

ANÁLISE AMBIENTAL COMPARATIVA DA FASE OPERACIONAL DO PRÉDIO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA UFSC E DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL COM CERTIFICAÇÃO LEED

Lívia Borges Carneiro

LÍVIA BORGES CARNEIRO

**ANÁLISE AMBIENTAL COMPARATIVA DA FASE
OPERACIONAL DO PRÉDIO DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA UFSC E DE UM
EDIFÍCIO COMERCIAL COM CERTIFICAÇÃO LEED**

Trabalho apresentado à
Universidade Federal de Santa
Catarina para a Conclusão do
Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Dr. Edivan Cherubini

FLORIANÓPOLIS
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Carneiro, Livia Borges

Análise ambiental comparativa da fase operacional do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC e de um edifício comercial com certificação LEED / Livia Borges Carneiro ; orientador, Edivan Cherubini, coorientador, Sebastião Roberto Soares, 2017.

71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 3. Setor Construtivo. 4. Fase Operacional. 5. Avaliação de Impactos Ambientais. I. Cherubini, Edivan . II. Soares, Sebastião Roberto . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE AMBIENTAL COMPARATIVA DA FASE
OPERACIONAL DO PRÉDIO DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA UFSC E DE UM
EDIFÍCIO COMERCIAL COM CERTIFICAÇÃO LEED**

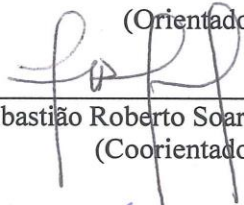
LIVIA BORGES CARNEIRO

Trabalho apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para a Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

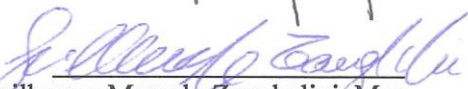
BANCA EXAMINADORA:



Prof.Dr. Edivan Cherubini
(Orientador)



Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares
(Coorientador)



Engº Guilherme Marcelo Zanghelini, Msc
(Membro da Banca)



Prof. Bruno Menezes Galindro, Msc
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JUNHO/2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo caminho que percorri até aqui, pelas minhas conquistas e aprendizados vivenciados.

Ao meu pai, Antônio, minha mãe, Eliete e meu irmão, Danilo, que sempre me apoiaram em minhas decisões e incentivaram a minha vinda para Florianópolis, para que eu crescesse como pessoa e profissionalmente. Não tenho dúvidas que o nosso compromisso espiritual é muito forte e especial.

A minha família e amigos de Salvador, pelos quais tenho um carinho enorme por todo o apoio que me deram, mesmo estando longe.

À Guilherme e a toda sua família, que me acompanharam e apoiaram em um período importante da minha trajetória acadêmica e fazem parte da minha família de coração.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, que me ajudaram nos estudos e no apoio emocional. Em especial a Laís Tommasi Marcon, por estar sempre comigo, desde a primeira fase do curso, em momentos marcantes da minha trajetória.

Ao meu orientador, Edivan Cherubini, pelo apoio, paciência, ensinamentos e atenção dada ao longo da elaboração deste trabalho, tornando-o estimulante e enriquecedor.

A CASAN, como também a toda equipe do SOMEG, por todo conhecimento proporcionado ao longo do período em que fiz o estágio obrigatório.

A equipe do CICLOG, pelo auxílio dado para que eu pudesse realizar o meu trabalho da melhor forma possível.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma me apoiaram ao longo dos seis anos de curso.

RESUMO

A fase de uso das edificações é caracterizada como um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais no mundo. Diante dessa problemática, iniciou-se discussões sobre a concepção de edifícios mais sustentáveis, comprovados por certificações ambientais. Portanto, o presente trabalho teve o objetivo de comparar os impactos potenciais da fase operacional de dois edifícios, com e sem certificação de boas práticas ambientais, através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), para quantificar e analisar a contribuição dos seus impactos ambientais. O edifício sem certificação escolhido foi o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Enquanto que o edifício com certificação é o Office Park, com certificação LEED. Os fluxos do sistema de produto foram inventariados com dados primários das atividades de consumos de água e energia, transporte de pessoas, geração de resíduos e efluentes e consumo de produtos de manutenção foram inventariadas e modelados no software openLCA, e então traduzidos em potenciais impactos a partir do método TRACI. Os resultados mostraram que o transporte para o deslocamento de funcionários e alunos, devido ao uso de automóveis, e o consumo de energia são as atividades mais prejudiciais ao meio ambiente, identificadas como os gargalos do sistema. Quando comparado aos resultados obtidos para o edifício certificado como sustentável, o ENS apresentou comportamentos similares ao do Office Park, contudo, sempre em valores superiores, para todas as categorias de impacto avaliadas. Em seguida, foram propostos cenários de melhorias para a mitigação dos impactos provocados pelos gargalos identificados. Quando avaliadas as medidas em conjunto para o cenário mais otimista, é possível alcançar uma redução de até 32% nos impactos.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Setor Construtivo, Fase Operacional, Avaliação de Impactos Ambientais.

ABSTRACT

The use phase of buildings is one of the main responsible for natural resource consumption. Faced this problem, discussions began on the design of more sustainable buildings, proven by environmental certifications. Therefore, of the aim of this work was to compare the potential impacts of the operational phase of two buildings, with and without certification of good environmental practices, through the methodology of Life Cycle Assessment (LCA), to quantify and analyze the contributions of their environmental impacts. The building without certification was the Department of Sanitary and Environmental Engineering (ENS), of the Federal University of Santa Catarina (UFSC). While the building with certification is Office Park, with LEED certification. The product system flows were inventoried with primary data from water and energy consumption, transport of employees and students, waste and effluent generation and consumption of maintenance products were inventoried and modeled in the openLCA software, and then translated into potential impacts through the TRACI LCIA method. The results showed that the transport, due to car usage and energy consumption are the most harmful activities to the environment, identified as the system hotspots. When compared to the results obtained for the building certified as sustainable, the ENS presented similar behavior similar to those of Office Park, although with higher environmental impacts. Next, improvement scenarios were proposed to mitigate the impacts caused by identified bottlenecks. When the measures are evaluated together for a more optimistic scenario, it is possible to reach a reduction up to 32% on the impacts.

Key words: Life Cycle Assessment (LCA), Construction Sector, Operational Phase, Environmental Impact Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de entradas e saídas de uma avaliação do ciclo de vida.	24
Figura 2 - Fases de uma ACV.	25
Figura 3 - Ciclo de vida típico de edificações.	29
Figura 4 - Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício.	30
Figura 5 - Fluxograma do ciclo de vida energético de um edifício.	31
Figura 6 - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.	35
Figura 7 - Fronteira do sistema de produto.	37
Figura 8 - Panorama geral dos impactos ambientais da fase de uso do edifício para todas as categorias do método TRACI 2.1.	47
Figura 9 - Comparação Office Park vs ENS: (a) acidificação; (b) aquecimento global; (c) eutrofização; (d) depleção da camada de ozônio.	49
Figura 10 - Comparação Office Park vs ENS com o openLCA: (a) acidificação; (b) aquecimento global; (c) eutrofização; (d) depleção da camada de ozônio.	53
Figura 11 - Comparação ENS (cenário base) com o uso de energia solar como medida mitigadora (cenário 1).	57
Figura 12 - Comparação ENS (cenário base) com a otimização deslocamento de pessoas como medida mitigadora: redução em 50% (cenário 2); redução em 75% (cenário 3).	58
Figura 13 - Comparação ENS (cenário base) com a otimização deslocamento de pessoas e uso da energia solar como medida mitigadora.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos de impactos ambientais para edifícios comerciais..	32
Tabela 2 - Quilometragem total anual por tipo de transporte.....	40
Tabela 3 - Inventário do Ciclo de Vida do ENS.....	44
Tabela 4 - Quantificação dos impactos ambientais do ENS.....	48
Tabela 5 - Diferenças metodológicas e de modelagem entre o ENS e o Office Park.	51
Tabela 6 - Cenários avaliados para o transporte.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Acidificação
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE – Análise do Ciclo de Vida Energético
AG – Aquecimento Global
AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
C – Cancerígeno
CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina
CICLOG – Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida
COMCAP – Companhia de Melhoramentos da Capital
CTC – Centro Tecnológico
DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis
DCO – Depleção da Camada de Ozônio
DEE – Divisão de Eficiência Energética
DMPI – Departamento de Manutenção Predial e Infra
DPAE – Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia
ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
ER – Efeitos Respiratórios
Etox – Ecotoxicidade
EU – Eutrofização
FEESC – Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina
GEE – Gases do Efeito Estufa
ICV – Inventário do Ciclo de Vida
ISO – *International Organization for Standardization*
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente
N-C – Não-cancerígeno
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*
SMOG – Formação de Ozônio Fotoquímico
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UNEP- *United Nations Environment Programme*
USA – *United States of America*
USEPA- *United States Environmental Protection Agency*
USGBC – *United States Green Building Council*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA... 24	
3.1.1	Objetivos e escopo	26
3.1.2	Análise do inventário do ciclo de vida	26
3.1.3	Avaliação dos impactos do ciclo de vida	27
3.1.4	Interpretação de resultados e análise das melhorias	27
3.2	APLICAÇÃO DA ACV EM AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES	28
4	METODOLOGIA	35
4.1	OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO	35
4.1.1	Caracterização do local	35
4.1.2	Unidade funcional	36
4.1.3	Fronteiras do sistema	36
4.2	INVENTÁRIO DA FASE DE OPERAÇÃO DO EDIFÍCIO	38
4.2.1	Consumo de água	38
4.2.2	Consumo de energia	39
4.2.3	Uso de transporte	39
4.2.4	Geração de resíduos sólidos	40
4.2.5	Consumo de materiais de manutenção	41
4.2.6	Geração de efluentes	42
4.3	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	42
4.4	INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS	43

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1	INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO	44
5.2	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA DO ENS	46
5.3	ANÁLISE COMPARATIVA DO ENS E DO EDIFÍCIO LEED..	49
5.3.1	Análise de sensibilidade entre modelagens	52
5.4	MEDIDAS MITIGADORAS.....	54
5.4.1	Uso do Transporte.....	54
5.4.2	Consumo de energia.....	55
5.5	ANÁLISE DE CENÁRIOS DE MELHORIAS AMBIENTAIS	56
6	CONCLUSÃO.....	60
7	RECOMENDAÇÕES	61
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
	APÊNDICE - Questionário sobre o uso do transporte.....	71

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e as mudanças dos padrões de consumo e processos de produção tornaram-se assuntos recorrentes em um ambiente urbano. Como consequência, a preocupação com os efeitos desse desenvolvimento da sociedade e a sua relação com os recursos naturais tem ganhado mais força nas últimas décadas. Nesse contexto, diversas discussões têm sido voltadas à estratégias que visam à redução dos impactos ambientais provocados por ações antrópicas.

As fases de construção e uso das edificações são citadas entre as principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais no mundo. Em nível internacional podem consumir de 12 a 16% do fornecimento de água potável, utilizar 40% dos combustíveis fósseis e gerar 40% dos resíduos sólidos (WINES, 2000).

Diante dessa problemática, houve um aumento no interesse por edifícios com uso racional de recursos naturais, aumento do uso de materiais ecológicos e que causem a mínima alteração possível do ambiente no qual estão inseridos (GOULART, 2016). Assim, a comprovação e cobrança pelo aumento da sustentabilidade dos empreendimentos demandaram a criação das certificações ambientais, cujos procedimentos direcionam ações para que alcancem alto desempenho ambiental (LEITE, 2011).

Dentre as certificações ambientais existentes, o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design* – traduzida para o português como Liderança em Energia e Design Ambiental) é amplamente utilizado nos empreendimentos com características sustentáveis do país, por ser internacionalmente valorizado (DEEKE, CASAGRANDE JR e SILVA, 2010; FONSECA, 2014). Contudo, alguns autores afirmam que essas certificações ambientais não garantem que o edifício seja realmente sustentável, tendo em vista que consome, na prática, a mesma quantidade de energia que aqueles convencionais (OLIVEIRA, 2014; SCOFIELD, 2013).

Para conhecer o verdadeiro desempenho ambiental dos edifícios, é necessário analisar as atividades desenvolvidas ao longo de todo seu ciclo de vida. Dessa forma, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma importante ferramenta para gestores, devido aos expressivos impactos ambientais produzidos nas fases de construção até a fase de demolição da estrutura (SOARES, SOUZA e PEREIRA, 2006). A ACV quantifica os impactos ambientais de um produto/serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida (ABNT, 2009a), ou seja, compreende todas as fases de uma edificação. Deste modo, a ACV permite avaliar *trade-offs* de

impactos entre as fases, e assim conduzir o tomador de decisão para uma estratégia mais efetiva na perspectiva ambiental.

Segundo Junnila, Horvath e Guggemos (2006), durante o ciclo de vida de um edifício, a fase de operação é a mais significativa quanto ao aspecto ambiental, uma vez que representa 50-90% de suas emissões, e no que se refere ao CO₂ eq. representa 83% do total desse poluente para todo o ciclo de vida. Outros trabalhos (JUNNILA, 2004; KOFOWOROLA E GHEEWALA, 2009; ZHANG et al., 2006;) também apontaram a fase de uso como a mais relevante em termos de contribuição para os impactos ambientais de uma edificação.

Diante do cenário apresentado, o estudo em questão tem o objetivo de comparar os impactos potenciais da fase operacional de dois edifícios, com e sem certificação de boas práticas ambientais.

