

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE USO DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL PARA INCORPORAÇÃO DE
CONCEITOS E ATIVIDADES DE *GREEN IT* EM UMA
UNIVERSIDADE**

Carulina Marques

Catalão - GO
2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:


Nome completo do autor: Carulina Marques

Título do trabalho: Proposta de uso de simulação computacional para incorporação de conceitos e atividades de *Green IT* em uma universidade.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento **SIM** **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 08 / 04 / 19

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

**PROPOSTA DE USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL
PARA INCORPORAÇÃO DE CONCEITOS E ATIVIDADES
DE *GREEN IT* EM UMA UNIVERSIDADE**

CARULINA MARQUES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**.

Área de Concentração: Engenharia de Operação e Processos Industriais.

Orientadora: Prof^a Dr^a Stella Jacyszyn Bacheга

**Catalão – GO
2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

, Carulina Marques

Proposta de uso de simulação computacional para incorporação de conceitos e atividades de green it em uma universidade [manuscrito] / Carulina Marques . - 2019.

90 f.

Orientador: Prof. Dr. Stella Jacyszyn Bachega .

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Cidade de Goiás, 2019.

1. Green IT. 2. Universidade Sustentável. 3. Simulação de Sistemas. I., Stella Jacyszyn Bachega, orient. II. Título.

FENG

UAE de Engenharia

Serviço Público Federal
Universidade Federal de Goiás – UFG
Regional Catalão – RC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**ATA DA SESSÃO DE JULGAMENTO DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE
CARULINA MARQUES**

Aos quinze dias do mês de março do ano de dois mil e dezenove (15/03/2019), às 09h00mim (nove horas), na Sala do Mestrado em Engenharia de Produção, no Bloco "O" da Regional Catalão/UFG, teve lugar a 6ª Sessão Pública de Julgamento da Dissertação de Mestrado de Carulina Marques, matrícula nº 2017101622, CPF nº 019.601.591-00, intitulada "PROPOSTA DE USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA INCORPORAÇÃO DE CONCEITOS E ATIVIDADES DE GREEN IT EM UMA UNIVERSIDADE". A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria nº 15/2019 da FENG – RC/UFG, pelos Prof^ª. Dr^ª. Stella Jacyszyn Bachega (Orientador) CPF 053.655.956-29, Prof. Dr. Nilson José Fernandes (Membro Interno), CPF 136.954.818-46 e pelo Prof. Dr. Dalton Matsuo Tavares (Membro Externo ao Programa), CPF nº 833.713.971-49. Os examinadores arguiram na ordem citada, tendo o mestrando respondido livremente conforme seus entendimentos acerca do assunto. Às 10 horas e 40 minutos a Banca Examinadora passou ao julgamento, em Sessão Secreta, tendo o mestrando obtido os seguintes resultados:

Prof^ª. Dr^ª. Stella Jacyszyn Bachega –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass.

Prof. Dr. Nilson José Fernandes –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass.

Prof. Dr. Dalton Matsuo Tavares –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass.

Obs.: A aluna deve realizar todas as correções informadas pela banca.

Presidente da Banca – Prof^ª. Dr^ª. Stella Jacyszyn Bachega -

Ass.

Resultado final: APROVADO (X) REPROVADO ()

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a Sessão, da qual foi lavrada a presente Ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Mestrando examinado e pela Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – RC/UFG.

Assinatura do Mestrando

Secretaria do PPGEPC-RC/UFG

Obs: O(a) aluno(a) deverá encaminhar, no prazo de até 30 (trinta) dias, a contar da data da Defesa Pública, os exemplares definitivos da Dissertação, para arquivamento e devidos encaminhamentos, conforme as normas definidas pelo PPGEPC-RC/UFG.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui os meus agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação.

A Deus por ter me dado forças para concluir mais esta etapa rumo a minha formação profissional.

A minha orientadora Profa. Dr.^a Stella Jacyszyn Bacheга, pela paciência e capacitação que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

A minha mãe, Iraci de Fátima Marques, por sempre estar ao meu lado me dando forças nos momentos em que o cansaço e o desânimo insistiram em se fazer presentes.

Aos professores Dr. Dalton Matsuo Tavares. e Dr. Nilson José Fernandes, pelas sugestões e críticas apresentadas na qualificação e defesa desta dissertação e, também, aos docentes do PPGE/P/UFQ, que contribuíram durante todas as etapas de desenvolvimento do mestrado.

A todos os entrevistados pela disponibilidade em auxiliar na coleta de dados para realização da pesquisa e aos meus colegas da UFQ, que de alguma forma me apoiaram e incentivaram.

A aluna Natália T. Bledoff por ter feito as pesquisas iniciais que guiaram a execução desta dissertação.

MARQUES, C. **Proposta de Uso de Simulação Computacional para Incorporação de Conceitos e Atividades de *Green IT* Em Uma Universidade.** 90 P. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Catalão, GO. 2019.

RESUMO

O conceito de Tecnologia da Informação Verde, cujo termo em inglês é *Green IT*, refere-se a tecnologias e sistemas de informação sustentáveis, além de práticas ambientalmente corretas no âmbito da TI (Tecnologia da Informação). As Universidades, que possuem papel de propagar e aplicar conhecimentos, detêm importante função como difusoras das ideias relacionados a *Green IT*. Portanto, faz-se necessário o estudo de maneiras de se alcançar medidas sustentáveis nestas instituições de ensino.

Baseando-se neste pressuposto o objetivo principal da presente pesquisa é avaliar, via simulação computacional, o impacto ambiental de laboratórios de informática de uma universidade quanto ao consumo de energia e emissão de CO₂, ressaltando que, por meio destas métricas, foi possível calcular o valor do indicador de ecoeficiência.

Realizou-se, também, a revisão na literatura referente a abordagem integrada dos temas *Green IT* e Universidade Sustentável, utilizou-se o método de análise de citações em múltiplas perspectivas que permitiu o estudo de quais são os autores mais assíduos em pesquisas sobre os temas, palavras chaves mais utilizadas e quais são os tópicos mais abordados quando os temas são estudados em conjunto.

A novidade é que a integração dos conceitos de Universidade Sustentável e *Green IT* ainda não foram abordados de forma conjunta no *Campus* que será objeto de estudo da pesquisa. Logo, os resultados gerados com a pesquisa são de importância para o desenvolvimento científico da universidade. Os resultados obtidos com a junção destas abordagens contribuirão para o alcance de algumas abordagens referentes a universidades sustentáveis e poderão ser utilizados por universidades nacionais e internacionais. Além disso, torna-se possível o fortalecimento de pesquisas científicas que possuem cunhos interdisciplinar/transversal.

Palavras-chave: *Green IT*, Universidade Sustentável, Simulação de Sistemas.

MARQUES, C. **Proposal for the Use of Computer Simulation to Incorporate Green IT Concepts and Activities in a University** . 90 P. Master's Dissertation, Federal University of Goiás, Catalão, GO. 2019.

ABSTRACT

The concept of Green IT refers to sustainable technologies and information systems, as well as environmentally correct practices in the field of Information Technology. Universities, which have the role of propagating and applying knowledge, play an important role as disseminators of ideas related to Green IT. Therefore, it is necessary to study ways to achieve sustainable measures in these educational institutions.

Based on this assumption, the main objective of the present research is to evaluate, through computer simulation, the environmental impact of a university's computer laboratories in terms of energy consumption and CO₂ emission. Through these metrics, it was possible to calculate the value of the eco-efficiency indicator.

A review of the literature on the integrated approach of green it and sustainable university themes was also carried out. The method of analysis of cocitations in multiple perspectives was used, which allowed the evaluation of which authors are most frequent in research on the themes , most commonly used keywords, and which topics are best covered when themes are studied together.

The novelty is that the integration of the concepts of Sustainable University and Green IT have not yet been approached together in the Campus that will be the target of the research. Therefore the results generated with the research are of importance for the scientific development of the university. The results obtained by joining these approaches will contribute to the achievement of some approaches to sustainable universities, and may be used by national and international universities. In addition, it becomes possible to strengthen scientific researches that have interdisciplinary / transversal traits.

Keywords: Green IT, Sustainable University, System Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ritmo de publicações referentes a metodologia de <i>Green IT</i>	19
Figura 2 – Estrutura do conteúdo do Capítulo 3.....	27
Figura 3 – Abordagem holística de <i>Green IT</i>	29
Figura 4 – Abordagem sistêmica para universidades sustentáveis	32
Figura 5 – Autores mais citados.....	35
Figura 6 – <i>Clustering</i>	36
Figura 7 – Metodologia de Simulação.....	42
Figura 8 – Sustentabilidade e ecoeficiência	45
Figura 9 – Modelo integrado de adoção de tecnologia de informação verde.....	47
Figura 10 – Etapas do <i>framework</i> proposto por Yáñez et al. (2019).....	48
Figura 11 – Modelo de <i>framework</i>	54
Figura 12 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia de Produção	60
Figura 13 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia de Minas	61
Figura 14 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia Civil.....	62
Figura 15 – Modelo computacional desenvolvido no software ProModel®	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia técnica IDEF-SIM.....	23
Quadro 2 – Proposição de medidas sustentáveis presentes na literatura	46
Quadro 3 – Roteiro de entrevista (continua).....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações dos <i>Clusters</i>	37
Tabela 2 – Referências com explosão de citações referente a autores.....	38
Tabela 3 – Explosão de citações por palavras-chave	39
Tabela 4 – Modelo de processo para implementação de <i>Green IT</i>	49
Tabela 5 – Dados do laboratório do curso de Engenharia de Produção (continua)	56
Tabela 6 – Dados do laboratório do curso de Engenharia de Minas	58
Tabela 7 – Dados do laboratório do curso de Engenharia Civil.....	59
Tabela 8 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Produção 2018/1	67
Tabela 9 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Produção 2018/2	67
Tabela 10 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Minas 2018/1	68
Tabela 11 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Minas 2018/2.....	68
Tabela 12 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Civil 2018/1	69
Tabela 13 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Civil 2018/2	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAF – Coordenação de Administração e Finanças
CEGEF – Centro de Gestão do Espaço Físico
CEP – Comitê de Ética na Pesquisa
CO₂ – Dióxido de Carbono
ETSII – *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales*
GITAM – *Green IT Adoption Model*
Green IT – Tecnologia da Informação Verde
ICT – *Information and Communication Technology*
IE – Indicador de Ecoeficiência
IMGITA – *Integrated Model of Green Information Technology Adoption*
SI – Sistema de Informação
ISAR/UNCTAD – *Working Group of International Standards and Accounting Reports*
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
PCs – *Personal Computers*
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
SIGAA – Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
SIN – Sistema Interligado Nacional
TAM – *Technology Adoption Model*
TI – Tecnologia da Informação
TI Verde – Tecnologia da Informação Verde
TRA – *Theory of Reason Action*
UFF – Universidade Federal Fluminense
UFG-RC – Universidade Federal de Goiás-Regional Catalão
WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*
WOS – *Web of Science*
UFRGS, PUC-RS, UFF, UFRN e UFRJ

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Apresentação do trabalho.....	11
1.2 Questão, proposição, e objetivos do trabalho	13
1.3 Justificativa	14
1.4 Estrutura do trabalho	15
CAPÍTULO 2.....	16
METODOLOGIA	16
2.1 Explicação científica	16
2.2 Abordagem de pesquisa	17
2.3 Método de pesquisa	18
2.3.1 <i>Pesquisa teórico-conceitual</i>	18
2.3.2 <i>Pesquisa experimental</i>	19
2.3.3 <i>Estudo de caso</i>	23
2.4 Considerações Finais	26
CAPÍTULO 3.....	27
REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
3.1 <i>Green IT</i>	28
3.1.1 <i>Tópicos introdutórios</i>	28
3.2 Universidade sustentável.....	30
3.2.1 <i>Definições</i>	31
3.2.2 <i>Abordagem sistêmica</i>	32
3.3 <i>Green IT</i> e Universidades Sustentáveis.....	33
3.3.1 <i>Mapeamento da literatura</i>	34
3.4 Simulação de sistemas.....	39
3.4.1 <i>Definições</i>	39
3.4.2 <i>Fases na realização de uma simulação</i>	41
3.4.3 <i>Componentes de um modelo de simulação</i>	42
3.5 Ecoeficiência	44
3.6 <i>Frameworks</i> (Modelos Estruturados)	45
3.7 Considerações Finais	50
CAPÍTULO 4.....	52
RESULTADOS	52
4.1 Sugestão de um <i>framework</i> afim a <i>Green IT</i> que pode ser adotado pela universidade	52
4.2 O estudo de simulação.....	55
4.2.1 <i>Formulação do problema e planejamento do estudo</i>	55

4.2.2 Coleta de dados e definição do modelo	55
4.2.3 Validação do modelo conceitual	62
4.2.4 Construção do programa computacional e verificação.....	62
4.2.5 Realização de execuções piloto.....	64
4.3 Considerações Finais	70
CAPÍTULO 5.....	71
CONCLUSÕES.....	71
5.1 Resposta para questão de pesquisa	71
5.2 Avaliação geral da proposição e dos objetivos	72
5.3 Contribuições do trabalho e propostas de pesquisas futuras.....	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	84
APÊNDICE B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	86

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo é dividido em quatro seções. A primeira seção (1.1 Apresentação do Trabalho) aborda o contexto do estudo explanando os principais temas e a necessidade de realização das atividades propostas. Na seção 1.2 são delimitados a questão, proposição e objetivos da pesquisa. Já na seção 1.3 é apresentada, de acordo com a literatura, a justificativa para a realização da pesquisa. Finalmente, na seção 1.4 apresenta-se a estruturação do estudo.

1.1 Apresentação do trabalho

As questões referentes a sustentabilidade são um desafio enfrentado pela sociedade em geral, incluindo a iniciativa privada, o governo e também as universidades. Existe uma pressão sobre os *campi* universitários para que os mesmos analisem seus processos e operações tornando-os cada vez menos agressivos ao meio ambiente. Como resultado da necessidade de adoção de alguns conceitos relacionados a sustentabilidade, algumas instituições universitárias estão promovendo medidas que objetivam o emprego de práticas relacionadas a responsabilidade ambiental (ALSHUWAIKHAT; ABUBAKAR, 2008).

Alshuwaikhat e Abubakar (2008) estruturaram uma abordagem que tem como objetivo o alcance das universidades sustentáveis. São adotados três passos, a saber: implementação de um sistema de gerenciamento ambiental, participação pública e responsabilidade social e o ensino e pesquisa em sustentabilidade. É importante ressaltar que a degradação ambiental não acontece somente nas salas de aula ou nos laboratórios de pesquisa, mas sim em todas

as áreas/departamentos. Portanto, faz-se necessário que, para o alcance de práticas sustentáveis, ocorra um engajamento sistêmico de todos os envolvidos.

Em busca da aplicação de alguns dos conceitos relacionados a universidade sustentável, é sugerido o uso das análises feitas pela *Green IT*, as quais podem ser definidas como o estudo e a prática de projeto, a produção, o uso e o descarte de computadores, servidores e subsistemas associados de forma eficiente e eficaz com o mínimo ou nenhum impacto sobre o meio ambiente (MURUGESAN, 2008).

Ainda segundo Murugesan (2008), o uso da tecnologia da informação (TI) aumentou significativamente nas mais diversas áreas, oferecendo diversos benefícios, porém, o que não é percebido pela maioria da população é que o crescente uso da TI tem contribuído para a degradação do meio ambiente. O uso de equipamentos como os computadores ocasionam gastos expressivos com eletricidade e contribuem para a emissão de gases causadores do efeito estufa. Fatores como estes impulsionam a necessidade de aplicação dos conceitos de *Green IT*.

Existem outros fatos que ressaltam a importância de se considerar as ideias referentes a *Green IT*, a saber (MURUGESAN, 2008):

- É considerado cada vez maior o consumo de energia elétrica por servidores, computadores, monitores, equipamentos de comunicação de dados e sistemas de refrigeração para *data centers*;
- Cada computador é responsável por gerar cerca de uma tonelada de dióxido de carbono por ano;
- Os componentes do computador apresentam materiais considerados tóxicos;
- É crescente o número de computadores, monitores e outros equipamentos descartados de dois a três anos após a compra. Agrava a situação o fato de que parte destes vão para aterros sanitários, poluindo a terra e contaminando a água.

Alguns autores, em seus estudos, apontam formas de reduzir os impactos ambientais com o uso da metodologia proposta pela *Green IT*, dentre eles estão Alharbi, Kor e Pattinson (2016), Alkali et al. (2017), Ardito e Morisio (2014), Bilal et al. (2014) e Murphy, Sterling e Dekate (2010). Portanto, considera-se relevante o estudo sobre o tema, pois, a abordagem integrada dos conceitos relacionados a universidades sustentáveis e a tecnologia da informação verde possibilitam o alcance de ferramentas que, quando utilizadas de forma correta, diminuem a degradação, também dentro dos *campi* universitários, que os equipamentos de TI causam ao meio ambiente.

Kroth et al. (2015) simularam um cenário em que a estrutura de TI utilizada em uma universidade seguia algumas premissas da TI Verde (Tecnologia da Informação Verde) e melhor aproveitamento dos recursos. Constatou-se que ao adotar medidas para implantar a

TI Verde, houve uma redução de, aproximadamente, 62% do consumo de energia e consumo de CO₂.

Dias et al. (2013) fizeram uma pesquisa de avaliação em cinco universidades (UFRGS, PUC-RS, UFF, UFRN e UFRJ). O estudo concluiu que embora existam práticas de TI nas Instituições de Ensino Superior mencionadas, ainda existe muito a ser melhorado até que seja alcançado um nível ideal de abordagem ambiental. Ademais, verificou-se que a disseminação da TI Verde nas universidades brasileiras ainda é deficiente.

1.2 Questão, proposição, e objetivos do trabalho

Murugesan e Gangadharan (2012) propõem que sejam respondidas algumas questões para que as práticas relacionadas a *Green IT* sejam adotadas. Dentre as questões consideradas estão as seguintes: “Quais são os principais impactos causados pelas atividades de TI? ”; e “Como transformar a infraestrutura, produtos, serviços e operações de TI mais sustentáveis? ”.

Com base neste contexto foi elaborada a seguinte questão de pesquisa: Como avaliar, via simulação computacional, possíveis impactos ambientais gerados em universidades pelo uso de tecnologia da informação?

Baseado nestas perguntas, foram estabelecidos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, considerando primeiramente a seguinte proposição: conceitos e atividades relacionados a *Green IT* podem ser aplicados em universidades para que haja a diminuição de seus impactos ambientais. Ressalta-se que tal proposição é fundamentada nos trabalhos de autores como Herrich e Ritschard (2009), Kroth et al. (2015), Yoshida, Shimada e Ohashi (2017).

O objetivo geral da pesquisa é avaliar, via simulação computacional, o impacto ambiental, quanto ao consumo de energia elétrica (custo total) e emissão de CO₂, presentes em laboratórios de informática de uma universidade e propor um *framework* afim a *Green IT* que considere essa prática. Destaca-se que o tema aqui estudado apresenta relevância considerando o fato de que não há trabalhos que possuam esta abordagem no *campus* que será objeto de estudo da pesquisa e que os *frameworks* propostos na literatura não explicitam a possibilidade de uso de simulação computacional para avaliação de impactos ambientais nas universidades.

Os objetivos específicos são:

- Fazer um levantamento teórico sobre os estudos referentes a *Green IT* e universidades sustentáveis visando a maior compreensão dos principais tópicos que são tratados quando ocorre a abordagem integrada destes temas;

- Propor um *framework* que pode ser adotado pela universidade visando a aplicação de medidas sustentáveis pela mesma;
- Modelar, simular e validar cenários elaborados para verificação do consumo de energia e de emissão de CO₂ em uma universidade.

1.3 Justificativa

Ardito e Morisio (2014) afirmam que o consumo de energia e a emissão de gases decorrentes do aumento do uso de equipamentos como computadores, *laptops* e outros tendem a ficar cada vez maiores. Assim, é necessário que sejam tomadas medidas imediatas de controle em relação ao uso não sustentável de tais equipamentos.

Estudos da Consultoria Gartner de 2007 relatam que a quantidade de CO₂ emitida pelos equipamentos de TI em todo mundo compara-se com a quantidade emitida pela frota mundial de aviões, sendo que os *datacenters* são responsáveis por 23% da emissão de gases de toda TI, enquanto o uso de PCs e monitores atingem 40% (LUNARDI; FRIO; BRUM, 2011). Apenas 25% das emissões são gerados na produção de computadores e demais equipamentos, enquanto os 75% restantes resultam do processo de utilização destes dispositivos (JAVO; VALENTE, 2010).

Levando em consideração os dizeres de Alshuwaikhat e Abubakar (2008), constata-se que é necessário um engajamento ambiental sistêmico visando a redução do consumo de recursos e dos impactos negativos causados pelas atividades desenvolvidas nos *campi* universitários.

Considerando as afirmações dos autores é possível constatar que a integração dos conceitos de *Green IT* e universidade sustentável é capaz de promover o alcance de metas como a redução do consumo de energia e também de emissão de gases poluentes.

Em relação a contribuição do estudo é possível afirmar que a sustentabilidade é um tema cada vez mais recorrente. A universidade como entidade difusora de conhecimento tem como desafio utilizar de maneira sustentável os recursos tornando-se cada vez mais ambientalmente responsável. A adoção de medidas capazes de tornar os processos mais sustentáveis não é uma atividade de fácil execução, faz-se necessário o envolvimento de todos os *stakeholders* para que os objetivos sejam de fato alcançados. Portanto, o estudo aqui apresentado mostra sua relevância por considerar técnicas que tornarão as atividades mais sustentáveis, diminuindo os impactos negativos causados por elas. Além disso, propõe maneiras de difundir os conhecimentos obtidos mediante as abordagens adotadas.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação foi estruturada em 5 capítulos, os quais são apontados a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução: realizou-se nesta parte a apresentação do trabalho; hipótese, questões e objetivos e uma breve justificativa expondo a relevância de se realizar pesquisas relacionadas ao tema abordado;
- Capítulo 2 – Metodologia de Pesquisa: foram apresentados neste capítulo os aspectos metodológicos considerados para a realização do estudo. Esta seção foi exposta no capítulo anterior ao referencial teórico por levar em conta aspectos necessários para o melhor entendimento do que foi abordado na seção teórica.
- Capítulo 3 – Referencial Teórico: foram apresentados nesta seção os conhecimentos teóricos necessários ao entendimento do estudo, sendo estes, *Green IT*, Universidade Sustentável, Simulação de Sistemas, Ecoeficiência e *Frameworks* (Modelos estruturados);
- Capítulo 4 – Resultados: destacou-se neste capítulo os resultados obtidos com a pesquisa dentre os quais estão os valores referentes a emissão de CO₂ e, também, os resultados referentes ao cálculo da ecoeficiência;
- Capítulo 5 – Conclusões: apresentou-se neste capítulo as conclusões do trabalho. Há a apresentação das considerações gerais, avaliação dos objetivos, exposição das contribuições do estudo e propostas para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de uma pesquisa é preciso que se tenha o encontro dos conhecimentos acessíveis e o cuidado na utilização de métodos e técnicas de investigação científica. Destacam-se como etapas do desenvolvimento de uma pesquisa a formulação adequada do problema e apresentação dos resultados do mesmo (GIL, 2010). A metodologia refere-se ao estudo dos métodos. Logo, neste capítulo são apresentados os métodos utilizados para a realização da pesquisa que compõe este trabalho.

