



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANGELA DE BORTOLI SAGGIN

COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUSTENTABILIDADE COM A REDUÇÃO
DO CUSTO COM DESPERDÍCIOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO ENXUTA

FORTALEZA

2014

ANGELA DE BORTOLI SAGGIN

COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUSTENTABILIDADE COM A REDUÇÃO
DO CUSTO COM DESPERDÍCIOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO ENXUTA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dsc. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

Co-Orientador: Msc. Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- C136c Saggin, Angela de Bortoli.
Comparação de investimentos em sustentabilidade com a redução do custo com desperdícios devido à construção enxuta / Angela de Bortoli Saggin .– 2014.
62f.: il. color. enc.; 30 cm.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2014.
Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.
Coorientação: Me. Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão
1. Construção Sustentável. 2. Custo verde. 3. Construção Enxuta. 4. Economia *Lean*.
I. Título.

ANGELA DE BORTOLI SAGGIN

COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUSTENTABILIDADE COM A REDUÇÃO
DO CUSTO COM DESPERDÍCIOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO ENXUTA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Aprovada em: 05 / 06 / 2014

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dsc. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão (Co-orientador)
C. Rolim Engenharia Ltda.

Prof. Dsc. José de Paula Barros Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*Aos meus pais, Aidir e Rose, e meu irmão,
Miguel, pelo apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Aidir e Rose e meu irmão Miguel, pelo amor, pelo carinho, pela paciência e pelo apoio incondicional às minhas escolhas e decisões.

Aos meus amigos pelas palavras de apoio, pelos ensinamentos e pelos momentos de descontração que tornam minha rotina na universidade e meu dia-a-dia mais agradáveis e alegres.

À C. Rolim Engenharia, em especial aos engenheiros Alexandre Mourão e Caroline Valente, pelas palavras de motivação e por toda a orientação e ensinamentos ao longo da elaboração do presente trabalho e da minha formação profissional.

Ao professor Eduardo Cabral pela orientação e colaboração neste trabalho e ao professor Barros Neto por ter aceitado gentilmente fazer parte da banca avaliadora.

À professora Verônica pelos ensinamentos, conselhos e suporte no processo de escrita desta monografia.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação e para a elaboração deste trabalho.

*“A chave de todas as ciências é inegavelmente
o ponto de interrogação.”*

Honoré de Balzac

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os investimentos realizados em práticas sustentáveis e a economia proporcionada pela redução dos custos com desperdícios de materiais devido à aplicação de práticas enxutas na construção civil. Os impactos no orçamento final de um empreendimento residencial multifamiliar localizado em Fortaleza – Ceará – Brasil são quantificados a partir do Custo Verde e da Economia *Lean* observados em seu processo construtivo. O Custo Verde é determinado a partir do levantamento dos custos relacionados aos processos de certificação e etiquetagem, às alterações de projeto e aos materiais, equipamentos e serviços atrelados às certificações ambientais do empreendimento, que é LEED *Certified* na categoria *Core&Shell* e possui a Etiqueta PBE Edifica/INMETRO de Projeto e de Edificação Construída nível A. A mesma obra conta ainda com ferramentas da construção enxuta completamente difundidas em seu processo construtivo, proporcionando uma redução nos custos com desperdícios, aqui denominada Economia *Lean*. A metodologia deste trabalho consistiu do levantamento dos investimentos em sustentabilidade realizados no empreendimento e a determinação do seu impacto no orçamento final, seguido da determinação da redução da produção de resíduos, comparando-se o empreendimento atual com o último empreendimento da construtora antes da implementação de ferramentas *lean* nos canteiros de obras; e da aplicação da redução percentual dos resíduos no índice de perdas previstos de cada material no orçamento do empreendimento em questão, determinando finalmente a redução do custo com desperdícios de materiais e com transporte de resíduos em relação ao custo total da obra. Os resultados foram comparados entre si e estudo mostrou que houve um acréscimo de 1,32% devido à sustentabilidade no custo total orçado do edifício e uma economia de 0,19% no custo total devido às reduções observadas na produção de resíduos de construção e demolição e nas perdas de materiais, o que resulta em uma compensação de 14% do Custo Verde a partir da Economia *Lean*.

Palavras-chave: Construção Sustentável. Custo Verde. Construção Enxuta. Economia *Lean*.

ABSTRACT

This paper presents a comparative analysis between the investments made in sustainable practices and the savings due to reduction of costs with waste of materials related to the implementation of lean construction practices. The impacts on the final budget of a multifamily residential building located at Fortaleza – Ceara – Brazil are quantified by the Green Cost and Lean Saving observed in its construction process. The Green Cost is determined by the surveying of the costs related exclusively to the building's process of certification and labeling, which is LEED Certified in category Core&Shell and has the Etiqueta PBE Edifica/INMETRO for Project and Constructed Building level A. The same building has also lean construction practices completely absorbed by its building process, providing a cost reduction with waste, here denominated Lean Saving. The methodology of this study consisted in surveying the investments in sustainability made on the building and determining their impact on the final budget, followed by determining the reduction of waste production, comparing the current project with the last one built prior the implementation of lean practices on the construction site, and the application of the percentage of reduction of waste on the loss index of each material on the final budget of the project in question, finally obtaining the cost reduction of waste material and waste transport in relation to the building's total cost . The results were compared and this study showed a raising of 1,32% due to green buildings features on the final budget of the building and a saving of 0,19% on the final budget due to reductions observed on the production of construction and demolition waste and the losses of materials, which results on a compensation of 14% of Green Cost by the Lean Saving.

Keywords: Green Building. Green Cost. Lean Construction. Lean Saving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Categorias de certificação LEED – Versão 2009.....	17
Figura 2 – Categorias ambientais dos sistemas de classificação LEED – Versão 2009	18
Figura 3 – Pontuação necessária para cada nível da certificação LEED.....	19
Figura 4 – Exemplo de Etiqueta PBE Edifica para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.....	20
Figura 5 - Participação de edifícios com iniciativas sustentáveis no PIB brasileiro	24
Figura 6 – Fluxograma – Sequência das atividades para realização do trabalho	33
Figura 7 – Indicador de gerenciamento de resíduos - C. Rolim Engenharia.....	40
Figura 8 - Fluxograma das ações para determinação da Economia <i>Lean</i>	41
Figura 9 – Composição dos investimentos na certificação LEED – Paço das Águas	46
Figura 10 – Gráfico atualizado do Índice de Resíduos (em cm/m ²) - C. Rolim Engenharia....	49
Figura 11 – Nota dos empreendimentos - Matriz de Sustentabilidade.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro resumo com os principais resultados dos relatórios de custos analisados por Jacomit, Granja e Silva (2009).....	22
Tabela 2 – Índices de perdas de materiais da construção civil.....	28
Tabela 3 - Matriz de relação entre os 11 princípios da construção enxuta e os critérios do LEED for New Construction.....	30
Tabela 4 – Características do Edifício Paço das Águas.....	35
Tabela 5 – Exemplo de cálculo da redução no custo com materiais.....	43
Tabela 6 – Custos de certificação do Paço das Águas (em percentual).....	44
Tabela 7 – Custos de projeto do Paço das Águas (em percentual).....	44
Tabela 8 – Custos de materiais, de equipamentos e de serviços do Paço das Águas (em percentual).....	45
Tabela 9 – Índice de Resíduos - Paço das Águas.....	48
Tabela 10 – Participação do transporte de resíduos no custo total e no custo direto de construção – Paço das Águas.....	50
Tabela 11 – Redução no custo com materiais e comparação com o Custo Verde – Paço das Águas.....	50
Tabela 12 – Cálculo da redução no custo com materiais – C. Rolim Engenharia - Continua..	60
Tabela 13 – Cálculo da redução no custo com materiais – C. Rolim Engenharia - Conclusão	61
Tabela 14 – Cálculo da redução no custo com materiais – Literatura - Continua.....	61
Tabela 15 – Cálculo da redução no custo com materiais – Literatura - Conclusão.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização e justificativa da pesquisa.....	11
1.2	Objetivos	13
1.3	Estrutura do trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Construção Sustentável	15
2.2	Construção Enxuta	24
2.3	Construção Sustentável e Construção Enxuta.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Etapas da pesquisa.....	32
3.2	Caracterização do estudo de caso.....	33
3.3	Custo Verde.....	37
3.4	Economia <i>Lean</i>	38
3.5	Análise e discussão dos indicadores	43
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
4.1	Custo Verde.....	44
4.2	Economia <i>Lean</i>	47
4.3	Análise e discussão dos indicadores	51
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – Autorização de Divulgação de Dados.....	59
	APÊNDICE B – Cálculo da Redução do Custo com Materiais	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa da pesquisa

A indústria da construção é responsável por 40% de todos os resíduos gerados pela sociedade (PNUD, 2012) e representa 8,8% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (ABRAMAT, 2013). Sua relevância econômica é indiscutível, bem como seus impactos no meio ambiente decorrentes das suas atividades.

Como uma forma de minimizar as consequências da cadeia produtiva da indústria da construção, os governos e as empresas têm investido em iniciativas sustentáveis para serem aplicadas nos canteiros de obras. Dentre essas medidas, destacam-se a implantação do Plano de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS), exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e o estímulo à economia do consumo de água e de energia, além da busca por melhorias no desempenho dos processos internos das empresas tomando-se como base as normas da *International Organization for Standardization* (ISO).

Essa busca por melhorias no desempenho dos processos levou o ramo da construção a adaptar os princípios do *lean production*, produção enxuta, do setor automobilístico para o canteiro de obras. A filosofia originária do Sistema Toyota de Produção (STP) tem como foco principal o cliente e o seu objetivo é aumentar a eficiência da produção através da eliminação consciente e completa de desperdícios. O pesquisador finlandês Lauri Koskela idealizou a filosofia *lean construction*, construção enxuta, adaptando os princípios do *lean production*, do automobilismo para a construção (MOURÃO; VALENTE, 2013).

Segundo Isatto *et al.* (2000 *apud* MOURÃO; VALENTE, 2013), existem onze princípios para a construção enxuta e, do ponto de vista financeiro, destacam-se três: a redução das parcelas de atividades que não agregam valor ao processo, a redução do tempo de ciclo do processo global e a racionalização do processo por meio da redução do número de partes ou passos. Esses três princípios proporcionam a otimização da mão de obra, do uso dos materiais e do tempo, que juntos contribuem para a redução no custo com desperdícios. A garantia desses princípios é dada pelo sistema *just-in-time*, que tem por objetivo controlar o fluxo de peças no sistema de suprimentos para atender à necessidade imediata de cada etapa de forma que os componentes necessários à produção cheguem apenas no momento e na quantidade necessária, eliminando estoques e minimizando as perdas (OHNO, 1997).

Além de uma produção mais enxuta, as construtoras e as incorporadoras têm buscado as certificações ambientais para seus empreendimentos como uma forma de reduzir os impactos dessa natureza nas fases de construção e de operação dos edifícios e legitimar as práticas perante instituições à parte. Cada vez mais difundidos no âmbito nacional, o crescimento da demanda por empreendimentos mais sustentáveis originou um novo nicho de mercado no setor da construção: o nicho dos *green buildings*, ou edifícios verdes. Segundo Casado e Fujihara (2009), um edifício verde é aquele que permite aos usuários uma atitude mais responsável em relação à energia e aos recursos naturais por meio de um conjunto de práticas que buscam a eficiência no ciclo de vida da edificação.

Segundo o *World Green Building Council* (WorldGBC, 2013), existem pontos chave que representam a quebra de alguns paradigmas da construção verde e merecem destaque: não necessariamente o custo de projeto e construção de um empreendimento sustentável será mais elevado que a geração do custo de um empreendimento convencional; o valor agregado ao edifício aumenta o seu valor de mercado, atraindo mais compradores e inquilinos; e, com custo operacional reduzido devido à eficiência de água, energia e manutenção dos sistemas, o período de retorno dos investimentos adicionais de projeto e da construção também sofre redução. No entanto, muitos dos estudos relacionados ao custo dos empreendimentos verdes ainda são limitados aos edifícios comerciais, uma vez que o interesse na redução do custo operacional do edifício é maior. Quando se trata de empreendimentos residenciais, o paradigma do custo adicional elevado continua gerando resistência por parte dos construtores.

Alguns levantamentos direcionados a empreendimentos comerciais, escolas, bibliotecas e laboratórios trazem variações entre 0 e 21% em relação ao custo adicional devido à certificação ambiental LEED (JACOMIT; GRANJA; SILVA, 2009). Já um estudo com 170 edificações de tipologias variadas resultou em uma faixa de 0 a 18% de acréscimo no custo para torná-las sustentáveis, sendo que a maioria concentrou-se entre 0 e 4% e foi registrada uma média de 2% (KATS; BRAMAN; JAMES, 2010). Observa-se assim que ainda não há um consenso sobre investimento financeiro necessário para implementar práticas sustentáveis nos empreendimentos, principalmente devido às diferenças entre os métodos construtivos aplicados por cada empresa, o que alimenta a resistência dos investidores.

A reflexão sobre os pontos chave leva a outra linha de raciocínio: os investimentos em edifícios verdes deixam de ser um conjunto de ações para preservar o meio ambiente e passam a ter um apelo econômico, como evidenciou um estudo conduzido pela Ernst & Young (EY) e pelo *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil): a demanda por

edifícios verdes no Brasil aumentou sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) nacional de 3% em 2010 para 9% em 2012, período em que o país atingiu mais de 2 milhões de metros quadrados certificados, atingindo o posto de quarto país com empreendimentos certificados LEED. Assim, surge uma oportunidade de trabalho conjunto entre as empresas e as universidades, em parceria com as organizações governamentais, para o estudo das variáveis que influenciam na relação custo-benefício da construção sustentável e a determinação de um critério financeiro que auxilie a tomada de decisão entre uma construção verde e uma construção convencional.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em comparar os investimentos financeiros para tornar uma edificação residencial vertical sustentável com a redução do custo com desperdícios devido ao uso de práticas da construção enxuta.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar os investimentos financeiros em iniciativas e soluções sustentáveis necessários para a obtenção da certificação ambiental *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*, na categoria *Core and Shell*; e da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), nível A, do empreendimento residencial Paço das Águas;
- b) Determinar a redução do custo devido à eliminação de desperdício de materiais propiciada pela implantação dos princípios da Construção Enxuta no canteiro de obras do empreendimento residencial Paço das Águas;
- c) Realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos durante o estudo e identificar o impacto das práticas sustentáveis e da construção enxuta no custo final do empreendimento.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, iniciando-se por uma breve contextualização seguida por uma revisão bibliográfica, além do detalhamento da metodologia adotada para a estruturação da pesquisa, baseada no estudo de caso de um empreendimento residencial vertical com práticas de construção sustentável e construção enxuta, e da discussão dos resultados alcançados.

O primeiro capítulo, Introdução, visa a contextualização do tema e aborda a justificativa, os objetivos (geral e específicos) e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, traz a revisão de literatura realizada acerca dos principais conceitos e definições no âmbito da construção sustentável, partindo de um breve histórico do desenvolvimento sustentável e trazendo uma descrição detalhada da certificação ambiental LEED e da ENCE. Também serão tratados os principais estudos a respeito do investimento necessário para tornar as construções sustentáveis. O capítulo traz ainda a revisão referente à construção enxuta, onde são introduzidos os principais conceitos e definições sobre aplicação da filosofia enxuta nos canteiros de obras, a construção enxuta, e são apresentados estudos da interação entre as duas filosofias na indústria da construção.