O edifício sem certificação representa o prédio na qual está localizado o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A escolha pelo local se justifica por se tratar de um departamento de ensino que tem como missão o *“Desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, buscando respostas para os problemas ambientais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável regional e nacional”* (ENS, 2017). Deste modo, despertou-se o interesse em avaliá-lo e compará-lo a um edifício comercial certificado como sustentável. Além disso, existem poucos estudos de ACV de edificações de ensino.

O edifício com certificação ambiental LEED é o Office Park, também localizado em Santa Catarina e que teve os seus potenciais impactos ambientais quantificados por Rabaça (2015).

A comparação teve como finalidade e motivação entender as diferenças entre os impactos ambientais causados por edifícios com e sem certificação ambiental e auxiliar na resposta da seguinte pergunta: **Um edifício que ensina sustentabilidade, a aplica de fato no dia-a-dia?**

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os impactos potenciais da fase operacional de dois edifícios, com e sem certificação de boas práticas ambientais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar os potenciais impactos ambientais da fase de operação do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da UFSC;
- b) Identificar os gargalos da fase operacional;
- c) Comparar os resultados do ENS com os de um edifício comercial com certificação LEED;
- d) Propor cenários de melhorias ambientais, que reduziriam os impactos ambientais mais significantes do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

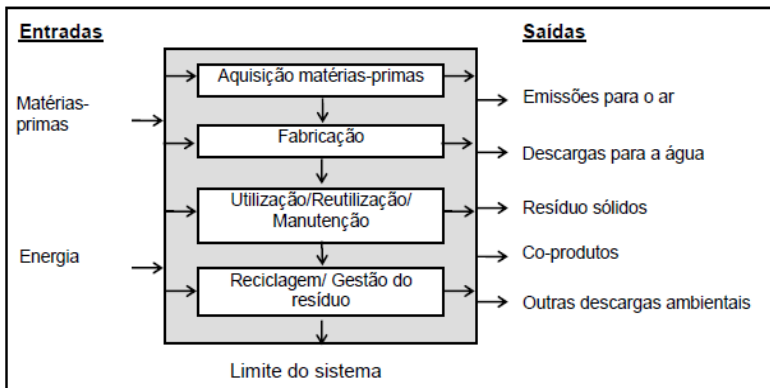
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia ambiental organizada e padronizada internacionalmente, que quantifica todas as emissões e recursos consumidos em todas as fases do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, analisando os impactos sobre a biodiversidade e a saúde do ser humano e o esgotamento de recursos (ABNT, 2009a; CHEHEBE, 1998; PEDROSO, 2015).

A Figura 1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados em uma ACV e as típicas entradas/saídas medidas (USEPA, 2001).

Figura 1 - Fluxograma de entradas e saídas de uma avaliação do ciclo de vida.



Fonte: USEPA (2001).

Segundo a SETAC (1993), os principais objetivos da realização da ACV são:

- Fornecer uma imagem mais completa possível das interações de uma atividade com o meio ambiente;
- Contribuir para a compreensão da natureza global e interdependente das consequências ambientais das atividades humanas;
- Fornecer informações aos tomadores de decisões, para que definam os efeitos ambientais destas atividades e identifiquem oportunidades de melhorias.

No sentido de uniformizar as interpretações e orientar estudos para esse fim, a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), uma das organizações pioneiras na área, em conjunto com a UNEP (*United Nations Environment Programme*), outra entidade internacional, organiza encontros científicos, com o objetivo de desenvolver metodologias, além de criar e manter grupos de trabalhos, que identificam práticas adequadas para aplicar estudos de ACV, bem como sugestões para superar algumas das suas limitações (TAVARES, 2006).

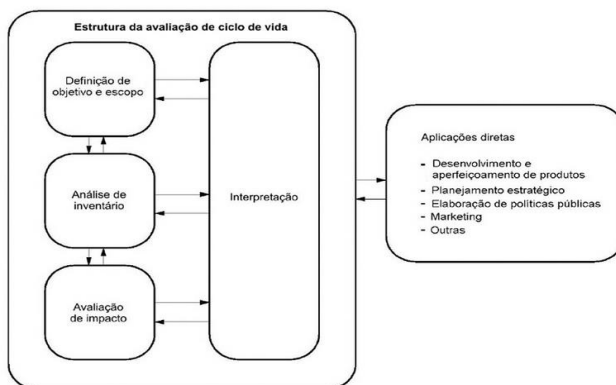
Atualmente, a ACV é disciplinada por normas da série ISO 14000, a qual foi criada como um padrão que pudesse ser referência em todo o mundo. No Brasil, as normas foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT), a NBR ISO 14040 estabelece os princípios gerais (ABNT, 2009a) e a NBR ISO 14044 trata dos requisitos e orientações (ABNT, 2009b).

Segundo a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), a metodologia de uma ACV é dividida em quatro fases:

- Definição de objetivo e escopo;
- Análise de inventário;
- Avaliação de impactos;
- Interpretação de resultados.

O esquema apresentado na Figura 2 ilustra a forma como as fases de uma ACV interagem entre si.

Figura 2 - Fases de uma ACV.



Fonte: NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a).

3.1.1 Objetivos e escopo

A definição do objetivo e do escopo de uma ACV deve ser realizada de forma clara e consistente, para que a avaliação não gere resultados confusos e interpretações enganosas (FRANKL & RUBIK, 2000).

No objetivo de um estudo de ACV, deve constar a aplicação pretendida, as razões para a sua aplicação, o público-alvo (a quem se pretende informar os resultados do estudo) e se há a intenção de utilizar os dados obtidos para análises comparativas a serem divulgadas publicamente (ABNT, 2009a).

Os resultados esperados por uma ACV são dados em termos de uma comparação de desempenho ambiental; portanto, é importante definir uma unidade funcional nessa etapa. Esta referência é necessária para assegurar que a comparabilidade dos resultados da ACV seja feita numa base comum, sendo particularmente crítica quando diferentes sistemas são avaliados (ABNT, 2009a; TAVARES, 2006).

No escopo é definido o sistema do produto, cujas fronteiras e limitações devem ser claramente estabelecidas e descritas antes de iniciar a avaliação, apresentando o propósito e extensão do estudo (ABNT, 2009b; ASSIES, 1992; HAUSCHILD, 2005). Esses limites de cunho tecnológico, geográfico e de horizonte de tempo são necessários para garantir que a análise do sistema de produto em estudo atingirá o objetivo proposto para a avaliação (GUINÉE; DE HAES; HUPPES, 1993; SETAC, 1993; SHEN, 1995).

3.1.2 Análise do inventário do ciclo de vida

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) consiste no levantamento, coleta de dados e cálculos das entradas e saídas de um sistema de produto (ABNT, 2009a). Por envolver uma grande quantidade de dados a ser coletada, essa é a etapa que demanda mais tempo para ser realizada. Vale ressaltar que a análise do inventário é um processo iterativo, devido às possíveis mudanças nas necessidades, quanto ao tipo e quantidade de informações, ou até mesmo limitações no momento da coleta de dados. Desta forma, pode haver a revisão constante dos dados, para que os objetivos sejam atingidos (GUINNÉ et al, 2011; JIJAKLI, 2012; OLSEN et al, 2001; SILVA, 2013).

Todos os dados de entradas e saídas de cada processo individual dentro das fronteiras do sistema devem estar contidos no inventário, como fluxos de poluentes, materiais e recursos, envolvendo o balanço de

massas e fluxos energéticos do sistema, de acordo com a unidade funcional proposta. Portanto, se conduzido corretamente, um inventário leva à identificação das principais contribuições por etapas do ciclo de vida, facilitando o desenvolvimento das etapas seguintes (ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE, 2009; SHERWANIA; USMANI; VARUN, 2010; TAVARES, 2006).

3.1.3 Avaliação dos impactos do ciclo de vida

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é definida como um processo técnico, quantitativo, e/ou qualitativo, para caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas no inventário (SETAC, 1993). Os impactos potenciais sobre ecossistemas, saúde humana e recursos naturais são classificados, caracterizados e valorados. Assim, essa etapa relaciona o inventário de aspectos ambientais aos problemas ambientais por eles gerados (CONSOLI et al., 1993; IBICT, 2014; SHEN, 1995).

Segundo a SETAC (1993), a análise de impacto tem o objetivo de tornar os dados de inventário mais relevantes, pelo aumento do conhecimento acerca dos potenciais impactos ambientais do sistema de produto em estudo, bem como facilitar a agregação e interpretação dos dados de inventário em formas que sejam mais manejáveis e significativas para a tomada de decisão. Para isso, foram estabelecidas diversas categorias de impacto como: aquecimento global, depleção da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, etc.

3.1.4 Interpretação de resultados e análise das melhorias

A interpretação dos resultados de uma ACV consiste na avaliação do estudo, de acordo com os objetivos estabelecidos, e a análise dos resultados e na formulação de conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema (GRAEDEL, 1998).

Segundo Frankl & Rubik (2000), esta etapa envolve um processo iterativo, de revisão do escopo da ACV, assim como da natureza e qualidade dos dados coletados. Aspectos como sensibilidade e incertezas estão inseridos no julgamento de qualidade dos resultados obtidos (HAUSCHILD, 2005).

A análise de melhorias dos pontos fracos do sistema de produto avaliado é considerada como uma etapa à parte no SETAC *LCA Code of Practice* (SETAC, 1993), a qual avalia metodicamente a necessidade e

oportunidades para reduzir o dano ambiental relacionado à maneira de apropriação e uso de energia e recursos naturais, assim como liberação de emissões ao longo do ciclo de vida do produto, processo ou atividade (SHEN, 1995). As sugestões para futuros estudos que possam apresentar propostas semelhantes, também fazem parte dessa etapa (TAVARES, 2006).

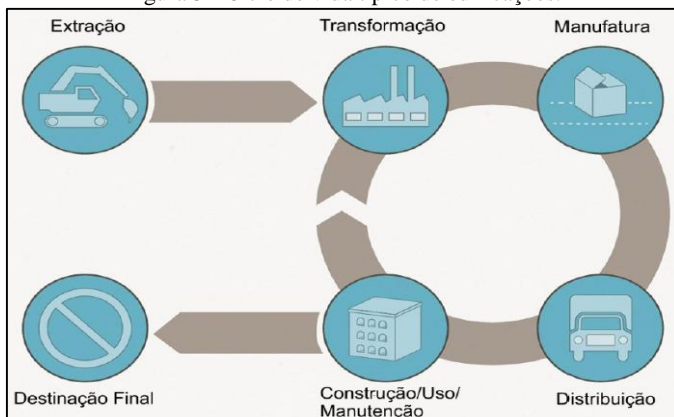
3.2 APLICAÇÃO DA ACV EM AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES

O crescimento urbano é consequência do processo de desenvolvimento de um país e, junto a ele, estão os avanços significativos no setor da construção civil, a fim de suprir as novas necessidades da população. Nesse mundo empresarial, surgiu a necessidade do estabelecimento de ferramentas e práticas para auxiliar as empresas na adequação ambiental de seus passivos. Esses instrumentos são implantados não somente como consequência dos requisitos legais voltados ao controle de impactos ambientais, mas também a partir das exigências de mercado, fazendo com que os tomadores de decisões adotem medidas mais sustentáveis em seus empreendimentos (ASSIS, 2009).

Diante desse contexto, a aplicação da ACV no setor da construção civil passou a receber investimentos crescentes em pesquisas, apesar da complexidade de sua dimensão científica e discussão ambiental (ARAÚJO, 2008).

O conhecimento dos expressivos impactos potenciais, produzidos nos ambientes naturais nas diferentes fases do processo construtivo, desde a extração de matéria-prima até a destinação final (Figura 3), permite avaliar o desempenho ambiental de um edifício, no que se refere às emissões atmosféricas, ao consumo de recursos naturais, demanda energética e geração de resíduos sólidos e líquidos (SILVA, 2003; SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

Figura 3 - Ciclo de vida típico de edificações.

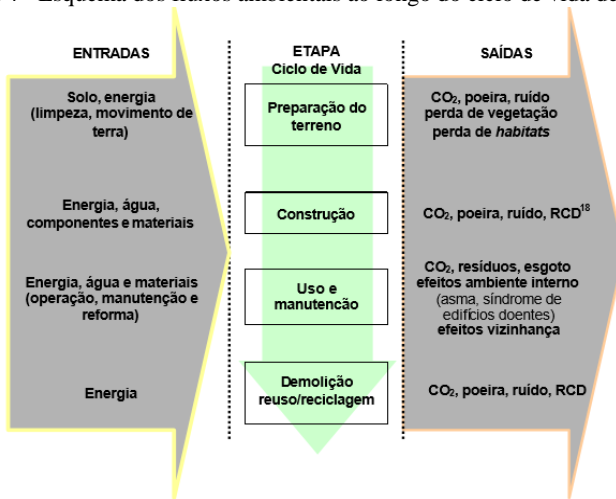


Fonte: MUNARIM (2014).

O estudo de Zabalza Bribián et al. (2009) afirma que os resultados da ACV no setor da construção civil trazem benefícios associados ao marketing, aquisição simplificada de dados, obtenção de declarações ambientais, desenvolvimento de metas ambientais e subsídios para a redução de impactos ambientais. Por outro lado, afirma também que existem algumas barreiras, como o conhecimento restrito dos impactos ambientais que podem ser gerados, sua metodologia de cálculo, a escassez de interfaces padronizadas utilizadas no setor de construção civil, baixa cooperação dos fabricantes de materiais e a baixa ligação entre as aplicações de certificações de energia.

