, coal power plants, and oil and gas extraction. When released to the environment, they can impact both human health and ecosystems so the end_point areas of protection they relate to are human health and the ecosystem quality.

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Appendix B: Detailed Structure Scope Diagram

Key: ✓ In Scope, In Design ✓ In Scope, Not In Design ✓ Partial ✗ Out of Scope

Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
Substructure	Substructure	✗
	Standard foundations	✗
	Specialist foundations	✗
	Lowest floor construction	✗
	Insulation	✗
	Basement excavation	✗
	Basement retaining walls	✗
Superstructure	Frame	✗
	Frame	✗
	Upper floors	✗
	Floors	✗
	Insulation	✗
	Balconies	✗
	Drainage to balconies	✗
	Roof	✗
	Insulation	✗
	Roof structure	✗
	Roof coverings	✗
	Specialist roof systems	✗
	Roof drainage	✗
	Rooflights, skylights and openings	✗
	Roof features	✗
	Stairs and ramps	✗
	Stair/ramp structures	✗
	Stair/ramp finishes	✗
	Stair/ramp balustrades and handrails	✗
	Ladders/chutes/slides	✗
	External walls	✓
	External Paint, Textures and Renders	✓
	External enclosing walls above ground level	✓
	Insulation	✓
	External enclosing walls below ground level	✓
	Solar/rain screening	✓
	External soffits	✓
	Subsidiary walls, balustrades and proprietary balconies	✓
	Facade access/cleaning systems	✓
	Windows and external doors	✗
	External windows	✗
	Security and Fly Screens	✗
	External doors	✗
	Internal walls and partitions	✗
	Walls and partitions	✗
	Insulation	✗
	Balustrades and handrails	✗
	Moveable room dividers	✗
	Cubicles	✗
	Internal doors	✗
	Internal doors	✗
	Internal finishes	✗
	Wall finishes	✗
	Wall finishes	✗
	Cornices & Shadowlines	✗
	Paint - Walls	✗
	Wet Area Walls	✗
Floor finishes	✗	
Finishes to floors	✗	
Wet Area Floors	✗	
Raised access floors	✗	

NOT FOR COMMERCIAL USE: FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	Ceiling finishes	X
	Finishes to ceilings	X
	False ceilings	X
	Demountable suspended ceilings	X
Fittings, furnishings and equipment	Fittings, furnishings and equipment	X
	General fittings, furnishings and equipment	X
	Domestic kitchen fittings and equipment	X
	Special purpose fittings, furnishings and equipment	X
	Signs/notices	X
	Works of art	X
	Non-mechanical and non-electrical equipment	X
	Internal planting	X
	Bird and vermin control	X
Services equipment	Sanitary installations	X
	Sanitary appliances	X
	Sanitary ancillaries	X
	Services equipment	X
	Services equipment	X
	Disposal installations	X
	Foul drainage above ground	X
	Chemical, toxic and industrial liquid waste disposal	X
	Refuse disposal	X
	Water installations	X
	Mains water supply	X
	Cold water distribution	X
	Hot water distribution	X
	Local hot water distribution	X
	Steam and condensate distribution	X
	Heat source	X
	Heat source	X
	Space heating and air conditioning	X
	Central heating	X
	Local heating	X
	Central cooling	X
	Local cooling	X
	Central heating and cooling	X
	Local heating and cooling	X
	Central air conditioning	X
	Local air conditioning	X
	Ventilation systems	X
	Central ventilation	X
	Local and special ventilation	X
	Smoke extraction/control	X
	Electrical installations	X
	Electric mains and sub-mains distribution	X
	Power installations	X
	Lighting installations	X
	Specialist lighting installations	X
	Local electricity generation systems	X
	Earthing and bonding systems	X
	Fuel installations	X
	Fuel storage	X
	Fuel distribution systems	X
	Lift and conveyor installations	X
	Lifts and enclosed hoists	X
	Escalators	X
	Moving pavements	X
	Powered stairlifts	X
	Conveyors	X
	Dock levellers and scissor lifts	X

NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	Cranes and unenclosed hoists	X
	Car lifts, car stacking systems, turntables and the like	X
	Document handling systems	X
	Other lift and conveyor installations	X
	Fire and lightning protection	X
	Fire-fighting systems	X
	Fire suppression systems	X
	Lightning protection	X
	Communication, security and control systems	X
	Communication systems	X
	Security systems	X
	Central control/building management systems	X
	Specialist installations	X
	Specialist piped supply installations	X
	Specialist refrigeration systems	X
	Specialist mechanical installations	X
	Specialist electrical/electronic installations	X
	Water features	X
	Civil Engineering Structure	X
	Builder's Work in Connection (BWIC) with Services	X
	BWIC with services	X
Prefabricated buildings and building units	Prefabricated buildings and building units	X
	Complete buildings	X
	Building units	X
	Pods	X
Work to existing building	Minor demolitions and alterations	X
	Minor Demolitions and Alterations	X
	Repairs to existing services	X
	Repairs to existing services	X
	Damp proof course/fungus and beetle eradication	X
	Damp Proof Course/Fungus and Beetle Eradication	X
	Façade Retention	X
	Façade Retention	X
	Cleaning Existing Surfaces	X
	Cleaning Existing Surfaces	X
	Renovation work	X
	Renovation Work	X
External works	Site preparation works	X
	Site clearance	X
	Preparation groundworks	X
	Roads, paths and paving	X
	Roads, paths and paving	X
	Special surfacings and pavings	X
	Soft landscaping, planting and irrigation systems	X
	Seeding and turfing	X
	External planting	X
	Irrigation systems	X
	Fencing, railings and walls	X
	Fencing and railings	X
	Walls and screens	X
	Retaining walls	X
	Barriers and guardrails	X
	External fixtures	X
	Site/street furniture and equipment	X
	Ornamental features	X
	External drainage	X
	Surface water and foul water drainage	X
	Ancillary drainage systems	X
	External chemical, toxic and industrial liquid waste drainage	X
	Land drainage	X

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



Parent Name	Sub Category Name	Scenario Design
	External services	X
	Water mains supply	X
	Electricity mains supply	X
	External transformation devices	X
	Electricity distribution to external plant and equipment	X
	Gas mains supply	X
	Telecommunications and other communication system connections	X
	External fuel storage and piped distribution systems	X
	External security systems	X
	External/street lighting systems	X
	Local/district heating installations	X
	BWIC with external services	X
	Minor building works and ancillary buildings	X
	Minor building works	X
	Ancillary buildings and structures	X
	Underpinning to external site boundary walls	X
Facilitating works	Toxic/hazardous/contaminated material treatment	X
	Toxic/hazardous material removal	X
	Contaminated land	X
	Eradication of plant growth	X
	Major demolition works	X
	Demolition works	X
	Soft strip works	X
	Temporary support to adjacent structures	X
	Temporary support to adjacent structures	X
	Specialist groundworks	X
	Site dewatering and pumping	X
	Soil stabilisation measures	X
	Ground gas venting measures	X
	Temporary diversion works	X
	Temporary diversion works	X
	Extraordinary site investigation	X
	Archaeological investigation	X
	Reptile/wildlife mitigation measures	X
	Other extraordinary site investigation	X
Project/design team	Consultants	X
	Planning & Approvals	X
	Main contractor's pre-construction design	X
	Project Management	X
	Main contractor's design	X
	Sales and Marketing	X
Undefined		

NOT FOR COMMERCIAL USE:
 FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
 YET TO BE CERTIFIED



NOT FOR COMMERCIAL USE:
FIGURES HAVE NOT BEEN VALIDATED
YET TO BE CERTIFIED