O terceiro capítulo, Materiais e Métodos, versa sobre a metodologia seguida na elaboração deste trabalho de monografia, iniciando-se com a caracterização da empresa e do empreendimento a ser analisado em um estudo de caso, seguida pela determinação do custo com investimentos em sustentabilidade, o Custo Verde, e da economia com a redução dos desperdícios, Economia *Lean*.

Já o quarto capítulo, Apresentação e Discussão dos Resultados, traz a análise de cada etapa da metodologia realizada, bem como as discussões e conclusões a respeito dos dados obtidos para o estudo de caso.

Finalmente, o quinto capítulo, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, traz as conclusões do presente trabalho de monografia, explicitando as dificuldades e limitações do estudo, as oportunidades de melhorias, sugestões de novos estudos e, principalmente, o fechamento da discussão dos resultados realizada no capítulo anterior.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Construção Sustentável

O conceito de sustentabilidade está em constante evolução e a expressão “desenvolvimento sustentável” possui diversas definições. A definição clássica de desenvolvimento sustentável provém de um documento elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1987, o relatório “Nosso Futuro Comum”, mais conhecido como Relatório Brundtland. Segundo esse documento, o desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações terem suas próprias necessidades atendidas” (ONU, 1991). Dessa definição entende-se que as gerações atuais devem utilizar os recursos disponíveis cuidadosamente, levando em conta a capacidade de recuperação do meio ambiente, de forma a garantir que as gerações futuras tenham acesso aos mesmos recursos e aprendam a preservá-los.

Nos últimos anos, o setor da construção civil tem aumentado sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) nacional, chegando a 5,7% em 2012 (IBGE, 2013). Já o estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (ABRAMAT), em 2013, mostra que a cadeia produtiva da construção foi responsável por 8,8% do PIB nacional de 2012, correspondente a R\$ 328,5 bilhões, e empregou 13,4 milhões de pessoas, entre empregados (com e sem carteira de trabalho assinada), autônomos e proprietários (ABRAMAT, 2013).

A indústria da Construção Civil gera impactos ambientais difusos e de longo prazo, difíceis de serem mensurados em escala local, mas significativos em escala global. A construção é responsável por 12% do consumo total de água; a produção de cimento é responsável por 5% da emissão de gases de efeito estufa e o uso de energia nos edifícios corresponde a 33% dessas emissões; além disso, 40% dos resíduos (em massa) gerados pela sociedade são oriundos da indústria da construção (PNUD, 2012).

Dada a importância da indústria da construção e sua cadeia produtiva para o PIB nacional e os seus impactos ambientais cada vez mais representativos, as empresas do setor têm sofrido uma pressão cada vez maior para atuarem de forma mais sustentável. As Resoluções nº307/02 e nº348/04 introduzidas em 2002 e 2004, respectivamente, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelecem diretrizes para a gestão dos

resíduos sólidos da construção civil, indicando como gerenciar a produção, segregação, armazenamento, coleta, transporte e destinação de todo resíduo gerado nos canteiros de obra no Brasil (MOURÃO; NOVAES, 2008). Já em 2010, foi sancionada a Lei nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e apresentou “diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis” (RIBEIRO; TELLO, 2012).

De forma mais específica, existem as certificações ambientais que reúnem uma série de requisitos com base no consumo energético, no consumo de água, nos materiais utilizados e na qualidade do ar da edificação, cada vez mais difundidas no mercado brasileiro. Dentre os selos internacionais, destacam-se o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), de origem norte-americana e promovido pelo *U. S. Building Council* (USGBC); o *Haute Qualité Environnementale* (HQE), de origem francesa; e o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), de origem inglesa e promovido pelo *Building Research Establishment* (BRE).

No contexto nacional, existe o Processo Alta Qualidade Ambiental (AQUA), promovido pela Fundação Vanzolini, o Selo Casa Azul de Construção Sustentável, da Caixa Econômica Federal; e a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Nacional de Eficiência Energética das Edificações, o PROCEL EDIFICA, promovido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Essas certificações ambientais se popularizaram nos últimos anos, originando um mercado imobiliário com produtos com características, preços e demandas diferenciados.

O crescimento da demanda culminou em um nicho de mercado especializado, onde surgiu o conceito de *green building*, ou edifício verde, que é o edifício que permite aos usuários uma atitude mais responsável em relação à energia e aos recursos naturais. Essa atitude mais responsável deve ser entendida como um conjunto de práticas que busca a eficiência no ciclo de vida da edificação, incluindo a localização, o projeto, a construção, a operação, a manutenção, a remoção dos resíduos e a preservação da biodiversidade (CASADO; FUJIHARA, 2009).

No Brasil, as primeiras discussões sobre a sustentabilidade na construção civil surgiram em 2000 no evento *CIB Symposium on Construction and Environmental - theory into practice* organizado pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Nesse encontro foi apresentada uma proposta para sustentabilidade na construção do Brasil com base na *Agenda 21 on sustainable construction*,

destacando a necessidade de um esforço coletivo entre os setores da construção e suas respectivas entidades representativas, em conjunto com o governo e os setores de Pesquisa e Desenvolvimento das empresas. Em 2007, surgiu o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), período em que as certificações ambientais começaram a se difundir no país (AGOPYAN; JOHN, 2011). Também em 2007 foi criado o *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil), uma organização não governamental cuja missão é desenvolver a indústria da construção sustentável no país capacitando os profissionais, disseminando a certificação ambiental LEED e atuando junto às principais organizações do setor da construção (GBC Brasil, 2014).

2.1.1 *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*

O LEED é hoje a certificação ambiental internacional mais difundida no Brasil e no mundo. Criada em 1998 pelo USGBC, a primeira versão do LEED tinha como foco a operação e a manutenção de edifícios já existentes (USGBC, 2013). No entanto, com o amadurecimento do programa, foram criadas categorias específicas para tipologias de projeto distintas, listadas na Figura 1.

Figura 1 – Categorias de certificação LEED – Versão 2009



Fonte: Adaptado de USGBC (2013).

O campo do *green building* tem crescido e se modificado diariamente: novas tecnologias e produtos são inseridos no mercado com frequência e as inovações nos projetos e

nas práticas têm provado sua eficiência. Os sistemas de classificação do LEED acompanham a evolução do mercado e, em 2013, foi lançada a sua quarta versão, com foco na análise do ciclo de vida dos edifícios. Uma vez em vigor uma nova versão, as equipes de projeto devem se adaptar às novas exigências ao registrar um novo projeto. Esse processo de registro de novos projetos e de certificação dos empreendimentos é gerido pelo *Green Building Certification Institute (GBCI)*, com o apoio do USGBC (USGBC, 2013).

Os sistemas de classificação do LEED são baseados em sete categorias ambientais (Figura 2), subdivididas em pré-requisitos obrigatórios que não somam pontos e créditos com valor igual ou superior a 1 ponto. Dentre essas categorias, é possível obter pontos complementares de *Innovation in design*, Inovação e Processos, devido ao chamado “Desempenho Exemplar”, quando o projeto supera as exigências mínimas de um crédito, ou então devido à ações inovadoras, quando o projeto apresenta soluções únicas e devidamente documentadas. É possível ainda obter pontos de bonificação por *Regional Priority*, Prioridade Regional, como uma forma de ressaltar a importância das condições locais na determinação das práticas e nas decisões de projeto.

Figura 2 – Categorias ambientais dos sistemas de classificação LEED – Versão 2009

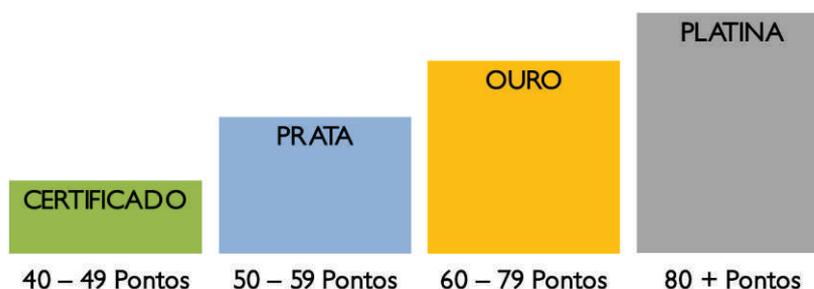


Fonte: Adaptado de USGBC (2013).

A certificação *LEED for Core & Shell* contém sete pré-requisitos obrigatórios distribuídos nas primeiras cinco categoriais ambientais listadas na Figura 2 e 110 pontos possíveis distribuídos entre os créditos eletivos das sete categorias. São quatro níveis de

certificação definidos em função do número de pontos obtidos pelo projeto: Certificado, Prata, Ouro e Platina, como ilustrado pela Figura 3 (USGBC, 2013). O sucesso na obtenção da certificação, independente do nível, está na escolha dos créditos que a equipe de projeto deseja obter e a determinação da pontuação máxima alcançável para cada projeto.

Figura 3 – Pontuação necessária para cada nível da certificação LEED



Fonte: Adaptado de USGBC (2013).

2.1.2 Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)

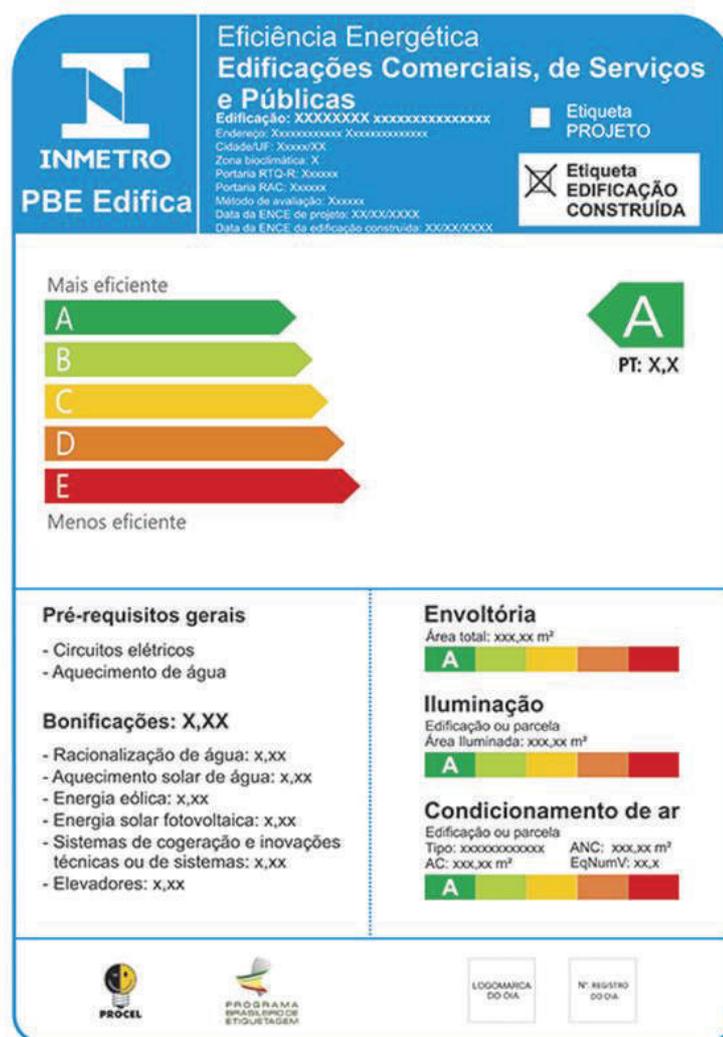
Instituído em 2003 pela Eletrobras/Procel, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, conhecido como Procel Edifica, promove o uso racional da energia elétrica em edificações, incentivando a conservação e uso eficiente dos recursos naturais (água, luz e ventilação) e reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente (PROCEL INFO, 2014).

O potencial de conservação de energia das edificações residenciais é elevado e a economia pode chegar a 30% para as edificações já existentes e superar 50% para as edificações novas. Com objetivo de aproveitar esse potencial de economia, foi criado o Programa Procel Edifica, especialmente voltado para a eficiência energética das edificações, aliada ao conforto ambiental. Dentre as principais metas do programa de etiquetagem pode-se destacar o investimento em capacitação tecnológica; inserção do tema conforto ambiental e eficiência energética nos cursos de Arquitetura e Engenharia e disseminação dos conceitos e práticas entre os profissionais formados; e apoio à implantação da Regulamentação da Lei 10.295/2001 de eficiência energética (ELETROBRAS, 2014).

A ENCE é o Selo de Conformidade que evidencia o atendimento dos requisitos de desempenho quanto à eficiência energética de equipamentos, veículos e edificações, classificando-os em uma escala de A a E, onde A significa maior eficiência e E, menor eficiência. Para as edificações, a ENCE é conhecida por Etiqueta PBE Edifica/INMETRO

(Figura 4) e faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO em parceria com a Eletrobras/Procel Edifica (PBE EDIFICA, 2014).

Figura 4 – Exemplo de Etiqueta PBE Edifica para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas



Fonte: Procel Info (2014).

A Etiqueta PBE Edifica/INMETRO pode ser obtida para edificações comerciais, de serviços e públicas, seguindo as exigências dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C); e para edificações residenciais, seguindo as exigências do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R). No caso das edificações residenciais, existem três tipos de etiqueta: para unidades habitacionais autônomas, para edificações multifamiliares e para áreas de uso comum (PBE EDIFICA, 2014).

2.1.3 *Custo verde*

Ao optar pela construção de um edifício verde, antes de se preocupar com o custo a ser adicionado no orçamento, deve-se pensar qual caminho será seguido, principalmente se o edifício vai buscar certificações ambientais, ou não, e como será sua execução. Uma vez estabelecidas as metas e expectativas da equipe de projeto, é possível alinhar o orçamento através de um estudo de custo de cada ponto e manter o foco durante as fases de projeto e construção do empreendimento. Assim, identificam-se quais créditos irão necessitar de maior investimento (MATTHIESSEN; MORRIS, 2004).

O WorldGBC coordenou dois estudos relacionados ao custo verde de empreendimentos quanto a três parâmetros: viabilidade e custo, análise de custo de construções semelhantes e análise do orçamento inicial (MATTHIESSEN; MORRIS, 2004; MATTHIESSEN; MORRIS 2007). Dentre os empreendimentos selecionados estão principalmente hospitais, bibliotecas e laboratórios, certificados em diferentes níveis e categorias do LEED e não certificados. Edifícios residenciais não foram analisados.

Os estudos mostram que, para os dois primeiros níveis de certificação LEED (certificado e prata), o custo adicional por conta das práticas sustentáveis é praticamente nulo, uma vez que muitos pré-requisitos e créditos são facilmente obtidos devido a práticas já consolidadas nas empresas. Matthiessen e Morris (2004) concluíram que os projetos que obtiveram maior sucesso sem exceder o orçamento inicial foram aqueles cujos objetivos e metas foram definidos desde a concepção do projeto e que integraram os elementos sustentáveis ainda na fase inicial.

Matthiessen e Morris (2004) concluíram ainda que não existe uma solução única para a questão dos custos verdes, uma vez que cada empresa tem diferentes processos incorporados à sua rotina construtiva. Além disso, o levantamento mostrou que o custo médio por área construída dos empreendimentos certificados não apresenta variações consideráveis em relação aos empreendimentos não certificados.

Segundo Morris e Langdon (2007 *apud* JACOMIT; GRANJA; SILVA, 2009), existem três formas de se calcular o custo verde: comparação entre o custo de um empreendimento sustentável com seu orçamento inicial (sem atributos verdes), soma dos custos referentes aos atributos verdes ao orçamento inicial e comparação dos custos de edifícios verdes com os custos de edifícios convencionais semelhantes. Cada forma tem suas limitações e dificuldades. A terceira, no entanto, elimina a subjetividade de quanto o

empreendimento poderia ter custado se não tivesse características sustentáveis (JACOMIT; GRANJA; SILVA, 2009).