Nesta dissertação realizou-se uma revisão da literatura visando o estudo integrado dos temas que compõem a mesma, sendo estes, *Green IT* e Universidades Sustentáveis. O método utilizado para realizar esta revisão é conhecido como análise de citações em múltiplas perspectivas. Portanto, neste capítulo ocorre a apresentação de como a pesquisa de literatura foi desenvolvida e os métodos de pesquisa utilizados, os dez passos seguidos para realizar o estudo de simulação, a técnica IDEF-SIM e, por fim, as equações e variáveis utilizadas para realização do cálculo da ecoeficiência.

2.1 Explicação científica

Marconi e Lakatos (2007) caracterizam como métodos de explicação científica o indutivismo, dedutivismo, hipotético-dedutivo, dialético e específico das ciências sociais. Neste projeto utilizou-se como abordagem o método hipotético-dedutivo, baseado na construção de hipóteses que devem passar pela maior quantidade possível de testes para verificação de quais delas se adequam melhor a análise realizada.

A primeira etapa deste método consiste no surgimento do problema que desencadeia a pesquisa, informando fatos relevantes e irrelevantes e os dados a serem estudados. O passo seguinte consiste na atribuição de hipóteses que serão sujeitas a testes visando provar a sua compatibilidade ou falseabilidade. Por fim, ocorre a tentativa de falseamento onde se realizam testes que objetivam considerar como falsas as hipóteses levantadas acarretando, assim, na eliminação de erros (MARCONI; LAKATOS, 2007).

Na pesquisa aqui realizada levantou-se a proposição de que é possível incorporar e desenvolver atividades afins a *Green IT*, de modo a expandir a abordagem integrada de Alshuwaikhat e Abubakar (2008) para alcance de Universidades Sustentáveis. Desta forma foram levantados apontamentos metodológicos feitos pela *Green IT* e as formas de aplicar tais conceitos visando atingir as características do *campus* sustentável. O objetivo foi quantificar, com a utilização da simulação de sistemas, as métricas referentes a emissão de CO₂ e a ecoeficiência e, desta forma, propor medidas capazes de diminuir os gastos energéticos e emissão de gases poluentes provenientes do uso de equipamentos de TI.

2.2 Abordagem de pesquisa

Quanto a abordagem, a pesquisa pode ser classificada em qualitativa e quantitativa, porém, alguns autores, dentre eles Creswell (2007), afirmam que pode haver o uso combinado das duas abordagens, como forma de uma estratégia de pesquisa.

A abordagem quantitativa caracteriza-se pelo fato de que o investigador faz uso de mensuração, observação, testes de teorias dentre outros, empregando estratégias de investigação, como levantamento e coleta de dados e instrumentos pré determinados que geram dados estatísticos. Já na abordagem qualitativa o investigador faz alegações baseadas em dados historicamente construídos e também em experiências individuais com o objetivo de desenvolver uma teoria ou um padrão. Também faz uso de estratégias de investigação como as narrativas, estudos baseados em teorias ou estudos de teorias baseados em experiências reais, o objetivo principal é que sejam desenvolvidos temas a partir dos dados coletados (CREWELL, 2007).

Crewell (2007) defende o uso combinado das duas abordagens, portanto, a coleta de dados envolve tanto o uso de informações numéricas como o de informações obtidas em textos. Desta forma, os dados apresentarão um misto de informações quantitativas e qualitativas. No projeto aqui desenvolvido, foram utilizadas as duas abordagens. Por meio do levantamento teórico e abordagem integrada sobre *Green IT* e Universidades Sustentáveis foi feita uma pesquisa qualitativa. Por outro lado, quando os dados referentes a simulação computacional foram abordados, utilizou-se a abordagem quantitativa.

2.3 Método de pesquisa

Berto e Nakano (2000) destacam como os procedimentos de pesquisa mais utilizados em Engenharia de Produção, os métodos teórico-conceitual, experimental, estudo de caso, pesquisa-ação e o *survey*. Neste projeto serão utilizados os três primeiros métodos citados e descritos a seguir.

2.3.1 Pesquisa teórico-conceitual

A pesquisa teórico-conceitual consiste em um levantamento bibliográfico que tem como objetivo explicar determinado problema por meio de referências teóricas publicadas em documentos. Pode ser efetuada como parte de uma pesquisa experimental ou de forma independente. O resultado deste tipo de pesquisa consiste em uma série de reflexões que possuem fundamento em um fato observado ou exposto na literatura, pela reunião de opiniões de outros autores ou pela simulação e modelagem teórica (BERTO; NAKANO, 2000). No estudo aqui realizado utilizou-se este tipo de pesquisa com o intuito de obter a orientação teórica necessária para a realização do estudo de simulação.

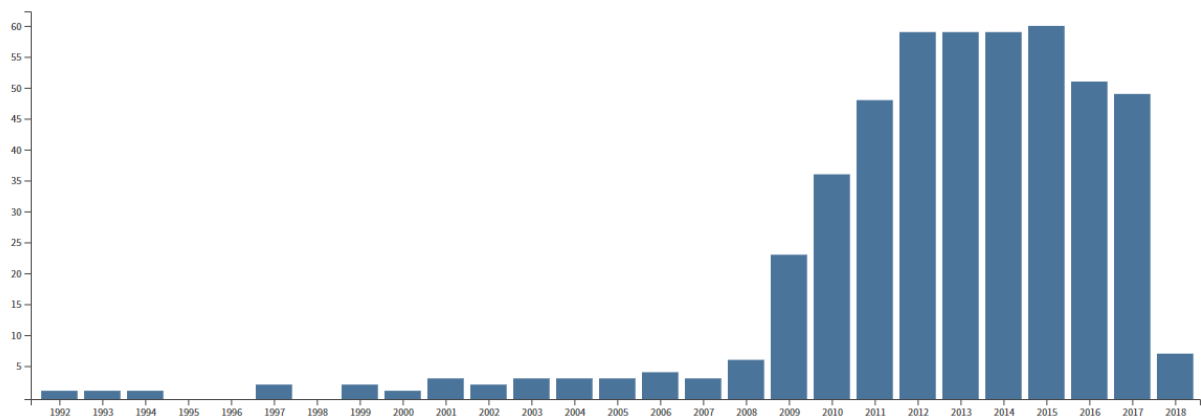
Para a execução da pesquisa teórico conceitual utilizou-se o método desenvolvido por Chen (2006), conhecido como análise de cocitações em múltiplas perspectivas (ou *multiple-perspective co-citation analysis*). Esta técnica refere-se a análise de padrões estruturais, temporais e também ao uso de citações, para se interpretar a natureza dos *clusters*, obtidos por meio do software CiteSpace®.

Li, Ma e Qu (2017) descrevem três passos para que seja desenvolvido o método de análise de cocitações em múltiplas perspectivas, a saber:

- Construir um banco de dados que atenda aos requisitos do tema a ser pesquisado: para isso faz-se necessário selecionar uma base de pesquisa que possua artigos de qualidade. A base de dados utilizada para a pesquisa foi a *Web of Science* (WOS), pois esta é integrada a ferramenta CiteSpace®. Além disso, a mesma possui reconhecimento internacional. Como pode ser observado nos trabalhos de Chen et al. (2016); Jiang et al. (2017); Li, Du e Long (2018); Tang et al. (2018); Yin, Gong e Wang (2018); Zhang e Li (2018).
- Utilizar as palavras-chave corretas durante a realização da pesquisa: o pesquisador deve ter especial atenção em relação a validade e representatividade das palavras e conferir a relevância dos artigos apresentados mediante o uso de tais palavras. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram 'Green IT' e 'Sustainable University'. Foram selecionados

artigos publicados entre os anos de 2008 a 2018. Tal período foi escolhido devido ao fato de que, segundo gráfico fornecido pela WOS, e apresentado na Figura 1, foi no ano de 2008 que ocorreu o crescimento em relação ao número de estudos sobre o *Green IT*. A continuidade até o ano de 2018 torna possível o alcance de publicações atualizadas.

- Estender a base de dados: para tanto, faz-se necessário que a mesma possua a maior cobertura possível em relação aos estudos já realizados. Depois da análise dos estudos apresentados pela WOS, foram selecionados 547 artigos. O critério de seleção baseou-se na escolha do tipo de documento que foram, “*Article*” e “*Proceedings Paper*”, estes critérios estão presentes na aba denominada refinar resultados presente na WOS. Os mesmos foram exportados para a base de dados do CiteSpace®. Os relatórios dados pelo software estão apresentados no Capítulo 3.



Fonte: Adaptado de WOS

Figura 1 – Ritmo de publicações referentes a metodologia de *Green IT*

2.3.2 Pesquisa experimental

Um dos métodos de pesquisa utilizado foi a pesquisa experimental. Gil (2010) afirma que este método consiste na determinação de um objeto de estudo. Feito isto são selecionadas as variáveis que podem causar influência sobre o mesmo. Posteriormente definem-se as formas de controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Existem algumas propriedades a serem seguidas quando se desenvolve uma pesquisa experimental, sendo elas, a manipulação, onde a pessoa que realiza a pesquisa deve manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados, o controle, que

consiste na atribuição de um ou mais controles na situação experimental e por fim, a distribuição aleatória que designa elementos para participar dos grupos experimentais (GIL, 2010).

A pesquisa experimental geralmente relaciona-se com experimentos controlados em laboratório, modelagens matemáticas e simulações computacionais (BRYMAN, 1989). Logo, o projeto aqui estudado se enquadra neste método por levar em consideração o uso da simulação como ferramenta de auxílio na aplicação de atividades/conceitos de *Green IT* para o alcance da abordagem referente a universidade sustentável.

Para a realização da simulação, utilizou-se a sequência de passos proposta por Law e Kelton (2000). Ressalta-se que autores como Banks et al. (2010), Chiwif e Medina (2015) e Freitas Filho (2008) apresentam um conjunto de passos, os quais em sua essência, apresentam um mesmo trabalho de condução. As etapas seguidas para a realização do estudo são (LAW; KELTON, 2000):

- Primeira etapa: Ocorre nesta fase a formulação do problema e o planejamento do estudo. Destacam-se como informações desta etapa a definição do tempo para finalizar cada etapa do projeto de simulação, a identificação das pessoas envolvidas, os custos, as hipóteses, dentre outros.
- Segunda etapa: Coleta de dados referentes ao sistema e definição do modelo conceitual. No modelo devem estar presentes somente detalhes que captam a essência do sistema e atendem aos seus propósitos. Um modelo com detalhes excessivos pode ser muito caro para programar e executar.
- Terceira etapa: Fase onde o modelo é validado. São verificadas todas as suposições do modelo conceitual e se as mesmas são atendidas. Depois da validação, é possível seguir para a próxima etapa. É essencial que durante a construção do modelo estejam envolvidas pessoas familiarizadas com as operações do sistema atual. Aconselha-se também, que os tomadores de decisão ou usuários pretendentes do modelo também estejam envolvidos. Este fato acarretará maior credibilidade ao modelo. Deve-se, ainda, utilizar testes de aderência para verificar a adequação das distribuições de probabilidade especificadas para representar as entradas que possuem aleatoriedade envolvida.
- Quarta etapa: Construção do programa computacional e verificação. Ocorre aqui a programação do modelo no software de simulação computacional, ou por meio do uso de linguagens de propósito geral. Depois que a modelagem foi feita no software, é realizada a verificação do funcionamento e adequação do programa comparando-se ao modelo conceitual determinado.
- Quinta etapa: São feitas algumas execuções piloto para validação. Assim, há a realização de uma simulação (execução do programa) com os mesmos parâmetros (distribuição de

probabilidade de entrada, número de servidores, entre outros), considerando que uma simulação é composta de diversas execuções.

- Sexta etapa: Fase onde é realizada a validação do modelo programado. Há a determinação de que o modelo é uma representação confiável do sistema analisado. Execuções piloto podem ser usadas para testar a sensibilidade das saídas do modelo quanto a pequenas mudanças em um parâmetro de entrada. A validação pode ser efetuada por meio de comparação e calibração do modelo frente ao comportamento real do sistema em estudo.
- Sétima etapa: Projeto dos experimentos. São aqui decididos quais projetos de sistemas simular. Na prática, algumas vezes existem mais alternativas do que alguém poderia simular e a decisão completa não poderia ser feita em tempo. Determina-se, também, o número, a duração, as configurações e as condições iniciais da simulação.
- Oitava etapa: Várias simulações e execuções são feitas para que os resultados e as medidas de desempenho sejam empregados na validação.
- Nona etapa: Análise de resultados. São usadas técnicas estatísticas para analisar os dados de saída de uma execução realizada. Durante a análise dos dados de saída é determinado o desempenho absoluto de certas configurações do sistema e a comparação de configurações alternativas em termos relativos.
- Décima etapa: Documentação, apresentação e implementação dos resultados. Ocorre nesta fase a documentação de forma adequada para auxiliar o entendimento do estudo realizado, dar credibilidade aos resultados do processo e facilitar modificações. Considera-se falha a não implementação dos resultados de um estudo de simulação que possui modelo de alta credibilidade. Nesta dissertação esta etapa foge ao escopo da pesquisa, portanto, a mesma não será apresentada na etapa de resultados.

Durante a segunda e a terceira etapa, como citado anteriormente, ocorre a construção e a validação do modelo conceitual. Na fase de criação, o modelo é abstrato. Deve-se então desenvolver algum método de representação a fim de que o mesmo se torne de fácil entendimento para outras pessoas. Dessa forma, o modelo será considerado conceitual (LEAL; ALMEIDA; MONTEVECHI, 2008).

Dentre os métodos utilizados para desenvolver o modelo conceitual destaca-se o IDEF-SIM, considerado uma técnica de modelagem específica para ambiente de simulação, que tem como objetivo desenvolver um modelo conceitual do processo que será simulado, contendo elementos requeridos na fase de modelagem computacional (PEIXOTO et al., 2013).

Aguilar-Sáven (2004) constata que a família do IDEF varia de acordo com a forma que está sendo aplicada. Dentre as versões que se destacam estão o IDEF0, IDEF1, IDEF1X,

IDEF2, IDEF3, IDEF4 e IDEF5. Ressalta-se que para modelagem de negócios as mais utilizadas são o IDEF0 e o IDEF3.

O IDEF0 possui a combinação de elementos gráficos e textuais, que organizados de forma sistemática objetivam o entendimento do sistema. Este modelo é formado por diagramas organizados de forma hierárquica que exibem detalhes na descrição das funções e, também, interfaces com o contexto geral do sistema (LEAL; ALMEIDA; MONTEVECHI, 2008).

Ainda segundo Leal, Almeida e Montevechi (2008) os elementos trabalhados pelo IDEF0 são:














- Entradas: designadas como objetos ou dados transformados pela função em saídas;
- Saídas: são objetos ou dados produzidos pela função;
- Mecanismos: são os meios pelos quais as funções serão executadas;
- Controle: são as condições necessárias para produzir a saída correta.

Ao contrário do IDEF0, o IDEF3 é caracterizado pelo fato de que os eventos ou atividades são descritos na ordem exata com que ocorrem, considerando assim as procedências temporais. Já a técnica nomeada de IDEF-SIM utiliza elementos do IDEF0, do IDEF3 e também um símbolo do fluxograma, como demonstrado no Quadro 1 (LEAL; ALMEIDA; MONTEVECHI, 2008).

A simbologia é descrita, segundo Peixoto et al. (2013), da seguinte maneira:

- Entidade: Itens a serem processados pelo sistema, como por exemplo, produto, matéria-prima, entre outros. Movimentam-se por meios próprios ou através de recursos.
- Funções: representam os locais em que as entidades sofrerão alguma ação. As funções podem ser postos de trabalho ou de atendimento, filas, estoques, etc. Tais funções podem modificar a entidade e também alterar o ritmo da mesma.
- Fluxo da entidade: Caracteriza momentos de entrada e saída da entidade nas funções.
- Recursos: Elementos utilizados para movimentar entidades e executar funções, podem representar pessoas e equipamentos.
- Controles: Regras como sequenciamento e programação.
- Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: Chamadas de juncos na técnica IDEF3. Onde dois ou mais caminhos, após uma função, são executados juntos (E), de forma alternativa (OU) e também de ambas as formas (E/OU).
- Movimentação: deslocamento da entidade é esperado encontrar no modelo computacional uma programação específica para este movimento.
- Informação explicativa: Utilizado quando se deseja inserir alguma informação no modelo.
- Fluxo de entrada no sistema modelado: Especifica a entrada ou criação de entidades dentro do modelo.

- Ponto final do sistema: final de um caminho dentro do fluxo.
- Conexão com outra figura: dividir o modelo em figuras diferentes.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: Adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008).

Quadro 1 – Simbologia técnica IDEF-SIM

2.3.3 Estudo de caso

Yin (1994) afirma que o estudo de caso, também utilizado nesta pesquisa, consiste em uma investigação empírica que tem como objetivo investigar um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de vida real. Quanto a investigação do estudo de caso o autor afirma que a mesma enfrenta uma situação tecnicamente diferenciada onde existirão mais variáveis de interesse do que pontos dados. Como resultado existirão múltiplas fontes de evidências, com os dados precisando convergir. O estudo de caso pode incluir um único

estudo ou um estudo multi-casos e também pode ser limitado a evidências quantitativas. Portanto, este procedimento de pesquisa não pode ser confundido com um estudo quantitativo

Na pesquisa aqui realizada utilizou-se o estudo de caso realizado em uma universidade com o objetivo de analisar a aplicação de conceitos referentes a *Green IT*.

A coleta de dados foi feita por meio de entrevistas e também pelo acesso ao sistema da universidade em estudo. Alencar (2000) afirma que a entrevista é realizada mediante questionário ou roteiro, elaborados a partir de um problema de pesquisa, do objetivo do estudo, referencial teórico, hipóteses ou questões norteadoras.

Na pesquisa aqui realizada aplicou-se um roteiro semiestruturado, apresentado no APÊNDICE A. Os dados foram coletados por meio de entrevistas feitas com os coordenadores dos cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Civil, Engenharia de Minas, e representante da Coordenação de Administração e Finanças (CAF).

Para a realização da simulação e quantificação dos dados obtidos nas entrevistas fez-se necessário o conhecimento de como as métricas analisadas deveriam ser calculadas. Para isso consideraram-se as variáveis utilizadas para calcular a ecoeficiência, cuja definição encontra-se no Capítulo 3. Park e Behera (2018) afirmam que existem algumas métricas, conhecidas como ecoindicadores, que visam estimular a aplicação de conceitos pertinentes a ecoeficiência na área de negócios. Os ecoindicadores possuem diferentes focos, a saber: consumo de água e energia, emissão de gases poluentes, dentre outros.

Segundo a UNCTAD (2004), o ecoindicador é uma métrica, representada de forma simples, pela razão entre uma variável financeira, que pode ser consumo energético, de água, matéria prima, geração de efluentes líquidos, resíduos sólidos, emissão de CO₂, dentre outros; e uma econômica, representada por uma receita ou produção.

O indicador da ecoeficiência (IE) pode ser obtido a partir de duas relações distintas:

- a) Valor do produto ou serviço em relação a influência ambiental proposto pelo (WBCSD, 2000): trata-se da razão entre o valor do produto ou serviço e a influência ambiental (Eq. 1).

$$IE = (\text{Valor do produto ou serviço})/(\text{Influência ambiental}) \quad (1)$$

- b) Influência ambiental em relação ao valor do produto ou serviço (proposta pelo *United Nations Conference on Trade and Development – Intergovernmental Working Group of Experts on International Standards and Accounting Reports – UNCTAD (ISAR, 2004)*): trata-se da razão entre o valor da influência ambiental com o valor do produto ou serviço, vide (Eq. 2).

$$IE = (\text{Influência ambiental})/(\text{Valor do produto ou serviço}) \quad (2)$$

Ambos incluem indicadores que não podem ser fundidos em um único número e estes podem ser medidos para diferentes entidades, tais como linhas de produção, unidades industriais, ou empresas propriamente ditas etc.

De acordo com a WBSCD, existem alguns indicadores de aplicação genérica relacionados com a influência ambiental na criação de produtos, sendo estas, consumo de energia, consumo de materiais, consumo de água, emissões de gases de efeito estufa, dentre outros. A WBSCD recomenda a utilização da equação (1), pois um aumento no indicador reflete em uma melhoria positiva no desempenho, representando, dessa forma, a eficiência. Já o UNCTAD-ISAR recomenda a segunda equação (2), onde os indicadores representarão a intensidade do impacto. A equação (2) foi utilizada nesta dissertação, pois o objetivo foi mensurar o impacto do CO₂ (influência ambiental) sobre o valor do produto (tarifa de energia).

Para a elaboração do indicador de ecoeficiência foi necessário, primeiramente, calcular o consumo de energia dos computadores, a emissão de CO₂ e o custo da energia. Dessa forma, as seguintes equações foram utilizadas (Eq. 3, 4 e 5):

$$\text{Consumo total de energia} = \text{total hora-aula} \times \text{consumo médio de energia dos computadores} \quad (3)$$

$$\text{Emissão de CO}_2 = \text{consumo total de energia} \times \text{fator de emissão do SIN} \quad (4)$$

$$\text{Custo total de energia do laboratório} = \text{consumo total de energia} \times \text{tarifa de energia} \quad (5)$$

Para realização do cálculo referente ao consumo de energia dos computadores utilizaram-se dados secundários referentes a média do consumo de energia, retirados do artigo de Kroth et al. (2015). Mattar (2005) afirma que os dados secundários são aqueles que já passaram por coletas e análises e estão disponíveis para consulta.