Embora tenha aumentado nos últimos anos, a aplicação da ACV no Brasil, ainda é relativamente nova para pequenas e médias empresas (ZANGHELINI et al., 2016). Além disso, observam-se outras barreiras, tais como inúmeros sistemas de produto que ainda precisam ser avaliados, inexistência de dados confiáveis de materiais de construção nacionais e limitação da descrição do desempenho ambiental do edifício através de fluxos de matéria (SILVA, 2003). A Figura 4 apresenta a descrição dos efeitos ambientais resultantes desses fluxos do ciclo de vida de um edifício.

Figura 4 - Esquema dos fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida de um edifício.



Fonte: SILVA (2003).*

Embora muitos autores tenham apresentado resultados de uma abordagem completa da ACV (SILVA, 2013; BLENGINI & DI CARLO, 2010), usualmente, os estudos de ACV para edificações são realizados com a avaliação de apenas uma das etapas do ciclo de vida do produto. Dentre elas, a menos abordada é a de fim de vida. A complexidade dessas avaliações está na interdependência dos impactos ambientais gerados, visto que cada etapa influencia na outra (BLENGINI & DI CARLO, 2010).

Segundo Degani & Cardoso (2002), o ciclo de vida de um edifício abrange as seguintes etapas:

- **PLANEJAMENTO** – fase inicial do ciclo de vida de um edifício, na qual são realizados estudos de viabilidade física, econômica e financeira, e elaborados projetos e especificações;
- **IMPLANTAÇÃO** – fase de construção do empreendimento;
- **USO** – fase de uso do empreendimento, devido à ocupação;
- **MANUTENÇÃO** – fase de reposição dos componentes que atingiram a fase final de sua vida útil, manutenção de equipamentos e sistemas, correção de falhas de execução,

* RDC é a sigla para Resíduos de Construção e Demolição.

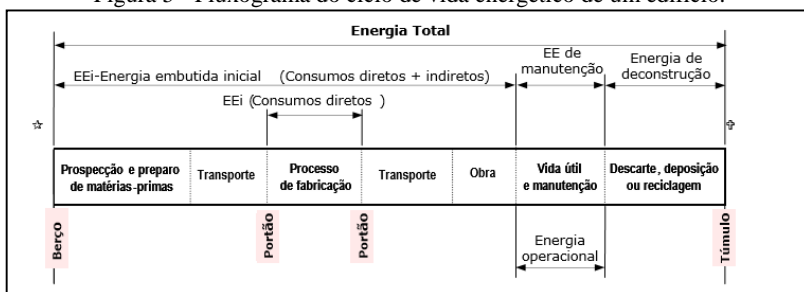
- patologias, modernização do empreendimento e adequação a alterações de comportamento do usuário ou à finalidade;
- **DEMOLIÇÃO** – fase de desmonte do empreendimento.

Diversos estudos de ACV têm sido focados em determinar qual fase representa os impactos ambientais significativos ao se considerar as edificações (SILVA; JOHN; PACCA, 2011). De acordo com a *United Nations Environmental Program – Sustainable Buildings & Climate Initiative*, UNEP (2009), 40% dos impactos ambientais das edificações são caracterizados pelo consumo de energia, 30% pelo uso de matéria prima, 25% pela geração de resíduos sólidos, 25% pelo consumo de água e 12% pelo uso da terra.

Nos estudos de ACV, é recorrente encontrar impactos consideráveis relativos ao consumo de energia do edifício. Contudo, a fim de reduzir a demanda de tempo e recursos, é dado um foco mais específico, originando os métodos de Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), com a proposta de facilitar a tomada de decisão a respeito da eficiência energética e dos impactos associados ao estudo (FAY, 1999; 2000).

Estudos sobre a ACVE sugerem uma divisão básica dos requisitos energéticos ao longo do ciclo de vida energético de um edifício, compreendendo: energia embutida inicial (insumo energético direto e indireto para erguer a edificação), energia operacional e energia de desconstrução (insumo energético direto para demolição e transporte de materiais) (TAVARES, 2006). A Figura 5 representa esquematicamente o ciclo de vida energético de uma edificação.

Figura 5 - Fluxograma do ciclo de vida energético de um edifício.



Fonte: TAVARES (2006).

De acordo com uma revisão de 73 estudos, feita por Ramesh, Prakash, Shukla (2010), cerca de 80 a 90% de toda energia consumida

no ciclo de vida energético de um edifício é proveniente da fase operacional, caracterizando-a como a fase que concentra os maiores impactos ambientais. (SILVA, 2013). A alta demanda da fase de uso está relacionada ao alto consumo de energia, em suas diferentes formas, para climatização, aquecimento, aquecimento de água, iluminação e utilização de equipamentos (ZABALZA BRIBIÁN et al., 2009).

Sartori & Hestnes (2007) também realizaram uma revisão de 60 estudos de casos em ACVE, em nove países diferentes, e constataram a predominância da energia operacional nos ciclos de vida, mesmo em edificações com alta eficiência energética. Outra constatação feita pelos autores foi o maior consumo de energia em edifícios comerciais, em relação aos residenciais, devido a maior densidade ocupacional, e, conseqüentemente, maior demanda energética para manter o conforto térmico. Por fim, sugerem que é na fase operacional que devem ser aplicadas metas de eficiência energética.

Alguns estudos de ACV para edifícios comerciais foram reunidos por Rabaça (2015) e permitem avaliar as unidades funcionais, vida útil e fase do ciclo de vida abrangida no escopo do estudo. A Tabela 1 apresenta as informações relativas aos estudos levantados.

Tabela 1 - Estudos de impactos ambientais para edifícios comerciais.

Referência Bibliográfica	Unidade Funcional	Vida Útil (anos)	Localização	Área (m ²)	ACV/ ACVE	Fase do Ciclo
Arpke e Hutzler (2005)	m ³	25	Estados Unidos	7.700	ACV	Operação
Biswas, 2014	m ² /ano	50	Austrália	4020	ACV	Construção e operação
Buchanan e Honey (1994)	GJ/m ²	25	Nova Zelândia	2.400 e 8.568	ACV	Construção
Citherlet e Hand (2002)	m ² /ano	80	Suíça	5.900	ACV	Completo
Cole e Kernan (1996)	GJ/m ² /ano	50	Canadá	4.620	ACVE	Completo
Dimoudi e Tompa (2008)	m ² /ano	50	Grécia	1.891 e 400	ACV	Construção
Ding (2004)	m ²	40	Austrália	832 - 1680	ACV	Completo
Junnila, Horvath e Guggemos (2006)	m ² /ano	50	Estados Unidos	4.400	ACV	Completo

Referência Bibliográfica	Unidade Funcional	Vida Útil (anos)	Localização	Área (m ²)	ACV/ ACVE	Fase do Ciclo
Junnila (2004)	m ² /ano	50	Finlândia	2.400	ACV	Completo
Junnila & Horvath (2003)	m ² /ano	50	Finlândia	15.600	ACV	Completo
Kofoworola & Gheewala (2009)	60.000 m ²	50	Tailândia	60.000	ACV/ ACVE	Completo
Li (2006)	m ² /ano	35	Japão	9.000	ACV	Completo
Pullen (2000)	GJ/m ² /ano	60	Austrália	28.400	ACVE	Construção e operação
Scheuer, Keoleain e Reppe (2003)	m ²	75	Estados Unidos	7.300	ACVE	Completo
Stein, Serber e Hannon (1976)	btu/pés ²	20	Estados Unidos	-	ACV	Construção
Suzuki & Oka (1998)	m ²	40	Japão	1.502 - 216.000	ACVE	Completo
Treloar et al. (2001)	m ² /ano	40	Austrália	47.000	ACVE	Construção e operação
Trusty & Meil (2000)	m ² /ano	-	Canadá	21.740	ACV	Completo
Wu et al. (2001)	m ² /ano	50	China	36.500	ACVE	Completo
Xing, Xu e Jun (2008)	m ²	50	China	34.620 e 46.240	ACV/ ACVE	Completo
Yohanis & Norton (2002)	m ²	30 e 60	Irlanda	6.175	ACVE	Construção
Zhang et al. (2006)	yuan/m ²	50	China	35.685	ACV	Construção e operação

Fonte: Adaptado de RABAÇA, 2015.

Esses estudos, em sua maioria, apresentaram vida útil de 50 anos, mostrando-se de acordo com as recomendações do Comitê Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 1997). Em relação às unidades funcionais apresentadas, a definição mais utilizada foi de m²/ano, com variações em alguns casos.

A energia consumida durante a fase de operação foi preponderante para os impactos ambientais dos edifícios comerciais,

ressaltando-se que parte considerável dela foi utilizada para o sistema de climatização (JUNNILA & HORVATH, 2003; KOFOWOROLA & GHEEWALA, 2009; WU et al., 2011). Diante desse cenário, justifica-se o foco de alguns estudos no consumo de energia (ACVE), com a proposta de sugerir melhorias na eficiência energética do edifício, adotando-se práticas que possibilitem obter economia de energia, ou seja, mudanças nos padrões de uso das pessoas que circulam pelas áreas, contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

Com relação a estudos comparativos, segundo a revisão dos trabalhos de ACV e ACVE, realizada por Cabeza et al. (2014), os estudos encontrados na literatura são difíceis de comparar entre si, devido às propriedades específicas de cada tipo de edifício, clima, demandas de conforto, normas do local, etc. A principal diferença entre esses estudos está no foco em avaliar somente os materiais utilizados no edifício ou todo o ciclo de vida do mesmo (ou seja, da construção à demolição).

A diferença entre o clima das regiões nas quais foram realizados os estudos apresentados na Tabela 1 pode causar importantes incompatibilidades na sua comparação com o cenário brasileiro, principalmente devido ao elevado consumo energético do aquecimento dentro dos edifícios (calefação) das regiões mais frias e desenvolvidas. Essa informação também foi constatada no trabalho de Ortiz, Castells e Sonnemann (2009).

Outra limitação na realização dos estudos em ACV é a confiabilidade dos dados de massa e energia coletados, que, em muitos casos são baseados em estimativas (JUNNILA & HORVATH, 2003). Além disso, longos períodos de vida útil dos edifícios dificultam a previsão do seu ciclo de vida completo, devido às constantes transformações que este pode sofrer (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

Analisando os resultados e conclusões obtidas pelos trabalhos revisados e após compreendidos os conceitos gerais de uma ACV, com vista ao conhecimento do desempenho ambiental de um processo, produto ou serviço, é possível perceber a importância dessa metodologia como ferramenta ambiental para a identificação dos pontos críticos de cada fase do ciclo de vida.

4 METODOLOGIA

4.1 OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO

4.1.1 Caracterização do local

O sistema de produto avaliado é o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), localizado no Centro Tecnológico (CTC), dentro do *campus* Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis/SC (Figura 6).

Figura 6 - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.



Segundo o Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE) da UFSC, o edifício do ENS possui área útil total de 3442 m², distribuída entre salas de aula, laboratórios, banheiros, sala de reunião, cozinha, corredores, auditório, salas de professores e de grupos de pesquisa. A circulação de uma média de 123 graduandos por esses ambientes ocorre de forma rotativa, das 7h30 às 18 horas, de segunda a sexta-feira. Por sua vez, os 132 funcionários e bolsistas (i.e. pós-graduandos, docentes e técnico-administrativos), trabalham normalmente das 8 às 17 horas. Contudo, o funcionamento da portaria do edifício ocorre das 7 às 19 horas, possibilitando que alunos e

funcionários circulem fora do horário de aulas e trabalho, respectivamente.

Os ambientes contam com um sistema de climatização, que fica ligado durante todo o período de funcionamento do edifício, e são iluminados por lâmpadas tubulares fluorescentes.

O tratamento das informações coletadas pelo estudo foi realizado com o apoio do Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (CICLOG), localizado no próprio ENS.

A modelagem das informações levantadas para a ACV do ENS foi realizada utilizando o software openLCA (GREENDELTA, 2016). A escolha se justifica por ser um software livre e que permite a modelagem profissional do ciclo de vida de sistemas.

A base de dados utilizada foi o ecoinvent 3.2, fonte de dados amplamente utilizada em ACV, devido ao seu elevado número de informações, possibilitando uma análise mais completa (FRISCHKNECHT et al., 2005). A escolha dos *datasets*, que melhor representassem as entradas e saídas do inventário, foi realizada tendo como base a modelagem feita pelo trabalho de Rabaça (2015), a fim de garantir a consistência nas interpretações comparativas dos resultados, embora em algumas situações diferentes *datasets* foram empregados devido a ausência de tais dados no openLCA. Tais alterações foram documentadas e são apresentadas na seção 5, de discussão de resultados no presente documento.

4.1.2 Unidade funcional

A unidade escolhida foi um metro quadrado de área útil do edifício por ano de operação (m^2/ano), definida com base no estudo realizado por Rabaça (2015), a fim de viabilizar a comparação dos resultados obtidos. Adicionalmente, foi observado que há diversos estudos de caso voltados à ACV de edificações, que utilizam a mesma unidade funcional (JUNNILA, 2004; KOFOWOROLA & GHEEWALA, 2009; ORTIZ, CASTELLS, SONNEMANN, 2009; ZHANG et al., 2006).