Segundo Jacomit, Granja e Silva (2009), “enquanto parece haver consenso sobre os benefícios ambientais e sociais das construções verdes, não há consenso sobre os benefícios financeiros”. Em um quadro resumo, os autores listam os resultados de alguns relatórios de custos analisados por eles (Tabela 1).

Tabela 1 – Quadro resumo com os principais resultados dos relatórios de custos analisados por Jacomit, Granja e Silva (2009)

	Construindo com sustentabilidade (BNIM ARCHITECTS, 2002)	Custos e benefícios das construções verdes (KATS, 2003^a, 2003^b)	Relatório de custos Davis Langdon (MATTHIESSEN; MORRIS, 2004)	Relatório de custos Davis Langdon (MATTHIESSEN; MORRIS, 2007)
Abordagem	(i) Comparar o custo de um empreendimento sustentável com seu orçamento inicial.		(iii) Comparar os custos de uma população de empreendimentos verdes com os custos de construções semelhantes convencionais.	
Número de empreendimentos analisados	1 emp. de mais de 8 mil m ² com custo inicial de \$8 milhões	33 emp. registrados no LEED	138 emp. – 93 <i>Non-LEED-seeking (NL)</i> e 45 <i>LEED-seeking (L)</i>	221 emp. – 128 <i>Non-LEED-seeking (NL)</i> e 83 <i>LEED-seeking (L)</i>
Tipo de empreendimento	1 escritório	25 escritórios e 8 escolas	52 edif. acadêmicos, 49 laboratórios, 37 bibliotecas	60 edif. acadêmicos, 70 laboratórios, 57 bibliotecas, 18 centros comunitários
Parâmetros de sustentabilidade	<i>LEED Certified (C)</i> <i>LEED Silver (S)</i> <i>LEED Gold (G)</i> <i>LEED Platinum (P)</i> <i>“Living building”</i>	<i>LEED Certified (C)</i> <i>LEED Silver (S)</i> <i>LEED Gold (G)</i> <i>LEED Platinum (P)</i>	<i>Non-LEED-seeking building (NL)</i> <i>LEED-seeking building (L)</i>	
Custo verde (green premium)	(C) 1% (S) 13% (G) 15% (P) 21%	(C) 0,66% (S) 2,11% (G) 1,82% (P) 6,50% Média: 1,84% 0% para algumas edificações	0% - Como os custos de L ficaram dentro da faixa de variação de NL, com o mesmo tipo de programa, não há variação significativa entre eles.	
Críticas	Somente um empreendimento analisado; dificuldade de generalização para outros empreendimentos	Tendência de apresentar custos verdes sempre positivos; dificuldade de avaliar a adequação do orçamento original	Orçamentos de NL poderiam ter sido elaborados com parâmetros de sustentabilidade em mente; análise holística, não apresenta números conclusivos	

Fonte: Adaptado de JACOMIT, GRANJA e SILVA (2009).

Kats, Braman e James (2010) reuniram dados de 170 edifícios sustentáveis relacionados ao custo para torná-los sustentáveis, as economias proporcionadas no consumo de energia e água e os benefícios à saúde e produtividade. A amostra reuniu tipologias variadas, incluindo escolas, escritórios, edificações de assistência médica, construções residenciais multifamiliares, teatros, faculdades e universidades, laboratórios e templos religiosos que obtiveram a certificação LEED ou equivalente. Quanto ao custo para torná-las sustentáveis, as construções novas incluídas na base de dados resultaram em um aumento de 0 a 18% no custo, em que cerca de três quartos da amostra ficou concentrada na faixa de 0 a 4%, sendo a média de aumento do custo igual a 2%. O custo típico adicional variou entre US\$32,29/m² e US\$96,88/m². A análise dos resultados do estudo sugere que o custo depende mais da experiência da equipe de projeto e de obra e da escolha das estratégias de sustentabilidade do que o nível de certificação almejado (KATS; BRAMAN; JAMES, 2010).

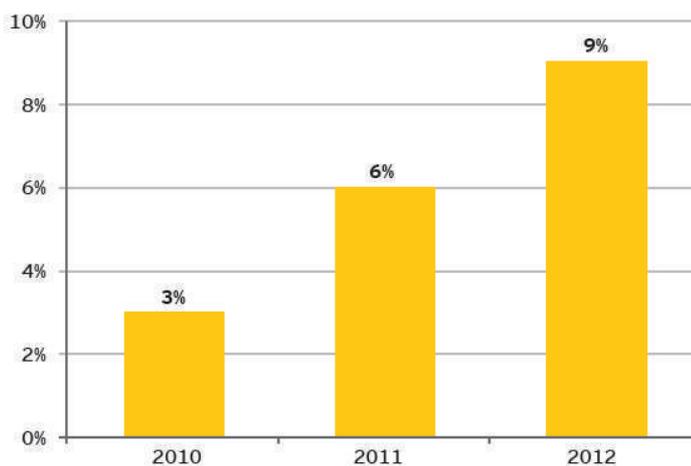
Quanto ao consumo de energia, os dados mostraram uma economia variando entre 10% até mais de 100%, no caso dos empreendimentos que geram mais energia do que consomem, resultando em uma redução média do consumo igual a 34%, o que representa uma economia média anual de US\$5,38/m². Já em relação ao consumo de água, os edifícios apresentaram uma redução média de 39%, percentual que aumenta com o nível de certificação LEED obtido pelo empreendimento. O valor presente para 20 anos de economia de energia varia entre US\$43,06/m² e US\$1722,22/m² e para economia de água varia entre US\$5,38/m² e US\$21,53/m², dependendo da tipologia do edifício e o nível de certificação LEED (KATS; BRAMAN; JAMES, 2010).

Finalmente, em relação aos benefícios das construções sustentáveis, a maior parte dos empreendimentos analisados não quantificaram os impactos das melhorias na qualidade do ambiente interno devido às medidas implantadas, de forma que não foram documentadas economias financeiras mensuráveis e precisas diretamente relacionadas aos benefícios à saúde e à produtividade. Do ponto de vista qualitativo, enquetes mostram que houve aumento no conforto e satisfação dos ocupantes dos edifícios sustentáveis. No entanto, para o autor, estudos futuros devem buscar uma análise quantitativa dos benefícios à saúde e à produtividade dos ocupantes dessas construções (KATS; BRAMAN; JAMES, 2010).

A nível nacional, as análises sobre custo de edifícios sustentáveis ainda não são numerosas. Uma pesquisa conduzida pela Ernst & Young (EY) e pelo GBC Brasil mostrou uma demanda crescente pela certificação LEED para edifícios, cujos investimentos em 2010 representavam 3% do PIB, e em 2012 atingiram 9% do PIB (Figura 5). Esse valor foi calculado tomando por base o número de edifícios em processo de certificação e seu valor de

mercado esperado por metro quadrado. Nesse mesmo período, o Brasil atingiu a marca de mais de 2 milhões de metros quadrados certificados, consagrando-se como o quarto país com empreendimentos certificados LEED, ficando atrás dos Estados Unidos, dos Emirados Árabes e da China (EY; GBC Brasil, 2013).

Figura 5 - Participação de edifícios com iniciativas sustentáveis no PIB brasileiro



Fonte: EY e GBC BRASIL (2013).

Por fim, um estudo realizado por Silva (2013) concluiu que o impacto financeiro da implantação de atributos de construção verde em uma obra residencial vertical em Fortaleza, Ceará, resultou no acréscimo de 5,02% em seu orçamento inicial. O empreendimento analisado não buscava uma certificação ambiental, assim como não contemplava características de um edifício verde, portanto a autora elaborou um novo orçamento adicionando os custos de seis atributos de construção sustentável: inclusão de elevadores sustentáveis, utilização de iluminação LED, uso de aeradores em torneiras, uso de chuveiros com regulador de pressão, implantação de aerogeradores e implantação do sistema de reuso de águas cinzas. Nesse estudo, não foram levadas em consideração certificações ambientais para o empreendimento.

2.2 Construção Enxuta

Logo após a Primeira Guerra Mundial, Henry Ford descobriu uma maneira de superar os problemas inerentes à produção artesanal de veículos motorizados. Suas novas técnicas aumentaram a qualidade do produto, reduzindo drasticamente o custo. Surgiu então a chamada produção em massa, cujo foco não estava na linha de montagem em movimento

contínuo, mas na completa e consistente intercambialidade das peças e na facilidade de ajustá-las entre si (WOMACK; JONES; ROOS, 1998).

Na década de 1950, Taiichi Ohno, responsável pela produção da Toyota, concluiu que o sistema de produção em massa não funcionaria no Japão. Então Ohno desenvolveu ferramentas e práticas que passariam a fazer parte do Sistema Toyota de Produção (STP), hoje conhecido por *lean production*, ou produção enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 1998).

A primeira mudança de paradigma implementada por Ohno em relação à produção em massa foi a redução dos estoques, uma vez que o custo por peça produzida era menor na produção de pequenos lotes do que em grandes. Em seguida, a Toyota agrupou os trabalhadores em equipes de forma que cada equipe era responsável por um conjunto de etapas de montagem e uma parte da linha, com um líder no lugar do supervisor. Uma vez estabelecidas as responsabilidades, foi criado um processo de aperfeiçoamento contínuo e gradual, chamado de *kaizen*, em que os trabalhadores sugeriam em conjunto medidas para melhorar os processos (WOMACK; JONES; ROOS, 1998).

Para Ohno, a linha de produção em massa deixava passar erros e exigia elevados índices de retrabalho, uma vez que com estoques menores, era mais fácil identificar as falhas ainda no processo produtivo, reduzindo os tempos de parada da linha montagem. Foi assim que surgiram “os cinco porquês”, sistema de solução de problemas em que os trabalhadores da produção devem remontar cada erro até chegar a sua causa, perguntando “por quê?” para cada nível do problema descoberto (WOMACK; JONES; ROOS, 1998).

Taiichi Ohno desenvolveu ainda o sistema *just-in-time* para controlar o fluxo de peças no sistema de suprimentos para atender a necessidade imediata de cada etapa seguinte, de forma que as partes necessárias à montagem chegassem à linha de produção no momento em que fossem necessárias e na quantidade necessária, o que praticamente eliminou os estoques. A produção *just-in-time* foi garantida pelo *kanban*, principal ferramenta utilizada para evitar a superprodução que serve como um pedido de retirada, transporte, entrega ou ordem de fabricação de algum material (OHNO, 1997).

Um dos objetivos principais da produção enxuta está relacionado à eliminação total do desperdício, ou *muda*. Segundo Ohno (1997), o aumento da eficiência está diretamente relacionado à redução de custos, de forma que seja produzido apenas o que for necessário, utilizando o mínimo de mão de obra. Ao considerar apenas o trabalho necessário para a produção como trabalho real e o restante como desperdício, a capacidade atual de uma linha de produção será dada pela soma entre o trabalho e o desperdício. O aumento na

eficiência é efetivamente atingido quando o desperdício tende a zero, produzindo apenas a quantidade necessária e cortando o excesso na capacidade (OHNO, 1997).

O conceito de economia na filosofia está relacionado à redução da força de trabalho e dos custos, diretamente ligados à redução da mão de obra. O STP é um método para eliminar o desperdício, elemento que não agrega valor ao produto, e aumentar a produtividade, reduzindo assim os custos. Devem ser identificados sete tipos de desperdícios ao implantar a produção enxuta (OHNO, 1997):

- a) desperdício de superprodução;
- b) desperdício de tempo disponível (espera);
- c) desperdício em transportes;
- d) desperdício do processamento em si;
- e) desperdício de estoque disponível (estoque);
- f) desperdício de movimento;
- g) desperdício de produzir produtos defeituosos.

Womack e Jones (1990) idealizaram os cinco princípios da produção enxuta. O primeiro princípio é ponto mais crítico: a definição do que é valor para o cliente, que é expresso em função das expectativas do cliente, interno ou externo, em relação a um produto com um preço específico, em um momento específico. O segundo princípio consiste na identificação do fluxo de valor das ações necessárias para fornecer um determinado produto, que permite expor os desperdícios e eliminá-los ao longo do processo. O terceiro, é a busca pelo fluxo contínuo das atividades com base no fluxo de valor já definido. O quarto princípio consiste na produção puxada na qual o cliente solicita, ou puxa, o produto quando precisa, em vez de receber o produto sem necessidade, o que reduz a formação de estoques e otimiza a produção. O quinto e último princípio é a busca pela melhoria contínua e pela perfeição.

A partir dos conceitos e práticas da produção enxuta, Koskela (1992) idealizou a filosofia *lean construction*, a construção enxuta, uma filosofia de produção enxuta adaptada à indústria da construção civil e suas especificidades. Com base nos estudos de Koskela e de Womack e Jones, Isatto *et al.* (2000 *apud* MOURÃO; VALENTE, 2013) interpretaram os 11 princípios para a construção enxuta:

- a) reduzir as parcelas de atividades que não agregam valor ao processo, por meio da identificação dos desperdícios;

- b) agregar valor ao produto intermediário ou final através da consideração as necessidades dos clientes (internos ou externos);
- c) reduzir a variabilidade dos processos, buscando uma produção uniforme e padronizada e reduzindo as atividades que não agregam valor;
- d) reduzir o tempo de ciclo de uma atividade, estimulando a eliminação de etapas de fluxo que não agregam valor ao cliente;
- e) racionalizar o processo a partir da redução o número de etapas, com utilização de elementos pré-fabricados (não produzidos *in loco*), formação de equipes polivalentes e planejamento eficaz do processo de produção;
- f) aumentar a flexibilidade de saída do produto, permitindo um planejamento adequado das customizações;
- g) aumentar a transparência dos processos, facilitando a identificação dos erros, difusão de informações e tornando as equipes mais independentes;
- h) focar o controle no processo global, identificando possíveis melhorias e os desperdícios a nível geral, para então analisar as etapas constituintes do processo;
- i) introduzir a melhoria contínua do processo, estimulando a participação de todos na identificação de falhas, oportunidades de melhorias e novas tecnologias;
- j) buscar o equilíbrio entre melhorias de atividades de fluxo e de conversão;
- k) realizar *benchmarking*, buscando boas práticas e ideias de empresas mais experientes, do setor da construção civil ou não.

Um estudo conduzido pela McGraw Hill Construction (2013) com empreiteiras resultou em uma análise qualitativa e quantitativa de práticas enxutas aplicadas à construção em relação às melhorias proporcionadas para o setor. As empreiteiras foram classificadas em três grupos: com práticas *lean* implementadas, familiarizadas com práticas *lean* e não familiarizadas com práticas *lean*. O estudo mostrou que, para empresas com práticas enxutas implementadas, os maiores benefícios estão relacionados à melhoria na segurança, aumento na satisfação do cliente, melhoria qualidade da construção, redução do tempo de construção, ganho de produtividade e redução nos custos e/ou aumento nos lucros. O ganho na segurança, segundo os entrevistados, está diretamente relacionado à maior atenção ao planejamento, à eliminação dos desperdícios e ao foco no trabalho de cada colaborador.

O estudo ainda mostrou que 72% das empreiteiras com práticas *lean* implementadas concordam que economias proporcionadas pelo *lean* contribuem para a lucratividade do projeto, aumentando sua competitividade em relação ao mercado. Segundo a análise da McGraw, o ganho na competitividade é o maior benefício que uma empresa pode alcançar ao implantar práticas enxutas, sendo significativamente mais importante que a redução do tempo de execução e do custo de cada projeto. Já as empresas familiarizadas com o *lean*, os principais desafios que influenciam na decisão pela aplicação ou não das práticas enxutas é a falta de apoio e de conhecimento da indústria sobre o assunto e a impressão de que o *lean* vai exigir muito tempo para ser implementado (MCGRAW, 2013).