As emissões advindas da geração elétrica de todas as usinas ligadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), são contabilizadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Este órgão disponibiliza fatores de emissão médios mensais e anuais baseados na quantidade de energia despachada para o SIN por fonte de geração. Como as usinas que disponibilizam energia elétrica para a universidade estão ligadas ao SIN foi utilizado o fator de emissão do SIN para o cálculo de emissão de CO₂, um dado secundário (MCTI, 2018).

O SIN é um sistema de geração e transmissão de energia elétrica. Formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte do Brasil.

Compreende toda a estrutura de produção e transmissão de energia elétrica no País. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor (MCTI, 2018). O valor da tarifa de energia elétrica paga pela faculdade, foi obtida no contrato de energia da instituição, disponibilizado pelo responsável pelo pagamento referente a conta de energia. Sendo este, também um dado secundário.

2.4 Considerações Finais

Para esta pesquisa utilizou-se a explicação científica hipotético-dedutiva, abordagem quantitativa e qualitativa e o método de pesquisa experimental em conjunto com o estudo de caso. O objetivo desta seção foi discorrer sobre os aspectos metodológicos utilizados explicando algumas características presentes nestes métodos.

Foram apresentados, também, os passos para o desenvolvimento do método de análise de citações em múltiplas perspectivas, as etapas para a realização do modelo de simulação, incluindo o IDEF-SIM que se refere a técnica utilizada para elaborar o modelo conceitual (uma das fases seguidas para a concretização do estudo de simulação). Por fim, apresentou-se a forma pela qual se realizou a coleta de dados para obtenção dos valores de ecoeficiência.

Este capítulo contribui para o estudo por apresentar, de forma detalhada, as técnicas seguidas para a concretização do mesmo. Contribui, também, para que futuros pesquisadores possam replicar e sugerir melhorias referentes as abordagens consideradas, possibilitando, desta forma, que outras pesquisas referentes a adoção de medidas sustentáveis possam ser realizadas, não somente em universidades como, também, em outras instituições.

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentadas as bases teóricas estudadas para melhor compreensão e desenvolvimento da pesquisa, o conteúdo é estruturado conforme ilustrado na Figura 2.

Capítulo 3		
<p>3.1 <i>Green IT</i></p> <p>3.1.1 Tópicos introdutórios</p>	<p>3.2 Universidade sustentável</p> <p>3.2.1 Definições</p> <p>3.2.2 Abordagem sistêmica</p>	<p>3.3 <i>Green IT</i> e Universidade Sustentável: Abordagem integrada</p> <p>3.3.1 Mapeamento da literatura</p>
<p>3.4 Simulação de sistemas</p> <p>3.4.1 Definições</p> <p>3.4.2 Fases na realização de uma simulação</p> <p>3.4.3 Componentes de um modelo de simulação</p>	<p>3.5 Ecoeficiência</p>	<p>3.6 <i>Frameworks</i> (Modelos Estruturados)</p>

Figura 2 – Estrutura do conteúdo do Capítulo 3

3.1 Green IT

A seguir são descritas informações relevantes para o maior entendimento da *Green IT*. Primeiramente, na subseção referente aos tópicos introdutórios, são tratadas as principais abordagens da metodologia em análise. Posteriormente, na seção 3.3, faz-se uma outra menção a *Green IT*, porém a mesma é tratada, com o auxílio do software CiteSpace®, de maneira integrada com o tema referente a universidade sustentável.

3.1.1 Tópicos introdutórios

Murugesan (2008), que se destaca como autor precursor de estudos relacionados a *Green IT*, afirma que a TI é responsável por grande parte dos problemas causados ao ambiente. Portanto, existe a necessidade de atitudes, como adoção de técnicas de *Green IT*, para minimizar estes danos. As atividades de *Green IT* beneficiam o ambiente por meio da adoção de medidas capazes de reduzir os gastos energéticos e as emissões de gases poluentes. Desenvolver as atividades de TI de forma sustentável é um tópico que ganha cada dia mais relevância. A TI causa impactos ambientais durante diversos estágios, cada fase da “vida” de um computador ou qualquer outro dispositivo é responsável por danos ambientais, seja durante a produção, uso ou descarte.

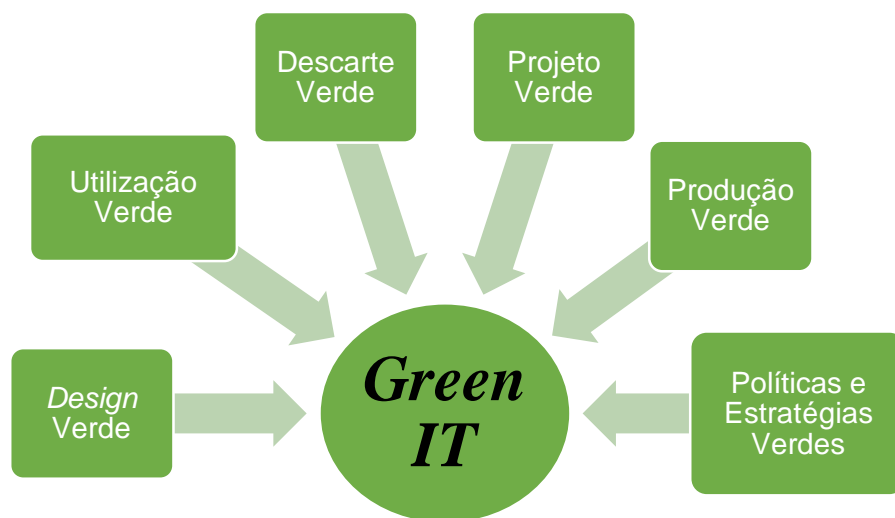
Ainda segundo Murugesan (2008), a metodologia de *Green IT* pode ser definida como o estudo e prática de projeto, produção, uso e descarte de computadores, servidores e subsistemas associados de forma eficiente e eficaz com o mínimo ou nenhum impacto sobre o meio ambiente. Assadi, Hussin e Dahlan (2017) citaram alguns autores que propuseram outras terminologias utilizadas para descrever a *Green IT*, dentre as quais se destacam, *Green Computing* - Computação Verde (CHOW; CHEN, 2009), *Green IS (Information Systems)* - Sistemas de Informação Verde (JENKIN et al., 2011; WADSON et al., 2010), *IT for Green* (CAI et al., 2013; FAUCHEUX; NICOLAI, 2011) e também ICT (*Information and Communication Technology for sustainable environment*) - Tecnologia e Comunicação da Informação Verdes (THATCHER; PINGRY, 2007).

Por meio das práticas propostas pela metodologia de *Green IT* é possível agregar valor tanto para o negócio quanto para o meio ambiente. Inevitavelmente a demanda por energia é cada vez maior, ressaltando ainda mais a necessidade de adoção de medidas sustentáveis desde a fase de *design* até o descarte final do produto. Ressalta-se que a proteção ambiental é uma responsabilidade dos indivíduos e das organizações (ALHARBI; KOR; PATTINSON, 2016).

Murugesan (2008) também afirma que para tornar as técnicas adotadas por TI ambientalmente responsáveis faz-se necessário que sejam abolidos certos métodos utilizados durante as fases de produção, uso e descarte dos equipamentos e que sejam descobertos novos meios para que as atividades sejam realizadas de forma sustentável. O autor sugere que seja adotada uma abordagem holística envolvendo os problemas ao longo dos seguintes caminhos complementares:

- Design Verde: *design* que possua eficiência energética e com componentes que causem danos menores ao ambiente.
- Utilização Verde: reduzir o consumo de energia dos computadores e outros sistemas de informação e usá-los de forma ambientalmente correta.
- Descarte Verde: reformar e reutilizar computadores antigos, e reciclar computadores indesejados e outros equipamentos eletrônicos de forma adequada.
- Projeto Verde: projeto eficiente de energia e componentes ambientalmente saudáveis, para a fabricação de computadores, servidores e equipamentos de refrigeração.
- Produção Verde: produção de componentes eletrônicos, computadores e outros subsistemas associados com o mínimo ou nenhum impacto sobre o meio ambiente.
- Políticas e Estratégias Verdes: agregam valor no curto e longo prazo. Estão alinhados com a política dos negócios e são essências para adoção de práticas relacionadas a *Green IT*.

Por meio da adoção destas práticas é possível fazer com que a TI seja sustentável em todas as fases do ciclo de vida do produto. Na Figura 3 é possível observar de forma resumida a abordagem holística proposta por Murugesan e Gangadharan (2012).



Fonte: Adaptado de Murugesan e Gangadharan (2012)

Figura 3 – Abordagem holística de *Green IT*

Para adotar as práticas relacionadas a *Green IT* é necessário que sejam respondidas as seguintes questões: quais são os principais impactos ambientais causados pelas atividades de TI? Como transformar a infraestrutura, produtos, serviços, operações de TI mais sustentáveis? Quais são os parâmetros regulamentadores a serem seguidos? Como a TI pode auxiliar os negócios e a sociedade para que seja alcançada a adoção de condutas sustentáveis? (MURUGESAN; GANGADHARAN, 2012).

Murugesan e Gangadharan (2012) afirmam que em relação a evolução da metodologia de *Green IT*, a mesma passou por um primeiro momento considerado a primeira onda ou *Green IT 1.0*. Nesta fase ocorreu o foco interno na reengenharia dos produtos e também em processos que visavam melhorar a eficiência energética relacionada a TI. Já a segunda onda ou *Green IT 2.0* tem foco externo e visa dar poder a outras atitudes consideradas como “verdes” objetivando a redução da degradação ambiental e também dos níveis de emissão de gases causadores do efeito estufa. O objetivo principal é que ocorra a transformação ambiental dos negócios por meio da adoção de técnicas mais sustentáveis em relação a TI. Considera-se que a TI pode tornar suas práticas mais sustentáveis por meio da adoção de atitudes como:

- Minimizar os impactos ambientais causados pela cadeia de suprimentos;
- Realizar as operações de forma que as mesmas sejam energeticamente eficientes;
- Tomar as decisões por meio de análises e simulações dos impactos ambientais decorrentes das mesmas;
- Prover plataformas que auxiliem no gerenciamento ambiental e no controle das emissões de gases poluentes;
- Fazer auditorias e fornecer relatórios sobre o consumo energético visando, também, a redução do mesmo;
- Disseminar conhecimentos relacionados às práticas relacionadas a conservação ambiental e, também, a sistemas de suporte às decisões a serem tomadas.

3.2 Universidade sustentável

Yuan e Zuo (2013) afirmam que as universidades possuem uma função vital para o alcance do desenvolvimento sustentável, portanto, é essencial que sejam estudadas maneiras para atingir a sustentabilidade nestas instituições. Para tanto, considera-se de extrema importância o envolvimento de todos os *stakeholders*. Os autores destacam que o planejamento das medidas sustentáveis deve envolver não somente os tomadores de decisão, que geralmente fazem parte de áreas administrativas dos *campi*, mas sim toda a

comunidade acadêmica, incluindo os estudantes, professores e todas as áreas que desempenham atividades nas universidades.

Para o melhor entendimento das questões relacionadas a este assunto foram tratados, a seguir, alguns aspectos relevantes que devem ser considerados. São eles, as definições sobre o tema, os tópicos considerados pela abordagem sistêmica e exemplos de formas integradas de se tratar as questões pertinentes a Universidade Sustentável e *Green IT*.

3.2.1 Definições

Alguns autores propõem em seus estudos a definição sobre o que é a Universidade Sustentável, dentre eles estão Alshuwaikhat e Abubakar (2008), Velazques et al. (2006) e Cole (2003). Tais definições são descritas a seguir:

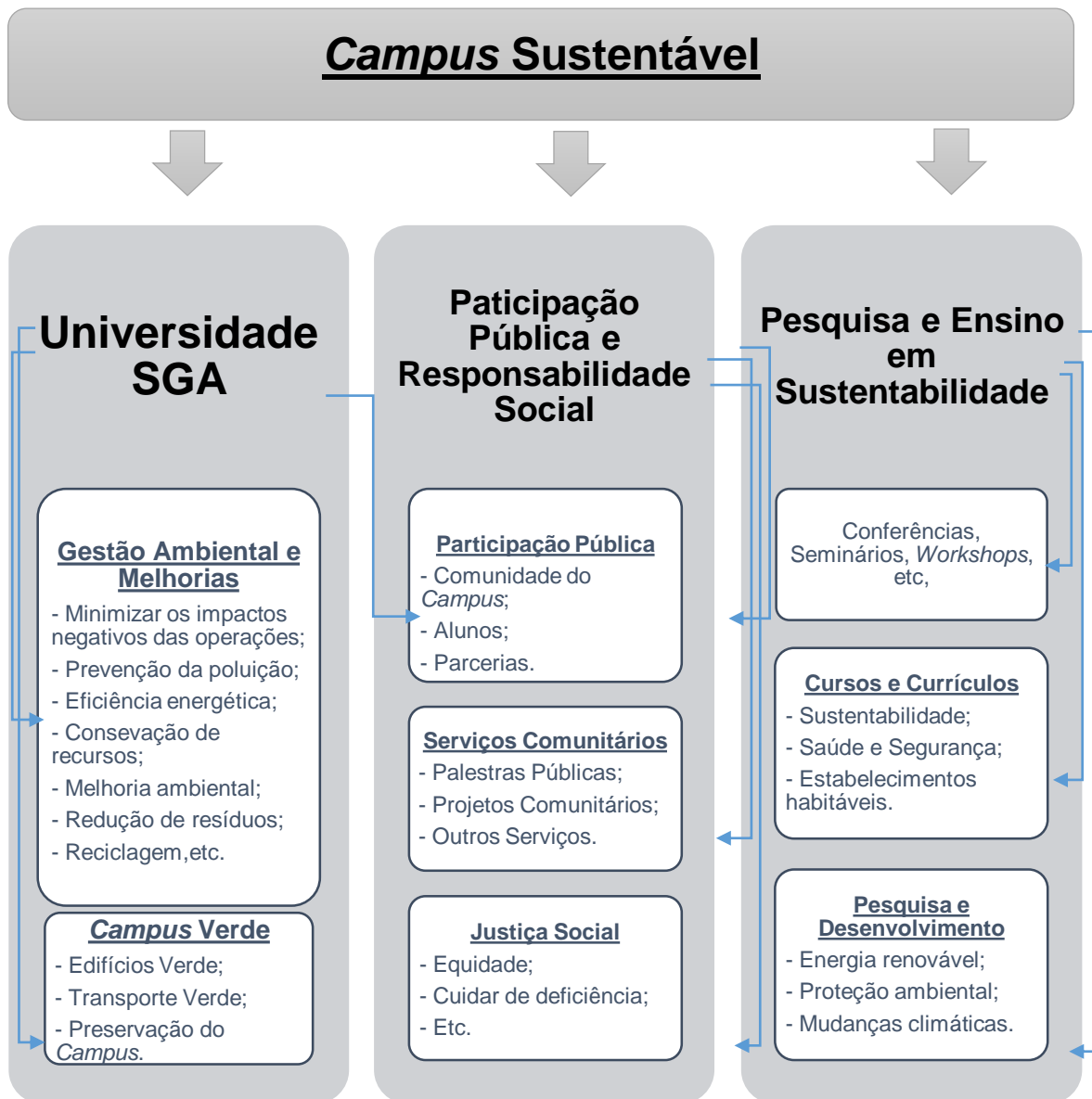
Alshuwaikhat e Abubakar (2008) afirmam que as questões relacionadas a sustentabilidade estão se tornando cada vez mais complexas, por isso, descrevem que a Universidade Sustentável é aquela que possui um sistema integrado onde são tomadas decisões, feitos investimentos e que também possua um sistema gerencial capaz de atingir a metas ambientais estabelecidas. Portanto, faz-se necessário o gerenciamento sistêmico destas atividades a fim de reduzir o consumo dos recursos e diminuir os impactos causados pelas atividades desenvolvidas nos *campi* Universitários. É importante ressaltar que para que seja alcançada a sustentabilidade na universidade é necessário o engajamento dos *stakeholders*. Logo, a comunidade, o governo e toda a população também devem ter conhecimento das medidas adotadas para que as mesmas sejam aplicadas de forma eficiente e eficaz.

De acordo com Velazques et al. (2006), para que uma universidade seja considerada sustentável, seja uma parte ou o todo, devem ser abordados ou promovidos aspectos como a minimização dos impactos ambientais negativos, os efeitos econômicos, sociais e de saúde gerados com a utilização de seus recursos. O objetivo que sejam desenvolvidas as atividades de ensino, pesquisa e extensão, bem como ajudar a sociedade por meio de práticas cada vez mais sustentáveis.

Cole (2003) afirma que o *Campus* universitário para ser considerado sustentável deve agir, de acordo com suas responsabilidades tanto locais como globais, de forma que sejam oferecidas melhorias de saúde e bem-estar para a sociedade. A universidade deve se envolver em abordagens ecológicas, enfrentando os desafios sociais do presente e que podem aparecer futuramente.

3.2.2 Abordagem sistêmica

Existe uma abordagem sistêmica proposta por Alshuwaikhat e Abubakar (2008) que visa o alcance da universidade sustentável. Nela são recomendadas três estratégias descritas a seguir e representadas na Figura 4.



Fonte: Adaptado de Alshuwaikhat e Abubakar (2008)

Figura 4 – Abordagem sistêmica para universidades sustentáveis

A seguir ocorre a definição dos tópicos considerados pela abordagem sistêmica:

- **Implementação de um SGA (Sistema de Gerenciamento Ambiental):** Constitui um conjunto de procedimentos, processos e recursos para desenvolver uma política que busque alcançar o ambiente sustentável. Visa, por meio de práticas e regulamentos, gerir as questões ambientais de forma consistente e sistemática para reduzir o impacto ambiental da universidade e aumentar sua eficiência operacional. A adoção deste sistema é defendida por muitos especialistas da área, ao redor do mundo (BARNES; JERMAN, 2002; MORROW; RONDINELLI, 2002; PIPER, 2002;).
- **Participação pública e responsabilidade social:** A busca por interessados em participar do desenvolvimento social, por meio da promoção da justiça e da equidade ambiental para todos, independentemente da etnia ou do gênero, e também cuidando das questões que envolvem as pessoas com necessidades especiais. Sugere, também, parcerias com organizações privadas, governamentais e/ou não governamentais.
- **Ensino e pesquisa em sustentabilidade:** As universidades têm responsabilidades de educar seres humanos, inclusive no quesito sustentabilidade. Isto pode ser alcançado, se o tema for incorporado a conferências, seminários, *workshops*, currículos e cursos.

3.3 Green IT e Universidades Sustentáveis

Primeiramente, antes de demonstrar como as práticas relacionadas ao *Green IT* são abordadas nas universidades, é necessário entender como é o comportamento dos estudantes ao se tratar da sustentabilidade. Chuvieco et al. (2018) realizaram um estudo em três universidades, localizadas no Brasil, Espanha e na União dos Emirados Árabes. O interesse foi avaliar as práticas que, de fato, causam impactos positivos ao meio ambiente. Aplicou-se um questionário que possibilitou a auto avaliação dos estudantes em relação a um conjunto de hábitos que influenciam na adoção dos costumes ambientalmente corretos, o método utilizado para a realização da pesquisa foi o *survey*.

Por meio da análise dos *clusters*, obtidos pelos pesquisadores, foram atribuídos dois grupos: um deles denominado de “Mais Sustentável” composto por 539 estudantes, o outro, conhecido como “Menos Sustentável” contou com a participação de 472 alunos. No caso do Brasil, constatou-se que a maioria dos entrevistados (63,50%) faz parte do grupo “Menos Sustentável”, os demais (36,50%) fazem parte do outro conjunto. Portanto, considera-se que a adoção de medidas sustentáveis nas universidades, apesar de ter passado, nas últimas décadas, por um processo de crescimento, necessita de uma clara definição em relação aos

objetivos a serem alcançados e que, tais medidas sejam praticadas de forma a garantir a eficiência dos resultados (CHUVIECO et al. 2018).

Conforme citado nos tópicos introdutórios desta pesquisa, Kroth et al. (2015) consideraram a emissão de CO₂ e o consumo energético de uma unidade de TI em uma universidade e, a partir desta consideração, desenvolveram e validaram um modelo de simulação computacional visando avaliar o impacto ambiental, com e sem, a adoção de práticas relacionadas a *Green IT*.

A universidade selecionada para a realização do estudo possui 80 computadores pessoais e 115 monitores. Os mesmos permaneciam constantemente ligados. Existia também um *data center* composto por 48 servidores físicos e 92 servidores virtuais. Estes permaneciam ligados e refrigerados por 24 horas. Para a realização da simulação, neste caso, definiram-se dois cenários, o que não adere a medidas sustentáveis e o que adota tais práticas, em relação ao tempo a projeção adotada foi de 10 anos. Considerou-se o aumento na taxa de virtualização dos computadores e a diminuição do tempo em que os mesmos e, também os servidores, ficam ligados durante o dia. O resultado obtido demonstrou uma economia de até 62% no consumo de energia e emissão de CO₂.

Outra pesquisa, realizada por Yoshida, Shimoda e Ohashi (2017) enfatiza a necessidade de que todos os membros presentes nas universidades, dentre eles, estudantes, professores, pessoal de *staff*, administradores, dentre outros, participem da prática das medidas ambientalmente corretas. O objeto de estudo destes pesquisadores foi a universidade de Osaka no Japão que instalou, no ano de 2011, um sistema de informação para a intranet. Por meio deste sistema é possível medir o consumo elétrico de três *campi* e as informações podem ser visualizadas em tempo real. Qualquer pessoa pode checar quais estão sendo os gastos energéticos de seu respectivo departamento e também, comparar com o consumo dos outros departamentos.

Adotaram-se, também, algumas medidas visando a redução do consumo energético da universidade, a saber: melhoria no sistema de captação de energia solar, sistema de visualização dos gastos energéticos, sistemas de isolamento térmico, dentre outros. Com a adoção destas medidas foi obtida uma redução de 52% no que tange os gastos energéticos (YOSHIDA; SHIMODA; OHASHI, 2017).