4.1.3 Fronteiras do sistema

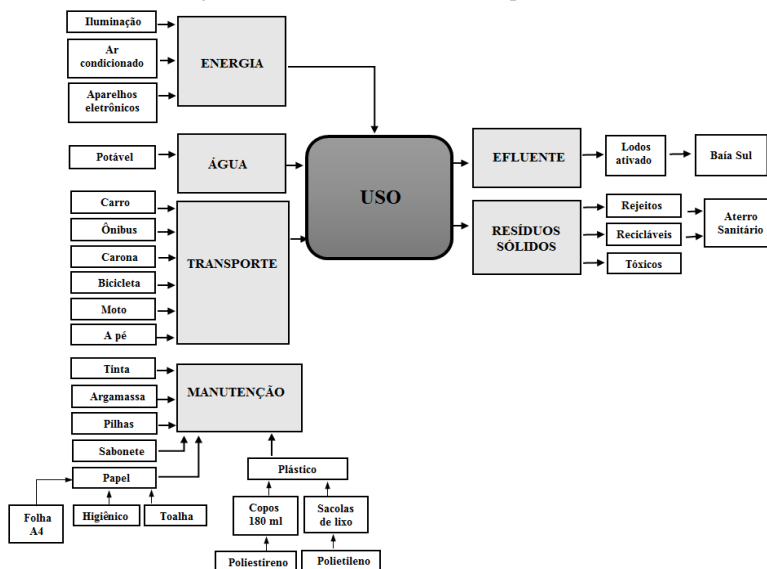
A fronteira do sistema ficou estabelecida e limitada à fase de uso do edifício, por se tratar da fase que concentra os impactos ambientais mais significativos durante o ciclo de vida de edificações

(JUNNILA & HORVATH, 2003; KOFOWOROLA & GHEEWALA, 2009; LI, 2006; ZHANG et al., 2006).

A seleção das atividades a serem avaliadas, adotadas como as principais decorrentes da rotina das pessoas que circulam pelo ENS, foi feita de acordo com a observação do funcionamento do edifício. Além disso, visando a consistência na comparação dos sistemas de produto, a inclusão e exclusão de atividades (processos) dentro da fronteira do sistema foram estabelecidas tendo como base também as definições adotadas por Rabaça (2015). As atividades analisadas foram: consumo de água e energia, transporte das pessoas que circulam pelo edifício, materiais utilizados na sua manutenção (papéis, copos plásticos, pilhas, sabonete líquido, sacolas de lixo, tinta e massa corrida), geração de resíduos sólidos e emissão de efluentes líquidos. Deste modo, lâmpadas e cartuchos de impressoras não estão incluídos nas fronteiras do sistema, devido à falta de uma base de dados mais completa e de informações dos administradores do edifício, respectivamente.

A Figura 7 apresenta as fronteiras do sistema de produto em estudo, assim como as atividades contempladas pela fase de operação que foram avaliadas.

Figura 7 - Fronteira do sistema de produto.



4.2 INVENTÁRIO DA FASE DE OPERAÇÃO DO EDIFÍCIO

Nessa etapa foi realizada a coleta de dados, com a quantificação de entradas e saídas do sistema de produto em estudo. Essas informações foram obtidas por meio dos técnicos-administrativos, de diferentes setores da UFSC, alunos e uma funcionária responsável pela limpeza do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). Os dados que não foram possíveis de serem obtidos por fontes primárias, foram estimados com base nas informações obtidas e em dados secundários.

Inicialmente, foi elaborado um plano de coleta de dados com uma listagem de todas as informações das atividades realizadas no ENS, para então ir à campo e coletá-las, por meio de entrevistas e envio de e-mails. Dessa forma, foi possível construir o inventário referente a cada mês da fase de uso do edifício.

O período de análise escolhido foi o ano de 2015, devido à disponibilidade de dados e compatibilidade com uma parte do intervalo de tempo escolhido por Rabaça (2015).

Os dados populacionais utilizados nos cálculos das estimativas de consumo de energia e materiais de manutenção, transporte e geração de resíduos, foram obtidos através do Boletim de Dados 2015, elaborado pelo Departamento de Planejamento e Gestão da Informação (DPGI) da UFSC.

4.2.1 Consumo de água

A água potável é fornecida por um hidrômetro da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), que abastece o ENS e a sede da Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC). Com a informação da população dos edifícios, no período letivo e de recesso escolar, de 510 e 387 pessoas, respectivamente, e os volumes consumidos em cada período, de 2026 m³ e 356 m³, respectivamente, foi possível quantificar o volume anual consumido apenas pelo departamento. Esse cálculo do consumo de água foi feito com base em uma relação por funcionários e alunos, o que implica no pressuposto que cada pessoa consome a mesma quantidade de água.

O edifício não possui um sistema de captação da água da chuva, portanto, é utilizada água da rede de abastecimento para todos os tipos de consumo, dentre eles: bebedouros, torneiras, chuveiros e vasos sanitários.

4.2.2 Consumo de energia

A energia, proveniente da matriz nacional, é consumida em forma de eletricidade, para o condicionamento de ar, iluminação e aparelhos eletrônicos. Não foi possível obter a parcela respectiva a cada uso, apenas o valor total do ano em estudo. O edifício não possui geradores.

Devido à inexistência de dados específicos para o ENS, estimou-se o consumo de energia com base em um edifício que possui comportamento similar ao edifício em estudo, qual seja o Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP), com área total de 2085,93 m². Os dados foram fornecidos pela Divisão de Eficiência Energética (DEE) do DPAE da Universidade.

Os dados do MIP foram estimados com base na potência média do edifício para o ano de 2010 (23,52 kW), obtida a partir de medições de potência realizadas de 15 em 15 minutos. Considerando que o dia possui 24 horas, esse valor foi multiplicado por 24, para a obtenção do consumo diário, resultando em 564,48 kWh/dia. Por fim, este valor foi multiplicado por 365 dias, dividindo-se o produto obtido pela área do MIP, apurando-se o consumo de 98,77 kWh/m²/ano. Para a modelagem, o valor obtido em kWh/m²/ano foi transformado em GJ/m²/ano.

4.2.3 Uso de transporte

Os valores relativos ao transporte de pessoas foram estimados por meio de um questionário aplicado aos alunos e professores do departamento (Apêndice 1). Sobre eles, objetivou-se calcular a porcentagem daqueles que se deslocam até a universidade a pé, de carro, ônibus, moto, carona ou bicicleta, e a distância percorrida para cada trajeto.

Contudo, os meios de transporte considerados para a modelagem foram: carro, ônibus e moto, visto que causam impactos ambientais mais significativos, devido ao consumo de combustível e emissão de poluentes.

A distância média de deslocamento estimada a partir do questionário foi de 11,3 km. Considerando os percursos de ida e volta, foi possível obter uma distância diária de 22,6 km por pessoa.

A rotatividade distinta nos períodos letivos de graduação e nos recessos escolares também foi levada em consideração para os cálculos. No período letivo, graduandos, pós-graduandos, professores, e técnicos administrativos circulam pelo ENS; já no recesso escolar, de dezembro a

janeiro e metade do mês de julho, apenas pós-graduandos, professores e técnicos administrativos ficam no departamento. A Tabela 2 apresenta a estrutura utilizada no cálculo da quilometragem total para cada tipo de transporte.

Tabela 2 - Quilometragem total anual por tipo de transporte.

Períodos do ano	Nº de pessoas	Pessoas que usam carros	Pessoas que usam moto	Pessoas que usam ônibus	Carro	Ônibus	Moto
	por dia	por dia	por dia	por dia			
Período letivo	255	62	10	44	268 463	190 522	43 301
Recesso escolar	132	32	5	23	55 569	39 940	8 683
Total km/ano					324 032	230 463	51 983
Total km/m ² /ano					94,14	66,95	15,10

Muitos alunos e funcionários residem em locais próximos à universidade, por isso se locomovem a pé (aproximadamente 49%) ou de bicicleta (aproximadamente 5%) e, em alguns casos, pegam carona com colegas (aproximadamente 1%). Tal situação explica o fato da soma de pessoas que circulam pelo edifício não coincidir com o número de pessoas consideradas para a modelagem.

4.2.4 Geração de resíduos sólidos

A estimativa de geração de resíduos sólidos sem risco foi calculada com base na informação fornecida por um estudo ainda não divulgado, feito pela Gestão de Resíduos, para o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) da UFSC.

De acordo com esse estudo, a geração média de resíduos da Universidade é de 0,14 kg/pessoa/dia, dos quais: 40% são recicláveis, 27% são rejeitos e 33% são orgânicos. Esses resíduos (recicláveis e rejeitos) são coletados pela companhia municipal responsável (COMCAP) e destinados a um aterro sanitário, sem qualquer segregação por tipo.

Os resíduos tóxicos, provenientes dos laboratórios de pesquisa do edifício, foram obtidos a partir de uma lista de controle de resíduos com risco químico. Segundo uma funcionária do ENS, os tóxicos de todos os laboratórios do departamento (resíduos químicos líquidos) são armazenados em bombonas de material de Polietileno de Alta

Densidade (PEAD), padronizadas e devidamente rotuladas pela Universidade, dentro de um de seus laboratórios, o LIMA (Laboratório Integrado do Meio Ambiente), que solicita a coleta desses resíduos para a equipe de Gestão de Resíduos da UFSC. Em seguida, a Proactiva, empresa encarregada da destinação final desses resíduos, os coleta e classifica em seu aterro sanitário, no município de Biguaçu, na Região Metropolitana de Florianópolis, para então, encaminhá-los a uma vala séptica, localizada no próprio aterro.

Por meio do número de pessoas que circulam pelo departamento, dias de funcionamento (em período letivo e de recesso escolar), a geração *per capita* de resíduos e as porcentagens relativas de geração, foi possível obter o quantitativo para os resíduos recicláveis (0,9785 kg/m²/ano) e rejeitos (0,6605 kg/m²/ano). O valor anual de tóxicos foi obtido pela soma das massas de resíduos, registradas nas solicitações de coleta do LIMA, e dividido pela área do edifício, resultando no valor de 0,3453 kg/m²/ano.

4.2.5 Consumo de materiais de manutenção

A quantificação dos materiais utilizados na manutenção do ENS foi obtida por meio de entrevistas com os funcionários responsáveis pela limpeza e administração do edifício.

Os quantitativos de papel higiênico, papel toalha, sabonete líquido e sacolas de lixo foram obtidos com a funcionária responsável pelo fornecimento desses insumos ao departamento, que relatou os consumos mensais de cada material.

Os valores relativos a copo plástico e papel sulfite A4, foram obtidos pela administradora das edificações do CTC, através de uma cota semanal de fornecimento de materiais ao ENS. A modelagem realizada para os copos plásticos teve como base o estudo realizado por Freese (2013), o qual considera todo seu processo produtivo (consumo de material, energia consumida e transporte) para a contabilização dos impactos ambientais por unidade de produto.

As informações relativas à massa corrida e tinta foram obtidas por um engenheiro que trabalha no Departamento de Manutenção Predial e Infra (DMPI) da UFSC. O consumo destes foi estimado com base na área de aplicação dos produtos e quantidade de demãos aplicada para cada material.

O consumo de pilhas fornecido foi de 100 kg para todo o CTC. Contudo, como é de interesse apenas o valor representativo para o ENS, esse consumo foi dividido por toda população do centro de ensino

(8.750 pessoas) e multiplicado pela quantidade de pessoas que circulam pelo departamento (255 pessoas).

4.2.6 Geração de efluentes

Os efluentes gerados pelo edifício são coletados pela rede pública de esgotamento sanitário e destinados à estação de tratamento de esgoto da CASAN.

O edifício não possui medidor de vazão do efluente gerado. Assim foi feita uma estimativa com base na norma NBR 9.649 (ABNT, 1986), que sugere o uso de um coeficiente de retorno de 0,8 sobre a vazão de água consumida; portanto, diante do consumo de 0,3462 m³/m²/ano de água, o consumo de efluente resultante foi de 0,277 m³/m²/ano.

De acordo com informações obtidas pela CASAN, o efluente gerado pela UFSC é encaminhado para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Insular, localizada no centro de Florianópolis/SC, que utiliza a tecnologia de tratamento por lodos ativados e possui vazão média de projeto de 278 L/s. Os efluentes tratados são lançados na Baía Sul. Para modelagem desse dado, foi considerado um *dataset* de tratamento de efluentes para uma estação com capacidade de 1,1x10¹⁰ L/ano, o qual mais se aproximou da realidade.

4.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

A classificação e caracterização das informações coletadas para o ENS foram realizadas por meio do método TRACI (BARE, 2012), o mesmo utilizado pelo estudo realizado por Rabaça (2015), bem como pela EPA (*Environmental Protection Agency*). Vale ressaltar a importância da equivalência do método de cálculo em um estudo comparativo, visto que cada metodologia apresenta resultados de modelagem distintos.

Primeiramente, a avaliação dos impactos ambientais foi realizada com base nas categorias de impacto disponibilizadas pelo TRACI, obtendo assim um panorama geral dos impactos ambientais da fase de uso do ENS. No entanto, o foco do estudo esteve nas categorias: Aquecimento Global (AG), Depleção da Camada de Ozônio (DCO), Acidificação (AC) e Eutrofização (EU). Segundo o Comitê Europeu de Normalização (CEN/TC 350, 2016), são as categorias mais recomendadas para estudos de ACV em edificações. Além disso, essas categorias também foram as avaliadas por Rabaça (2015).

4.4 INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados obtidos com o estudo foi realizada desde o momento do preenchimento do inventário e da avaliação dos impactos gerados pelo sistema de produto avaliado. Em seguida, os resultados do ENS foram comparados aos resultados da ACV aplicada para a fase de uso do Office Park, um edifício comercial sustentável com certificação LEED, realizada por Rabaça (2015).