Um trabalho desenvolvido no final da década de 1990 com cerca de 100 canteiros de obras distribuídos em 12 estados brasileiros analisou quantitativamente os desperdícios de material na construção civil e resultou num índice de perdas de materiais para diversos insumos e composições (AGOPYAN *et al.*, 2003). Os índices médios de perdas encontram-se na Tabela 2 a seguir e permitem estimar a compra total de materiais necessária.

Tabela 2 – Índices de perdas de materiais da construção civil

	%C. Rolim Engenharia (orçamento) (2011)	%TCPO 13 (2008)	%Agopyan <i>et al.</i> (2003)
Concreto usinado	2	5	9
Aço	-	10	10
Armadura de aço - Corte e Dobra	2	5	-
Blocos de Concreto	5	3	10
Blocos Cerâmicos	8	5	18
Placas Cerâmicas - Piso	8	19	22
Placas Cerâmicas - Parede	8	10	16
Placas Cerâmicas - Fachada	8	-	12
Gesso Acartonado / Bloco de Gesso	5	-	-
Argamassa pré-fabricada	2	2	-
Cimento	2	-	-

Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO) traz uma base de dados que abrange composições dos mais diversos serviços da construção civil, incluindo, além do consumo de material e mão de obra pra cada serviço, uma previsão do percentual de perdas para ser adotado no cálculo do orçamento de uma obra, atualizado constantemente com base no desempenho do setor da construção (TCPO, 2008). Os valores para os principais insumos também se encontram na Tabela 2.

A C. Rolim Engenharia (2011) possui uma metodologia própria para orçamentação das suas obras e, ao calcular a quantidade necessária de cada insumo, esta aplica uma previsão de perdas própria, listada na Tabela 2. É importante ressaltar que, enquanto o percentual de perdas trazido por Agopyan *et al.* (2003) e pela TCPO (2008) resultou de estudos realizados em campo, as previsões feitas pela C. Rolim Engenharia (2011) tomam por base a literatura disponível sobre o assunto.

2.3 Construção Sustentável e Construção Enxuta

Segundo Bae e Kim (2007), a discussão a respeito da relação entre as filosofias *lean* e *green* tem dividido os pesquisadores e estudiosos na área. Como a construção enxuta tem por objetivo gerar valor para o cliente, não necessariamente esta vai resultar em um impacto ambiental positivo. O *lean* pode contribuir para a sustentabilidade apenas se e quando a sustentabilidade agregar valor para o cliente.

Barros Neto, Mourão e Valente (2013) concluíram que a interação entre as filosofias *lean* e *green* nos âmbitos estratégico, tático e operacional apresenta resultados positivos. As práticas relacionadas ao *lean* complementam e auxiliam as práticas sustentáveis e vice-versa, e não só no canteiro de obras. A inclusão das práticas sustentáveis é considerada uma forma de adicionar valor para o cliente, atuando diretamente na estratégia da empresa e mantendo-se consistente aos princípios do pensamento enxuto (BARROS NETO; MOURÃO; VALENTE, 2013). Os princípios da construção enxuta contribuem para objetivos sustentáveis através da eliminação do desperdício material e agregando valor para o cliente, minimizando o desperdício de recursos, a poluição e combinando excelência ambiental e econômica (BAE; KIM, 2007).

Barros Neto *et al.* (2012) analisaram a hipótese de que a construção enxuta pode contribuir mais para edifícios verdes, não só aplicada à construção, mas também nos estágios de concepção e desenvolvimento do projeto. Os autores elaboraram a matriz da Tabela 3 para correlacionar os onze princípios *lean* e os créditos da certificação *LEED for New Construction* e concluíram que, apesar de terem identificado apenas 12,68% das interações possíveis, as duas filosofias podem ser utilizadas de forma complementar. Para eles, “a aplicação em conjunto pode agregar valor ao cliente, otimizar os recursos e proporcionar melhorias ao edifício”.

Tabela 3 - Matriz de relação entre os 11 princípios da construção enxuta e os critérios do LEED for New Construction

LEED X LEAN CONSTRUCTION		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
		Reduce the non-value adding services	Customer Value	Reduce variability	Reduce cycle times	Simplify by minimizing the number of stops	Increase output flexibility	Increase process transparency	Focus control on the complete process	Continuous improvement	Improved flows and conversions	Benchmarking
Sustainable Sites	Construction activity pollution preventions											
	Site selection											
	Development density and community connectivity		x									
	Brownfield redevelopment											
	Alternative transportation			x								
	Site development		x									
	Stormwater design		x									
	Heat island effect		x									
Water Efficiency	Light pollution reduction		x									
	Water use reduction		x							x		
	Water efficient landscaping		x							x		
	Innovative wastewater technologies		x							x		
Energy and Atmosphere	Water use reduction		x							x		
	Fundamental commissioning of building energy systems		x	x						x		
	Minimum energy performance		x									
	Fundamental refrigerant management		x	x						x		
	Optimize energy performance		x							x		
	On-site renewable energy		x									
	Enhanced commissioning		x							x		
	Enhanced refrigerant management		x							x		
Materials and Resources	Measurement and verification		x							x		
	Green power		x							x		
	Storage and collection of recyclables			x								
	Building reuse		x			x						
	Construction waste management			x						x		
	Materials reuse					x						
	Recycled content											
	Regional materials				x							
Indoor Environmental Quality	Rapidly renewable materials											
	Certified wood		x							x		
	Minimum indoor air quality performance		x									
	Environmental tobacco smoke (ETS) control		x									
	Outdoor air delivery monitoring		x							x		
	Increased ventilation		x							x		
	Construction indoor air quality management plan			x						x		
	Low-emitting materials									x		
Innovation in Design	Indoor chemical and pollutant source control		x							x		
	Controllability of systems		x							x		
	Thermal comfort		x							x		
	Daylight and views		x							x		
Regional Priority	Innovation in design									x		
	LEED Accredited Professional			x								
Regional Priority	Regional Priority		x									

Fonte: Barros Neto *et al.* (2012).

Enquanto a sustentabilidade foca na fase de projeto do edifício, a filosofia enxuta foca no processo construtivo. No entanto, limitar o papel da filosofia enxuta apenas no

controle da produção, pode restringir a evolução e o impacto das práticas *lean*. É importante ressaltar ainda que a sustentabilidade leva em conta não só políticas e práticas ambientais, mas econômicas e sociais também (BAE; KIM, 2007).

Yates (2001 *apud* Barros NETO *et al.*, 2012) afirmou que os primeiros impactos positivos da implantação da filosofia enxuta na construção de edifícios verdes seriam percebidos na perspectiva econômica. Já Bae e Kim (2007) observaram que, quando implementadas durante a fase de desenvolvimento do projeto, as práticas *lean* podem reduzir os custos operacionais e proporcionar economia dos recursos, além de uma melhoria no desempenho do projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Etapas da pesquisa

A metodologia para o desenvolvimento do presente trabalho de monografia consistiu, inicialmente, de uma revisão bibliográfica com o objetivo de adquirir o embasamento teórico sobre os princípios básicos da construção enxuta e da construção sustentável, bem como da aplicação conjunta das duas filosofias. Essa primeira etapa se deu através da consulta a livros-texto, artigos, publicações e textos acadêmicos relacionados ao tema.

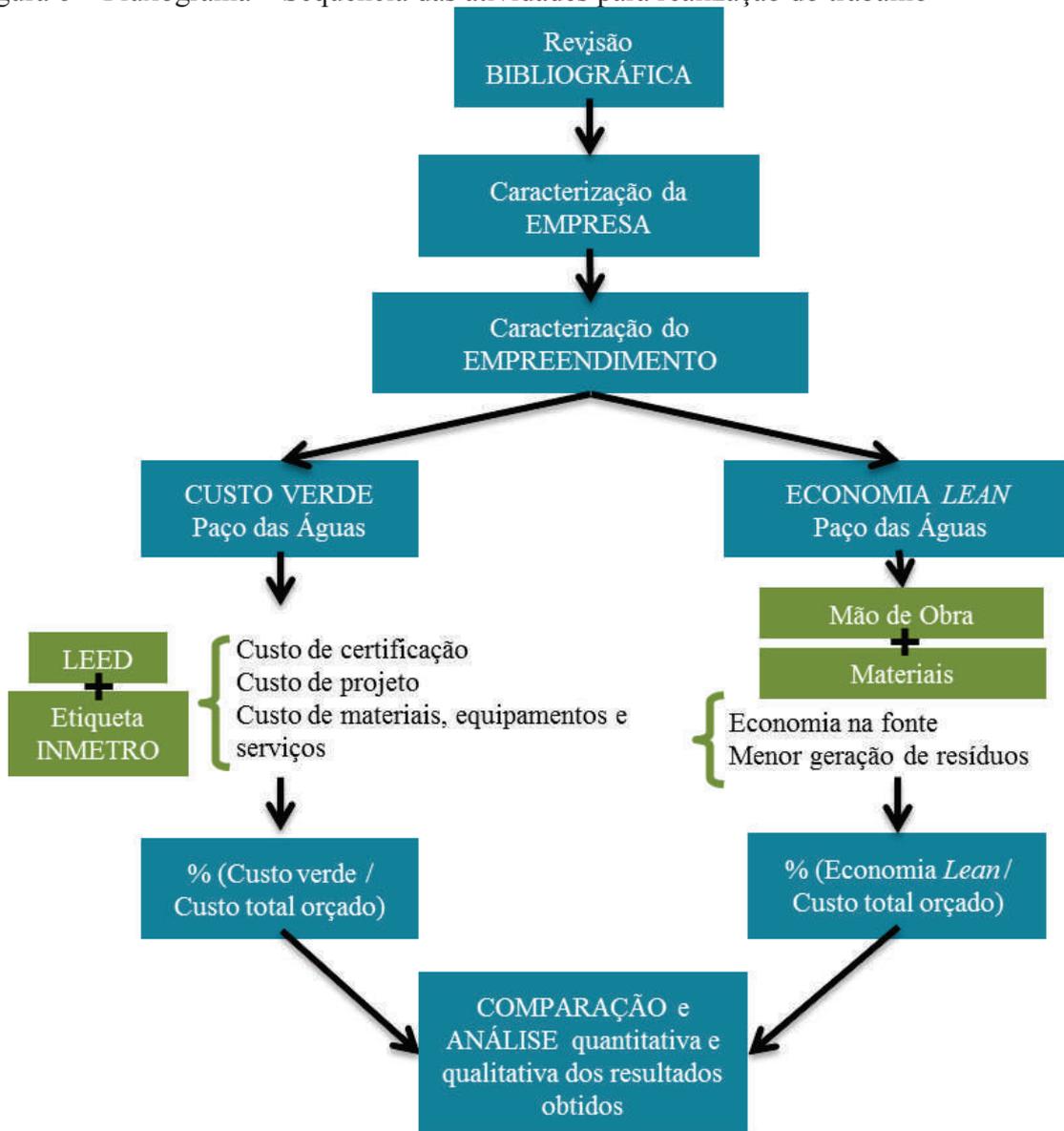
A segunda etapa compreendeu a descrição das partes envolvidas neste estudo de caso, iniciando-se pela caracterização da empresa, com um breve histórico do desenvolvimento interno das filosofias *Lean* e *Green*, e pela caracterização do empreendimento residencial, objeto deste estudo, bem como a justificativa de sua escolha.

A terceira etapa divide-se em determinação do Custo Verde e da Economia *Lean*. Primeiramente, foi determinado o investimento em práticas sustentáveis realizado no empreendimento Paço das Águas necessário para a obtenção da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) for Core&Shell*, e da Etiqueta PBE Edifica/INMETRO Nível A para Áreas de Uso Comum. Esse investimento foi tratado como Custo Verde e foi analisado como um percentual do custo total orçado para o edifício em questão.

Em seguida, ainda na terceira etapa, foram analisadas a composição de alguns serviços quanto à mão de obra e à produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), a partir de registros históricos da empresa e do índice de perdas previsto na determinação do orçamento. O resultado dessa análise, aqui chamada Economia *Lean*, foi expresso como um percentual do custo total orçado.

Uma vez conhecidos os percentuais relacionados às práticas da construção sustentável e da construção enxuta, os resultados foram comparados e analisados quantitativamente e qualitativamente entre si e com outros indicadores, como o Índice de Resíduos e a Matriz de Sustentabilidade, aplicados internamente pela empresa. A Figura 6 traz um fluxograma esquemático da sequência das atividades realizadas para o desenvolvimento desse trabalho de monografia.

Figura 6 – Fluxograma – Sequência das atividades para realização do trabalho



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2 Caracterização do estudo de caso

3.2.1 Caracterização da empresa

A empresa escolhida para o presente estudo de caso é a Construtora C. Rolim Engenharia Ltda., dado que a autora deste trabalho realiza o estágio supervisionado naquela. No APÊNDICE A – Autorização de Divulgação de Dados deste trabalho pode ser encontrada a autorização de divulgação dos dados (imagens e informações) da empresa em estudo.

O primeiro contato dos gestores da construtora com a filosofia enxuta foi em 2004, por meio da participação do I Seminário Internacional sobre Construção Enxuta

(CONENX), em Fortaleza. Uma vez despertado o interesse pelo tema, no mesmo ano, os colaboradores participaram de um módulo de treinamento sobre construção enxuta promovido pelo Programa de Inovação da Indústria da Construção Civil do Estado do Ceará (INOVACON-CE).

Após o aprofundamento dos estudos, com colaboradores capacitados e cientes dos benefícios da filosofia enxuta, foram introduzidas as primeiras ferramentas *lean* nos canteiros de obras, como os *kanbans* de argamassa e o *andon*. Com o passar dos anos, outras ferramentas foram incorporadas aos processos construtivos: cronograma de suprimentos, *kanban* de fluxo de materiais e de estoques, *kanban* de kit de materiais, planta de inventário de materiais para alvenaria e gesso, transporte por *pallets*, supermercados nos almoxarifados, pacotes de produção, painel de materiais, painel de cerâmicas e ferramenta A3.

Em paralelo à incorporação do pensamento enxuto, a C. Rolim Engenharia iniciou o desenvolvimento das práticas sustentáveis. A primeira iniciativa voltada para a sustentabilidade surgiu em 2005, quando a empresa participou de um projeto piloto do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) sobre o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos.

Em 2009, começaram a ser estudadas e implantadas práticas sustentáveis nos empreendimentos lançados pela empresa, desenvolvendo o interesse pela construção sustentável e dando início à busca por certificações ambientais. Escolhido como projeto piloto, o empreendimento Paço das Águas passou pelo processo de certificação LEED na categoria *Core&Shell* e de obtenção da Etiqueta PBE Edifica/INMETRO de Edificação Construída para Áreas de Uso Comum.

Atualmente, as filosofias *lean* e *green* estão incorporadas às atividades e aos processos rotineiros da construtora e não estão restritas apenas aos canteiros de obras. Projetos como o *Lean Office* e o Escritório Verde estão adaptando os princípios dessas filosofias à rotina do escritório de administração central da construtora.