3.3.1 Mapeamento da literatura

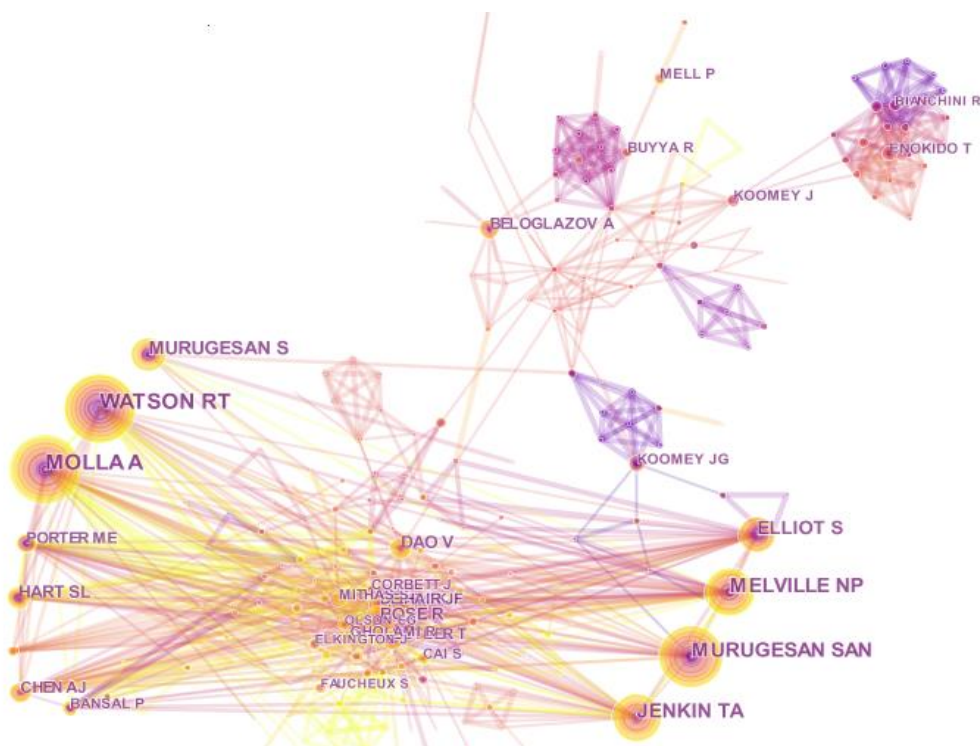
Considerando o objetivo de melhor compreender as pesquisas realizadas sobre *Green IT* e Universidades Sustentáveis foi realizado o mapeamento da literatura. Para isso, utilizou-se o software CiteSpace[®]. Para este mapeamento considerou-se a abordagem conjunta dos

temas pois, a mesma possibilitou a análise da metodologia de *Green IT* realizada, especificamente, dentro das universidades.

Alguns autores como Zhu e Wang (2018) adotaram, em seus estudos, uma abordagem sistemática para revisão bibliográfica e incorporaram a utilização do software CiteSpace® para realização de uma análise bibliométrica e para apresentar a construção de um referencial teórico mais robusto. Jiang et al. (2017) também utilizaram esse software para a obtenção de redes de bibliometria e entenderam que as análises utilizadas permitiram a estruturação de uma literatura capaz de orientar pesquisadores no que tange o direcionamento das pesquisas que estão sendo realizadas em relação ao tema em estudo e, também, no que se refere aos tópicos que tem ganhado maior destaque.

Para esta pesquisa realizou-se uma análise integrada da bibliografia relacionada a *Green IT* e Universidades Sustentáveis a partir da utilização do software CiteSpace®, bem como da análise de cocitação em múltiplas perspectivas. Este método foi desenvolvido por Chen (2006) e é sugerido para este tipo de estudo.

Dentre os dados fornecidos pelo software encontra-se o que trata dos autores mais citados quando se refere ao tema de pesquisa abordado. Na Figura 5 é possível visualizar quais são os autores mais ativos no que se refere a abordagem integrada dos temas analisados nesta pesquisa.



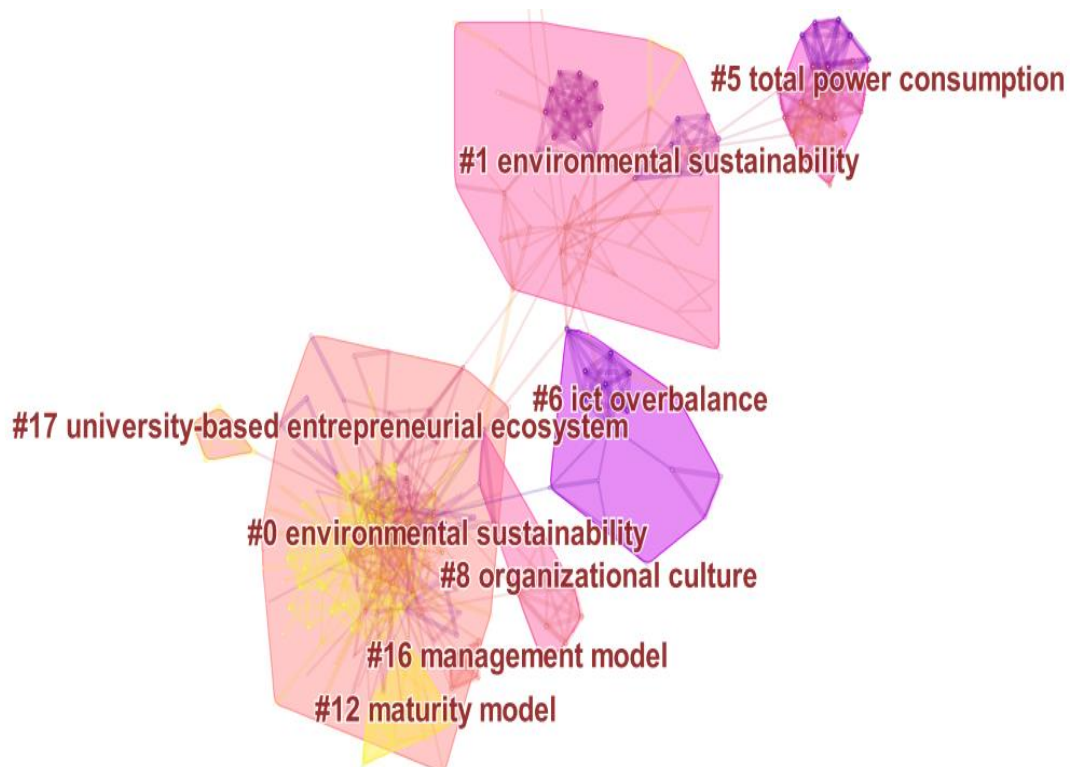
Fonte: Dados da pesquisa via CiteSpace®

Figura 5 – Autores mais citados

Dentre os autores que possuem maior número de citações estão, Bose e Luo (2011); Dao, Langella e Carbo (2011); Elliot (2013); Jenkin, Mcshane e Webster (2011); Melville (2010); Molla e Abareshi (2012); Murugesan (2008); Murugesan e Gangadharan (2012); Watson e Boudreau e Chen (2010).

Foram identificados 181 conjuntos de referências cocitadas (ou *clusters*), ressaltando que cada grupo corresponde a uma linha de pesquisa. Para caracterizar a natureza de um *cluster*, o CiteSpace® pode extrair termos encontrados no resumo dos estudos, obtendo assim um agrupamento de pesquisas que possuem semelhança. Posteriormente ocorre a rotulação dos mesmos. Os *clusters* são classificados na ordem decrescente do seu tamanho, começando pelo maior *cluster* (# 0), para o menor *cluster* (#17), como pode ser visto na Figura 6. Mediante tais parâmetros obteve-se, de acordo com a base de dados aqui analisada, o total de oito agrupamentos.

Os relatórios dados pelo CiteSpace® apresentam os *clusters* considerados como mais relevantes. Portanto, aqueles que, mesmo possuindo uma grande quantidade de membros, fazem referência a somente um artigo são classificados como menos relevantes e não aparecem na relação de *clusters* mostrada na Figura 6.



Fonte: Dados da pesquisa via CiteSpace®

Figura 6 – Clustering

Se tratando da métrica modularidade, fornecida pelo software, considera-se que a mesma deve possuir valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior é a conexão entre os *clusters*, ressaltando que valores entre 0,4 e 0,8 são aceitáveis. No caso em análise, o valor da modularidade foi de $Q = 0,8175$ indicando a boa qualidade dos *clusters* apresentados.

O indicador conhecido como silhueta refere-se a representatividade dos *clusters*, esta medida deve estar compreendida entre -1 e 1, cada cluster possui uma medida de silhueta diferente conforme apresentado na Tabela 1. Nesta mesma tabela também é apresentado o ano médio de publicação dos artigos presentes em cada *cluster*.

Tabela 1 – Informações dos *Clusters*

<u>Identidade do Cluster</u>	<u>Valor da Silhueta</u>	<u>Ano médio de publicação</u>
#0 Environmental Sustainability	0,886	2013
#1 Data Center	0,883	2012
#5 Total Power Consumption	0,997	2011
#6 ICT Overbalance	0,98	2010
#8 Organizacional Culture	0,981	2013
#12 Maturity Model	0,983	2015
#16 Management Model	0,995	2014
#17 Maturity Model	0,998	2014

Fonte: Dados da pesquisa via CiteSpace®

Outra métrica dada pelo CiteSpace® trata da detecção de explosão. A mesma refere-se a um indicativo de uma área de pesquisa mais ativa. Este indicador fornece evidências de que uma publicação tem atraído significativo grau de atenção da comunidade científica e em quais períodos de tempo isso ocorreu. Percebe-se pelos dados apresentados na Tabela 2 que o estudo de Biachini e Rajamony (2004) teve a explosão de citação mais forte (Força = 3,8775), tendo ocorrido durante um período de dois anos. Observe que as citações da Tabela 2 e demais tabelas, aparecem no formato do relatório automático gerado pelo CiteSpace®. Neste, há a indicação do primeiro autor, ano e fonte de publicação, volume e primeira página do artigo.

Tabela 2 – Referências com explosão de citações referente a autores

Referência	Força	Início	Fim	2008-2018
MURUGESAN S, 2008, IEEE IT PROFESSIONAL ,V0, P24	2,4909	2010	2012	
KOOMEY J , 2007, ESTIMATING TOTAL POW , 35, 5630	2,6271	2010	2011	
HEATH T, 2005, 10 ACM SIGPLAN S P, 391, 186	2,7015	2010	2013	
BIANCHINI R, 2004, COMPUTER, 37, 68	3,8775	2010	2012	
ORSATO RJ, 2006, CALIF MANAGE REV, 48 127	2,8307	2012	2013	
ENOKIDO T, 2010, INT CON ADV INFO NET, 0, 142	2,8307	2012	2013	
ENOKIDO T, 2011, IEEE IND ELECTRON , V 58, P 2097	2,6841	2012	2014	
WALUYO AB, 2011, IEEE T IND ELECTRON, 58, 2173	2,8307	2012	2013	
KOOMEY JG, 2011, GROWTH DATA CTR ELEC, 33, 46	2,994	2013	2014	
GRACIA-TINEDO R, 2013, P 6 INT C CLOUD COMP, 0, 621	2,4987	2014	2015	
ENOKIDO T, 2013, IEEE T IND ELECTRON, 60, 824	2,9191	2014	2015	
ENOKIDO T, 2012, P 6 INT C COMPL INT, V0, P 276	2,5345	2014	2015	
BAROLLI L, 2011, IEEE T IND ELECTRON , 58, 2163	2,4987	2014	2015	
KIM KH, 2013, INT J WEB GRID SERV, V9, P 146	2,5345	2014	2015	

Fonte: Dados da pesquisa via CiteSpace®

Analisando a Tabela 2 é possível perceber que, ao se realizar o mapeamento da literatura referente a abordagem integrada de *Green IT* e Universidade Sustentável, os estudos mais recentes datam do ano de 2015. Portanto, considera-se relevante que novos estudos sejam feitos garantindo a atualização desta abordagem.

Também é possível fazer essa mesma análise considerando-se as palavras-chave. De acordo com a Tabela 3, percebe-se que a palavra mais citada é *Sustainability*. Esta também foi importante para o levantamento realizado no decorrer deste trabalho. Vale ressaltar que existem outros termos relevantes e também os termos que estão sendo mais considerados no período atual, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Explosão de citações por palavras-chave

Palavras Chave	Força	Começo	Fim	2009 - 2018
<i>Sustainability</i>	3,4498	2008	2009	
<i>Green IT</i>	8,969	2008	2010	
<i>Green IT Technology</i>	3,0237	2011	2013	
<i>Strategy</i>	2,5084	2011	2013	
<i>Data Center</i>	3,1311	2014	2016	
<i>Energy</i>	2,7572	2014	2016	
<i>Energy Consumption</i>	2,6005	2015	2018	
<i>Perspective</i>	2,5442	2016	2018	

Fonte: Dados da pesquisa via CiteSpace®

Os dados apresentados nas figuras e tabelas citadas são de significativa relevância para conduzir os estudos referentes a abordagem integrada de *Green IT* e Universidade Sustentável. Por meio destas informações os pesquisadores possuem acesso aos autores que possuem estudos relevantes sobre o tema bem como a atenção que a comunidade científica está dando para tais pesquisas.

3.4 Simulação de sistemas

Nesta seção são tratados tópicos relevantes para o estudo que envolve a simulação de sistemas. São eles, as definições sobre o tema, as fases, segundo a literatura, utilizadas para realizar um estudo de simulação, o método utilizado para o desenvolvimento do modelo conceitual e os componentes considerados em um modelo de simulação.

3.4.1 Definições

De acordo com Andrade (2004), a Pesquisa Operacional é um dos elos da ciência administrativa que dispõem de ferramentas para análise de decisões. A simulação torna-se

parte importante desta ligação, pois com suas funcionalidades é capaz de fazer dos modelos de processos organizacionais instrumentos de resolução de problemas.

Por sua vez, Silva et al. (2007) também confirmam a linha de pensamento supracitado, e que tecnicamente a simulação não passa de uma representação do funcionamento de um sistema, pois sendo auxiliado por um modelo torna-se possível o teste de algumas hipóteses. Assim, a decisão final a ser tomada baseia-se em melhorar o desempenho do estudo a partir dos resultados da simulação. De acordo com Taha (2008, p.272), a simulação "(...) trata de uma imitação computadorizada do comportamento aleatório de um sistema com a finalidade de estimar suas medidas de desempenho".

Há várias razões que justificam o uso da simulação, dentre as quais podem se sobressair a falta de possibilidade ou mesmo os altos custos em se observar e recolher os dados necessários diretamente da realidade. Dentre tais dificuldades, pode surgir a necessidade do uso da aleatoriedade, que devido as suas propriedades probabilísticas, não fornecem resultados exatamente corretos. Por outro lado, consegue-se uma estimativa o mais próximo quanto se é possível adquirir em certos casos (ANDRADE, 2004).

Em concordância, Loesch e Hein (2009, p. 207) afirmam que "a simulação nem sempre é essencial para encontrar uma solução boa ou ótima para um problema de otimização". O que pode ocorrer, devido a grande simplicidade ou complexidade de um modelo, nos dois casos extremos os resultados podem não ser os mais adequados.

Quanto a classificação, Chwif e Medina (2015) distinguem a simulação em três categorias: simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos.

A simulação de Monte Carlo utiliza-se de geradores de números aleatórios a fim de simular sistemas físicos ou matemáticos. O tempo não é considerado explicitamente como uma variável. Este tipo de simulação é útil quando, por exemplo, o objetivo é solucionar problemas matemáticos complexos (CHWIF; MEDINA, 2015).

Law (2007) afirma que a simulação de eventos contínuos consiste na representação de um sistema em que o estado varia continuamente ao longo do tempo. A simulação contínua faz uso de equações diferenciais para calcular as mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo.

Já na simulação de eventos discretos, categoria utilizada nesta pesquisa, Harrel, Leader e Bowden Jr. (2010) afirmam que a modelagem é feita de acordo com eventos que ocorrem em momentos discretos no tempo. Assim, as mudanças só podem ocorrer em momentos determinados. Por exemplo, em um sistema de manufatura onde a chegada de material ocorre em momentos específicos ou, também, quando os operadores param suas atividades por momento previamente estabelecido.

De acordo com Andrade (2004), algumas das vantagens obtidas com o uso da simulação são:

- Permite que sejam estudadas e experimentadas complexas interações de um sistema;
- Podem ser estudadas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos no sistema total;
- A experiência adquirida durante a construção do modelo e a realização da simulação conduz a melhor compreensão do sistema, aumentando as possíveis chances de melhorar o mesmo;
- A simulação de sistemas complexos fornece a possibilidade de se descobrir variáveis mais importantes do sistema e a forma como elas interagem;
- Pode ser usada em novas situações em que se tem pouca ou nenhuma informação. Desta forma, a administração se prepara para situações que podem vir a ocorrer;
- Serve como primeiro teste para que sejam delineadas novas políticas e regras de decisão, para se operar um sistema virtual, antes de operar o sistema real.

3.4.2 Fases na realização de uma simulação

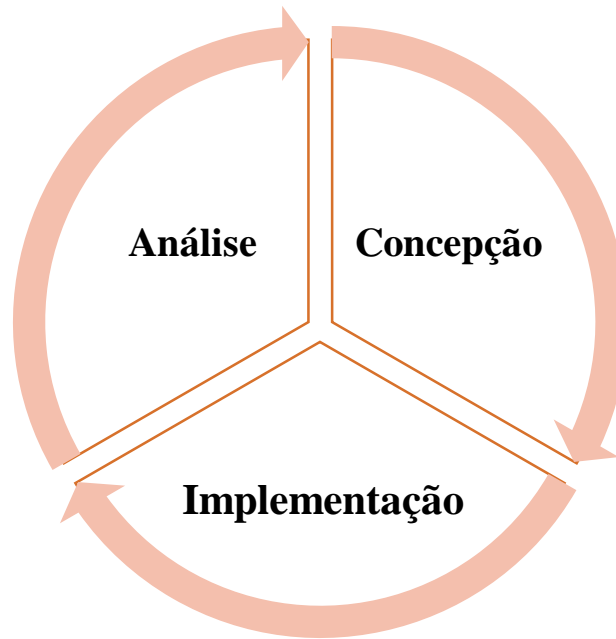
De acordo com Chwif e Medina (2015), existe a chamada Metodologia da Simulação, que consiste na sequência de passos a serem seguidos com o objetivo de tornar satisfatório o estudo realizado. Com isso se evidencia a construção do modelo computacional, o qual representa uma das inúmeras atividades de um projeto de simulação. De forma resumida, são três grandes etapas que compõem um modelo de simulação, conforme ilustrado na Figura 7.

Na etapa de concepção ou formulação do modelo é necessário o claro entendimento sobre o sistema a ser simulado e os objetivos a serem atingidos. Dentre as decisões a serem tomadas estão, o escopo do modelo, as hipóteses e o nível de detalhamento. Ocorre também a coleta dos dados de entrada. No final da etapa de concepção o modelo presente na mente do analista deve ser representado de acordo com alguma técnica, visando torná-lo um modelo conceitual. Nesta dissertação será utilizada a técnica de representação conhecida como IDEF-SIM.

Em se tratando da fase de implementação, ocorre a conversão, por meio de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial, do modelo conceitual em modelo computacional. Deve-se fazer a comparação do modelo conceitual com o modelo computacional visando a avaliação da compatibilidade entre o que foi estabelecido na etapa de concepção e o que está, de fato, programado. Para o projeto de simulação realizado neste estudo será utilizado o software ProModel®.

Na etapa de análise ocorre a execução, repetidas vezes, do modelo. Posteriormente os resultados da simulação são analisados e documentados. Caso o resultado da simulação

não seja satisfatório, o modelo pode ser modificado e reinicia-se o ciclo. Nesta dissertação foram seguidos, para o detalhamento das fases utilizadas no estudo de simulação, os passos propostos por Law e Kelton (2000). Os mesmos foram apresentados na seção 2.3.2.



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2015)

Figura 7 – Metodologia de Simulação

3.4.3 Componentes de um modelo de simulação

Em relação as partes que compõem um modelo de simulação, Kelton, Sandowski e Swets (2010) afirmam que as mesmas podem ser categorizadas da seguinte maneira:

- **Entidades:** As entidades são consideradas os objetos dinâmicos da simulação, possuem a capacidade de se moverem pelo sistema, mudam de status e afetam as medidas de performance do *output*. Consideradas como elementos a serem processados, a maioria delas representam objetos “reais” na simulação e devem ser a primeira parte a ser criada na fase de modelagem de um sistema.
- **Atributos:** O atributo é considerado uma característica comum para todas as entidades, mas com valores específicos que podem diferir de uma entidade para outra. Faz-se necessário que o responsável pela modelagem tenha conhecimento de quais são os

atributos necessários a cada entidade. O mais relevante a ser considerado quando se trata dos atributos é que os seus valores estão “amarrados” com as específicas entidades.

- Variáveis: São consideradas informações que refletem características do sistema. É possível a existência de diversas variáveis no mesmo modelo, porém cada uma é considerada única. Ao contrário do que acontece com os atributos as variáveis não estão “amarradas” a uma entidade específica, mas pertencem ao sistema como um todo.
- Recursos: Os recursos geralmente são representados por pessoas, equipamentos, dentre outros. O número de unidades disponíveis de um determinado recurso pode ser modificado durante a simulação representando, por exemplo, quebras de equipamentos, pessoas que não estão efetuando atendimentos etc.
- Filas: Quando uma entidade encontra-se impossibilitada de seguir em frente, devido ao fato de que necessita ser processada em um recurso que está ocupado por outra entidade é necessário que se tenha um local para espera. Estes locais são conhecidos como filas. As filas possuem características como nome, capacidade, dentre outras.
- Acumuladores Estatísticos: Para que sejam obtidas as medidas dadas pelo *output* é necessário observar as variáveis estatísticas presentes no modelo de simulação. Tais variáveis são responsáveis, por exemplo, pela determinação do tempo de espera nas filas, dentre outros.
- Eventos: Os eventos ocorrem durante o processo de simulação e são responsáveis por causar mudanças nos atributos, variáveis e também nos acumuladores estatísticos. Ressalta-se que quando se trata de eventos discretos não ocorrem mudanças durante a sucessão dos eventos.
- Relógio de Simulação: Ao se tratar do relógio de simulação deve-se considerar sua forte interação com o calendário de eventos. Diferente do tempo real, o relógio de simulação não flui continuamente. O seu funcionamento está compreendido entre o tempo programado de certo evento até o tempo em que o próximo evento está programado para acontecer.
- Início e Fim do Processo de Simulação: É necessário que sejam determinadas as condições apropriadas para que seja iniciada a simulação, quanto tempo a mesma deve ter de duração e se o processo de parada será em algum momento específico ou devido a alguma condição a ser atribuída.