O Office Park, edifício com certificação LEED, teve a sua fase operacional avaliada por Rabaça (2015), com base em um estudo de ACV, conduzido também dentro das dependências do CICLOG. O edifício possui área útil de 9979 m², distribuída em cinco andares, onde trabalham 110 funcionários. O período de funcionamento do edifício é de 24 horas por dia, 7 dias por semana.

Inicialmente, os resultados da avaliação de impactos ambientais das atividades do ENS foram interpretados de acordo com todas as categorias fornecidas pelo método de caracterização adotado. Após a visão geral e mais abrangente dos impactos, a interpretação foi realizada focando nas quatro categorias citadas no tópico anterior.

Assim, os pontos críticos do edifício foram identificados, avaliados e comparados ao trabalho de Rabaça (2015), identificando os principais motivos de degradação ambiental, provocada pela fase de uso do edifício. Essa etapa do trabalho tem como finalidade a compreensão da sustentabilidade do cenário atual do ENS.

A fim de atenuar ou eliminar os impactos ambientais potenciais provocados pelo departamento, foram propostas medidas mitigadoras de impactos e simulados três cenários de melhorias ambientais, através do software openLCA. Um dos cenários considerou uma redução do consumo de energia proveniente da rede de eletricidade, por meio da instalação de placas fotovoltaicas, e os outros dois cenários consideraram uma redução do uso de carros pelos alunos e funcionários. Com isso, foi possível quantificar o potencial de redução desses impactos por meio de melhorias operacionais do edifício.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO

O inventário do ciclo de vida quantifica os fluxos de entradas e saídas dos processos avaliados do sistema de produto em estudo. Os valores levantados para as atividades apresentadas foram compilados no Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do ENS, assim como a contribuição percentual de cada fluxo e suas respectivas unidades de medida (Tabela 3). Esses valores apresentados são relativos ao impacto de cada m²/ano.

Tabela 3 - Inventário do Ciclo de Vida do ENS.

Atividades	%	Dados primários		Dados Modelados	
Entradas/Saídas	-	Valor	Unidade	Valor	Unidade
ÁGUA					
Água potável	100	0,3624	m ³	362,442	kg
ENERGIA					
Total de energia	100	98,7678	kWh	0,356	GJ
TRANSPORTE					
A pé	49	124	pessoas	0,00	km
Carro	24	62	pessoas	94,14	km
Ônibus	17	44	pessoas	66,95	km.pessoa
Bicicleta	5	13	pessoas	0,00	km
Moto	4	10	pessoas	15,10	km
Carona	1	2	pessoas	0,00	km
RESÍDUOS SÓLIDOS					
Rejeitos	33	0,6605	kg	0,660	kg
Recicláveis	49	0,9785	kg	0,978	kg
Tóxicos	17	0,3453	kg	0,345	kg
EFLUENTES					
Total de efluentes	100	0,2900	m ³	0,290	m ³
MANUTENÇÃO					
Papel higiênico (rolo)	-	0,2231	unidade	0,0194	kg
Papel toalha (folha)	-	22,3118	unidade	0,1116	kg
Papel sulfite (folha A4)	-	13,9449	unidade	0,0652	kg
Copo Plástico, 180 ml (Poliestireno)	-	1,3945	unidade	1,3945	unidade
Pilhas	-	0,0102	unidade	0,0002	kg
Tintas	-	0,0018	litros	0,0014	kg
Sacolas de Lixo (Polietileno)	-	0,5578	unidade	0,0196	kg
Massa Corrida	-	0,0018	litros	0,0031	kg
Sabonete Líquido	-	0,0349	litros	0,0349	kg

Analisando os resultados da Tabela 3 percebe-se que o consumo de água do ENS para o ano em estudo foi similar ao resultado reportado por Junnila & Horvarth (2003), o qual apresentou um consumo de $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$ para um edifício comercial convencional, demonstrando uma coerência no valor encontrado. No trabalho de Rabaça (2015), o valor apresentado se distanciou mais ($0,713 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$), porém o edifício possui uma grande quantidade de água destinada à irrigação, e a maior parte desse consumo é proveniente da captação de água da chuva ($0,499 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$), o que reduz os impactos ambientais gerados por essa atividade.

Segundo Signor (1999), em um estudo desenvolvido em 512 edifícios comerciais de Florianópolis, a média do consumo de energia no município é de $0,425 \text{ GJ}/\text{m}^2$, valor acima ao encontrado para o ENS ($0,356 \text{ GJ}/\text{m}^2$). Contudo, esse valor pode ser justificado pelo fato do departamento não funcionar nos finais de semana, além de ter sua população muito reduzida, no período de recesso escolar (três meses e meio por ano).

Adicionalmente, um estudo publicado por Pullen (2000) avaliou o ciclo de vida de um campus universitário localizado na Austrália, e apresentou um consumo de energia de $0,5 \text{ GJ}/\text{m}^2$. O valor encontrado pelo autor é superior ao apurado para o ENS. Dentre as razões para o alto consumo reportado por Pullen (2000), cita-se a diferença de tempo entre os estudos, visto que as tecnologias de equipamentos e lâmpadas são diferentes e, conseqüentemente, as demandas energéticas também.

O trabalho de Rabaça (2015) também avaliou a fase de uso de um edifício comercial e apresentou um consumo de energia de $0,437 \text{ GJ}/\text{m}^2$, porém se trata de um edifício com mais demandas energéticas em relação ao ENS, como aquecimento de água e geradores.

Muitos estudos não consideram os resíduos sólidos como parte do ciclo de vida de um edifício, como afirma a revisão de 60 estudos feita por Sartori & Hastenness (2007), dificultando assim a comparação dessa atividade entre estudos. No entanto, aquele realizado por Rabaça (2015) avaliou a geração de resíduos sólidos anual em $3,12 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{ano}$ para recicláveis e rejeitos e em $0,03 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{ano}$ para tóxicos. Como o ENS tem muitos laboratórios de pesquisa, a geração de resíduos tóxicos foi maior ($0,34 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{ano}$); já a soma dos recicláveis e rejeitos foi menor para o ENS ($1,64 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{ano}$), provavelmente devido às diferenças entre as atividades realizadas pelos edifícios, por exemplo, a alimentação dos funcionários em refeitórios no Office Park, gerando diversos resíduos de embalagens.

A análise dos dados encontrados para o uso do transporte, geração de efluentes e consumo de materiais de manutenção foi realizada comparando com o Office Park, pois não foram encontrados outros estudos com possibilidade de comparação. Para o transporte, o ENS apresentou uma quilometragem anual maior (161,09 km/m²/ano), devido ao maior número e fluxo de pessoas no departamento. A mesma justificativa pode ser tomada para a geração de efluentes do edifício, que também apresentou valor superior para o ENS.

Os consumos de materiais de manutenção apresentaram diferenças significativas em alguns itens, como por exemplo:

- O consumo de copos plásticos, que para o ENS foi de 1,39 unidades/m²/dia, para o edifício comercial foi de 9,02 unidades/m²/dia;
- Os consumos de tinta e massa corrida apresentaram valores muito superiores para o edifício comercial (0,062 kg/m²/ano e 0,077 kg/m²/ano, respectivamente);
- O quantitativo de papel toalha, para o edifício comercial, foi de 0,035 kg/m²/ano, mostrando-se inferior ao valor do ENS.

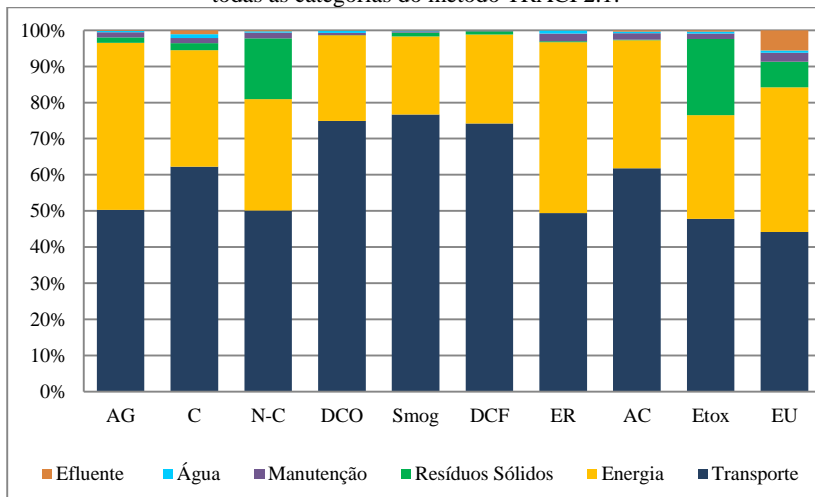
As razões identificadas para as diferenças apuradas são diversas. No caso dos copos plásticos, as variações decorreram do uso de bebedouros no ENS, assim como do uso de copos reutilizáveis por muitos alunos e funcionários, diminuindo o consumo de copos descartáveis. Para as tintas e massa corrida, a justificativa pode estar em uma possível frequência menor de reformas em edifícios públicos. E, por fim, o quantitativo de papel toalha mostrou-se superior para o departamento devido ao maior número de pessoas que circulam por ele.

5.2 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA DO ENS

Os resultados dos impactos ambientais gerados pela fase de uso do ENS estão demonstrados no gráfico da Figura 8, através das porcentagens de contribuição das atividades, contabilizadas pelo método TRACI 2.1. Esses resultados estão apresentados para todas as categorias de impactos avaliadas pelo método, são elas: aquecimento global (AG), depleção da camada de ozônio (DCO), acidificação (AC), eutrofização (EU), cancerígenos (C), não-cancerígenos (N-C), efeitos respiratórios

(ER), Ecotoxidade (Etox), depleção de combustíveis fósseis (DCF) e formação de ozônio fotoquímico (smog) (BARE, 2012).

Figura 8 - Panorama geral dos impactos ambientais da fase de uso do edifício para todas as categorias do método TRACI 2.1.



Ao analisar o gráfico da Figura 8 é possível perceber a predominância da contribuição do uso do transporte e consumo de energia ao longo do período de uso do ENS. Dessa forma, essas atividades podem ser identificadas como os gargalos desse sistema de produto. Infelizmente, não foi possível determinar os impactos dos diferentes usos da energia, pois o consumo é proveniente da rede de eletricidade da CELESC e medido por apenas um relógio. Essa limitação de informação dificulta a análise da atividade com uso mais significativo e, conseqüentemente, a proposição de melhorias de funcionamento do edifício. Já a geração de resíduos sólidos apresentou impactos ambientais mais significativos em três das categorias avaliadas (N-C, Etox e EU).

Os impactos ambientais gerados pelos materiais de manutenção apresentaram valores pouco significativos para a fase de uso em todas as categorias de impacto, embora seja possível observar sua contribuição em todas elas. Na categoria EU essa atividade apresentou uma contribuição mais representativa em relação às demais, principalmente devido à disposição final dos papéis.

A geração de efluentes teve os menores impactos ambientais em quase todas as categorias, com exceção para eutrofização no qual

apresentou o quarto impacto mais representativo (5,63%), ficando atrás dos resíduos sólidos (7,08%), transporte (44,14%) e energia (40,04%). O impacto do consumo de água também apresentou valores pouco significativos em todas as categorias de impacto.

A Tabela 4 apresenta a quantificação dos impactos ambientais encontrada para o ENS, relativos às categorias de interesse do presente estudo (AG, DCO, AC e EU), de cada atividade considerada no estudo.

Tabela 4 - Quantificação dos impactos ambientais do ENS.

Categoria	AG	DCO	AC	EU
Unidade	kg CO₂ eq.	mg CFC-11 eq.	g SO₂ eq.	g N eq.
Água	0,16	0,07	1,23	0,92
Energia	34,74	2,58	96,57	62,83
Manutenção	1,09	0,06	4,83	3,94
Resíduos Sólidos	1,14	0,01	0,48	11,11
Transporte	37,76	8,14	168,28	69,25
Efluente	0,16	0,01	0,95	8,84
Total	75,14	10,87	272,34	156,89

Entre os estudos apresentados na Tabela 1, o que mais se aproximou do resultado encontrado para a categoria AG do ENS foi o de Li (2006), com um valor de CO₂ eq. de 74,82 kg. Os demais estudos apresentaram valores muito distantes, por volta de 30 a 35 kg de CO₂ eq., devido às diferenças entre as características dos edifícios, como também entre as condições geográficas, climáticas e culturais (CITHERLET & HAND, 2002; KOFOWOROLA & GHEEWALA, 2009; TRUSTY & MEIL, 2000).

Dentro da categoria de aquecimento global, 96,5% é representado apenas pelos potenciais impactos do transporte e energia, sendo o transporte a atividade mais representativa dessa categoria (50,2%). O destaque dessa atividade pode ser justificado pelo elevado número de pessoas que circulam pelo departamento. As demais atividades se distanciaram bastante desses percentuais, sendo a terceira maior contribuição a de resíduos sólidos, com 1,52%.

Para a acidificação, o transporte foi ainda mais representativo, com 61,79%, seguido do consumo de energia (35,46%) e da manutenção (1,77%).

Para as categorias de depleção da camada de ozônio e eutrofização, o transporte continua a liderar em termos de contribuição de impacto, com 74,88% e 44,14%, respectivamente. A energia por sua

vez, continuou em segunda posição, com 23,74% e 40,04%, respectivamente.