3.2.2 Caracterização do empreendimento

Para este estudo de caso, foi utilizado o empreendimento Paço das Águas, entregue em 2013. Como o estudo consiste na análise de dados atrelados à construção enxuta e à construção sustentável, este edifício é adequado, pois o canteiro de obras deste edifício foi o primeiro da empresa a unir as duas filosofias de forma mais integrada, além de ter sido o

primeiro empreendimento da construtora a pleitear certificações ambientais. As características do edifício pertinentes para esse estudo foram listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características do Edifício Paço das Águas

Localização	Fortaleza – Ceará – Brasil
Data de entrega	Novembro/2013
Público alvo	Classes A e B
Área total do terreno	2.855,88m ²
Descrição dos pavimentos	2 subsolos, 1 pavimento térreo, 1 pavimento mezanino, 21 pavimentos tipo e 1 pavimento cobertura duplex
Número de torres	2 torres fisicamente ligadas
Número de unidades	66 unidades – 3 apartamentos tipo por andar, 1 unidade de 167,12m ² e 2 unidades de 151,14m ²
Área total Construída (AC)	18.964,32m ²
Matriz de Sustentabilidade (MENESES, 2011)	Nota 9,70

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

O Paço das Águas é um empreendimento LEED *Certified*, na categoria *Core&Shell*. O processo de certificação teve início em 2010 e foi concluído alguns meses após a entrega do empreendimento, em 2014. Para cumprir os pré-requisitos e um mínimo de 40 pontos necessário para obtenção da certificação, alguns atributos sustentáveis foram incorporados e/ou adaptados no edifício, os quais são citados abaixo:

- a) instalação de um sistema de lava-rodas no canteiro de obras;
- b) elaboração de um plano de controle de erosão e de sedimentação do solo;
- c) instalação de bicicletário e ganchos para bicicletas nos subsolos;
- d) instalação de sistema de aproveitamento de água da chuva, com tanque de retardo e filtros VF1;
- e) pintura da cobertura do edifício com tinta reflexiva;
- f) instalação de arejador nas torneiras e de regulador de vazão nos chuveiros;
- g) contratação de um agente de comissionamento;
- h) realização de simulação energética;
- i) instalação de um aerogerador;
- j) colocação de lâmpadas e de reatores eficientes e sensores de presença;
- k) instalação de veda porta automático nas portas externas;

- l) compra de portas com madeira certificada pelo *Forest Stewardship Council (FSC)*, uma organização não governamental, sem fins lucrativos, que promove o manejo florestal responsável, reconhecendo através do seu sistema de certificação, o selo FSC, a produção responsável de produtos florestais;
- m) instalação de um sistema de coleta seletiva no condomínio;
- n) identificação dos espaços e sinalização com orientações sobre como utilizar corretamente os recursos do edifício;
- o) realização de simulação de iluminação natural e acesso às vistas externas.

O edifício possui ainda a Etiqueta PBE Edifica/INMETRO de Edificação Construída Nível A para Áreas de Uso Comum, que impactou diretamente nas definições da sauna, de lâmpadas e de luminárias, de bombas, de elevadores entre outros equipamentos elétricos e eletrodomésticos. Da mesma forma que o LEED, para obtenção da etiqueta nível A foi necessário atender a pré-requisitos: os motores elétricos de indução trifásicos instalados são de alto desempenho; e nas garagens sem ventilação natural foi previsto um sistema de ventilação mecânica com controle automatizado de concentração de monóxido de carbono (CO). É importante destacar que o sistema de exaustão dos subsolos está entre as exigências do processo de comissionamento.

Além dos pré-requisitos, para a obtenção da etiqueta nível A, o programa de etiquetagem possui alguns procedimentos para a determinação da eficiência dos sistemas instalados no empreendimento nas áreas comuns de uso frequente e de uso eventual. As áreas comuns de uso frequente abrangem exigências relacionadas às bombas centrífugas, elevadores e iluminação artificial. Já as áreas comuns de uso eventual abrangem também a exigência à iluminação artificial, equipamentos, aquecimento de água e sauna. Para o Paço das Águas foram atendidos os seguintes pontos, além dos pré-requisitos:

- a) uso de lâmpadas e reatores com classificação PBE nível A, sendo que a iluminação externa possui controle automatizado por fotocélulas;
- b) as bombas centrífugas do edifício (bomba de recalque, bomba de cascata, filtro do lago, bomba da piscina, bomba de irrigação, bomba dos *sprinklers* e bomba de drenagem), em sua maioria, possuem classificação PBE nível A;
- c) a demanda específica de energia dos elevadores foi calculada em relação à frequência de uso, tempo médio de viagem, tempo médio parado e tipo de edificação, resultando na classificação nível B;

- d) todos os eletrodomésticos (televisores, refrigeradores, ar condicionados) foram adquiridos com classificação PBE nível A;
- e) o aquecimento da sauna é realizado por equipamento a gás liquefeito de petróleo (GLP) e as paredes e a porta possuem isolamento térmico superior a $0,5\text{m}^2\text{K/W}$, o que conferiu nível A à sauna.

3.3 Custo Verde

Deve-se entender por custo verde como a soma dos investimentos realizados no empreendimento Paço das Águas diretamente relacionados aos atributos sustentáveis incorporados ao projeto e aos custos administrativos devido à certificação ambiental LEED *for Core&Shell* e à Etiqueta PBE Edifica/INMETRO de Projeto e de Edificação Construída. É importante destacar que, por serem consideradas informações estratégicas da empresa, os valores de custo foram tratados exclusivamente na forma percentual.

O objetivo desta etapa é determinar o percentual de gastos adicionados ao custo total da obra do Paço das Águas, orçado definitivamente em 2011, devido aos investimentos em sustentabilidade. Foram identificados três tipos de custos relacionados aos investimentos em sustentabilidade:

- a) custo de certificação: registro e auditoria do projeto, eventuais traduções e consultorias contratadas;
- b) custos de projeto: aditivos por conta das modificações realizadas nos projetos devido às exigências das certificações;
- c) custos de materiais, de equipamentos e de serviços: investimentos em equipamentos, simulações, ensaios e materiais diretamente ligados aos requisitos de certificação. Neste bloco foram levantados os custos dos atributos sustentáveis incorporados ao edifício, listados anteriormente. Práticas sustentáveis que já estivessem incorporadas aos projetos da construtora não foram somadas ao Custo Verde, pois não se configuram como custo adicional para o presente estudo de caso.

Primeiramente, realizou-se um levantamento dos custos diretamente ligados às certificações ambientais. No caso do LEED, foi feita uma análise crédito a crédito, levando-se

em conta suas exigências e seus custos atrelados. No caso da Etiqueta PBE Edifica/INMETRO, o foco maior se deu nos equipamentos adquiridos especificamente para atender ao nível de eficiência energética desejado. Destaca-se que as práticas e os materiais que contribuíram para a obtenção das certificações e já eram incorporados à rotina das obras não foram considerados no levantamento dos custos adicionais. O uso de kits porta-pronta com madeira certificada pelo FSC e o uso de louças de baixo consumo, por exemplo, impactaram diretamente nos pré-requisitos e nos créditos da certificação LEED, no entanto já eram utilizados pela C. Rolim Engenharia em outros empreendimentos.

Foram feitas diversas análises com base nos dados fornecidos pela construtora, A primeira consistiu no cálculo da contribuição de cada tipo de custo (certificação, projeto e materiais, equipamentos e serviços) no estabelecimento do custo verde. Os resultados foram expressos tanto em função dos custos diretamente relacionados ao LEED como dos custos relacionados à etiqueta.

Em seguida, foi feito o detalhamento da composição dos investimentos em práticas sustentáveis que contribuíram para o atendimento aos pré-requisitos e aos créditos da certificação norte-americana. Os gastos foram analisados em relação aos custos com materiais, equipamentos e serviços para as sete categorias de créditos do LEED (Figura 2): Terrenos Sustentáveis, Eficiência Hídrica, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade do Ambiente Interno, Inovação e Processos e Prioridade Regional. Também foram levados em conta os custos administrativos de certificação e os custos de projeto. O mesmo foi feito em relação à Etiqueta PBE Edifica/INMETRO, analisando a composição do investimento quanto aos custos administrativos de certificação, aos custos de projeto e aos custos de materiais, equipamentos e serviços.

Finalmente, uma vez detalhado o Custo Verde por certificação ambiental, foi calculado o percentual correspondente ao investimento realizado em certificações em relação ao custo orçado atualizado pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). Esse percentual foi comparado com os indicadores de Economia *Lean*.

3.4 Economia *Lean*

A empresa tem práticas enxutas incorporadas aos seus processos construtivos há dez anos, o que se tornou uma dificuldade na determinação do impacto dessas práticas no custo final das obras. Uma breve reflexão sobre o desempenho das práticas *lean* ao longo

desse período leva a concluir que houve redução no custo com mão de obra e com materiais, motivo pelo qual optou-se por chamar o indicador de Economia *Lean*. Assim, deve-se entender por Economia *Lean* como a expectativa de redução nos custos de construção pela implantação de ferramentas, práticas e conceitos enxutos nos canteiros de obras. Esse indicador foi analisado em duas perspectivas: em relação à mão de obra, através do número de horas necessárias para a realização de alguns serviços, e em relação aos materiais, através da economia no momento da compra dos insumos e na redução da geração de resíduos.

O maior impacto dos benefícios proporcionados pela construção enxuta deve ser percebido nos serviços onde são observadas as maiores probabilidades de perda ou desperdício, ou seja, naqueles cujos processos são mais artesanais. No entanto, a determinação da influência dessas perdas ou desses desperdícios no orçamento dos empreendimentos com práticas da construção enxuta mostrou-se mais difícil e menos intuitiva do que era esperado.

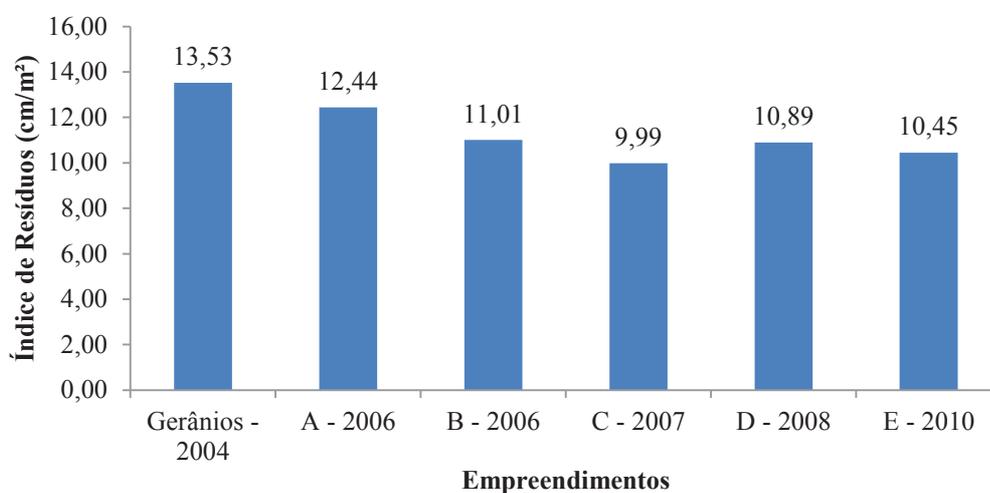
Dentre as dificuldades encontradas, está a quantificação de dados qualitativos acerca da evolução do sistema produtivo, principalmente devido ao longo intervalo de tempo existente entre a primeira obra enxuta até a obra mais recente executada pela construtora. Esse intervalo de tempo compreende não só avanços tecnológicos diretamente relacionados à produção enxuta, mas também à modernização do mercado e das técnicas construtivas, além da variação nos custos de materiais e mão de obra, que não se distribuem de forma homogênea ao longo dos anos, e da mudança dos fornecedores e dos prestadores de serviços.

Para a análise da Economia *Lean* relacionada à mão de obra, as composições de custos contidas na Tabela de Custos 022 (SEINFRA, 2014), sem práticas *lean* e sem práticas *green*, foram comparadas aos pacotes de serviços do planejamento geral de obra do Paço das Águas. Foram selecionados, dentre os pacotes de serviços do pavimento tipo do empreendimento, os pacotes de alvenaria, de piso e de revestimento de parede descritos no Planejamento Geral da Obra (PGO) do Paço das Águas, pois correspondem às atividades com maior repetição durante o processo construtivo com maior possibilidade de ocorrência de perdas, seja por espera de material, como pela necessidade de retrabalho.

Para a análise da Economia *Lean* relacionada aos materiais, foram utilizados dados históricos da produção de resíduos nos canteiros de obras da C. Rolim Engenharia. Esses dados históricos correspondem aos registros de um indicador monitorado pelas obras desde os primeiros contatos com a filosofia enxuta, o Índice de Resíduos, que consiste em uma camada imaginária de resíduos, com altura em centímetros, calculada pela relação entre o volume de resíduos gerados e a área total construída do empreendimento.

A Figura 7 traz o registro histórico desse indicador, cuja meta da empresa é chegar a 9cm/m². Como o edifício Gerânios, entregue em 2004, já estava em construção quando os colaboradores da empresa tiveram o primeiro contato com a filosofia *lean*, esse empreendimento é o marco temporal que simboliza o início da implantação das práticas enxutas nos canteiros de obras da construtora. Os dados do gráfico da figura a seguir encontram-se em ordem cronológica e as obras identificadas por A, B, C, D e E representam a evolução do Índice de Resíduos entre a entrega do edifício Gerânios e o início da obra do Paço das Águas.

Figura 7 – Indicador de gerenciamento de resíduos - C. Rolim Engenharia



Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

O acompanhamento dos resíduos é feito constantemente pela gerência da obra e pelo setor responsável pela consolidação das práticas *lean* na empresa. A determinação do indicador é simples: registra-se o tipo de resíduo, o volume e a destinação final disponível em cada manifesto de transporte (documento que homologa a saída das caçambas estacionárias do canteiro de obras para a destinação final dos resíduos) e, a partir dessas informações, calcula-se o volume de resíduo gerado por tipo e o volume total, dividindo este último valor pela área total construída. O resultado final é expresso em centímetros.

Para facilitar o controle interno, a classificação dos resíduos recomendada pela Resolução do CONAMA nº307/2002 foi adaptada às necessidades da construtora, de forma que os resíduos são separados em Classe A, Escavação, Classe B, Classe D, Não Segregado e Orgânico. Dependendo da fase da obra, a madeira e o gesso são tratados separadamente dos demais resíduos Classe B. É importante ressaltar que para o cálculo do Índice de Resíduos, os resíduos de escavação e os resíduos orgânicos não são contabilizados.

O fluxograma da Figura 8 ilustra a sequência de ações realizadas para a obtenção da Economia *Lean* em relação aos materiais. Inicialmente foram resgatados os dados referentes ao RCD do empreendimento Paço das Águas e foi calculado seu Índice de Resíduos, fazendo-se uma comparação direta com índice do edifício Gerânios para determinar o percentual de redução da geração de resíduos existente entre os dois empreendimentos. Em paralelo, fez-se uma breve análise da evolução do indicador com o passar dos anos à medida que as práticas enxutas implementadas foram absorvidas pelo processo produtivo e completamente incorporadas à rotina nos canteiros de obras da empresa.

Figura 8 - Fluxograma das ações para determinação da Economia *Lean*



Fonte: Elaborada pela autora.

Em seguida, assumiu-se que a variação relacionada à quantidade de resíduos produzida pelo canteiro de obras é diretamente proporcional à variação no custo com o transporte destes para a destinação final. Uma vez conhecido o percentual do custo total orçado da obra correspondente à gestão dos resíduos, determinou-se a redução no custo

devido à Economia *Lean* relacionada ao transporte de RCD, na Figura 8 foi chamada de “Economia *Lean* (1)”.

Como a produção de resíduos está diretamente ligada ao consumo dos materiais, quantificou-se a redução das perdas de material a partir do índice de perdas contemplado no orçamento do empreendimento. A partir da curva ABC de insumos da obra, foram excluídos insumos relacionados à administração da obra, às instalações hidrossanitárias, às instalações elétricas e aos equipamentos (elevadores, bombas, entre outros), de forma que apenas os materiais suscetíveis ao desperdício fossem analisados. Essa nova lista foi organizada seguindo o Princípio de Pareto, analisando-se apenas os materiais que correspondessem a 80% do custo, etapa correspondente ao quinto passo do fluxograma da Figura 8.