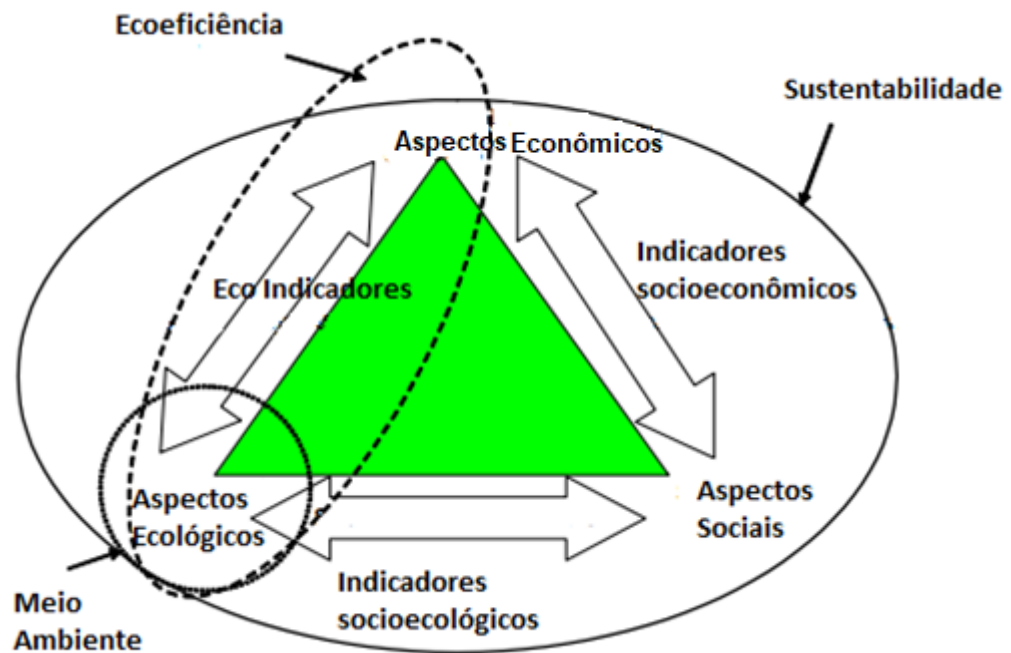
3.5 Ecoeficiência

Para que a ecoeficiência seja atingida, de acordo com o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (2000) é necessário que sejam fornecidos bens e serviços a preços competitivos e que estes satisfaçam as necessidades dos consumidores. Isso causa a melhoria em relação a qualidade de vida, reduzindo os impactos ambientais e o consumo de recursos naturais. Levando em conta o ciclo de vida dos produtos, sua produção e a capacidade que o planeta possui de suportar esta demanda.

Segundo Mickwitz et al. (2006), para que medidas relacionadas a ecoeficiência sejam, de fato, atingidas faz-se necessário que se tenha especial atenção em relação aos aspectos sociais. Caso estes aspectos não sejam considerados, o conceito de ecoeficiência limita-se a eficiência com que os recursos ecológicos são utilizados para fornecer bem estar deixando de considerar a premissa que se refere a satisfação das necessidades humanas.

Yang e Zhang (2018) afirmam que quando se trata da efetividade econômica não se pode fazer a separação entre os recursos produtivos e a eficiência ambiental. Os mesmos devem ser analisados de forma conjunta. Portanto, faz-se necessário a utilização de indicadores que possam fazer comparações sobre a evolução relacionada ao uso dos recursos de maneira sustentável, medir o desempenho dos objetivos estabelecidos e auxiliar na implementação de novas medidas que visem a redução dos danos que são causados ao meio ambiente.

De acordo com a Figura 8 é possível perceber que a ecoeficiência engloba dois aspectos tratados pela sustentabilidade, sendo estes, os aspectos econômicos e os ecológicos. Para que estes parâmetros sejam mensurados existem os ecoindicadores. A utilização desta métrica é considerada um instrumento mundialmente conhecido na área de negócios, tendo como propósito fixar objetivos e monitorar desempenho (FET, 2003).



Fonte: Adaptado de (FET, 2003)

Figura 8 – Sustentabilidade e ecoeficiência

3.6 Frameworks (Modelos Estruturados)

Destacam-se, nesta pesquisa, dois focos que podem ser levados em consideração ao se tratar da aplicação de medidas sustentáveis nas universidades, sendo estes, a abordagem teórica, que considera aspectos como a identificação da percepção dos estudantes universitários quanto as atividades e conceitos ambientalmente responsáveis e, também, propostas que possuem cunho tecnológico, cujo objetivo refere-se a análises tecnológicas ou proposições de *frameworks* para universidades. Ressaltando que tanto a teoria quanto a prática devem ser analisadas de forma conjunta.

No Quadro 2 destacam-se algumas abordagens teóricas discutidas por alguns autores. As mesmas servem como sugestões e podem ser aplicadas na universidade objeto desta dissertação. Visando facilitar o entendimento de como a teoria pode se adequar a prática, são apresentados posteriormente, modelos de *frameworks* servem como referência/sugestão de maneiras que permitem a adoção de medidas sustentáveis.

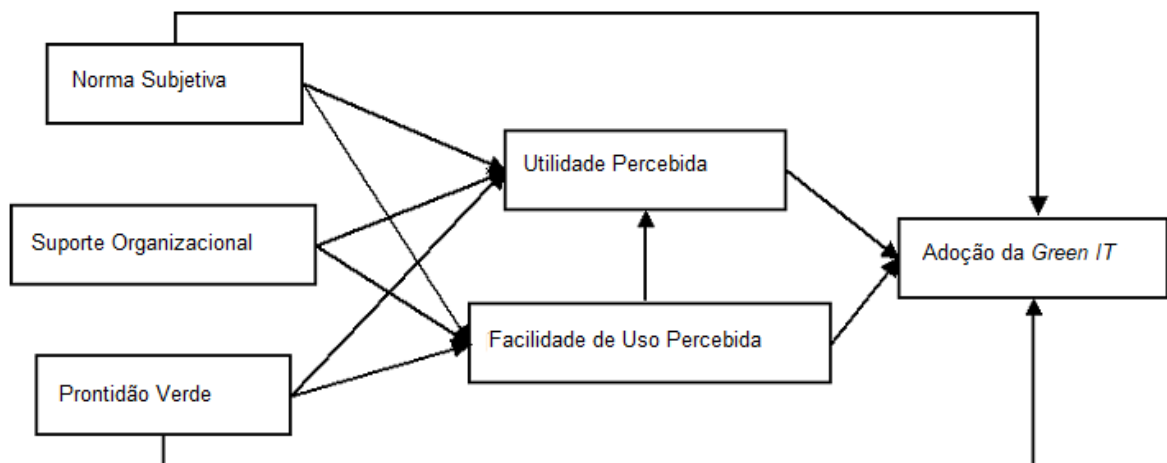
Referência	Medidas sustentáveis propostas
Suryawanchi e Narkhede (2014)	<p>Otimização da utilização dos recursos: Por meio desta medida é possível a diminuição da emissão de gases poluentes;</p> <p>Envolvimento dos stakeholders: Todos os envolvidos devem adotar medidas a serem praticadas em suas atividades diárias, visando a diminuição da degradação ambiental, destacando as práticas defendidas pela Green IT;</p> <p>Energia Renovável: Adotar fontes de energia renováveis, por exemplo, energia solar, biomassa, dentre outras;</p> <p>Conservação energética: Uma das formas de se atingir esta conservação é a simples prática de desligar os equipamentos quando os mesmos não estão sendo utilizados;</p> <p>Política institucional: Faz-se necessário que a adoção das práticas seja realizada por meio de políticas desenvolvidas especificamente para o ambiente em estudo. Uma das formas de se desenvolver tais políticas é por meio da utilização de <i>frameworks</i>;</p> <p>Comitês de atividades referente a Green IT: Designar um comitê responsável por acompanhar o desenvolvimento das atividades de <i>Green IT</i> na universidade é fundamental para o sucesso das mesmas; Legislação: estudar a legislação referente ao meio ambiente é crucial para a boa execução das medidas sustentáveis.</p>
Xiong et al. (2013) Wang et al. (2013)	<p>"Green Curriculum": Incorporar e desenvolver conceitos relacionados a sustentabilidade no currículo acadêmico, desenvolvendo nos estudantes o senso de urgência relacionado a esta temática.</p>
Décamps et al. (2017)	<p>Desenvolver e aplicar o teste Sustainability Literacy Test. O teste de alfabetização em sustentabilidade visa investigar como, e se estão sendo praticadas atividades sustentáveis pelos estudantes universitários e, também, envolver as instituições de ensino superior no monitoramento do impacto da integração da sustentabilidade em sua pedagogia e / ou pesquisa sobre a alfabetização em sustentabilidade do aluno.</p>
Yáñez et al. (2019)	<p>Criar um senso de urgência; Designar atribuições; Criar a visão para a mudança e comunicá-la a todos os envolvidos; Derrubar as barreiras.</p>
Bandi, Bose e Saxena (2015) Semakula e Samsuri (2016)	<p>Entender como os estudantes compreendem a <i>Green IT</i></p>

Quadro 2 – Proposição de medidas sustentáveis presentes na literatura

Se tratando dos *frameworks*, que são modelos estruturados, os mesmos podem ser desenvolvidos para auxiliar no planejamento e aplicação de conceitos que visem diminuir os

valores da ecoeficiência na universidade. A seguir são citados alguns exemplos de *frameworks*.

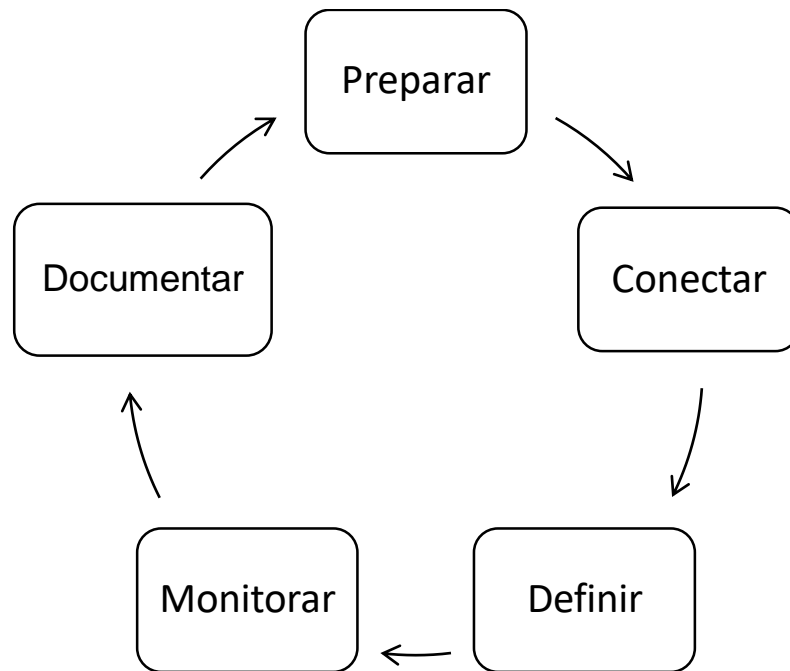
Alkali et al. (2017) sugeriram um *framework* cujo objetivo foi compreender e explicar o comportamento do uso de TI verde em universidades nigerianas. O Modelo Integrado de Adoção de Tecnologia de Informação Verde (IMGITA - *Integrated Model of Green Information Technology Adoption*) foi concebido por meio dos modelos TRA (*Theory of Reason Action*) de Fishbein e Ajzen (1975), TAM (*Technology Adoption Model*) de Davis et al. (1989) e GITAM (*Green IT Adoption Model*) de Molla (2008). Este *framework* pode apoiar as universidades Nigerianas no emprego de *Green IT*, com foco na diminuição da emissão de carbono. O modelo postula que a norma subjetiva, o suporte organizacional e a prontidão verde explicam a adoção de *Green IT* por meio da utilidade percebida e da facilidade de uso percebida. O IMGITA pode ser visto na Figura 9.



Fonte: Alkali et al. (2013 apud BACHEGA et al., 2018, p. 189)

Figura 9 – Modelo integrado de adoção de tecnologia de informação verde

Yáñez et al. (2019) desenvolveram um estudo na *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales* (ETSII). Esta instituição possui cerca de 4300 estudantes e, em 2008 foi pioneira na implementação de medidas sustentáveis que garantiram o recebimento de prêmios relacionados a esta temática. Este estudo consistiu no desenvolvimento de um *framework*. Para a aplicação deste modelo estruturado consideraram-se quatro períodos diferentes, que foram de 2007 a 2015. O *framework* possui cinco fases conforme demonstrado na Figura 10.



Fonte: Adaptado de Yáñez *et al.* (2019)

Figura 10 – Etapas do *framework* proposto por Yáñez *et al.* (2019)

- Preparar: o principal objetivo dessa etapa é criar uma equipe e realizar diagnósticos preliminares sobre como está a aplicação das medidas sustentáveis no ambiente analisado;
- Conectar: nesta etapa ocorre a identificação dos *stakeholders* e, também, a relevância destes para a instituição visando estabelecer como a comunicação das ações será realizada;
- Definir: após a definição do *stakeholders* e das questões a serem priorizadas ocorre a definição das necessidades e expectativas que devem estar alinhadas com a missão da organização, o propósito é criar valor para todos os envolvidos;
- Monitorar: para implementação das ideias faz-se necessário atitudes concretas como a criação de indicadores que servem para acompanhar o desenvolvimento do processo.
- Documentação: esta etapa consiste em documentar e comunicar a todas as partes interessadas os avanços obtidos em relação a sustentabilidade.

Zeng, Fu e Ouyang (2018) projetaram um *framework*, visando a adoção de medidas afins a *Green IT*. O mesmo foi implementado em uma empresa fabricante de aeronaves localizada na China. O modelo apresenta capacidades e ações chave, que abrangem tanto o

nível estratégico como o nível operacional, as quais devem ser consideradas para a formação e manutenção da cultura verde dentro da organização.

O *framework*, apresentado na Tabela 4, é dividido em três fases, a saber, formação do comportamento organizacional, designação das ações a serem praticadas e apresentação dos resultados obtidos.

Tabela 4 – Modelo de processo para implementação de *Green IT*

	Formação das crenças organizacionais	Formação das ações a serem tomadas	Resultados
Nível Estratégico	Capacidade de estabelecer um direcionamento	Capacidade de remodelar as estratégias	Alcançar a transformação proposta pela metodologia de <i>Green IT</i> ; Balanço entre rentabilidade e sustentabilidade.
	Ações: <ul style="list-style-type: none"> • Formar crenças em relação a sustentabilidade; • Cultivar a cultura <i>Green</i>. 	Ações: <ul style="list-style-type: none"> • Informatização das estratégias verdes; • Formação de um grupo responsável por guiar o processo. 	
Nível Operacional	Capacidade de integração e de transmitir confiança;	Capacidade de implementar o plano de sustentabilidade;	
	Ações: <ul style="list-style-type: none"> • Alinhar de forma sustentável a produção com as pesquisas; • Implementar a rede de produção. 	Ações: <ul style="list-style-type: none"> • Balancear o plano de produção. 	

Fonte: Adaptado de Zeng, Fu e Ouyang (2018)

Considerando o nível estratégico, destaca-se a responsabilidade que o mesmo possui de estabelecer os comportamentos e crenças referentes a sustentabilidade e cultivar a cultura verde. A tomada de ações referente a este nível se refere a definição e informatização das estratégias referentes a Green IT a serem consideradas e, também, ocorre a definição do grupo responsável por conduzir tais medidas.

Em se tratando do nível operacional, durante a fase de formação das crenças faz-se necessário gerar a confiança quanto as medidas a serem tomadas. Já as ações se baseiam em combinar produção com as pesquisas feitas na área de sustentabilidade e implementar a rede de produção de acordo com as medidas sugeridas. Ao se tratar das ações a serem tomadas, o nível operacional deve possuir a capacidade de implementar o plano de sustentabilidade e com as ações, faz-se necessário balancear o plano de produção.

3.7 Considerações Finais

As técnicas tratadas pela *Green IT* são consideradas adequadas para o alcance de algumas medidas sustentáveis que podem ser adotadas pelos *campi* Universitários. Por meio da adoção de tais práticas as universidades podem minimizar os impactos negativos das operações, prevenir a poluição, obter a eficiência energética; conservar os recursos, atingir a melhoria ambiental e também, reduzir os resíduos provenientes de seus processos.

A abordagem integrada dos temas, *Green IT* e Universidade Sustentável, foi feita com o auxílio do software CiteSpace®. Por meio deste, foi possível verificar aspectos relevantes como quais são os tópicos mais abordados quando os temas são estudados em conjunto, bem como os autores mais citados e também as palavras-chave mais relevantes para se tratar destes temas.

Considera-se que para a adoção de medidas sustentáveis, de acordo com o que é proposto pela tecnologia da informação verde, aspectos como consumo de energia e emissão de gases poluentes devem ser levados em consideração. Portanto, o indicador de ecoeficiência é uma métrica compatível com os objetivos deste estudo, pois a mesma, em sua equação leva em conta estas variáveis. Para a obtenção do valor deste indicador, utilizou-se a simulação de sistemas. Com o auxílio do software ProModel® calculou-se esta métrica. Estes resultados serão apresentados no Capítulo 4.

Apresentaram-se também alguns exemplos de frameworks utilizados para aplicação de medidas sustentáveis. Estes exemplos serviram como base para o desenvolvimento do modelo estruturado proposto nesta dissertação.

Este capítulo contribui para a literatura referente a sustentabilidade por tratar da abordagem integrada entre os temas *Green IT* e Universidade Sustentável, além de incentivar

novas pesquisas, que levem em conta a diminuição da degradação ambiental, a serem feitas dentro dos *Campi* Universitários.

Especificamente para esta dissertação, o presente capítulo contribui para o melhor entendimento dos aspectos teóricos considerados para a obtenção dos resultados e, também, por detalhar com o auxílio do CiteSpace® a abordagem teórica integrada dos temas que conduzem o estudo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a pesquisa. Primeiramente é apresentado um *framework* que pode ser um guia para adoção de medidas sustentáveis pela universidade, em seguida é exposto o estudo de simulação com o detalhamento de todas as dez etapas seguidas para a concretização do mesmo. Ressaltando que o estudo de simulação consiste em uma das etapas propostas pelo *framework* desenvolvido pela pesquisa realizada.

4.1 Sugestão de um *framework* afim a *Green IT* que pode ser adotado pela universidade

Os *campi* universitários podem ser responsáveis pela formação de profissionais conscientes no que tange a sustentabilidade. Portanto, os mesmos devem atuar como agentes na tomada de decisões referentes a este tema. Entender como a comunidade acadêmica, não somente os estudantes, mas sim todos os envolvidos nas atividades desenvolvidas por esta instituição, percebem a metodologia de *Green IT* é importante para direcionar políticas e ações de adoção de conceitos/atividades harmônicas com a realidade local e da universidade.

Para que o valor referente a ecoeficiência, obtido com o auxílio da simulação, possa ser diminuído faz-se necessária a adoção de algumas medidas sustentáveis, dentre as quais se destaca a adoção de um modelo estruturado.

Nesta seção é apresentado o modelo de *framework* que foi desenvolvido de acordo com o estudo realizado nos três laboratórios de informática. A Figura 11 apresenta este modelo. São consideradas 10 etapas, a saber:

1. *Green IT Curriculum*: é necessário incorporar e desenvolver conceitos afins a *Green IT* no currículo acadêmico, desenvolvendo o senso de urgência em relação a temáticas que tratam da sustentabilidade;

2. Identificar os stakeholders: a identificação dos *stakeholders* é essencial para o sucesso na adoção de medidas sustentáveis. Essas são as pessoas que serão as responsáveis por estabelecer quais são as medidas viáveis para o ambiente em estudo. Serão encarregadas, também, de atribuir responsabilidades e metas a grupos menores. Pode-se estabelecer níveis como estratégico e operacional atribuindo as atividades de acordo com a possibilidade de atuação destes agentes;
3. Definir o suporte organizacional necessário: os grupos responsáveis pela aplicação das medidas sustentáveis deverão definir qual o suporte necessário (estrutura física, laboratórios, participação em aulas etc.);
4. Estabelecer as métricas: definir quais métricas serão trabalhadas e estabelecer os indicadores que controlarão as mesmas. Especificamente para este estudo as principais métricas estudadas foram o consumo de energia elétrica, com o seu custo total, e a emissão de dióxido de carbono;
5. Simular os cenários: a simulação computacional pode auxiliar na avaliação do impacto ambiental causado. Por exemplo, pela tecnologia de informação utilizada nas universidades. Podem ser avaliados cenários atuais e compará-los com cenários futuros (estabelecidos mediante novas pesquisas) com o intuito de acompanhamento e melhoria contínua na redução dos impactos gerados. Por meio da utilização desta técnica também é possível definir modelos base, que com pequenos ajustes, podem ser utilizados para análise de outros laboratórios de informática, facilitando a análise do indicador de ecoeficiência;
6. Propor medidas sustentáveis: estabelecer as medidas sustentáveis que poderão ser aplicadas no cenário em estudo, para assim, promover a redução dos impactos ambientais identificados e avaliados;
7. Implantar as medidas propostas: aplicar as medidas que foram recomendadas na etapa anterior, de modo a garantir o foco na obtenção de universidades sustentáveis;
8. Relatar dificuldades encontradas na fase de implementação: fazer o relato das dificuldades é importante para que as mesmas possam ser solucionadas evitando problemas futuros;
9. Monitorar: o monitoramento das medidas implantadas é importante para aprimorá-las e sustentá-las;
10. Documentar: A documentação serve como guia para a manutenção das ações sustentáveis, para a familiarização com o processo por novos integrantes das universidades que estejam envolvidos, para facilitar modificações futuras nos modelos de simulação desenvolvidos. Além disso, serve como meio de organização e disseminação dos resultados aos interessados.