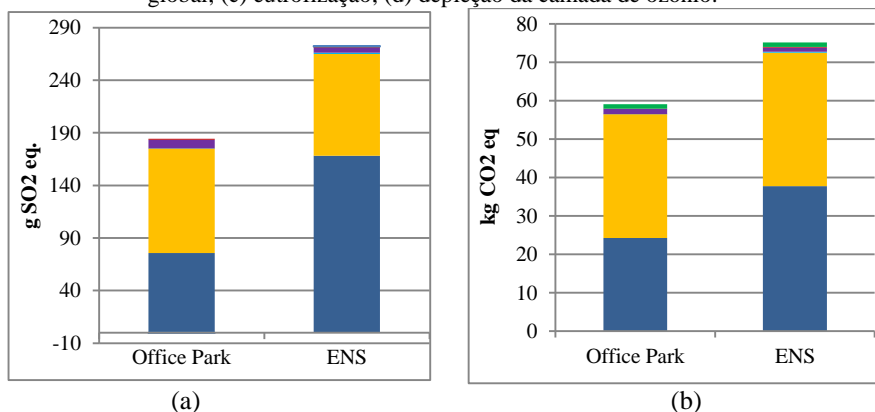
A contribuição relativa da geração de resíduos sólidos (7,08%) e da geração de efluentes (5,63%) mostrou-se mais representativa para os impactos de eutrofização. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de todos os resíduos sólidos gerados serem encaminhados para um aterro sanitário, logo, podem causar alteração nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, bem como da qualidade do solo e do ar (MATOS, 2011). Já para os efluentes sanitários, os impactos podem ser justificados pela concentração de matéria orgânica ainda existente após o tratamento, podendo assim resultar em um processo de eutrofização.

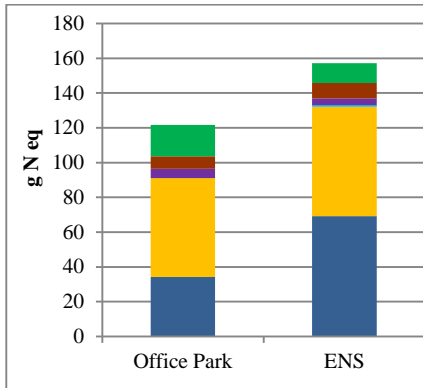
A contribuição do transporte para a depleção da camada de ozônio foi maior, devido à grande quantidade de óxidos nítricos e nitrosos emitidos pelos exaustores dos veículos (BROWN, 2005).

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO ENS E DO EDIFÍCIO LEED

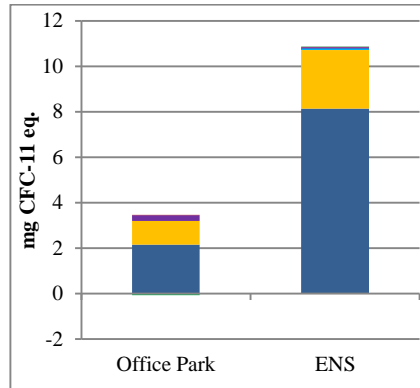
A análise comparativa entre a ACV do ENS e do edifício comercial sustentável com certificação LEED (Office Park), apresentado no trabalho de Rabaça (2015), foi realizada por meio da análise por categorias de impacto, como pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Comparação Office Park vs ENS: (a) acidificação; (b) aquecimento global; (c) eutrofização; (d) depleção da camada de ozônio.





(c)



(d)

■ Resíduos Sólidos ■ Efluente ■ Manutenção ■ Água ■ Energia ■ Transporte

Constata-se que o ENS apresentou impactos ambientais superiores que o Office Park em todas as categorias analisadas, sendo na DCO a diferença que mais se destacou dentre as quatro, com 10,88 mg CFC-11 eq., e o Office Park com 3,38 mg CFC-11 eq., aproximadamente três vezes mais impactante. Entretanto, percebe-se que os dois edifícios apresentaram o transporte de pessoas e consumo de energia como principais gargalos do sistema.

Para o Office Park, os impactos ambientais gerados pelo consumo de energia predominaram na maioria das categorias, ficando atrás do transporte apenas para a DCO. No estudo de caso do ENS, o transporte predominou em todas as categorias, situação essa que pode ser explicada pelo maior fluxo de pessoas no ENS.

Apesar do consumo anual de energia inventariado para o Office Park ser superior ao inventariado para o ENS, devido a sua maior demanda energética (ar-condicionado, aparelhos eletrônicos, iluminação, aquecimento de água e geradores), todos os impactos ambientais relacionados a essa atividade foram menores para o edifício comercial, em virtude da influência do *dataset* utilizado (Tabela 5).

Na categoria EU, o comportamento de ambos os estudos são semelhantes, com uma maior representatividade da geração de efluentes e de resíduos sólidos. A maior diferença entre os estudos para essa categoria foi o uso do transporte e o consumo de água, com valores muito superiores para o ENS (Tabela 3), contribuindo para um valor total de N eq. 29% mais impactante.

O trabalho realizado por Rabaça (2015) apresentou créditos positivos nas categorias DCO e AC para a geração de resíduos sólidos, em resposta a sua destinação à reciclagem. No ENS todos os resíduos são encaminhados para um aterro sanitário como rejeito, comprometendo a valorização dos materiais que são recicláveis, e resultando em um maior potencial de impacto ambiental.

Com relação ao consumo de água, o Office Park apresentou impactos ambientais muito baixos em todas as categorias avaliadas, na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} , pelo fato de 70% do volume consumido ser proveniente do projeto de captação da água da chuva (RABAÇA, 2015). Os valores de consumo superior do ENS, na ordem de 10^{-2} a 1, podem ser explicados pelo consumo de água potável da rede para todos os usos do edifício.

Uma outra justificativa importante para essas divergências de resultados está nas escolhas realizadas na modelagem e interpretação dos resultados, que estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Diferenças metodológicas e de modelagem entre o ENS e o Office Park.

	ENS (presente estudo)	Office Park (Rabaça, 2015)
Software	openLCA	SimaPro®
Base de dados	ecoinvent 3.2	ecoinvent 3.0 BUWAL 250 USA Input Output Database 98
Método de AICV	TRACI 2.1	TRACI 2.0
Materiais de manutenção	Não foram modelados cartuchos e lâmpadas	Foram modelados cartuchos e lâmpadas
<i>Dataset</i> – consumo de energia	Low voltage	Medium voltage High voltage

A base de dados BUWAL 250 não foi modelada no openLCA por ser específica do SimaPro®, logo, como não existe um *dataset* para lâmpadas no ecoinvent 3.2, estas não foram contabilizadas para o ENS. Já a base de dados USA Input Output Database 98 foi utilizada por Rabaça (2015) para modelar os diferentes materiais de resíduos recicláveis (papel, plástico, alumínio e vidro), contudo, a UFSC e, conseqüentemente, o ENS, não realiza esse tipo de segregação. Deste modo, a ausência dessa base no openLCA não teve influência na análise comparativa.

Para minimizar os efeitos da modelagem na comparação dos resultados com o trabalho de Rabaça (2015), os *datasets* utilizados para o presente trabalho foram escolhidos de forma equivalente. Entretanto,

algumas limitações ainda foram identificadas, tais como a versão do método de AICV e a versão da base de dados do ecoinvent®, como pode ser observado na Tabela 5, o que implica diretamente nos perfis de desempenho ambiental dos edifícios.

No trabalho de Rabaça (2015), foi utilizado o *dataset* de energia da rede de média tensão para os usos de ar-condicionado, iluminação, aparelhos eletrônicos e aquecimento de água, e de alta tensão para os geradores, enquanto para o ENS foi considerado o *dataset* da energia da rede de baixa tensão, por acreditar ser o mais adequado para o edifício. Essa diferença entre os usos da energia, embora aparentemente simples, implica que em Rabaça (2015) as perdas energéticas são menores, já que não há a conversão de eletricidade de média para baixa tensão, resultando em menores impactos ambientais por kWh (ou GJ) de energia.

Apesar de serem edifícios com comportamentos operacionais distintos, as diferenças na modelagem têm interferência nos resultados.

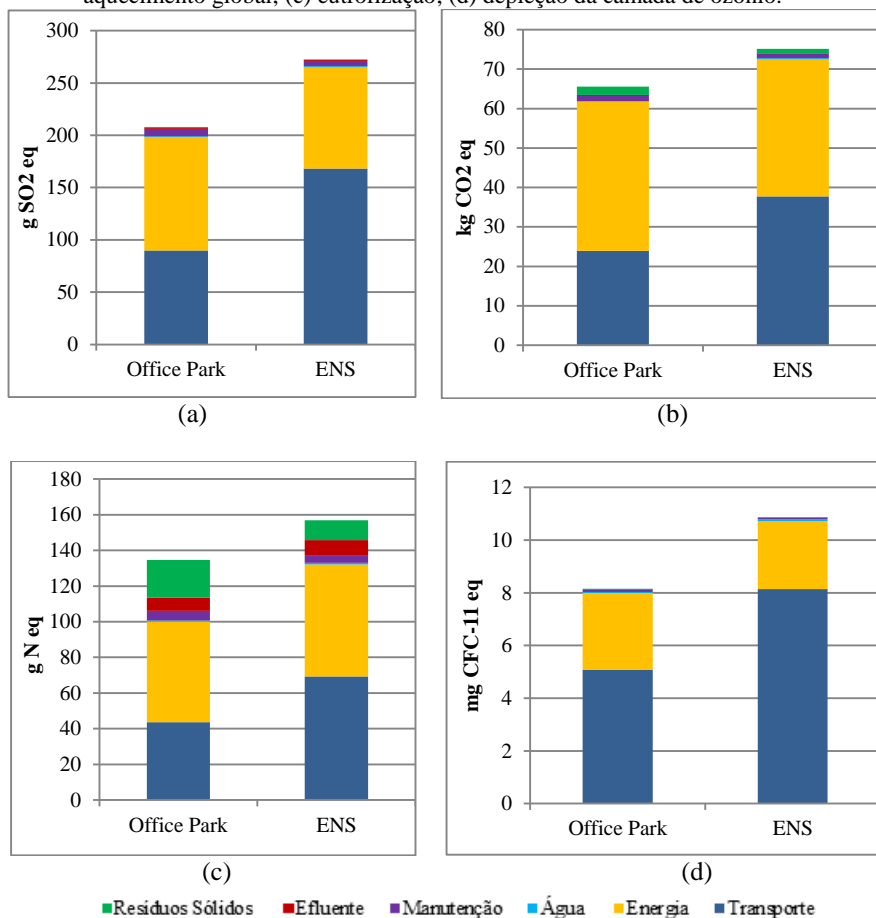
5.3.1 Análise de sensibilidade entre modelagens

Objetivando avaliar a sensibilidade de modelagem realizada em diferentes softwares, os dados do inventário levantado pelo trabalho de Rabaça (2015) foram inseridos no openLCA, a fim de verificar se os resultados obtidos seriam próximos àqueles do SimaPro®.

Devido a limitação da base de dados utilizada na modelagem no openLCA, as lâmpadas não foram consideradas e os resíduos sólidos recicláveis não foram modelados por categorias (papel, plástico, alumínio e vidro), haja vista falta de *datasets* disponíveis. Dessa forma, os resíduos foram modelados considerando como destinação final o seu encaminhamento para um aterro sanitário. As versões do ecoinvent® e do TRACI foram as mesmas utilizadas para o estudo do ENS.

Os resultados encontrados para as quatro categorias de interesse do estudo dessa nova modelagem foram tabulados em gráficos e comparados com os resultados encontrados para o ENS, conforme segue na Figura 10.

Figura 10 - Comparação Office Park vs ENS com o openLCA: (a) acidificação; (b) aquecimento global; (c) eutrofização; (d) depleção da camada de ozônio.



Ao analisar os gráficos comparativos da análise de sensibilidade (Figura 10), é possível confirmar que o ENS é mais impactante que o Office Park, para as categorias AC, AG, EU e DCO. Contudo, os resultados tornaram-se mais próximos, principalmente para a DCO, no qual os impactos do Office Park reportados de 3,38 mg CFC-11 (RABAÇA, 2015) passou a apresentar 8,15 mg CFC-11, aproximadamente 67% do impacto ambiental do ENS. As demais categorias apresentaram um aumento em torno de 10%.

Como esperado, para as categorias AC e DCO os resíduos sólidos passaram a apresentar impactos ambientais negativos, devido ao seu não aproveitamento para a reciclagem.

A grande diferença entre os impactos ambientais provocados pelo consumo de água do ENS e do Office Park mostrou-se bastante reduzida nessa análise de sensibilidade, demonstrando a influência da mudança de versões da base de dados e método de AICV nos resultados obtidos para cada estudo. Para a modelagem no openLCA, os impactos do Office Park ficaram na ordem de 10^{-2} a 10^{-1} , próximos da faixa encontrada para o ENS, descrita anteriormente.

Os resultados dos impactos ambientais provenientes do uso do transporte também se aproximaram nessa análise. Quanto ao consumo de energia, os *datasets* do Office Park foram mantidos como média voltagem e alta voltagem, e, ainda assim, apresentaram diferenças entre as modelagens. O destaque maior dessa categoria foi da DCO, que para o ENS reportou um impacto de 2,58 mg CFC-11, já para o edifício comercial os valores passaram de 1,04 mg CFC-11 (SimaPro®) para 2,9 mg CFC-11 (openLCA).

Por fim, essa análise de sensibilidade mostrou-se importante para avaliar a confiabilidade da comparação de resultados dos estudos apresentados, realizados com ferramentas de modelagem distintas.