Para determinação da redução do desperdício de materiais, foram utilizados os valores de perdas listados na Tabela 2 – Índices de perdas de materiais da construção civil, que consistem dos percentuais de perdas previstas adotados pela C. Rolim Engenharia (2011) no processo de quantificação dos insumos, dos resultados de um estudo conduzido por Agopyan *et al.* (2003) e dos percentuais sugeridos pela tabela TCPO (2008) para orçamentação de obras. Além dos índices de perdas, são conhecidos os percentuais correspondentes de cada insumo em relação ao custo total com materiais e o percentual acumulado (que varia entre 0 e 80%).

A partir desses dados, foi obtida a redução nas perdas de cada insumo, tomada como proporcional à redução da produção de resíduos do Paço das Águas em relação ao edifício Gerânios, determinada anteriormente. Esse cálculo foi realizado tanto para os índices da própria construtora como para os índices de Agopyan *et al.* (2003) e da TCPO (2008). Como a redução nas perdas de cada insumo é proporcional à redução no seu custo, calculou-se a redução no custo com cada material e o somatório desses valores resultou no percentual de redução no custo com os materiais, representado na Figura 8 por “Economia *Lean* (2)”. Somando-se a economia dos gastos com o transporte de resíduos e a redução do custo com materiais, obteve-se o valor final do parâmetro Economia *Lean*.

Para ilustrar tal raciocínio, a Tabela 5 traz um exemplo do cálculo realizado para a determinação do impacto na compra de materiais devido à redução na produção de resíduos. São comprados 100m² de placa cerâmica para o revestimento de um edifício, incluindo um índice de perdas de 10%. O custo da cerâmica corresponde a 15% do custo com materiais. Supondo uma redução na produção de resíduos de 10%, haverá uma redução de 1% nas perdas, o que representa 0,15% de redução no custo total com materiais para a obra.

Tabela 5 – Exemplo de cálculo da redução no custo com materiais

Material	(m ²)	%Custo com materiais (1)	%Previsto de perdas (2)	%Redução de resíduo (3)	Redução nas perdas (4) = (2)x(3)	Redução no custo com materiais (1)x(4)
Placa Cerâmica	100	15%	10%	10%	1%	0,15%

Fonte: Elaborada pela autora.

3.5 Análise e discussão dos indicadores

Uma vez determinados os parâmetros Custo Verde e Economia *Lean*, foi realizada uma análise comparativa entre os percentuais obtidos, verificando se houve alguma compensação dos investimentos realizados nos atributos sustentáveis necessários para a obtenção das certificações ambientais citadas a partir da redução com desperdícios de materiais proporcionada pela aplicação das ferramentas de construção enxuta. Os resultados foram ainda analisados e discutidos com base nos dados disponíveis na literatura e justificados a partir da experiência adquirida pela empresa com a evolução da construção enxuta e da construção sustentável, internamente mensuradas a partir do Índice de Resíduos, já mencionado, e da Matriz de Sustentabilidade (MENESES, 2011), respectivamente. A Matriz de Sustentabilidade, definida por Meneses (2011), classificou os empreendimentos da C. Rolim Engenharia quanto à presença de itens frequentemente solicitados nas diversas certificações ambientais de edificações.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Custo Verde

As Tabelas de 6 a 8 listam os percentuais relativos aos custos acrescentados ao orçamento inicial do empreendimento Paço das Águas devido aos atributos sustentáveis incorporados ao edifício para atender aos requisitos necessários para obtenção da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e atender às exigências da Etiqueta PBE Edifica/INMETRO de Projeto e de Edificação Construída para as áreas comuns. Para enriquecer a análise dos resultados, os custos relativos ao LEED foram apresentados em função das sete categorias de pré-requisitos e créditos disponíveis: Terrenos Sustentáveis (*Sustainable Sites – SS*), Eficiência Hídrica (*Water Efficiency – WE*), Energia e Atmosfera (*Energy and Atmosphere – EA*), Materiais e Recursos (*Materials and Resources – MR*), Qualidade do Ambiente Interno (*Indoor Environment Quality – IEQ*), Inovação e Processos (*Innovation in Design – ID*) e Prioridade Regional (*Regional Priority - RP*).

Os investimentos foram divididos em custos de certificação, custos de projeto e custos de materiais, de equipamentos e de serviços, respectivamente, para cada certificação ambiental e foram analisados como percentuais do Custo Verde. Os custos abordados nesse estudo, como mencionado, não incluem certas práticas sustentáveis já implementadas pela empresa em seus canteiros de obras, além de custos com os colaboradores responsáveis pelo processo de certificação.

Tabela 6 – Custos de certificação do Paço das Águas (em percentual)

Custos de Certificação	%Custo Verde	%Custo Total
Processo de pré-certificação e certificação LEED	11,58	0,15
Processo de etiquetagem – PBE Edifica/INMETRO	4,41	0,06
Total - Custos de Certificação	15,99	0,21

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Tabela 7 – Custos de projeto do Paço das Águas (em percentual)

Custos de Projeto	%Custo Verde	%Custo Total
Aditivo de projetos - LEED	2,04	0,03
Aditivo de projetos – PBE Edifica/INMETRO	0,00	0,00
Total - Custos de Projeto	2,04	0,03

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Tabela 8 – Custos de materiais, de equipamentos e de serviços do Paço das Águas (em percentual)

Custos de Materiais, de Equipamentos e de Serviços	%Custo Verde	%Custo Total
Processo de pré-certificação e certificação LEED		
SS Terrenos Sustentáveis	3,61	0,05
WE Eficiência Hídrica	1,66	0,02
EA Energia e Atmosfera	28,53	0,38
MR Materiais e Recursos	1,78	0,02
IEQ Qualidade do Ambiente Interno	9,20	0,12
Itens comuns – LEED e PBE Edifica/INMETRO		
EA Energia e Atmosfera	3,04	0,04
IEQ Qualidade do Ambiente Interno	22,67	0,30
Processo de etiquetagem – PBE Edifica/INMETRO		
Bombas e equipamentos	11,49	0,15
Total - Custos de Materiais, de Equipamentos e de Serviços	81,97	1,09

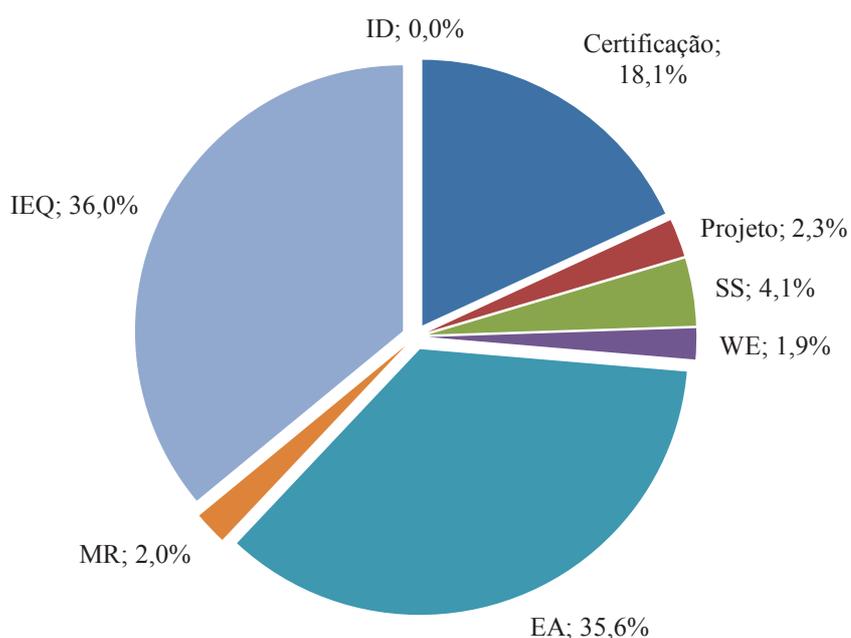
Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que os custos de certificação do Paço das Águas corresponderam a 15,99% do total investido em sustentabilidade, equivalente a 0,21% do custo total da obra, sendo 11,58% relacionado aos custos de certificação do LEED e 4,41%, aos custos de etiquetagem. Como a decisão de buscar essas certificações foi tomada após a concepção do edifício, esperava-se que os projetos sofressem diversas modificações, principalmente para seguir às normas norte-americanas referenciadas pelo LEED. No entanto, a expectativa não se confirmou e foi necessário incluir apenas um projeto de exaustão dos subsolos e adequar os projetos de instalações elétricas de forma a garantir o nível de eficiência energética exigido pelo LEED, que colaborou para a obtenção da Etiqueta PBE Edifica/INMETRO nível A. Esses aditivos de projeto representaram apenas 2,04% do Custo Verde, equivalente a 0,03% do custo total, como exposto na Tabela 7, e foram atribuídas aos custos de projeto relativos ao LEED. Os custos relacionados aos materiais, equipamentos e serviços adquiridos corresponderam a maior parcela do Custo Verde, 81,97%, como apresentado na Tabela 8.

O gráfico da Figura 9 traz o impacto de cada categoria de créditos do LEED nos custos de materiais, equipamentos e serviços e dos custos de certificação e de projeto no custo total investido na certificação do Paço das Águas. Observa-se que os maiores investimentos estão concentrados na categoria de Qualidade do Ambiente Interno (IEQ), representando 36,0%, principalmente devido ao sistema de exaustão e de ventilação mecânica instalado nos

subsolos e nos ambientes com ar condicionados; e na categoria Energia e Atmosfera (EA), que possui maior número de pontos disponíveis e representou 35,6% dos custos do LEED, devido aos investimentos em comissionamento e em energias renováveis, a partir da instalação de um aerogerador no próprio edifício e a aquisição de certificados de energia renovável. Essas duas categorias somam mais de 70% do custo investido na certificação.

Figura 9 – Composição dos investimentos na certificação LEED – Paço das Águas



Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Observou-se ainda no gráfico da Figura 9, que as categorias Eficiência Hídrica (WE), 1,9%, Materiais e Recursos (MR), 2,0%, e Terrenos Sustentáveis (SS), 4,1%, apresentaram o menor impacto no custo da certificação. Somando-as aos aditivos de projeto, 2,3%, correspondem à menor parcela de investimento, totalizando pouco mais de 10%. É importante destacar que a categoria Terrenos Sustentáveis, responsável por apenas 4,1% do custo com a certificação, é a segunda categoria com mais pontos disponíveis, sendo essencial para a determinação do nível da certificação. Os créditos da categoria Inovação e Processos (ID) não demandaram investimentos adicionais. Já o custo de certificação, diretamente impactado pela área total construída do empreendimento, corresponde a 18,1% do investimento total na certificação LEED.

A composição do custo do processo de etiquetagem resultou em 27,8% dos investimentos correspondentes aos custos de certificação e 72,2% correspondentes aos gastos

com materiais, equipamentos e serviços, em especial devido à compra de bombas mais eficientes em detrimento das bombas convencionalmente adquiridas. Como esperado, o investimento em equipamentos corresponde à maior fatia da composição dos custos, totalizando pouco mais de 2/3, enquanto o restante está relacionado aos gastos administrativos para a obtenção das etiquetas de projeto e de edificação construída.

Finalmente, analisou-se o impacto do Custo Verde no orçamento inicial do Paço das Águas. Como o orçamento tem como data base julho de 2011, o valor foi atualizado pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) para outubro de 2013, quando os principais custos de equipamentos e serviços foram faturados. Os investimentos na certificação LEED correspondem a um acréscimo de 1,11% no custo total do empreendimento e os investimentos na etiquetagem pelo Procel correspondem a um acréscimo de 0,56%. No entanto, como alguns itens são comuns aos dois processos de certificação, o investimento total em certificações ambientais no Paço das Águas resultou em uma adição de 1,32% no custo total da obra (custos diretos e indiretos), o que representa um acréscimo de aproximadamente R\$40,00 por metro quadrado de área construída privativa.

4.2 Economia *Lean*

Para a determinação da Economia *Lean* relacionada à mão de obra, após algumas tentativas de análise do custo de insumos de obras anteriores à implantação da filosofia *lean* e de obras após a implantação da filosofia *lean*, verificou-se que os dados disponíveis não poderiam ser comparados diretamente. Para relacionar dois ou mais empreendimentos de forma a obter uma análise fidedigna e confiável, seria necessário atender a alguns critérios de semelhança como, por exemplo, padrão de acabamento, área total construída, área privativa de cada unidade e método construtivo, que permitissem a comparação direta entre eles.

Além disso, a verificação da economia em relação à mão de obra a partir da comparação de obras entregues antes e depois da implantação do *lean* foi dificultada pelo longo intervalo de tempo entre elas. Dentre as incompatibilidades identificadas, além da modernização do mercado e das novas exigências dos clientes em potencial que influenciaram no projeto arquitetônico e dos itens incorporados ao empreendimento, estão principalmente as mudanças nos processos construtivos proporcionadas pela utilização da filosofia enxuta. Essas mudanças incluem a substituição das paredes internas em alvenaria de tijolo cerâmico por

blocos de gesso e do concreto dosado no canteiro pelo usinado, além da incorporação de inúmeros serviços, antes terceirizados, pela construtora.

Ao comparar os pacotes de serviço da própria construtora com as composições orçamentárias propostas pela Tabela de Custos 022 da Secretaria de Infraestrutura do Governo do Estado do Ceará (Seinfra), percebeu-se que, para permitir a comparação, diversas simplificações deveriam ser adotadas, limitando a análise para itens que correspondiam apenas a 5% do custo total da obra. No entanto, mesmo com as limitações impostas, a análise da Economia *Lean* em relação à mão de obra foi inviabilizada devido à falta de precisão das comparações entre os custos com mão de obra orçados para serviços dos pacotes de alvenaria, piso e revestimento de parede. Essa restrição explica-se, em parte, pelas discrepâncias entre os serviços e os pacotes adotados pela C. Rolim Engenharia e as composições disponibilizadas pela Seinfra.

Para a determinação da Economia *Lean* relacionada aos materiais, como citado no capítulo Materiais e Métodos, optou-se por analisar a produção de resíduos durante a obra do Paço das Águas em relação ao edifício Gerânios, último empreendimento entregue antes da aplicação da filosofia enxuta nos canteiros da C. Rolim Engenharia. Primeiramente, foram levantados os dados históricos da produção de resíduos nas obras da construtora e em seguida, os dados acerca da produção de resíduos do edifício deste estudo de caso, apresentados na Tabela 9. O Paço das Águas, com área total construída igual a 18.964,32m², alcançou um Índice de Resíduos igual a 10,93cm/m².