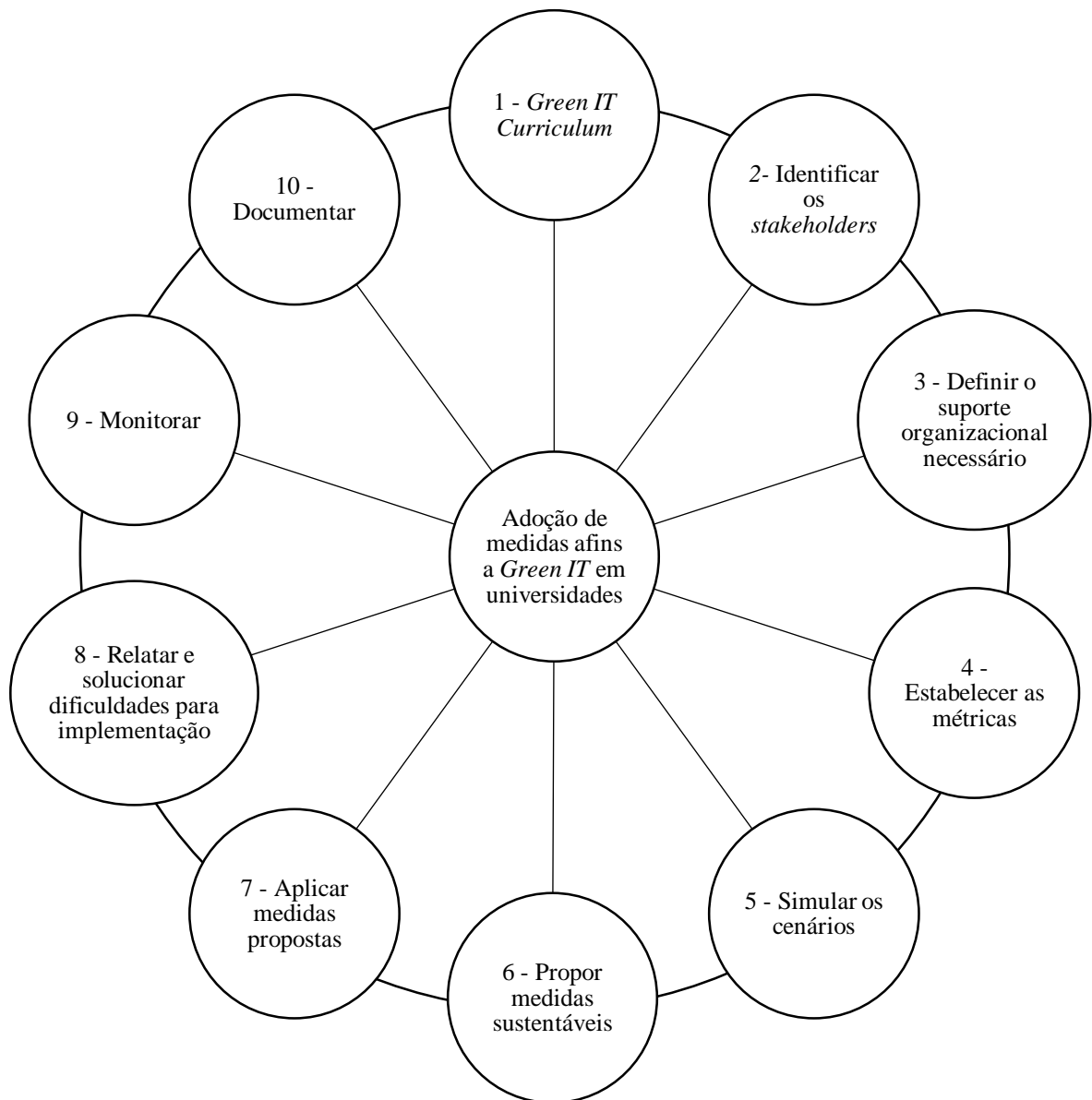


Figura 11 – Modelo de *framework*

Salienta-se que essas etapas devem estar alinhadas a adoção de medidas afins a *Green IT* em universidades e todas elas devem estar alinhadas entre si, podendo ser revisitadas sempre que necessário para manter esse alinhamento.

4.2 O estudo de simulação

O estudo de simulação foi realizado de acordo com os passos propostos por Law e Kelton (2000), descritos no Capítulo 2. A apresentação desta sequência de etapas, adequada a presente pesquisa, encontra-se nas próximas subseções.

4.2.1 *Formulação do problema e planejamento do estudo*

O objetivo do estudo de simulação realizado nesta pesquisa foi modelar cenários para a verificação do consumo de energia e de emissão de CO₂ em três laboratórios de informática de uma universidade e, com estes valores, calcular o indicador ecoeficiência. O período de análise dos laboratórios foram os dois semestres letivos do ano de 2018.

A partir do cálculo desta métrica é possível fazer considerações sobre algumas medidas sustentáveis que podem ser adotadas pela instituição de ensino em análise, visando transformar parte dos processos desenvolvidos pela mesma em ambientalmente corretos.

O software ProModel[®] versão 2010 *student* foi escolhido para a realização do estudo de simulação, esta escolha baseou-se no fato do prévio conhecimento em relação ao mesmo, da amigável interface oferecida e também devido a possibilidade de visualização geral do sistema, propiciada pelos recursos de animação.

Para fazer a modelagem do *layout* dos laboratórios de informática utilizou-se o software Sketchup[®] 2018. O mesmo foi escolhido por permitir vários ângulos de visualização do modelo, a escolha de escalas do desenho, adicionar dimensões e também textos explicativos.

4.2.2 *Coleta de dados e definição do modelo*

Para a coleta de dados aplicou-se o roteiro de entrevista apresentado no APÊNDICE A, os respondentes foram os coordenadores dos respectivos cursos de graduação. Utilizaram-se, também, os planos de ensino disponibilizados, livremente para a comunidade acadêmica, no Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) da UFG-RC, quanto a carga horária prática e teórica das disciplinas que usam os laboratórios de informática.

Nas Tabelas 5, 6 e 7 é possível verificar quais disciplinas foram ministradas nos respectivos laboratórios de informática, a quantidade de computadores presentes nos mesmos, a divisão da carga horária entre total, teórica e prática e, também, a quantidade de alunos matriculados.

Nas disciplinas cujo número de alunos é superior a quantidade de computadores acontece a alocação de mais de um discente por equipamento. As disciplinas que possuem carga horária de 32 horas são ministradas em aulas, com duração de 100 minutos, que acontecem uma vez por semana. Por serem matérias que possuem carga horária de 64 horas, as mesmas acontecem duas vezes na semana com a mesma duração de 100 minutos cada aula.

A Tabela 5 apresenta os dados referentes ao curso de engenharia de produção. Nota-se que no primeiro semestre de 2018 foram ministradas 9 disciplinas cuja carga horária é dividida entre teórica e prática. Ministraram-se, neste semestre, 576 horas-aula, dentre as quais 392 foram teóricas e 224 foram práticas e realizadas no laboratório de informática. No segundo semestre de 2018 foram ofertadas 8 disciplinas cujo conteúdo foi abordado, também, de maneira prática e teórica. O total de horas-aula neste semestre foram de 512, subdivididas em 340 horas-aula teóricas e 172 práticas.

Tabela 5 – Dados do laboratório do curso de Engenharia de Produção (continua)

Curso	Disciplina	Quantidade de Computadores	Carga Horária (horas)			Quantidade de Alunos Matriculados
			Total	Teórica	Prática	
2018/1						
Engenharia de Produção	Controle Estatístico do Processo	22	64	48	16	44
	Simulação		64	12	52	26
	Pesquisa Operacional 1		64	48	16	38
	Planejamento e Controle da Produção 1		64	48	16	42
	Planejamento e Controle da Produção 3		64	56	8	30
	Automação e Controle		64	28	36	20
	Projeto de Instalações Industriais		64	32	32	53
	Algoritmo e Programação de Computadores 2		64	32	32	44
	Projeto e G. Arm		64	48	16	9

Tabela 5 – Dados do laboratório do curso de Engenharia de Produção (continuação)

Curso	Disciplina	Quantidade de Computadores	Carga Horária (horas)			Quantidade de Alunos Matriculados
			Total	Teórica	Prática	
2018/2						
Engenharia de Produção	Controle Estatístico do Processo	22	64	48	16	16
	Automação e Controle		64	48	16	25
	Pesquisa Operacional 2		64	32	32	35
	Sistemas de Informação		64	52	12	39
	Planejamento e Controle da Produção 2		64	48	16	37
	Gestão de Projetos		64	32	32	15
	Engenharia Econômica		64	48	16	39
	Algoritmo e Programação de Computadores 2		64	32	32	10

No caso do laboratório do curso de engenharia de minas, conforme pode ser visto na Tabela 6, foram ministradas, nos dois semestres de 2018, o total de 832 horas-aula, das quais 496 referiram-se a conteúdos teóricos e 336 a conteúdos práticos. Este laboratório possui 50 computadores, portanto, não ocorreu a alocação de mais de um aluno por máquina, visto que a disciplina que possui a maior quantidade de alunos matriculados foi Desenho Técnico 1 (50 alunos), logo cada discente teve a oportunidade de uso individual dos computadores.

Tabela 6 – Dados do laboratório do curso de Engenharia de Minas

Laboratório Engenharia de Minas						
Curso	Disciplina	Quantidade de Computadores	Carga Horária (horas)			Quantidade de Alunos Matriculados
			Total	Teórica	Prática	
Engenharia de Minas	2018/1					
	Desenho Técnico 1	50	64	32	32	50
	Geoestatística Multivariável e Simulação		64	48	16	27
	Pesquisa Mineral		64	48	16	34
	Planejamento de Mina de Médio a Longo Prazo		64	32	32	28
	Avaliação Econômica de jazida		64	48	16	34
	Prospecção Mineral		64	48	16	31
	2018/2					
	Algoritmo e Programação de Computadores	50	64	48	16	36
	Geoestatística Univariável		64	48	16	42
	Topografia		64	48	16	37
	Planejamento de Mina de Curto Prazo		64	32	32	33
Projeto de Mineração	192		64	128	27	

A Tabela 7 representa os dados coletados referentes ao laboratório de engenharia civil. Percebe-se que, durante os dois semestres analisados referentes ao ano de 2018, este laboratório apresentou a menor taxa de uso no que se refere a disciplinas que possuem carga horária dividida entre prática e teórica. Foram ministradas duas disciplinas em cada semestre. A carga horária referente a aulas práticas foi de 48 horas-aula tanto para 2018/1 quanto para 2018/2.

Tabela 7 – Dados do laboratório do curso de Engenharia Civil

Laboratório Engenharia Civil						
Curso	Disciplina	Quantidade de Computadores	Carga Horária (horas)			Quantidade de Alunos Matriculados
			Total	Teórica	Prática	
Engenharia Civil	2018/1					
	Algoritmo e Programação de Computadores 1	26	64	32	32	25
	Desenho Técnico 1		64	48	16	44
	2018/2					
	Algoritmo e Programação de Computadores 1	26	64	32	32	9
	Desenho Técnico 2		64	48	16	45

Ponderou-se para a realização do modelo a limitação do software ProModel®, versão *student*, em relação a quantidade de locais, que podem ser no máximo vinte. Portanto, não foi possível considerar um local para cada computador presente no laboratório, para solucionar esta questão consideraram-se bancadas cujo número de computadores variou entre 4 e 7. Desta forma, cada local possuía mais de um computador, representando o número exato da relação de alunos matriculados para cada laboratório.

Em relação ao modelo conceitual, o mesmo foi desenvolvido com o auxílio do método IDEF-SIM. Considerado uma técnica de modelagem específica para ambiente de simulação que tem como objetivo desenvolver um modelo conceitual do processo que será simulado, contendo elementos requeridos na fase de modelagem computacional (PEIXOTO et al., 2013). Maiores detalhes sobre como utilizar este método estão expostos na seção 2.3.2.

O cenário considerado para a elaboração do modelo conceitual foi: no início da aula os computadores são ligados. A energia é processada nos computadores durante todo o tempo em que as aulas são ministradas, e assim o consumo desta energia gera a emissão de CO₂. Desta forma, a entidade de entrada é a energia, os locais de processamento são os computadores, considerados de acordo com a quantidade de cada laboratório e a entidade de saída é o CO₂. Os modelos conceituais referentes aos laboratórios de informática dos cursos em estudo podem ser vistos nos Figuras 12, 13 e 14. Cabe ressaltar que os cenários elaborados assumem que todos os estudantes matriculados nas disciplinas estejam presentes durante o semestre, com o intuito de avaliar o uso dos laboratórios em sua demanda total. Portanto os valores utilizados são constantes e uma replicação é satisfatória para análise dos dados.

A Figura 12 representa o modelo conceitual desenvolvido para representar o laboratório de engenharia de produção. Neste laboratório de informática encontram-se seis bancadas, as duas primeiras possuem 3 computadores em cada uma, as demais possuem 4 computadores instalados.

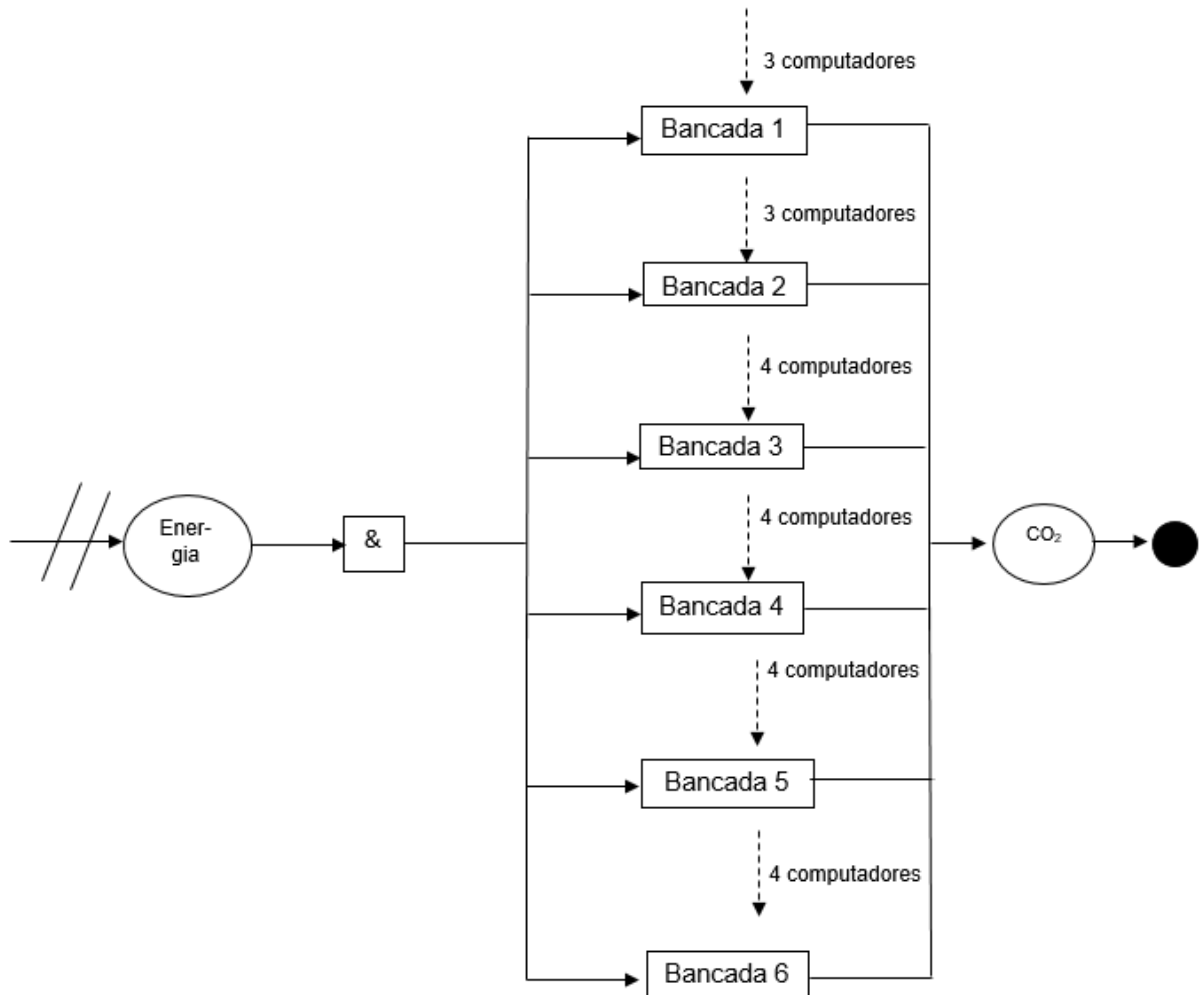


Figura 12 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia de Produção

No cenário do laboratório do curso de engenharia de minas, a entidade energia entrará no sistema e será processada pelos computadores presentes nas 10 bancadas. A saída do sistema é a emissão de CO₂, conforme apresentado na Figura 13.

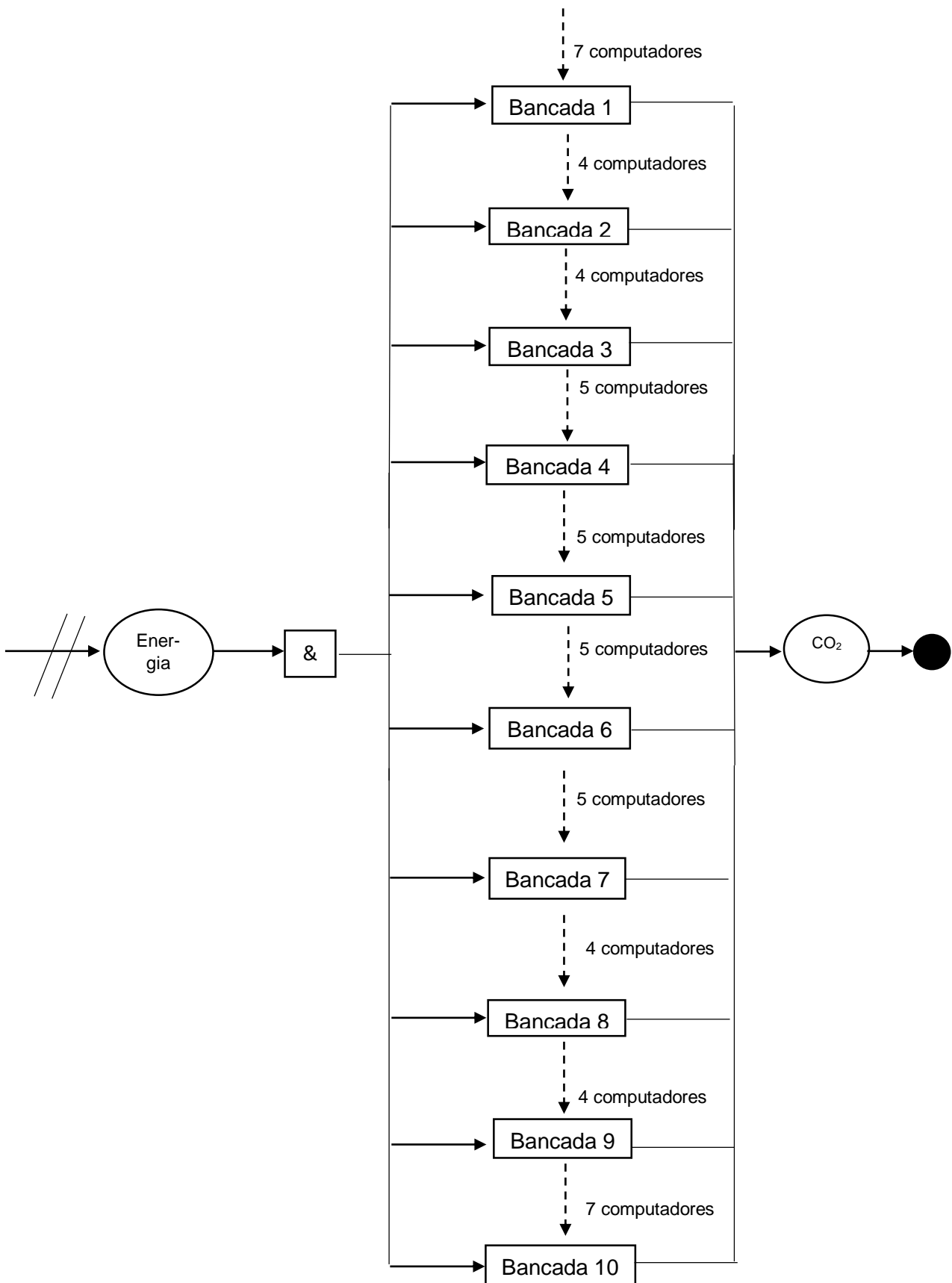


Figura 13 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia de Minas

A Figura 14 representa o processo de chegada de energia, processamento desta nos computadores e saída (emissão de CO₂) referentes ao laboratório pertencente ao curso de Engenharia Civil. Este laboratório possui 4 bancadas e 26 computadores dispostos nas mesmas.

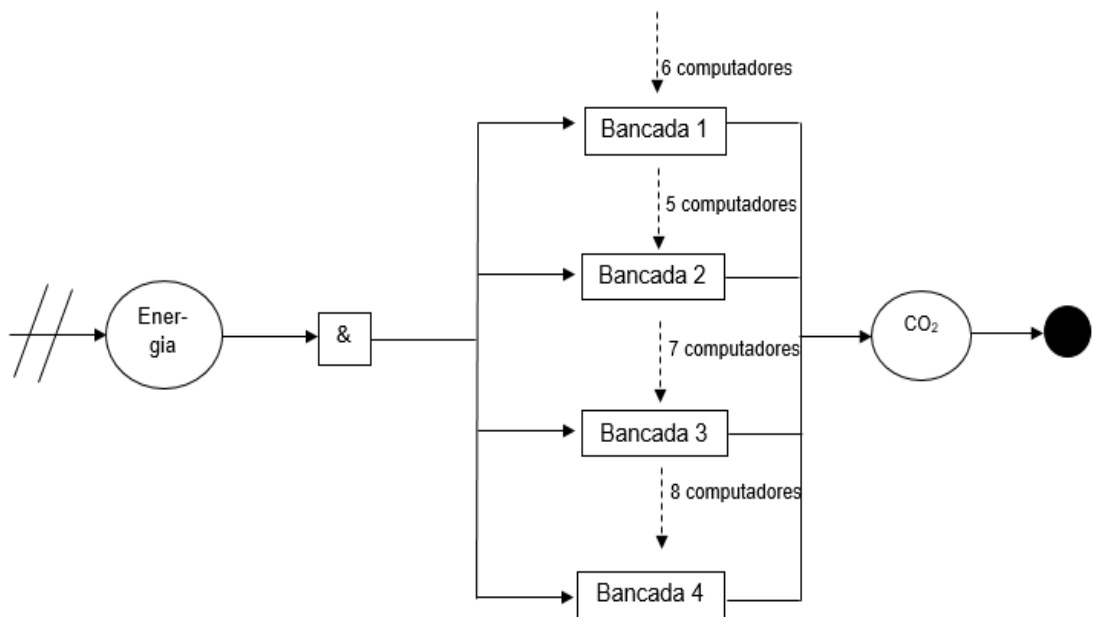


Figura 14 – Modelo conceitual do cenário do laboratório da Engenharia Civil

4.2.3 Validação do modelo conceitual

Para que ocorra a validação do modelo conceitual faz-se necessário verificar se o modelo possui precisão para representar as mesmas ocorrências presentes no sistema real. O que deve ser levado em conta, no modelo em análise, é a quantidade de computadores presentes em cada laboratório. Esta quantidade deveria ser representada de maneira exata para que não ocorressem erros nas fases seguintes. Para a obtenção desta informação ocorreu a contagem nos próprios laboratórios evitando, desta forma, a imprecisão em relação as informações e, por meio de entrevistas, foi possível obter o número de computadores que estavam, de fato, funcionando de maneira adequada.