5.4 MEDIDAS MITIGADORAS

Ao avaliar o trabalho realizado por Rabaça (2015) e o ENS, foi possível identificar os mesmos gargalos, i.e., o uso do transporte e o consumo de energia, e, com isso, propor melhorias de desempenho dessas atividades. Essas proposições são chamadas de medidas mitigadoras, as quais têm o intuito de reduzir os danos ambientais causados ao longo da fase de operação do edifício.

5.4.1 Uso do Transporte

De acordo com o estudo realizado, a maioria das pessoas que circulam pelo ENS são alunos, de diferentes cursos de graduação, contudo, do mesmo centro de ensino (CTC). Uma parcela considerável dessas pessoas utiliza o carro como meio de transporte até a Universidade (cerca de 24%) resultando em um número significativo de rotas feitas por automóveis e, conseqüentemente, de impactos ambientais. Portanto, o desafio dessa atividade é incentivar o uso de

transportes alternativos, como carona, bicicleta, ônibus ou caminhada, de forma que esse número seja reduzido ao máximo.

O combustível utilizado nos automóveis é também um fator de alta contribuição para os impactos ambientais dessa atividade. Assim, o incentivo ao uso de combustíveis renováveis, como o álcool e o biodiesel, com, por exemplo, um programa de redução, é uma maneira interessante de reduzi-los.

5.4.2 Consumo de energia

De acordo com Treloar (2001), a seleção apropriada de materiais de construção pode reduzir o ciclo de vida energético de um edifício. Como essa etapa de concepção de projeto já está consolidada para o ENS, as propostas apresentadas focaram na fase de uso, com vistas à alteração da fonte energética, sem deixar de suprir suas necessidades de funcionamento.

Uma alternativa de energia limpa renovável é a energia solar (BUCHANAN & HONEY; 1994). Por isso, os painéis solares fotovoltaicos em edificações são uma tecnologia que cresceu muito nos últimos anos. No campus da UFSC, o Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Fotovoltaica-UFSC) desenvolveu um projeto pioneiro de geradores solares no Departamento de Engenharia Mecânica. Depois do sucesso dessa primeira instalação, o grupo implantou mais geradores em outras edificações universitárias, como o Centro de Cultura e Eventos, Hospital Universitário, Colégio Aplicação e Centro de Convivência (UFSC, 2017).

A utilização da energia solar é uma medida ideal para reduzir o impacto do consumo de energia elétrica, gerada em pequenas hidrelétricas e distribuída pela rede pública (CELESC, 2017). Apesar do grande investimento necessário para a instalação dessa tecnologia, com o avanço tecnológico, os preços têm se tornado mais acessíveis e com melhores taxas de retorno (SCHEUER; KEOLEIAN; REPPE, 2003).

As reduções dos impactos ambientais do edifício também podem ser encontradas por meio de práticas de conservação de energia simples e sem custo, tais como o controle da temperatura do ponto de ajuste do sistema de climatização perto das padronizadas em 26 graus (KOFOWOROLA & GHEEWALA, 2009) e o desligamento de aparelhos eletrônicos (computadores, equipamentos de laboratório, projetores, etc.) e de climatização enquanto não estão sendo utilizados.

As lâmpadas utilizadas nos ambientais do departamento são do tipo tubulares fluorescente, que já são consideradas lâmpadas econômicas; contudo, dispositivos com sensores de presença podem ajudar na economia de energia em até 35% (BALARAS et al., 2002).

5.5 ANÁLISE DE CENÁRIOS DE MELHORIAS AMBIENTAIS

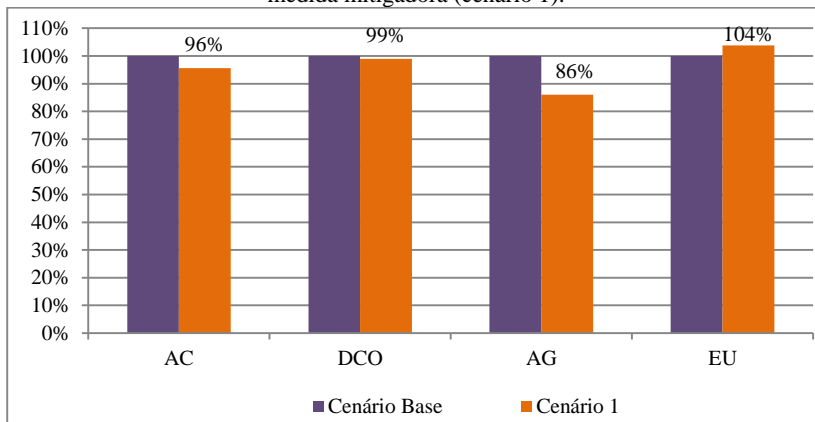
A análise de cenários tem o objetivo de interpretar as possibilidades de melhorias na operação do sistema de produto em estudo, visando a diminuição dos seus impactos ambientais, principalmente aos que estão relacionados com os gargalos anteriormente identificados.

Ao analisar as medidas mitigadoras propostas, três cenários de melhorias para o ENS foram estabelecidos, dois para o uso do transporte e um para o consumo de energia. Esses cenários modelados foram então comparados ao cenário inicial do edifício, nomeado como cenário base.

O cenário 1, simulado para a alteração da fonte energética, baseou-se no uso da energia solar integrada ao edifício, fonte limpa e renovável produzida *in loco*, de forma que parte da energia proveniente da rede pública de distribuição de energia elétrica seja substituída. O dimensionamento desse sistema foi realizado com o apoio do Grupo de Pesquisa Fotovoltaica da UFSC, que forneceu informações e orientações para a realização dos cálculos, a partir dos quais foi possível chegar a uma estimativa de redução de 45% (44,37 kWh/m²/ano), com a instalação de 430 placas.

Na Figura 11 está apresentado o resultado da avaliação desse cenário de energia para a fase operacional do edifício, em comparação com o cenário base, considerado como 100%.

Figura 11 - Comparação ENS (cenário base) com o uso de energia solar como medida mitigadora (cenário 1).



Ao analisar o gráfico da Figura 11, é possível perceber que para as categorias AC, DCO e AG os potenciais impactos ambientais foram menores para o cenário de energia modelado. Entretanto, pode-se observar que existem *trade-offs* quando é alterada a fonte energética da rede para energia solar, aumentando os impactos para a categoria de EU, provavelmente devido ao processo produtivo das placas fotovoltaicas.

A categoria de aquecimento global apresentou a maior redução de impacto com 14%, seguido da acidificação com 4% e da depleção da camada de ozônio com 1%. Embora pareça uma redução pequena, vale ressaltar que os resultados são apresentados em m^2/ano , ou seja, ao final de um ano será reduzida uma quantidade mais representativa. Assim, para aquecimento global será evitado a emissão de 36085 kg de CO_2 eq., o que em 50 anos de vida útil toma maiores proporções.

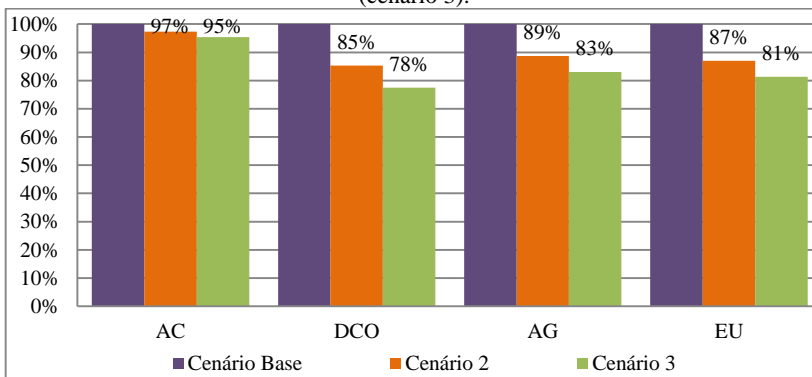
Para o uso do transporte, os cenários abordaram uma redução das pessoas que se deslocam para a Universidade via automóvel, em 50% e 75%, e, conseqüentemente o aumento da porcentagem do uso de ônibus (Tabela 6). Essa simulação foi definida tendo como base o trabalho realizado por Rabaça (2015). Por motivos de simplificação, esses cenários avaliaram o período letivo de funcionamento do edifício, por se tratar do mais movimentado ao longo do ano.

Tabela 6 - Cenários avaliados para o transporte.

Meio de Transporte	Quantidade de pessoas		
	Cenário Base	Cenário 2	Cenário 3
Carro	62	31	16
Moto	10	5	5
Ônibus	44	80	95
Outros (caminhada, bicicleta ou carona)	139	139	139

A Figura 12 apresenta os resultados para a modelagem dos dois cenários propostos para a redução do uso do transporte pelos funcionários e alunos do ENS.

Figura 12 - Comparação ENS (cenário base) com a otimização deslocamento de pessoas como medida mitigadora: redução em 50% (cenário 2); redução em 75% (cenário 3).



Nota-se a redução dos impactos ambientais para todas as categorias de impacto avaliadas em ambos os cenários modelados. A DCO apresentou reduções mais significativas, como já era esperado, devido à alta contribuição do transporte para esta categoria de impacto, chegando a 22% para o cenário 3. A EU foi a segunda categoria mais representativa em termos de mitigação de impactos, com 13% de N eq. para o cenário 2 e 19% para o cenário 3. A categoria AG também mitigou os impactos, contudo em proporções menores, de 11-13%. A acidificação foi a categoria menos afetada, com reduções de 3-5%.

Os cenários modelados para o transporte apresentaram reduções de impactos ambientais mais significativas que o cenário de alteração da

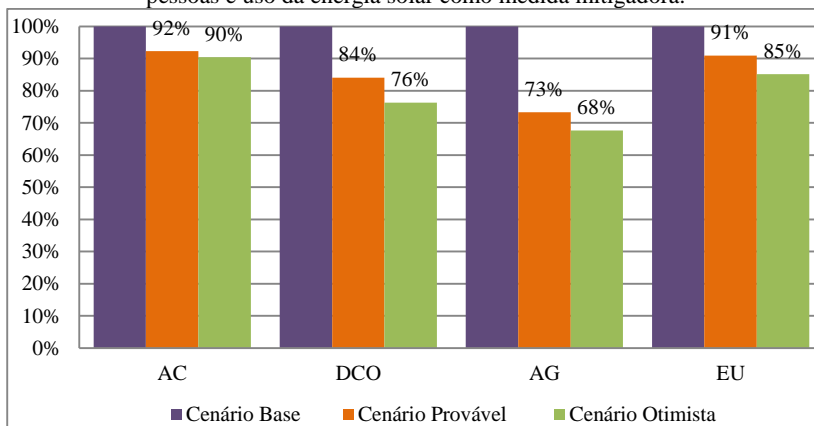
fonte energética, sugerindo que seja tomado como medida prioritária de conscientização para tornar o ENS menos prejudicial ao meio ambiente.

A introdução desse cenário na rotina do edifício tem barreiras culturais, dependendo da colaboração dos funcionários e alunos, dificultada pela grande rotatividade dessas pessoas no local. Entretanto, com a procura cada vez mais crescente de novas tecnologias para facilitar o dia a dia das pessoas, principalmente quando se trata do público jovem. Uma solução interessante é o uso de grupo de Facebook ou aplicativos de celular que estimulem a criação de uma comunidade de caronas de distâncias inter-regionais. Por parte da universidade, podem ser instalados mais bicicletários, visto que existem poucos quando comparados ao número de alunos existentes.

Supondo que as medidas mitigadoras de energia e transporte ocorram simultaneamente, foram modelados dois cenários, um provável e outro otimista. O cenário provável reuniu os cenários 1 e 2, o qual tem mais chances de serem alcançados. O otimista reuniu os cenários 1 e 3, com maiores reduções de impactos.

A Figura 13 representa a normalização das reduções dos impactos ambientais das alternativas, otimista e provável, em relação ao cenário base.

Figura 13 - Comparação ENS (cenário base) com a otimização deslocamento de pessoas e uso da energia solar como medida mitigadora.



As reduções nos impactos variaram de 8 a 17% no cenário provável e de 10 a 32% no cenário otimista. A categoria AG apresentou a redução de impacto mais significativo.

6 CONCLUSÃO

O trabalho abordou sobre a avaliação do ciclo de vida do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC e realizou uma análise comparativa entre este e um edifício comercial com boas práticas ambientais, conforme objetivo. Em ambos os edifícios, o uso do transporte e o consumo de energia se destacaram como as atividades que mais contribuíram para os impactos ambientais, em todas as categorias avaliadas. Para o ENS, o transporte dominou nas quatro categorias avaliadas (AC, AG, DCO e EU); já para o edifício comercial, a energia foi o principal gargalo.

Os potenciais impactos ambientais gerados pelo ENS foram superiores para todas as categorias, o que já era esperado, pois o edifício comercial tem certificação LEED, que garante o emprego de práticas sustentáveis em sua operação.

De maneira geral, as atividades dos estudos apresentaram comportamentos proporcionais em relação ao total de cada categoria avaliada; contudo, para o Office Park a água apresentou valores muito baixos em relação ao ENS, possivelmente devido a modelagem com a versão 3.0 do ecoinvent®, assim como apresentou impactos positivos pela destinação de parcela dos resíduos gerados para a reciclagem, o que não acontece com o departamento de ensino.

A comparação entre os estudos mostrou-se muito interessante por analisar um departamento de ensino que aborda em suas disciplinas sobre questões relacionadas à sustentabilidade; contudo, não as coloca em práticas simples, tais como a segregação de seus resíduos, programas de incentivo ao racionamento da água, aproveitamento da água da chuva, uso consciente do transporte, etc.