Tabela 9 – Índice de Resíduos - Paço das Águas

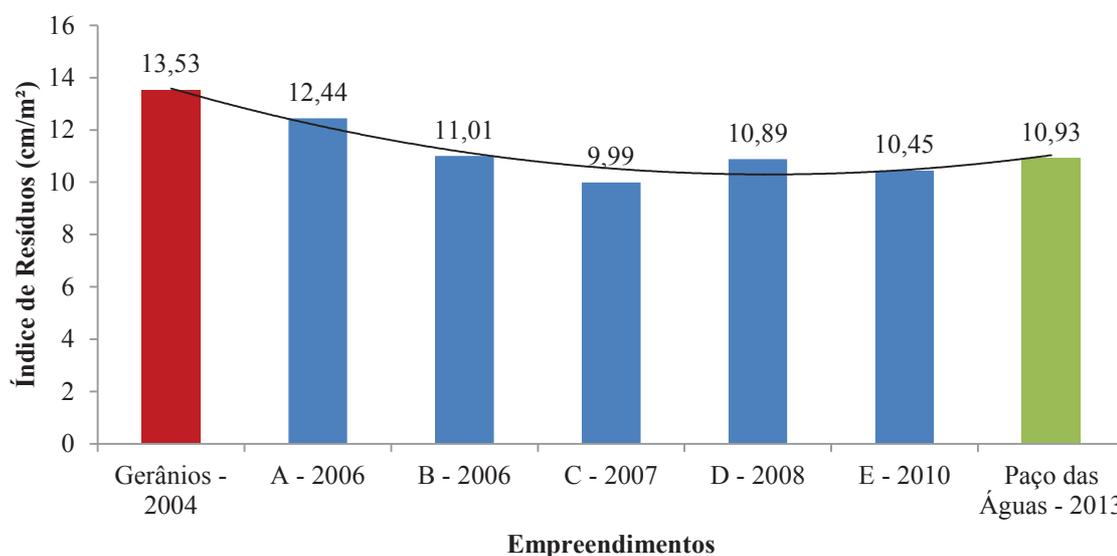
Área Construída	18.964,32m²	
Tipo de Resíduo	m³	cm/m²
Classe A	1.692,06	8,92
Classe B - Outros	120,96	0,64
Classe B - Gesso	259,09	1,37
Índice de Resíduos (cm/m²)	2.072,11	10,93

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Foram incluídos os dados de resíduos dos empreendimentos mais recentes no gráfico da Figura 7 – Indicador de gerenciamento de resíduos - C. Rolim Engenharia, resultando no gráfico da Figura 10, onde estão destacados o edifício Gerânios, que marca o início da implantação do *lean* na C. Rolim Engenharia, e o edifício Paço das Águas, objeto principal desse estudo. Uma análise detalhada dos dados presentes neste gráfico permite identificar a variação do Índice de Resíduos com o passar dos anos. Primeiramente, observa-se pelo comportamento da linha de tendência polinomial do 2º grau que houve uma redução

inicial acentuada na geração de resíduos: de 13,53cm/m² para 12,44cm/m², aproximadamente 8%, entre o Gerânios e o edifício A, seguida de uma nova redução, de 12,44cm/m² para 11,01cm/m², aproximadamente 11,5%, entre os edifícios A e B. Entre o Gerânios e o edifício B, observa-se uma diminuição de quase 19%. O edifício C foi o que mais se aproximou da meta de 9,00cm/m² estabelecida pela construtora, com um índice igual a 9,99cm/m² e do edifício D em diante, observa-se certa estabilização, justificada pelo amadurecimento das práticas e consolidação da filosofia enxuta nos canteiros de obras da construtora.

Figura 10 – Gráfico atualizado do Índice de Resíduos (em cm/m²) - C. Rolim Engenharia



Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Comparando-se o Paço das Águas com o Gerânios, observa-se uma redução de 13,53cm/m² em uma obra sem *lean*, para 10,93cm/m², em uma obra com quase dez anos de aprendizado e melhorias contínuas no processo construtivo, o que representa uma redução de 19,24% no índice de resíduos. Em relação aos empreendimentos D e E, o Paço das Águas apresentou uma variação de 0,37% e 4,59%, respectivamente. Comparando esses percentuais com as reduções observadas no início da implantação das práticas enxutas, observa-se que as variações mais atuais são bem mais reduzidas e, portanto, pode-se identificar uma tendência do indicador se manter entre 10,50cm/m² e 11,00cm/m², que se explica tanto pela consolidação da filosofia enxuta nos processos da construtora, como por uma barreira tecnológica e executiva em relação às práticas construtivas.

Sabendo que o custo com o transporte e a destinação final dos resíduos corresponde a apenas 0,33% do custo total da obra do Paço das Águas (Tabela 10), é possível calcular o impacto da redução na produção de resíduos no custo total de construção.

Utilizando a previsão de perdas da Tabela 2 – Índices de perdas de materiais da construção civil, foram calculados os percentuais de redução para os materiais, exceto as instalações elétricas, as hidrossanitárias e os equipamentos. A planilha de cálculo com o comparativo completo entre os índices de perdas adotados pela C. Rolim Engenharia (2011), obtidos pelo projeto desenvolvido por Agopyan *et al.* (2003) e pela TCPO 13 (2008), para os insumos cujo custo corresponde a 80% dos gastos com materiais, encontra-se no APÊNDICE B – Cálculo da redução do custo com materiais. As Tabelas 10 e 11 resumem os resultados. Como a data base do orçamento do Paço das Águas é julho de 2011, o custo direto de construção e o custo total foram atualizados pelo INCC para outubro de 2013.

Tabela 10 – Participação do transporte de resíduos no custo total e no custo direto de construção – Paço das Águas

%Custo direto de construção / Custo total	60,50
%Custo com materiais / Custo total	31,23
%Custo com materiais / Custo direto de construção	51,61
%Custo com resíduos / Custo total	0,33
%Custo com resíduos / Custo direto de construção	0,54
%Redução do custo com resíduos	-0,06

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Tabela 11 – Redução no custo com materiais e comparação com o Custo Verde – Paço das Águas

	Materiais	Materiais + Resíduos	%Custo Verde
C. Rolim Engenharia (2011)			
%Redução Materiais / Custo total	-0,13	-0,19	14,35
TCPO 13 (2008)			
%Redução Materiais / Custo total	-0,23	-0,30	22,30
Agopyan <i>et al.</i> (2003)			
%Redução Materiais / Custo total	-0,31	-0,38	28,49

Fonte: Dados disponibilizados pela C. Rolim Engenharia.

Os custos diretos de construção representam 60,50% do custo total da obra, enquanto os custos com materiais correspondem a 31,23% do custo total e 51,61% do custo direto de construção (Tabela 10). Como o custo com resíduos corresponde a 0,33% do custo total de construção, devido à redução de 19,24% na produção de resíduos durante o período de obras do edifício Paço das Águas em relação ao edifício Gerânios, houve uma economia de 0,06% sobre o custo total orçado devido à economia com transporte de resíduos do canteiro para a destinação final (usina de reciclagem ou aterro sanitário).

Conforme os dados apresentados nas Tabelas do APÊNDICE B – Cálculo da redução do custo com materiais e na Tabela 11, para os índices de perdas adotados no processo de orçamentação de obras da própria construtora, houve uma redução de 0,13% no custo com materiais, totalizando uma Economia *Lean* de 0,19%, que representa 14,45% do Custo Verde obtido anteriormente. Em relação às perdas previstas pela TCPO (2008), a redução final chegou a 0,30%, que corresponde a uma compensação de 22,30% do Custo Verde investido em certificações. Finalmente, em relação aos índices de perdas calculados por Agopyan *et al.* (2003), a redução do custo total chegou a 0,38%, compensando 28,49% dos investimentos em sustentabilidade do empreendimento.

4.3 Análise e discussão dos indicadores

Apesar da redução do custo com os resíduos e na compra de materiais ter sido pouco representativa em relação ao custo total do empreendimento, apenas 0,19% do custo total, em torno de 14% do investimento em certificações ambientais foi compensado por essa economia. Analisando os índices de perdas encontrados da TCPO 13 (2008) e do estudo de Agopyan *et al.* (2003), observou-se que a C. Rolim Engenharia prevê desperdícios bastante reduzidos em seus orçamentos, fruto da implementação do pensamento enxuto nos seus processos. Agopyan *et al.* (2003) afirmam que observaram uma grande variação nos percentuais de perdas nas obras analisadas no desenvolvimento do projeto. Dessa forma, para um resultado mais preciso, seria necessário conhecer o índice de perdas da própria C. Rolim Engenharia, através de um estudo similar ao realizado por Agopyan *et al.* (2003) em campo.

Além disso, tal redução está relacionada apenas aos materiais e resíduos, uma análise mais abrangente tende a retornar percentuais de Economia *Lean* superiores. Destaca-se que neste estudo não foram levados em consideração os custos com os colaboradores internos responsáveis pela gestão das práticas *lean* na empresa, bem como custos de implementação da construção enxuta. É importante ressaltar que não foram localizados estudos na literatura disponível sobre construção enxuta que fizessem referência a análises quantitativas do impacto das práticas enxutas no custo final de um empreendimento, apenas análises qualitativas que trazem a impressão dos empreiteiros e construtores de que há uma redução no custo final das obras, como é o caso do estudo desenvolvido pela McGraw Hill Construction em 2013. Portanto, a ausência de dados para comparação confere aos resultados

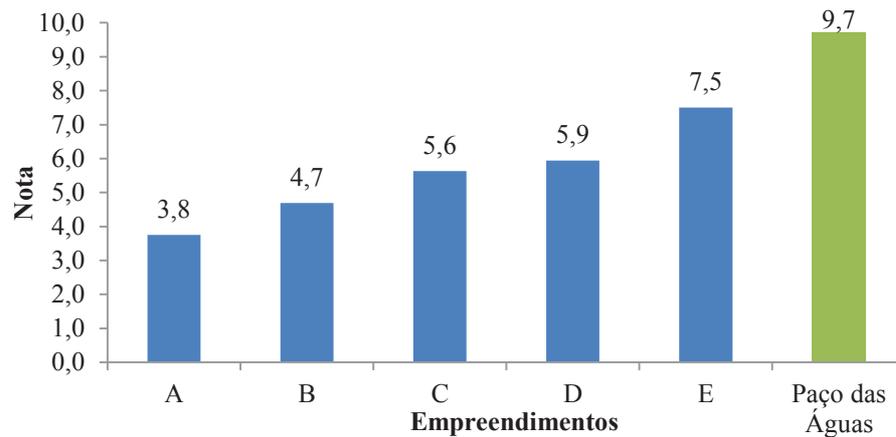
atingidos uma primeira impressão sobre impacto financeiro do *lean* no orçamento final de um empreendimento residencial.

No entanto, para um empreendimento sustentável, o fato deste ter gerado um volume total de RCD 20% menor em comparação a um empreendimento sem nenhuma preocupação com melhoria dos processos, representa um grande ganho na perspectiva ambiental. Além disso, o custo adicionado ao orçamento inicial do edifício devido às certificações no empreendimento Paço das Águas, 1,32%, ficou aproximadamente 18% abaixo da média identificada na pesquisa conduzida pelo World GBC (KATS; BRAMAN; JAMES, 2010), a partir de uma compilação de múltiplos estudos sobre os resultados financeiros dos investimentos em *green building*, que para incorporadores experientes, atingiu um valor mínimo de 1,60%. Se apenas os investimentos na certificação LEED forem levados em conta, como no estudo apresentado por Kats, Braman e James (2010), o valor mínimo de 1,60% relatado pelo estudo é 44% superior aos custos de materiais, equipamentos e serviços, de certificação e de projeto do Paço das Águas, que resultou em um acréscimo de apenas 1,11%.

O acréscimo de 1,32% representa um custo adicional de menos de R\$40,00 por metro quadrado de área construída privativa. Dado que os maiores benefícios de um edifício verde são percebidos após sua ocupação, principalmente devido à economia de água e de energia, além do conforto proporcionado por ambientes bem iluminados e ventilados, o custo adicionado no preço de venda tende a ser rapidamente recuperado pelo proprietário por conta da redução no custo da operação do edifício.

A Figura 11 traz as notas referentes à compilação de indicadores de sustentabilidades propostos pela Matriz de Sustentabilidade da C. Rolim Engenharia, desenvolvida por Meneses (2011). A matriz contém 20 indicadores de sustentabilidade referentes à implantação, à concepção, aos materiais, à execução e ao uso e operação dos edifícios e tem por objetivo avaliar todos os empreendimentos da construtora quanto às práticas sustentáveis incorporadas, conferindo uma nota de 0 a 10. No gráfico da Figura 11 estão os mesmos empreendimentos avaliados em relação ao Índice de Resíduos, com exceção do edifício Gerânios, que não fez parte do estudo conduzido por Meneses (2011).

Figura 11 – Nota dos empreendimentos - Matriz de Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Meneses (2011).

Observa-se que do edifício A para o Paço das Águas houve um aumento gradativo na nota dos empreendimentos, justificado tanto pelo amadurecimento e consolidação das práticas enxutas, principalmente relacionadas ao atendimento das expectativas dos clientes quanto ao valor agregado e à qualidade do produto final, como pelo maior interesse em reduzir os impactos ambientais das construções. O empreendimento A, por exemplo, apresentou um Índice de Resíduos de 12,44cm/m² e na Matriz de Sustentabilidade obteve nota 3,8. Já o Paço das Águas, cujo Índice de Resíduos ficou em 10,93cm/m², 12% inferior ao índice de A, obteve nota 9,7, mais de 2,5 vezes maior que a nota do edifício A.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho foram comparados os investimentos realizados em sustentabilidade e a economia proporcionada pela redução na produção de resíduos devido às práticas enxutas inseridas na rotina do canteiro de obras. O Custo Verde somou os gastos com a certificação ambiental *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e a etiqueta PBE Edifica/INMETRO totalizando 1,32% do custo total da obra. Já a Economia *Lean* em relação aos materiais, mensurada a partir da redução da geração de resíduos e da diminuição das perdas de materiais no canteiro de obras, representou uma redução de 0,19% no custo total da obra. Comparando-se os dois percentuais, observa-se que 14% dos investimentos em sustentabilidade foram compensados pela redução dos custos proporcionadas pela construção enxuta.

No entanto, destaca-se que o estudo apresenta condições bastante específicas, restringindo-se à avaliação de um empreendimento residencial multifamiliar cuja construtora apresenta iniciativas diferenciadas e aplica ferramentas *lean* em seus canteiros de obras há uma década, de forma que a empresa já passou pela etapa de aprendizado e os conceitos foram amadurecidos e aperfeiçoados ao longo dos anos e foram incorporados aos processos construtivos. Destaca-se ainda que os investimentos realizados na implementação das práticas enxutas (treinamento, formação, aquisição de equipamentos e ferramentas) não foram contabilizados, assim como eventuais custos de manutenção dessas práticas, seja em relação à materiais e equipamentos ou em relação aos colaboradores responsáveis pela gestão da construção enxuta na empresa.

A experiência da empresa ao longo dos dez anos de aplicação e aprimoramento das práticas enxutas no canteiro de obras identificou uma tendência de redução nos custos de seus empreendimentos da ordem de 4%, o que compensaria os investimentos realizados em sustentabilidade no empreendimento Paço das Águas. Como presente trabalho consiste do primeiro estudo interno formalizado sobre a Economia *Lean*, com base nessa impressão espera-se que a economia real proporcionada pela construção enxuta atinja percentuais superiores.

É preciso destacar ainda que esta monografia restringiu-se a análise da redução dos desperdícios ligados aos materiais e tomou por base índices teóricos de perda. Essa restrição se justifica, pois uma extensa busca realizada na literatura disponível a respeito da construção enxuta mostrou que ainda não existem registros sobre o seu impacto no custo final de uma obra. A partir da tentativa da determinação da Economia *Lean* proporcionada pela

mão de obra concluiu-se que um estudo detalhado sobre os impactos da filosofia *lean* no custo envolve variáveis complexas cuja quantificação tornou-se inviável neste trabalho de monografia, como é o caso da avaliação do ganho de produtividade, das variações de estoque de materiais, do tempo de espera e do tempo gasto com transporte, da diminuição de perdas devido ao retrabalho, da variação do número de operários em um canteiro de obras enxuto em relação a um canteiro convencional, entre outras.