4.2.4 Construção do programa computacional e verificação

O processo de chegadas da entidade energia foi construído por meio de uma planilha eletrônica Excel®. Neste arquivo foi definido um atributo para cada disciplina. Assim, as chegadas foram definidas pelo momento em que se iniciava cada aula e o número de computadores utilizados.

No momento de chegada de uma entidade energia em um computador, a mesma foi sujeita a um processamento pelo comando "WAIT". Com isso, a entidade aguarda naquele local até que o tempo determinado tenha passado. Nesse caso, o tempo especificado era a duração da aula 1,6667 horas, correspondente a dois períodos, sem intervalos, de 50 minutos. A entidade de saída dos computadores é a emissão de CO₂, finalizando o processo. Outros comandos foram utilizados, a saber: "IF THEN", lógica utilizada para indicar que, se o atributo de entrada, ou seja, a entidade de energia chega em um computador ocorre o início do processo, que se dá pelo uso do comando "BEGIN" e para finalizar o mesmo, ocorre o uso do comando "END".

Visando o cálculo da ecoeficiência foram criadas as seguintes variáveis:

- Consumo de energia;
- Emissão de CO₂;
- Custo de energia;
- Somatório do total de horas-aula dos computadores;
- Ecoeficiência.

Todas estas variáveis são do tipo inteiro e com valor inicial igual a zero. Mediante a chegada de uma entidade energia em um computador o processamento da mesma era iniciado. Posteriormente, a variável somatório do total de horas-aula dos computadores era incrementada, por meio do comando "INC". Sendo assim, o resultado era o total de horas-aula multiplicado pela quantidade de computadores utilizados em cada matéria. A utilização dos computadores foi baseada na quantidade de alunos matriculados em cada disciplina, informação que foi passada pelos departamentos dos respectivos cursos cujos laboratórios foram analisados.

A partir do somatório do total de horas-aula dos computadores, calculou-se a variável consumo de energia. O resultado desta consiste na multiplicação entre a variável somatório do total de horas-aula dos computadores e o consumo médio de energia dos computadores, que de acordo com Kroth et al. (2015) é de 155 Wh, sendo 130 Wh referente ao consumo do computador e 25 Wh referente ao consumo do monitor.

Com o resultado referente a variável consumo de energia obtido é possível calcular a emissão de CO₂, que é o consumo de energia multiplicado pelo fator de emissão do SIN. O valor utilizado foi o fator de emissão médio anual de 2017 (0,0927 tCO₂/MWh). O custo da energia foi calculado por meio da multiplicação do consumo de energia pela tarifa de energia

elétrica, que é R\$ 0,421960/kWh. A partir destas variáveis foi calculada a ecoeficiência, que é a emissão de CO₂ dividida pelo custo da energia.

Foi utilizada a equação (2), apresentada na seção 2.3.3 deste estudo, que é a influência ambiental em relação ao valor do serviço, por esta enfatizar o impacto da emissão de CO₂. Foram construídos dois cenários, um para o primeiro semestre letivo e outro para o segundo semestre, sendo que as únicas variações entre os dois modelos, é a grade horária e o tempo de simulação. O tempo de simulação foi determinado com base nos horários de funcionamento do laboratório durante um semestre de aula.

A Figura 15 apresenta graficamente um exemplo dos cenários modelados no software ProModel®. Nota-se que o modelo apresentado refere-se ao laboratório pertencente ao curso de engenharia de produção.

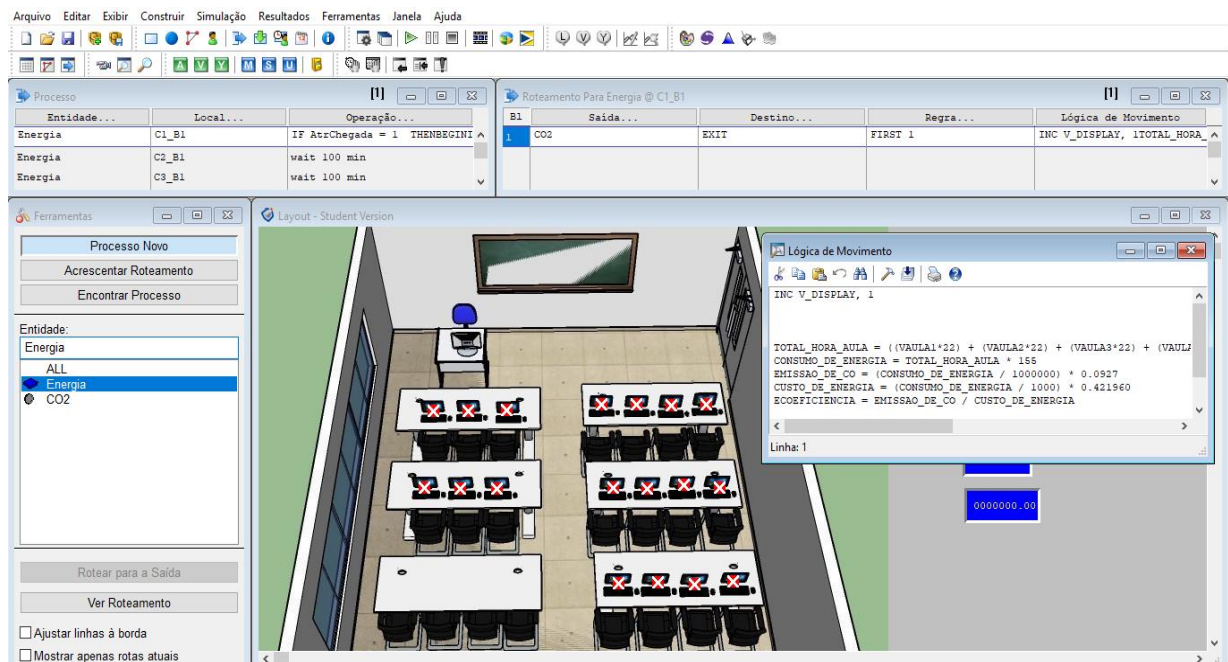


Figura 15 – Modelo computacional desenvolvido no software ProModel®

4.2.5 Realização de execuções piloto

Ocorreram nesta fase as execuções piloto para validação. Foram realizadas execuções do programa, considerando os cenários propostos, visando a verificação de que o mesmo atendia aos parâmetros estabelecidos. O número de horas-aula de cada laboratório de informática foi a variável considerada para avaliação do correto funcionamento do modelo.

Inicialmente foram observados alguns erros relacionados a tais valores, porém estes foram corrigidos com a adequação das equações inseridas no software ProModel® e com a alteração dos dados presentes nas planilhas do Excel® que serviram como atributos externos para a execução da simulação.

4.2.6 Validação do modelo programado

Sargent (2009) afirma que a etapa de validação do modelo programado tem como objetivo garantir que todas as especificações desenvolvidas durante a fase de modelagem conceitual foram implementadas. Desta forma considerou-se que o modelo computacional atendeu as especificações necessárias, sendo elas, cálculo das variáveis consumo de energia; emissão de CO₂; custo de energia e somatório do total de horas-aula dos computadores, por meio da obtenção destes valores foi possível realizar o cálculo da ecoeficiência, propondo, em seguida, medidas sustentáveis a serem adotadas pela universidade em estudo.

4.2.7 Projeto dos experimentos

Nesta etapa, de acordo com o citado nos procedimentos metodológicos, ocorre a especificação de quais projetos de sistemas simular. Neste projeto foram considerados os laboratórios de informática pertencentes aos cursos de engenharia (produção, minas e civil), considerando a quantidade de computadores presentes nos mesmos e o tempo de utilização, que se refere ao somatório de horas-aula práticas, nos dois semestres do ano de 2018.

Como os dados utilizados nos modelos eram exatos, uma única replicação foi o suficiente para a coleta dos resultados para análise, pois não haverá variância presente nas observações feitas.

Analisou-se o uso dos laboratórios durante os dois semestres letivos de 2018. A quantidade de computadores, funcionando normalmente são de: 22 (laboratório engenharia de produção); 50 (laboratório engenharia de minas) e 26 (laboratórios engenharia civil).

Foram construídos seis cenários diferentes, considerando os dois semestres letivos para cada laboratório, as diferenças entre estes cenários referem-se a grade horária e ao tempo de simulação, que foi obtido de acordo com o funcionamento do laboratório em um semestre de aula. A quantidade de horas práticas por semestre foram de:

- Laboratório Engenharia de Produção: 2018/1 – 224 horas; 2018/2 – 172 horas.
- Laboratório Engenharia de Minas: 2018/1 – 128 horas; 2018/2 – 208 horas.

- Laboratório Engenharia Civil: 2018/1 – 48 horas; 2018/2 – 48 horas.

Considerando que a unidade de tempo trabalhada nos planos de ensino é de horas-aula, ou seja, cinquenta minutos, ocorreu a conversão de horas-relógio em horas-aula.

Nas Tabelas 4, 5 e 6, apresentadas na seção 4.2.2, é possível verificar a quantidade de alunos matriculados em cada disciplina, este valor foi considerado para o estudo de simulação pois, o mesmo é utilizado para dimensionar a quantidade de computadores utilizados durante as aulas. Portanto, em disciplinas cujo número de alunos é superior a quantidade de computadores acontece a alocação de mais de um discente por equipamento. Para a obtenção dos valores finais referentes ao consumo total de energia elétrica do laboratório ocorreu a multiplicação da quantidade de horas-aula práticas x a quantidade de computadores utilizados x o consumo médio de energia elétrica de um computador.

4.2.8 Realização das execuções de simulação

Analisaram-se três laboratórios de informática pertencentes aos cursos de engenharia, o objetivo foi calcular a ecoeficiência levando em consideração a emissão de CO₂ dos computadores utilizados nestes ambientes.

Seguindo estes parâmetros realizaram-se as execuções de simulação, com o auxílio do software ProModel[®], cujos resultados são apresentados na seção seguinte.

4.2.9 Análise dos resultados obtidos no simulador

Nesta seção são apresentados os resultados referentes as seguintes variáveis: somatório total hora-aula do laboratório, consumo de energia, emissão de dióxido de carbono, custo de energia e ecoeficiência. As mesmas foram obtidas por meio da análise dos três laboratórios em estudo durante os dois semestres letivos do ano de 2018.

Para o cálculo da ecoeficiência utilizou-se a equação (2) proposta na seção 2.3.3, a mesma foi utilizada por ser proposta pelo UNCTAD-ISAR (2004), por considerar a influência que a emissão de CO₂ representa na tarifa da conta energética.

Em relação ao laboratório de informática do curso de engenharia de produção, 2018/1, nota-se pela Tabela 8 que foram ministradas, no primeiro semestre de 2018, aproximadamente 3.873,3332 horas-aula, este valor foi obtido pela multiplicação dos valores referentes a quantidade de alunos matriculados em cada disciplina pela quantidade de computadores presentes no laboratório. O resultado desta operação foi posteriormente multiplicado por 0,833333 (conversão de horas-relógio).

Tabela 8 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Produção 2018/1

Resultados Laboratório Engenharia de Produção 2018/1	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	3.873,33332 horas-aula
Consumo de Energia	600.366,66427 W
Emissão de dióxido de carbono	0,05566 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 253,33078
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

A Tabela 9 apresenta os resultados referentes ao curso engenharia de produção, o período considerado refere-se ao segundo semestre do ano de 2018. Neste espaço de tempo foram ministradas 2.566,66666 horas-aula. Portanto o valor da emissão de CO₂ foi menor. O valor obtido para esta variável foi de 0,03688 tCO₂.

Tabela 9 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Produção 2018/2

Resultados Laboratório Engenharia de Produção 2018/2	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	2.566,66666 horas-aula
Consumo de Energia	397.833,33174 W
Emissão de dióxido de carbono	0,03688 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 167,86975
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

Em relação ao laboratório pertencente ao curso de Engenharia de Minas, no caso do primeiro semestre do ano letivo de 2018, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 10. Nota-se que o consumo de energia referente as 3.759,99998 horas-aula ministradas foi de 582.799,99767 W. Este valor representa a emissão de 0,05403 tCO₂.

Tabela 10 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Minas 2018/1

Resultados Laboratório Engenharia de Minas 2018/1	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	3.759,99998 horas-aula
Consumo de Energia	582.799,99767 W
Emissão de dióxido de carbono	0,05403 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 245,91829
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

Os resultados do período 2018/2 para o curso de Engenharia de Minas estão na Tabela 11. Este foi o semestre, dentre os que foram analisados, que apresentou a maior quantidade de horas-aula realizadas no laboratório de informática. Portanto, a maior emissão de CO₂ foi identificada neste laboratório durante o segundo semestre de 2018. O valor da emissão foi de 0,07606 tCO₂.

Tabela 11 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Minas 2018/2

Resultados Laboratório Engenharia de Minas 2018/2	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	5.293,33331 horas-aula
Consumo de Energia	820.466,66338 W
Emissão de dióxido de carbono	0,07606 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 346,20411
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

Para o laboratório do curso de Engenharia Civil foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 12. Nota-se que o laboratório pertencente a este curso apresentou a menor taxa de uso quando comparado aos demais laboratórios em estudo. Foram 1.013,33333 horas-aula.

Tabela 12 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Civil 2018/1

Resultados Laboratório Engenharia de Civil 2018/1	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	1.013,33333 horas-aula
Consumo de Energia	157.066,66604 W
Emissão de dióxido de carbono	0,01456 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 66,27585
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

Para o segundo semestre os resultados foram apresentados na Tabela 13. Percebe-se que, mesmo possuindo a mesma quantidade de horas-aula referente ao primeiro semestre de 2018, os valores das variáveis apresentaram diferenças que são justificadas pela quantidade de alunos matriculados o que altera na quantidade de computadores utilizados. No período de 2018/1 foram 69 alunos. Já em 2018/2 foram 54.

Tabela 13 – Resultados referentes ao laboratório da Engenharia de Civil 2018/2

Resultados Laboratório Engenharia de Civil 2018/2	
Variável	Resultado
Somatório total hora-aula do laboratório	586,66666 horas-aula
Consumo de Energia	90.933,33297 W
Emissão de dióxido de carbono	0,00843 tCO ₂
Custo de energia	R\$ 38,37023
Ecoeficiência	0,00022 tCO ₂ /R\$

Neste momento, pode-se notar que mesmo que haja diferença de horas-aula, quantidade de computadores e de quantidade de alunos matriculados nos laboratórios, são as mesmas proporções da divisão da influência ambiental, aqui representada pela emissão de CO₂, pelo valor do serviço, aqui representado pelo custo da energia para os cenários analisados. Isso se deve, pois durante o cálculo da ecoeficiência a variável consumo total de energia é anulada, mantendo os parâmetros SIN e tarifa de energia iguais para todos os cenários.

A equação utilizada para o cálculo da ecoeficiência leva em conta a influência ambiental, especificamente a emissão de CO₂, causada pelos três laboratórios de informática, em relação ao custo total da energia consumida nos laboratórios. O valor da ecoeficiência foi de 0,000219689. Assim, em termos proporcionais, o impacto da emissão de CO₂ dos laboratórios de informática representa aproximadamente 0,022% do custo e energia elétrica.

Considerando que o cenário de uso de cada laboratório não se altere, no horizonte de 10 anos a ecoeficiência total seria de 0,0044, ou seja, 0,00022 multiplicado por dois semestres e por dez anos.

4.3 Considerações Finais

Os resultados da pesquisa que compõem esta dissertação foram apresentados neste capítulo. A sequência de passos proposta por Law e Kelton (2000) permitiu a estruturação do estudo de simulação realizado. Foram apresentados os dados coletados durante a fase de entrevistas com os coordenadores dos cursos, que são responsáveis pelos laboratórios e, também, as informações obtidas por meio do acesso ao sistema integrado de gestão de atividades acadêmicas. Apresentaram-se, também, os resultados referentes aos valores da ecoeficiência, que foram calculados por meio da emissão de CO₂ proveniente dos laboratórios analisados e foram propostas algumas medidas que visam a adoção de práticas sustentáveis relacionadas a tecnologia da informação verde.

Dentre os principais resultados verificou-se que, mesmo com valores considerados baixos em relação a ecoeficiência, faz-se necessário a adoção de medidas sustentáveis relacionadas a *Green IT* para que a universidade diminua, ainda mais, os números obtidos. É importante destacar que consideraram-se três laboratórios de informática, portanto, os valores tendem a ser maiores caso o estudo seja estendido para toda a universidade e por um período maior de análise, ressaltando, ainda mais, a importância de diminuir os níveis observados.

Destaca-se que as universidades, para adotarem a *Green IT* em sua excelência, devem desenvolver ações a mais do que apenas conscientizar a comunidade sobre a importância do tema. Os *frameworks* são exemplos de guias que auxiliam na adoção efetiva de práticas sustentáveis. O processo de adoção de *Green IT* pode ser iniciado a partir do conhecimento dos conceitos e atividades defendidos por esta metodologia. Pode-se, também, estabelecer um planejamento de implantação da *Green IT* em sua totalidade, considerando as restrições e características de cada instituição.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre a pesquisa realizada. Visando o melhor entendimento, as conclusões deste estudo foram divididas em três seções. Na seção 5.1 é apresentada a resposta para a questão de pesquisa. Na seção 5.2 são explicitadas a avaliação da proposição, do objetivo geral e dos objetivos específicos. Por fim, as principais contribuições desta dissertação são delineadas e listadas as pesquisas futuras que podem ser realizadas relacionadas ao tema deste estudo.

5.1 Resposta para questão de pesquisa

A questão de pesquisa que norteou este estudo foi a seguinte: Como avaliar, via simulação computacional, possíveis impactos ambientais gerados em universidades pelo uso de tecnologia da informação?

Dentre uma das premissas defendidas pela *Green IT* está a de que deve-se reduzir o consumo de energia dos computadores e outros sistemas de informação e usá-los de forma ambientalmente correta. Nesta dissertação, realizou-se, com o auxílio da simulação de sistemas, os cálculos responsáveis por mensurar os valores da emissão de CO₂ e da ecoeficiência em três laboratórios de informática. Por meio dessa mensuração é possível ter a consciência quantitativa do impacto ambiental causado pela prestação do serviço em estudo e identificar possíveis ações para constantemente minimizá-lo.

Os valores para a emissão de CO₂ encontrados não são altos, entretanto, são relevantes, pois a análise foi feita em apenas três laboratórios da universidade. Pode-se salientar que, considerando a equação utilizada para o cálculo da ecoeficiência a principal

variável ambiental a ser gerenciada nos laboratórios é emissão de dióxido de carbono. Este é um impacto ambiental que pode ser reduzido com a adoção de práticas sustentáveis. Destaca-se entre tais medidas: desligamento de equipamentos quando ociosos, virtualização de servidores, computadores com um equilíbrio entre a eficiência energética e desempenho, conscientização dos usuários dos computadores e desenvolvimento de *frameworks* que, com a adequação e estruturação para a realidade institucional, são responsáveis por planejar e guiar a aplicação das medidas selecionadas.

5.2 Avaliação geral da proposição e dos objetivos

A proposição considerada pelo estudo foi a seguinte: conceitos e atividades relacionados a *Green IT* podem ser aplicados em universidades para que haja a diminuição de seus impactos ambientais. Considera-se que a mesma foi corroborada, pois durante a realização da pesquisa verificou-se que os temas *Green IT* e Universidades Sustentáveis quando abordados de forma integrada apresentam margens para aplicação de medidas sustentáveis como, por exemplo, o uso sustentável dos laboratórios de informática.

O entendimento/cálculo do indicador de ecoeficiência dos laboratórios de informática via simulação computacional pode ser considerado uma atividade afim a *Green IT*, pois, uma das premissas desta metodologia é a utilização verde, ou seja, reduzir o consumo de energia dos computadores e usá-los de forma ambientalmente correta. Portanto, por meio da obtenção dos valores é possível analisar os cenários atuais e propor medidas que minimizem de forma constante os impactos ambientais causados pelo uso dos laboratórios.

O objetivo geral da pesquisa de avaliar, via simulação computacional, o impacto ambiental, quanto ao consumo de energia elétrica (custo total) e emissão de CO₂, presentes em laboratórios de informática de uma universidade e propor um *framework* afim a *Green IT* foi plenamente alcançado. Houve a proposição de um *framework* para auxiliar as universidades no processo de adoção de medidas afins a *Green IT*. Os *frameworks* são exemplos de guias que podem auxiliar a adoção efetiva de práticas sustentáveis.

A análise foi feita em três laboratórios pertencentes aos cursos de Engenharia de Produção, Minas e Civil da UFG-RC. As informações utilizadas no modelo de simulação foram coletadas por meio de entrevistas com os coordenadores dos respectivos cursos e, também, com a utilização de dados secundários disponibilizados nos planos de ensino das disciplinas que utilizam os laboratórios.

Quanto aos objetivos específicos, todos foram realizados com sucesso, como segue:

- Fazer um levantamento teórico sobre os estudos referentes a *Green IT* e universidades sustentáveis visando a maior compreensão dos principais tópicos que são tratados

quando ocorre a abordagem integrada destes temas: tal objetivo específico foi alcançado, como pode ser observado no capítulo 3 desta dissertação. A abordagem integrada possibilitou a análise de informações sobre quais são os tópicos mais abordados quando os temas são estudados em conjunto, os autores mais citados e também as palavras-chave mais relevantes para se tratar destes temas.

- Propor um *framework* que pode ser adotado pela universidade visando a aplicação de medidas sustentáveis pela mesma, esse objetivo específico foi atingido. Na seção 4.1 apresentou-se um modelo de *framework* que pode ser utilizado quando o objetivo é aplicar conceitos de *Green IT* na universidade visando a aplicação de medidas sustentáveis na universidade em estudo.
- Modelar, simular e validar cenários elaborados para verificação do consumo de energia e de emissão de CO₂ em uma universidade: esse objetivo específico também foi atingido, o estudo de simulação foi realizado seguindo os passos propostos de Law e Kelton (2000), que foram desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados, como pode ser visto no capítulo 4.

5.3 Contribuições do trabalho e propostas de pesquisas futuras

Uma das principais contribuições desta pesquisa está fundamentada na importância da incorporação do uso de simulação computacional em estudos de impacto ambiental em universidades. Na literatura, *frameworks* voltados para *Green IT* em universidades ou para universidades sustentáveis, não explicitam a possibilidade de uso da simulação computacional como auxílio ao processo de adoção de medidas sustentáveis. A simulação pode trazer maior criatividade ao processo, pois é possível avaliar indicadores ambientais da universidade de uma forma mais visual e se ter uma visão mais realista da situação para sugerir ações com mais embasamento e confiança. Além disso, por meio de cenários base já programados em uma avaliação anterior, há maior agilidade no processo de novas avaliações.