7 RECOMENDAÇÕES

A fase de uso foi o foco do estudo, por se tratar da fase com maior contribuição nos potenciais impactos ambientais, contudo, o mais indicado, como já foi indicado por alguns autores, é que o estudo seja realizado considerando todo o ciclo de vida do edifício.

Além disso, algumas dificuldades foram encontradas na obtenção dos dados para a construção do inventário do ENS, implicando na importância da UFSC ter um maior controle sobre o consumo e gerações de insumos de seus departamentos de ensino. Outras sugestões para trabalhos futuros são indicadas, tais como:

- Acompanhar *in loco* as atividades que se deseja modelar, durante o período de interesse, a fim de elaborar um inventário mais condizente com a realidade do edifício, e então eliminar as incertezas provenientes de estimativas;
- Ampliar a ACV para edificações, tanto em universidades, como em outros tipos de edifício (residenciais, administrativos, hoteleiros, hospitalares, etc.), a fim de comparar resultados e traçar um perfil nacional de desempenho ambiental de edifícios;
- Desenvolver *datasets* que sejam específicos para a realidade brasileira;
- Avaliar o impacto social (interno e externo ao sistema de produto) e econômico (viabilidade), além do ambiental, e propor cenários de melhorias mais completos, pois são áreas de estudo que coexistem e devem funcionar de forma harmoniosa para apresentar bons resultados;
- Estudar a influência do uso de diferentes softwares, bases de dados e métodos de AICV para a modelagem de estudos de ACV.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9.649: **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, versão digital, 1986. 7p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, versão digital, 2009a. 21p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14044: **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações**. Rio de Janeiro, versão digital, 2009b. 46 p.

ARAÚJO, M. A. **A moderna construção sustentável**. IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br/pdf/moderna.pdf>>. Acesso em: 05 de outubro de 2016.

ARPKE, A.; HUTZLER, N. Operational life-cycle assessment and life-cycle cost analysis for water use in multioccupant buildings. **Journal of Architectural Engineering**, v. 11, n. 3 p. 99–109, 2005.

ASSIES, J. State of Art. **Life-Cycle Assessment**, Netherlands: SETAC, Leiden, p.1-20, 1992.

ASSIS, B.B. **Avaliação do ciclo e vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2009. 66p.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **A Cradle -to- Gate Life Cycle Assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF)**. Ottawa, On, 2009.

BALARAS, C.A et al. Assessment of energy and natural resources conservation in office buildings using TOBUS. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 2, p. 135-153, 2002.

BARE, J. **Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) TRACI version 2.1 User's Guide**. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, 2012.

BISWAS, W.K. **Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia**. International Journal of Sustainable Built Environment, v. 3, n. 2, p. 179 -186, 2014.

BLENGINI, G. A.; DI CARLO, T. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. **Energy and buildings**, v. 42, n. 6, p. 869-880, 2010.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: A ciência central**. 9ª ed. São Paulo. Pearson. 2005.

BUCHANAN, A. H.; HONEY, B. G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**, v. 20, n. 3, p. 205-217, 1994.

CABEZA, L. F. 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.

CELESC. Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. **O Parque Gerador**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/celesc-geracao/o-parque-gerador>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

CEN/TC 350. **Sustainability of construction works**. Disponível em: <http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/CENTC350/index>. Acesso em: 04 de novembro de 2016.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, Qualitymark Ed. 1998.

CITHERLET, S.; HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and environment**, v. 37, n. 8, p. 845-856, 2002.

COLE, R. J.; KERNAN, P. C. Life-cycle energy use in office buildings. **Building and environment**, v. 31, n. 4, p. 307-317, 1996.

CONSOLI, et al. **Guidlines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice**. Pensacola: SETAC Press, 1993.

DEEKE, V.; CASAGRANDE JR, E. F.; SILVA, M. C. **Edificações Sustentáveis em Instituições de Ensino Superior**. In: 7º Seminário Internacional NUTAU 2008 - Espaço Sustentável - Inovações em Edifícios e Cidades, São Paulo. 2008.

DEGANI, C. M; CARDOSO, F. F. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

DIMOUDI, A.; TOMPA, C. Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 1, p. 86-95, 2008.

DING, G. K. C. **The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities** (Thesis) - Faculty of Design, Architecture & Building, University of technology, Sydney, Australia, 2004. 312 p.

ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Departamento: Missão**. Disponível em: <<http://dens.paginas.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 de março de 2017.

EUROPEAN COMISSION. **Directorate General XII for Science, Research and Development. Environmental impact of buildings: application of the life cycle analysis to buildings**. Paris: Center for Energy Studies, 1997. 145 p.

FRANKL, P.; F. RUBIK (EDS.), **‘Life Cycle assessments in Industry and Business, Adoption Patterns, Applications and Implications’**, Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2000.

FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings**. PhD. Thesis. Faculty of Architecture, Building and Planning, The University of Melbourne, AU, 1999.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. **Life-cycle energy analysis of buildings: a case study**. Building Research and Information, 28 (1) p. 31-41. 2000.

FONSECA, M. L. M. **Contribuições dos Certificados Leed, Aqua (HQE) e Breeam para a Qualificação Qualiverde em Edificações Sustentáveis na Cidade do Rio de Janeiro** (Dissertação de Mestrado) - Engenharia Urbana e Ambiental, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2014. 120 p.

FREESE, J. T. **Análise do ciclo de vida de copos plásticos de poliestireno e de canecas de cerâmica utilizados para servir café em um ambiente de trabalho**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Ambiental, UFRGS, Porto Alegre, 2013. 69 p.

FRISCHKNECHT, R. et al. The ecoinvent database: Overview and methodological framework (7 pp). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 1, p. 3-9, 2005.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano**. Laboratório de Eficiência Energética em edificações – UFSC. Disponível em: < http://www.labeee.ufsc.br/antigo/graduacao/ecv_5161/Sustentabilidade_apostilaECV5161.pdf>. Acesso em: 8 de novembro de 2016.

GRAEDEL, T.E. **Streamlined Life-Cycle Assessment**. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 310p.

GREENDELTA. openLCA. **Life-Cycle Assessment software package**, Version 1.5.0. 13349 Berlin, Germany. Disponível em: <<http://www.openlca.org/index.php/greendelta/>>. Acesso em: 03 de novembro de 2016.

GUINÉE, J. B.; DE HAES, H. U.; HUPPES, G. Quantitative life cycle assessment of products: 1: Goal definition and inventory. **Journal of Cleaner Production**, v. 1, n. 1, p. 3-13, 1993.

HAUSCHILD, M.Z. Assessing Environmental Impacts in a Life Cycle Perspective. **Environmental Science and Technology**, v. 39, n.4, p. 81A-88A, 2005.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília, 2014, 33 p.

JJAKLI, K. et al. How green solar desalination really is? Environmental assessment using life-cycle analysis (LCA) approach. **Desalination**, v. 287, n.15, p. 123-131, 2012.

JUNNILA, S. Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an office building. **Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research**, Special Series, v. 2, p. 81-97, 2004.

JUNNILA, S.; HORVATH, A. Life cycle environmental effects of an office building. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 9, n. 4, p. 157-166, 2003.

JUNNILA, S.; HORVATH, A.; GUGGEMOS, A. A. Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 12, n. 1, p. 10-17, 2006.

KHASREEN, M. M.; BANFILL, P. F. G.; MENZIES, G. F. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. **Sustainability**, v. 1, n. 3, p. 674-701, 2009.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 10, p. 1076-1083, 2009.

LEITE, V. F. **Certificação Ambiental na Construção Civil: sistemas Leed e Aqua**. (Trabalho de Conclusão de Curso)- Curso de Graduação de Engenharia Civil. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011. 50 p.

LI, Z. A new life cycle impact assessment approach for buildings. **Building and Environment**, v. 41, n. 10, p. 1414-1422, 2006.

MATOS, F.O. et al. Impactos ambientais decorrentes do aterro sanitário da região metropolitana de Belém – PA: Aplicação de ferramentas de melhoria ambiental. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia/MG. 2011.

MUNARIM, U. **Benefícios ambientais de preservação do patrimônio edificado: Análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. Nova construção**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 290 p, 2014.

OLIVEIRA, W. **LEED previsto x LEED realizado: o desafio da performance**. Conferência GreenBuilding Brasil, São Paulo, 2014.

OLSEN, S. I. et al. Life cycle impact assessment and risk assessment of chemicals - a methodological comparison. **Environmental Impact Assessment Review**, v.21, n.4, p. 385-404, 2001.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA**. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 1, p. 28-39, 2009.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. Tese de Doutorado em Construção Civil, Publicação E.TD-003A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 226 p, 2015.

PULLEN, S. Energy assessment of institutional buildings. **Proceedings of Annual Conference of the Australia & New Zealand Architectural Science Association (ANZAScA)**. The University of Adelaide, Australia, 2000.

RABAÇA, G. V. **Análise do ciclo de vida da fase operacional de um edifício comercial sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2015. 91p.

RAMESH, T.; PRAKASH, R; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592-1600, 2010.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 3, p. 249-257, 2007.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. 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.

SCOFIELD, J.H. Efficacy of LEED – certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. **Energy and Buildings**, v.67, p. 517-524, 2013.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Life-cycle Assessment: A "Code of Practice"**, SETAC workshop in Sesimbra, Portugal 31 March–3 April, Brussels: SETAC. 1993.

SHEN, T. Industrial Pollution Prevention. **Environmental Engineering**. p. 143 – 161. 1995.

SHERWANIA, A.F., USMANI, J.A., AND VARUN. Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n.1, p. 540-544, 2010.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. (Tese de Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 314 p, 1999.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. (Tese de Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 210 p.

SILVA, B.V; JOHN, M. V; PACCA, S.A. **As bases para a avaliação do ciclo de vida de edificações no Brasil**. Vitória/ES, 2011. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_029.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2017.

SILVA, B. V. **Construção de Ferramenta para Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações**. Dissertação (mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013. 146 p.

SOARES, S. R.; SOUZA, DM de; PEREIRA, SW. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. **Coletânea Habitare**, v. 7, p. 96-127, 2006.

STEIN, R. G.; SERBER, D.; HANNON, B. Energy use for building construction. In: **RG Stein and Associates. US Department of Energy, EDRA Report**. Center for Advanced Computation, University of Illinois, 1976.

SUZUKI, M.; OKA, T. Estimation of life cycle energy consumption and CO 2 emission of office buildings in Japan. **Energy and Buildings**, v. 28, n. 1, p. 33-41, 1998.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. (Tese de doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 224 p.

TRELOAR, G. et al. Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities. **Facilities**, v. 19, n. 3/4, p. 139-150, 2001.

TRUSTY, W.; MEIL, J. The environmental implications of building new versus renovating an existing structure. **CIB International Conference. on Sustainable Building 2000**, Aeneas Technical Publishers, Boxtel, The Netherlands, 104–106, 2000.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Gerador solar fotovoltaico produz energia desde 1997 na UFSC**. Disponível em: <<http://noticias.ufsc.br/2015/11/gerador-solar-fotovoltaico-produz-energia-desde-1997-na-ufsc/>>. Acesso em: 5 de maio de 2017.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. **Sustainable Buildings & Climate Initiative – Common Carbon Metric for Measuring Energy Use & Reporting Greenhouse Gas**

Emissions for Building Operations. 2009. Disponível em: <<http://www.unep.org/sbci/pdfs/UNEPSBCICarbonMetric.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2016.

USEPA, 2001. U.S. **Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation.** LCAccess - LCA 101. 2001.

WINES, J. **Green Architecture.** Milan : Taschen, 2000. 240p.

WU, H. J. et al. Life cycle energy consumption and CO₂ emission of an office building in China. **The international journal of life cycle assessment**, v. 17, n. 2, p. 105-118, 2012.

XING, S.; XU, Z.; JUN, G. Inventory analysis of LCA on steel-and concrete-construction office buildings. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 7, p. 1188-1193, 2008.

YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. **Energy**, v. 27, n. 1, p. 77-92, 2002.

ZABALZA BRIBIÁN, I; ARANDA USÓN, A; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**, v. 44, n. 12, p. 2510-2520, 2009.

ZANGHELINI, G.M. et al. A bibliometric overview of Brazilian LCA research. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 12, p. 1759-1775, 2016.

ZHANG, Z. et al. BEPAS. A life cycle building environmental performance assessment model. **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 669-675, 2006.

APÊNDICE - Questionário sobre o uso do transporte



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ENS



QUESTIONÁRIO SOBRE MEIO DE LOCOMOÇÃO DOS ALUNOS ATÉ A UFSC

1. Qual o centro de ensino que você estuda dentro da UFSC?
 - a) CCA
 - b) CCB
 - c) CTC
 - d) CFM
 - e) CFH
 - f) CCE
 - g) CCS
 - h) CED
 - i) CCJ
 - j) CDS

2. Quantos créditos de aula por semana você tem?

3. Quantos créditos de aula no ENS por semana?

4. Qual o seu endereço (rua, nº, bairro e CEP)?

5. Como você **geralmente** se desloca até a universidade?
 - a) A pé
 - b) Bicicleta
 - c) Carro
 - d) Moto
 - e) Ônibus
 - f) Carona

6. Caso tenha respondido "carro" na pergunta acima, qual a potência do motor?
 - a) Até 1,4
 - b) Entre 1,4 e 2,0
 - c) Acima de 2,0

7. Caso tenha respondido "carro" na pergunta acima, qual o combustível geralmente utilizado?
 - a) Gasolina
 - b) Etanol
 - c) Gás natural
 - d) Diesel