Destacam-se, também, outras contribuições como:

- Inovação de processos: a proposição de uma metodologia prática para estudos de impactos ambientais em uma universidade federal contribui para alcance de universidades sustentáveis, e poderá ser utilizada por universidades nacionais e internacionais.
- Fortalecimento de pesquisas científicas e tecnológicas com cunhos interdisciplinar/transversal: a partir dessa proposta, será possível desenvolver novas frentes de pesquisa como: monitoramento ambiental em universidades; projetos eficientes e ambientalmente corretos de unidades de TI para universidades; dentre outros.

- Geração de Publicações de Relevância: Haverá a publicação dos resultados gerados em periódicos nacionais, internacionais e em eventos da área. Além desta dissertação que apresenta significativa contribuição científica.

Para a da comunidade acadêmica, este estudo contribui para que seja, cada vez mais, levado em consideração pesquisas relacionadas a prática da sustentabilidade, faz-se necessário que outras medidas sejam tomadas visando tornar as atividades desenvolvidas nos *Campi* universitários menos agressivas ao meio ambiente. A *Green IT* é uma metodologia que engloba outros parâmetros, portanto, futuros estudos sobre esta metodologia também podem ser realizados visando, desta forma, maior abrangência em relação a mesma.

Em relação ao campo empresarial o estudo mostra a aplicabilidade da simulação de sistemas para a análise de indicadores utilizados na averiguação de impactos ambientais para empresas que almejam o alcance de medidas sustentáveis e a diminuição do valor referente a ecoeficiência.

Como propostas de pesquisas futuras, estão:

- Adoção de medidas sustentáveis voltadas a Green IT nos laboratórios analisados e, posteriormente, avaliar via simulação computacional o desempenho do novo cenário, para, desta forma, evidenciar o impacto das medidas adotadas;
- Aplicação do *framework* proposto para acompanhamento do desenvolvimento de uma universidade sustentável;
- Ampliar o número de laboratórios de informática e de centros de TI estudados, visando o alcance do impacto ambiental da UFG-RC como um todo;
- Considerar um estudo da demanda real por uso dos laboratórios levando em conta as variabilidades presentes durante a oferta das disciplinas, por exemplo, variação do número de alunos presentes por dia, modificação de conteúdo prático para teórico devido a indisponibilidade do laboratório, queda de energia, dentre outros;
- Aplicar o estudo em empresas, além da universidade, para que as mesmas também possam, por meio da mensuração da ecoeficiência, alcançar medidas sustentáveis e diminuir os impactos ambientais decorrentes de suas atividades.

REFERÊNCIAS

AGUILAR-SAVÉN, R. S. Business process modeling: review and framework. **International Journal of Production Economics**, v. 90, pp. 29–149, 2004.

ALENCAR, E. **Introdução à metodologia de pesquisa social**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 105p.

ALHARBI, L. M.; KOR, A.-L.; PATTINSON, C. Effective Green IT Strategy in a UK Higher Education Institute. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEPENDABLE, AUTONOMIC AND SECURE COMPUTING, 14., 2016, Auckland. Proceedings... Auckland: IEEE, 2016. p. 251256.

ALKALI, U. A.; ABDUL-AZEEZ, I. A.; MANSOR, N. N. A.; CHIKAJI, A. I.; DODO, Y. A. Towards Low Carbon Universities in Nigeria: Agenda for Green IT Information Technology. **Chemical Engineering Transactions**, v. 56, p. 733 – 738, 2017.

ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1777-1785, 2008.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.

ARDITO, L.; MORISIO, M. Green IT - Available data and guidelines for reducing energyconsumption in IT systems. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, vol. 4, p. 24–32, 2014.

ASADI, S.; HUSSIN, A. R. C.; DAHLAN, H.; M. Orgnizational research in the field of Green It: A systematic literature review from 2007 to 2016. **Telematics and Informatics**, v. 34, p. 1191-1249, 2017.

BACHEGA, S. J.; TAVARES, D. M.; SILVA, L. C. S.; MARQUES, C. Como uma universidade pode ser green em tecnologia da informação? In: PITUBA, J. J. C.; STOPPA, M. H.; COSTA, V. G. (Org.). **Tecnologias em pesquisa**. 2. ed. Jundiaí: Paco Editorial, 2018. p. 180-197.

Disponível em : <https://cppg.catalao.ufg.br/up/522/o/Tecnologias_em_Pesquisa_Engenh_-_Jose_Julio_de_Cerqueira_Pituba.pdf?1545300478>. Acesso em: 04 jan. 2019.

BANDI, R. K.; BOSE, A.; SAXENA, A. Exploring Green IT Awareness and Adoption Among Indian Students. In: ACM SIGMIS CONFERENCE ON COMPUTERS AND PEOPLE RESEARCH, 2015, Newport Beach. **Proceedings...** Newport Beach: ACM, 2015, p.87-96.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation**. Prentice Hall, 5 ed, 2010.

BARNES, P.; JERMAN, P. Developing an environmental management system for a multiple-university consortium. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 33-39, 2002.

BAROLLI, L.; XHAFI, F. JXTA-Overlay: A P2P platform for distribute, collaborative, and ubiquitous computing. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 58, n. 6, p. 2163-2172, 2011.

BERTO, R.M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento dos métodos e tipos de pesquisa. *Produção*, v. 9, n. 2, p. 65-75, jul. 2000.

BIANCHINI, R.; RAJAMONY, R. Power and energy management for server systems. **IEEE Computer Society**, vol. 37, n. 11, p. 68-76, 2004.

BILAL, K. *et al.* A taxonomy and survey on Green Data Center Networks, **Future Generation Computer Systems**, vol. 36, p.189–208, 2014.

BOSE, R.; LUO, X. Integrative framework for assessing firms potential to undertake Green IT initiatives via virtualization – A theoretical perspective. **Journal of Strategic Information Systems**, vol. 20, p. 38-54, 2011.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989. 224 p.

CAI, S.; CHEN, X.; BOSE, I. Exploring the role of IT for environmental sustainability in China: An empirical analysis. **International Journal of Production Economics**, vol. 146, n. 2, p. 491-500, 2013.

CHEN, C. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 359–377, 2006.

CHEN, D.; LIU, Z.; LUO, Z.; WEBBER, M.; CHEN, J. Bibliometric and visualized analysis of energy research. **Ecological Engineering**, vol. 90, n. 2, p. 285-293, 2016.

CHOW, W. S.; CHEN, Y. Intended belief and actual behavior in green computing in Hong Kong. **Journal of Computer Information Systems**, vol. 50, n. 2, p. 136-141, 2009.

CHUVIECO, E.; BURGUI-BURGUI, M.; SILVA, E. V.; HUSSEIN, K.; ALKAADI, K. Factors affecting environmental sustainability of university students: Intercomparison analysis in three countries (Spain, Brazil and UAE). **Journal of Clean Production**. v. 198, p. 1372–1380, 2018.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2015.

COLE, L. **Assessing sustainability on Canadian University campuses: development of a campus sustainability assessment framework**. Canada: Royal Roads University, 2003.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos quantitativo, qualitativo e misto**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 248p.

DAO, V.; LANGELLA, I.; CARBO, J. From green to sustainability: Information technology and an integrated sustainability framework. **Journal of Strategic Information Systems**, vol. 20, p. 63-79, 2011.

DAVIS, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. **MIS quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319-340, 1989.

DÉCAMPS, A.; BARBAT, G.; CARTERON, J.; HANDS, V.; PARKES, C. Sulitest: A collaborative initiative to support and assess sustainability literacy in higher education. **The International Journal of Management Education**, vol. 15, p. 138-152, 2017.

DIAS, G. F.; RAMOS, A. S. M.; OLIVEIRA, B. M. K.; DAMASCENO, L. M. S.; ANDRADE, A. P. V. Práticas organizacionais ambientalmente corretas relacionadas com a Tecnologia de Informação: um estudo qualitativo em universidades brasileiras bem ranqueadas. In: ENCONTRO DA ANPAD, 37. 2013. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2013. p. 1-16.

ELLIOT, S. A transdisciplinary exploratory model of corporate responses to the challenges of environmental sustainability. **Business Strategy and the Environment**, vol. 22, p. 269-282, 2013.

ENOKIDO, T.; AIKEBAIER, A.; TAKIZAWA, M. A model for reducing power consumption in peer-to-peer systems. **IEEE Systems Journal**, vol. 4, p. 221-229, 2010.

ENOKIDO, T.; AIKEBAIER, A.; TAKIZAWA, M. Process allocation algorithms for saving power consumption in peer-to-peer systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 58, p. 2097-2105, 2011.

ENOKIDO, T.; TAKIZAWA, M. An integrated power consumption model for distributed systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 60, p. 824-836, 2013.

ENOKIDO, T.; TAKIZAWA, M. Energy-efficient server selection algorithm based on the extended simple power consumption model. **IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing**, p. 276-283, 2012.

FAUCHEUX, S.; NICOLAI, I. IT for green and Green IT: A proposed typology of eco-innovation. **Ecological Economics**, vol. 70, p. 2020-2027, 2011.

FET, A. M. Ecoefficiency reporting exemplified by case studies. **Clean Technologies and environmental policy**, vol. 5, p. 232-239, 2003.

FISHBEIN, M.; AJZEN, I. **Belief, attitudes, intention and behavior: an introduction to theory and research**. Addison-Wesley, Massachusetts, USA, 1975.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com aplicações em Arena**. 2. ed. Visual Books, 2008.

GARTNER. **Gartner**: Data Centers Account for 23% of Global ICT CO2 Emissions. 2007. Disponível em: < <https://www.gartner.com> >. Acessado em: 15/08/2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

GRACIA-TINEDO, R.; ARTIGAS, SANCHEZ ARTIGA, M.; LOPEZ, P. G. Cloud-as-a-gift: Effectively exploiting personal cloud free accounts vis REST APIs. **IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing**, p. 621-628, 2013.

HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN Jr, R. O. B. **Simulation using ProModel®**. 3. Ed. Nova York: McGraw-Hill. 2012.

HEATH, T. D. Methodology and experimental design for the study of liposome-dependent drugs. **Methods in Enzymology**, vol. 391, p. 186-199, 2005.

HERRICK, D.; RITSCHARD, M. Greening Your Computing Technology, the Near and Far Perspectives. In: ACM SIGUCCS FALL CONFERENCE, 2009, St. Louis. Proceedings... St. Louis: ACM, 2009, p. 297-303.

JAVO, MARTIN; VALENTE, RAFAEL. POR UMA TI MAIS VERDE. *GVexecutivo*. vol.9 nº1 jan/jun 2010.

JENKIN, T. A; WEBSTER, J.; MCSHANE, L. An agenda for “Green” information technology and systems research. **Information and Organizaton**, vol. 21, p. 17-40, 2011.

JENKIN, T.; A.; MCSHANE, L.; WEBSTER, J. Green information technologies and systems: Employees’ perceptions of organizational practices. **Business & Society**, vol. 50, p. 266-314, 2011.

JIANG, Y.; HOU, L.; SHI, T.; GUI, Q. A review of urban planning research for climate change. **Sustainability**, vol. 9, n. 2224, p. 1-21, 2017.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P; SWETS, N. B. **Simulation with Arena**. 5. Ed. Nova York: McGraw-Hill. 2010.

KIM, K. H. Reward-based allocation of cluster and grid resources for imprecise computation model-based applications. **International journal of wen and grid services**, vol. 9, p. 146-171, 2013.

KOOMEY, J. G.; BERAD, S.; SANCHEZ, M.; WONG, H. Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing. **IEEE Annals of the history of computing**, vol. 33, p. 46-54, 2011.

KOOMEY, J.; HULTMAN, N. E. A reactor-level analysis of busbar costs for US nuclear plants, 1970-2005. **Energy Police**, vol. 35, p. 5630-5642, 2007.

KROTH, G. L.; SIMONETTO, E. O.; GUBIANE, J. S.; SCHIEFELBEIN, U. H.; TEIXEIRA, M. S. Uso da Simulação Computacional para Avaliação do Impacto Ambiental Gerado pela TI. In: ENCONTRO DA ANPAD, 39., 2015, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ANPAD, 2015. p .1-11.

LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. 4. Ed. Nova York: McGraw-Hill. 2007.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw- Hill, 3rd edition, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D, A.; MONTEVECHI, J. A. B. Um proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2008, João Pessoa. **Anais...XL** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2008.

LI, X.; DU, J.; LONG, H. A comparative study of chinese and foreign green development from the perspective of mapping knowledge domains. **Sustainability**, vol. 10, n. 4357, p. 1-30, 2018.

LI, X.; MA, E.; QU, H. Knowledge mapping of hospitality research – A visual analysis using CiteSpace. **International Journal of Hospitality Management**, vol. 60, p. 77-93, 2017.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. p.207. São Paulo: Saraiva, 2009.

LUNARDI, G. L.; FRIO, R. S.; BRUM, M. M. Tecnologia da Informação e Sustentabilidade: Um estudo sobre a disseminação das práticas de TI Verde nas organizações. In: ENCONTRO DA ANPAD, 35., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2011. p. 41-63.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007. 312 p.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: < <http://www.mctic.gov.br> >. Acesso em 20/04/2018.

MELVILLE, N. P. Information systems innovation for environmental sustainability. **MIS Quartely**, vol. 34, p. 1-21, 2010.

MICKWITZ, P.; MELANEN, M.; ROSENSTROM, U.; SEPPALA, J. Regional eco-efficiency indicators – a participatory approach. **Journal of cleaner production**, vol. 14, p. 1603-1611, 2006.

MOLLA, A. GITAM: A Model for the Adoption of Green IT. In: Australasian Conference on Information Systems, 19., 2008, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: AISel, 2008, p. 3-5.

MOLLA, A.; ABARESHI, A. Organizational green motivations for informatoin technology: Emprical study. **Journal of Computer Information Systems**, vol. 52, p. 92-102, 2012.

MORROW, D.; RONDINELLI, D. Adopting corporate environmental management systems: motivations and results of ISO 14001 and EMAS certification. **European Management Journal**, vol. 20, p. 159-171, 2002.

MURPHY, R. STERLING, T.; DEKATE, C. Advanced Architectures and Execution Models to Support Green Computing. **Computing in Science & Engineering**, p. 38-47, 2010.

MURUGESAN, S. GANGADHARAN, G. R. **Harnessing green IT: principles and practices.** Wiley and Sons Ltd., UK, 2012.

MURUGESAN, S. Harnessing green IT: principles and practices. **IEEE IT Professional**, vol. 10, n.1, p. 24-33, 2008.

ORSATO, R. J. Competitive environmental strategies: When does it pay to be green? **California Review Management**, vol. 48, n. 2, p. 127-143, 2006.

PARK, H-S.; BEHERA, S. K. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, vol. 64, p. 478-485, 2014.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O.; MONTEVICH, J. A. B.; MIRANDA, R. C. Ururau – Um ambiente para desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, vol. 5, n. 3, pp. 373-405, 2013.

PIPER, J. M. CEA and sustainable development: evidence from UK case studies. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 22, p. 17-36, 2002.

SARGENT, R. G. Verification and Validation of Simulation Models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009, Austin, TX. Proceedings...Washington: **IEEE**, pp. 162-176.

SEMAKULA, I.; SAMSURI, S. Green Computing Knowledge among Students in a Ugandan University. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY FOR THE MUSLIM WORLD, 6., 2016, Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: IEEE, 2016, p. 199-204.

SILVA, Ermes. M.; SILVA, Elio M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C.; **Pesquisa Operacional: programação linear.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

SURYAWANCHI, K.; NARKHEDE, S. Green ICT at Higher Education Institution: Solution for Sustenance of ICT in Future. **International Journal of Computer Applications**, v. 107, p. 35-38, 2014.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral.** Traduzido por Arlete Simille Marques. 8 ed. p.272. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TANG, M.; LIAO, H.; WAN, Z.; HERRERA-VIEDMA, E.; ROSEN, M. A.; Ten years of sustainability (2009 to 2018): A bibliometric overview. **Sustainability**, vol. 10, n. 1655, p. 1-21, 2018.

THATCHER, M. E.; PINGRY, D. E. Modeling the IT value paradox. **Magazine Communications of the ACM**, vol. 50, n. 8, p. 41-45, 2007.

UNITED NATIONS. A manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators. **United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD**. New York and Geneva, 2004.

VALERIO, K. G. O.; SILVA, C. E. S. Expandindo a visão sobre o gerenciamento de riscos: O risco de oportunidade. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2016, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: ABEPRO, out. 2016.

VELAZQUEZ, L.; MUNGUÍA, N.; PLATT, A.; TADDEI, J. Sustainable university: what can be the matter? **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 810-819, 2006.

WALUYO, A. B.; RAHAYO, W.; TANIAR, D.; SRINIVASAN, B. A novel structure and access mechanism for mobile data broadcast in digital ecosystems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 58, n. 6, p. 2173-2182, 2011.

WANG, Y.; SHI, H.; SUN, M.; HUISINGH, D.; HANSSON, L.; WANG, W. Moving toward an ecologically sound society? Starting from green universities and environmental higher education. **Journal of Cleaner Production**, v. 61, p.1-5, 2013.

WATSON, R. T.; BOUDREAU, M. C.; CHEN, A. J. Information systems and environmentally sustainable development: Energy informatics and new directions for the IS community. **MIS Quartely**, vol. 34, n. 1, p. 23-38, 2010.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Eco-efficiency: creating more value with less impact. Geneva: WBCSD, 2000. 32 p.

XIONG, H.; FU, D.; DUAN, C.; LIU, C.; YANG, X.; WANG, R. Current status of green curriculum in higher education of Mainland China. **Journal of Cleaner Production**, v. 61, p. 100-105, 2013.

YÁNEZ, S.; URUBURU, A.; MORENO, A.; LUMBRERAS, J. The sustainability report as an essential tool for the holistic and strategic vision of higher education institutions. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 57-66, 2019.

YANG, L.; ZHANG, X. Assessing regional eco-efficiency from the perspective of resource, environmental and economic performance in China: A bootstrapping approach in global data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, vol. 173, p. 100-111, 2018.

YIN, R.K. **Pesquisa Estudo de Caso: Desenho e métodos**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 1994.

YIN, J.; GONG, L.; WANG, S. Large-scale assessment of global green innovation research trends from 1981 to 2016: A bibliometric study. **Journal of Cleaner Production**, vol. 197, p. 827-841, 2018.

YOSHIDA, Y.; SHIMODA, Y.; OHASHI, T. Strategies for a sustainable campus in Osaka University. **Energy and Buildings**, vol. 147, p.1-8, 2017.

YUAN, X.; ZUO, J. A critical assessment of the higher education for sustainable development from students perspectives – a Chinese study. **Journal of Cleanr Production**, vol. 48, p. 108-115, 2013.

ZENG, D.; FU, X.; OUYANG, T. Implementing Green IT transformation for sustainability: A case study in China. **Sustainability**, vol. 10, n. 2160, p.2-16, 2018.

ZHANG, X.; LI H. Urban resilience and urban sustainability: What we know and what we do not know? **Cities**, vol. 72, p.141-148, 2018.

ZHU, W.; WANG, Z. The collaborative networks and thematic trend of research on purchasing and supply management for environmental sustainability: A bibliometric review. **Sustainability**, vol. 10, n. 1510, p.2-28, 2018.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA

Roteiro a ser aplicado aos coordenadores dos cursos de Engenharia de Produção, Engenharia de Minas e Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão.

Objetivo do Roteiro:

Coletar dados para uma pesquisa científica que possui o intento de avaliar via simulação computacional o impacto ambiental de uma unidade de TI e de laboratórios de informática de uma universidade quanto ao consumo de energia e emissão de CO₂

Roteiro Semiestruturado

Questões	Respondentes	
	CEGEF	Coord.
1) Qual é o consumo de energia elétrica da UFG-Regional Catalão?	x	
2) Qual é o consumo de energia elétrica da Unidade Acadêmica Especial de Engenharia?	x	
3) Qual é o consumo de energia elétrica de cada laboratório de informática?	x	
4) Quanto custa o KW de energia elétrica para a UFG-Regional Catalão?	x	
5) Com base na abordagem integrada para o alcance de universidade sustentável apresentada, é possível implanta-la na UFG - Regional Catalão? Por quê?	x	
6) Quantos computadores há em cada laboratório de informática?		x
7) Os computadores estão funcionando normalmente? Se não, explicitar o motivo.		x
8) Os computadores permanecem ligados somente durante as aulas?		x
9) Quantos estabilizadores têm por bancada? Qual o modelo/marca dos estabilizadores?		x
10) Qual a capacidade de memória do computador?		x
11) Qual é o processador utilizado?		x
12) Qual é o sistema operacional utilizado em cada computador?		x
13) Qual o modelo/marca do computador?		x
14) Qual o modelo/marca do monitor?		x
15) Quais disciplinas são ministradas no laboratório de informática?		x
16) Qual a carga horária de uso do laboratório de informática em cada disciplina?		x
17) Quem são os professores responsáveis pelas disciplinas ministradas com uso de laboratório de informática?		x
18) Qual a quantidade de alunos matriculados em cada disciplina que utiliza o laboratório?		x

Quadro 3 – Roteiro de entrevista (continua)

Questões	Respondentes	
	CEGEF	Coord.
19) Há outras informações que podem ser oferecidas para compreensão do funcionamento da sua área que podem contribuir para a pesquisa? Quais?	x	x
20) Há outras informações que podem ser oferecidas para compreensão do funcionamento da UFG-Regional Catalão que podem contribuir para a pesquisa? Quais?	x	x
21) Há outras informações que podem ser oferecidas para compreensão do funcionamento do seu curso que podem contribuir para a pesquisa? Quais?		x
22) Há outras informações sobre a infraestrutura de tecnologia de informação do seu curso que podem contribuir para a pesquisa? Quais?		x
23) Por favor, explicita outras informações que podem contribuir para a pesquisa.	x	x

Quadro 3 – Roteiro de entrevista (continuação)

APÊNDICE B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Ressalta-se que esta dissertação faz parte de uma pesquisa com liberação do Comitê de Ética (CEP) da UFG-RC. Toda documentação foi enviada para este órgão que aprovou a realização da pesquisa por meio de um parecer consubstanciado, de acordo com os seguintes dados:

- Situação do Parecer: Aprovado;
- Data: 19 de agosto de 2018;
- CAAE: 90878218.0.0000.8409;
- Número do parecer: 2.829.664.