Quanto ao Custo Verde, destaca-se que o acréscimo total de 1,32% está abaixo da média dos investimentos realizados em sustentabilidade relatada pela literatura disponível (MATTHIESSEN; MORRIS, 2004; JACOMIT; GRANJA; SILVA, 2009; KATS; BRAMAN; JAMES, 2010; SILVA, 2013), também escassa quando se trata de edifícios residenciais. Segundo Matthiessen e Morris (2004), não existe uma solução única para a questão dos custos verdes, uma vez que cada empresa tem diferentes processos incorporados à sua rotina construtiva. O resultado obtido é reflexo dos processos construtivos adotados pela C. Rolim Engenharia, portanto esse resultado deve ser analisado levando em consideração a interação entre as duas filosofias e as iniciativas sustentáveis já implantadas pela construtora em outros empreendimentos, não contabilizadas neste trabalho.

Tendo em vista as limitações e dificuldades apresentadas, são sugeridos os seguintes estudos futuros:

- a) Repetir a análise de Custo Verde apresentada para outros empreendimentos residenciais ou não e de outras empresas, com nível de certificação distinto e/ou outras certificações ambientais, como por exemplo, o Processo AQUA;
- b) Determinar o impacto da economia de água e energia no custo operacional de edifícios sustentáveis e calcular o tempo de retorno do investimento necessário para a sua construção;
- c) Realizar o levantamento dos índices reais de perdas dos canteiros de obras aplicados à realidade das construtoras cearenses;
- d) Determinar os custos de implementação da filosofia enxuta nos canteiros de obras devido ao investimento em formação e treinamento dos colaboradores, em equipamentos, materiais e serviços;
- e) Verificar a redução de custos proporcionados pela construção enxuta em relação à mão de obra pela redução de efetivo no canteiro de obras, redução do número de horas trabalhadas e/ou ganho de produtividade das equipes.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Coletânea Habitare, vol.2. Porto Alegre: Antac, 2003.

AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO (ABRAMAT). **Perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais e equipamentos**. 2013. Disponível em: <<http://www.abramat.org.br/site/datafiles/uploads/Perfil%20Cadeia%20Produtiva%202013%20vfinal.pdf>>. Acesso em: 24/11/2013.

BAE, J.W.; KIM, Y.W.; **Sustainable Value On Construction Project And Application Of Lean Construction Methods**. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. 2007, Michigan. Disponível em: <<http://iglc.net/conference-papers/iglc-15-michigan/>>. Acesso em: 27/02/2014.

BARROS NETO, J.P.; CAMPOS, I.B.; CARNEIRO, S.B.M.; OLIVEIRA, D.M.; **Lean And Green: A Relationship Matrix**. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. 2012, San Diego. Disponível em: <<http://iglc.net/conference-papers/2012-iglc-20-san-diego-usa/>>. Acesso em: 27/02/2014

BARROS NETO, J.P.; MOURÃO, C.A.M.A.; VALENTE, C.P.; **Lean And Green: How Both Philosophies Can Interact On Strategic, Tactical And Operational Levels Of A Company**. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. 2013, Fortaleza. Disponível em: <<http://iglc.net/conference-papers/2013-iglc-21-fortaleza-brazil/>>. Acesso em: 27/02/2014.

CASADO, M; FUJIHARA, M.C. **Guia para sua obra mais verde. Guia prático sobre construções sustentáveis nas cidades**. Green Building Council Brasil. 1ª Edição. São Paulo, 2009.

C. ROLIM ENGENHARIA. **Edifício Paço das Águas: Planejamento Geral da Obra**. Fortaleza, 2011.

ELETROBRAS. **Edificações** – Apresentação. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>>. Acesso em: 06/03/2014.

ERNST & YOUNG (EY); GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC BRASIL). **Sustainable Buildings in Brazil**. 2013. Disponível em: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Sustainable_Buildings_in_Brazil/\\$FILE/Estudo_GreenBuilding_14-10-13.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Sustainable_Buildings_in_Brazil/$FILE/Estudo_GreenBuilding_14-10-13.pdf)>. Acesso em: 19/05/2014.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC BRASIL). **GBC Brasil**. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/>>. Acesso em: 24/11/2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas nacionais trimestrais: Indicadores de volume e valores correntes - abril e junho. 2013.** Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/pib-vol-val_201302caderno.pdf>. Acesso em: 24/11/2013.

JACOMIT, A.M.; GRANJA, A.D.; SILVA, V.G.; **Construções Sustentáveis Realmente Precisam Custar Mais do Que Construções Convencionais?** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 2009. João Pessoa.

KATS, G; BRAMAN, J.; JAMES, M. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável.** Washington: Island Press, 2010. Traduzido por Secovi-SP. São Paulo, 2014.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to the construction industry.** Technical Report n. 72, Center for Integrated Facilities Engineering, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, CA, 1992.

MATTHIESSEN, L.F.; MORRIS, P. **Costing green: a comprehensive cost database and budgeting methodology.** Davis Langdon. 2004. Disponível em: <http://www.usgbc.org/Docs/Resources/Cost_of_Green_Full.pdf>. Acesso em: 19/11/2013.

MATTHIESSEN, L.F.; MORRIS, P. **Cost of green revisited: reexamining the feasibility and cost impact of sustainable design in the light of increased market adoption.** Davis Langdon. 2007. Disponível em: <<http://www.davislangdon.com/upload/images/publications/USA/The%20Cost%20of%20Green%20Revisited.pdf>>. Acesso em: 19/11/2013.

McGRAW HILL CONSTRUCTION. **Lean construction leveraging collaboration and advanced practices to increase project efficiency.** SmartMarket Report. 2013. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/Lean_Construction_SMR_2013.pdf>. Acesso em: 21/05/2014.

MENESES, L.O. **Indicadores de sustentabilidade para edifícios residenciais verticais em Fortaleza/CE.** 2011. Monografia (Especialização em Construção Sustentável) – Universidade Paulista, Fortaleza, 2011.

MOURÃO, C.A.M.A; VALENTE, C.P. **Coletânea Lean&Green 2010 – 2013.** 1ª Edição. C. Rolim Engenharia Ltda. Fortaleza, 2013.

MOURÃO, C.A.M.A.; NOVAES, M.V. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil.** Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará (Coopercon). 1ª Edição. Fortaleza, 2008. 100p.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção:** Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997, 149p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2ª Edição. Editora Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1991. 430p.

PBE EDIFICA. **O que é a etiqueta PBE Edifica?** Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>. Acesso em: 06/03/2014.

PROCEL INFO. **Etiquetagem em edificações.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em: 06/03/2014.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Buildings: investing in energy and resource efficiency.** In: Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. 2012. Disponível em: <http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/9.0_Buildings.pdf>. Acesso em: 01/12/2013.

RIBEIRO, F.B.; TELLO, R. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da construção.** Fundação Dom Cabral. Brasília, 2012. 160p.

SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura do Governo do Estado do Ceará. **Tabela de Custos (sem desoneração) 022.** Fortaleza, 2014. Disponível em: <<http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/tabela-de-custos-unificada>>. Acesso em: 02/04/2014.

SILVA, S.R.; **Estudo do Impacto Financeiro da Implantação de Atributos da Construção Verde no Orçamento de Uma Obra Residencial Vertical.** 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos.** 13 ed. Editora Pini. São Paulo, 2008.

U. S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED 2009 for core and shell development rating system.** 2013. Disponível em: <http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%202009%20RS_CS_10-2013_1a.pdf>. Acesso em: 02/12/2013.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo.** Tradução de Ivo Korytovski. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas.** Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL (WORLDGBC). **The business case for green building – A review of the costs and benefits for developers, investors and occupants.** 2013. Disponível em: <http://www.worldgbc.org/files/1513/6608/0674/Business_Case_For_Green_Building_Report_WEB_2013-04-11.pdf>. Acesso em: 08/11/2013.

APÊNDICE A – Autorização de Divulgação de Dados

A **C. ROLIM ENGENHARIA LTDA.**, pessoa jurídica inscrita no CNPJ/MF sob o nº 35.094.382/0001-44, com sede à Rua Pedro Borges, nº 20, Centro, Fortaleza, Ceará, neste ato representada por seu Diretor Técnico, Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão, vem, por meio deste instrumento, AUTORIZAR em caráter definitivo a aluna Angela de Bortoli Saggin, CPF: 033.049.503-89, regularmente matriculada no curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, a atuar segundo as opções abaixo citadas, sobre o Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) **COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUSTENTABILIDADE COM A REDUÇÃO DO CUSTO COM DESPERDÍCIOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO ENXUTA** mediante a assinatura ao lado de cada opção apresentada. A autorização das disponibilidades abaixo assinadas implica somente a autorização pela divulgação da obra das formas assinaladas. A ausência de assinatura nas opções abaixo não autoriza as disponibilidades descritas em cada item.

1 – Autoriza o uso da logo, das imagens, informações e dos nomes dos empreendimentos citados da C. ROLIM ENGENHARIA LTDA., da forma como expostas neste Trabalho de Conclusão de Curso e desde que vinculados ao mesmo.

Assinatura do Representante Legal da Empresa

2 – O conteúdo dos temas são aqueles contidos nos levantamentos de dados efetuados nesta empresa, denominado Trabalho de Conclusão de Curso: **COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUSTENTABILIDADE COM A REDUÇÃO DO CUSTO COM DESPERDÍCIOS DEVIDO À CONSTRUÇÃO ENXUTA**, de autoria de Angela de Bortoli Saggin.

Assinatura do Representante Legal da Empresa

A presente autorização é condicionada à aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso pela C. ROLIM ENGENHARIA LTDA.

A C. ROLIM ENGENHARIA LTDA. Não assume nenhuma responsabilidade em virtude do uso das informações vinculadas a esta autorização.

O representante da C. ROLIM ENGENHARIA LTDA. Declara neste ato que leu e aceitou os termos e condições deste instrumento e que possui poderes suficientes para afirmar o presente ajuste.

Fortaleza, 20 de maio de 2014.

Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão

C. ROLIM ENGENHARIA LTDA.

Diretor Técnico

APÊNDICE B – Cálculo da Redução do Custo com Materiais

Tabela 12 – Cálculo da redução no custo com materiais – C. Rolim Engenharia - Continua

Material	%Custo materiais	% Acumulado	%C. Rolim Engenharia	%Redução nas perdas	%Redução custo materiais
Concreto usinado 35 mPA	17,32	17,32	2,	0,38	0,07
Esquadrias de alumínio	3,98	21,30	0	0,00	0,00
Gesso acartonado para forro	3,51	24,81	5	0,96	0,03
Porcelanato Portobello Gea Marble Super Gloss 60x60cm	3,15	27,96	8	1,92	0,06
Cimento Portland	3,04	31,00	2	1,92	0,06
Tijolo Furado	2,37	33,37	8	1,92	0,05
Ferro CA-50 12,5mm	2,31	35,68	2	0,38	0,01
Ferro CA-50 25,0 mm	2,09	37,78	2	0,38	0,01
Divisória em bloco de gesso hidrófugo	1,99	39,76	5	0,96	0,02
Ferro CA-50 20,0mm	1,84	41,60	2	0,38	0,01
Concreto usinado 25 mPA	1,69	43,29	2	0,38	0,01
Painel em alumínio e vidro structural glazing	1,57	44,87	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 10,0mm	1,54	46,41	2	0,38	0,01
Cerâmica Atlas (7,5X7,5)cm Marrom café série Ônix	1,51	47,92	8	1,92	0,03
Guarda corpo em alumínio anodizado	1,45	49,37	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 16,0mm	1,41	50,78	2	0,38	0,01
Ceramica Eliane Siena Cotton Mesh (10x10)cm	1,38	52,16	8	1,92	0,03
Argamassa cola AC3	1,37	53,54	2	0,38	0,01
Cerâmica Portobello Polaris Bianco 43x43cm	1,31	54,85	8	1,92	0,03
Cerâmica Portobello Bali White (43x43)cm	1,30	56,15	8	1,92	0,02
Vidro laminado bronze 6,38mm	1,26	57,40	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 6,3mm	1,22	58,62	2	0,38	0,00
Cabo de protensao	1,22	59,84	0	0,00	0,00
Vidro bronze 6mm	1,21	61,06	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 8,0mm	1,11	62,17	2	0,38	0,00
Bloco de concreto 09x19x39 cm	1,11	63,28	5	0,96	0,01
Barrote 2 1/2 x 2 1/2	1,10	64,37	0	0,00	0,00
Madeirit plastificado 18mm	1,07	65,44	0	0,00	0,00
Sarrafo 1"x4"	1,06	66,50	0	0,00	0,00
Porta pronta (0,80x2,10) de abrir	1,03	67,53	0	0,00	0,00
Textura Acrilica Ibratim	0,99	68,53	0	0,00	0,00
Pintura acrílica branco neve	0,94	69,47	0	0,00	0,00
Impermeabilizacao c\ Manta viapol glass 3mm	0,93	70,40	0	0,00	0,00
Divisoria de gesso (68x7,5x50)cm	0,90	71,30	5	0,96	0,01
Cerâmica Eliane (10x10)cm cor branca	0,90	72,19	8	1,92	0,02
Bancada Granito Juparaná Gold	0,87	73,06	0	0,00	0,00
Ferro CA-60 5,0mm	0,83	73,89	2	0,38	0,00
Placa pré-moldada para piso elevado	0,80	74,70	0	0,00	0,00
Chapim em Granito Juparaná Gold - (L=29x2cm)	0,80	75,50	0	0,00	0,00
Porta pronta (0,70x2,10) de abrir	0,80	76,30	0	0,00	0,00
Porcelanato Portobello Perlato Bianco Ret (45x45)cm	0,79	77,08	8	1,92	0,02

Tabela 13 – Cálculo da redução no custo com materiais – C. Rolim Engenharia - Conclusão

Material	%Custo materiais	% Acumulado	%C. Rolim Engenharia	%Redução nas perdas	%Redução custo materiais
Emassamento PVA latex sobre paredes	0,77	77,86	0	0,00	0,00
Peitoril em granito juparaná gold L=30cm (e=2cm)	0,76	78,62	0	0,00	0,00
Areia Grossa	0,73	79,34	0	1,92	0,01
Chapim em Granito Juparaná Gold - (L=29x2cm) - Curvo	0,71	80,06	0	0,00	0,00
Redução no custo -materiais					0,41
Redução no custo – total (diretos + indiretos)					0,13

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 14 – Cálculo da redução no custo com materiais – Literatura - Continua

Material	%TCPO (2008)	%Redução nas perdas	%Redução Custo Materiais	%Agopyan <i>et al.</i> (2003)	%Redução nas perdas	%Redução Custo Materiais
Concreto usinado 35 mPA	5	0,96	0,17	9	1,73	0,30
Esquadrias de alumínio	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Gesso acartonado para forro	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Porcelanato Portobello Gea Marble Super Gloss 60x60cm	19	3,66	0,12	22	4,23	0,13
Cimento Portland	0	0,00	0,00		0,00	0,00
Tijolo Furado	5	0,96	0,02	18	3,46	0,08
Ferro CA-50 12,5mm	5	0,96	0,02	10	1,92	0,04
Ferro CA-50 25,0 mm	5	0,96	0,02	10	1,92	0,04
Divisória em bloco de gesso hidrófugo	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 20,0mm	5	0,96	0,02	10	1,92	0,04
Concreto usinado 25 mPA	5	0,96	0,02	9	1,73	0,03
Painel em alumínio e vidro structural glazing	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 10,0mm	5	0,96	0,01	10	1,92	0,03
Cerâmica Atlas (7,5X7,5)cm Marrom café série Ônix	19	3,66	0,06	12	2,31	0,03
Guarda corpo em alumínio anodizado	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 16,0mm	5	0,96	0,01	10	1,92	0,03
Ceramica Eliane Siena Cotton Mesh (10x10)cm	19	3,66	0,05	12	2,31	0,03
Argamassa cola AC3	2	0,38	0,01	0	0,00	0,00
Cerâmica Portobello Polaris Bianco 43x43cm	19	3,66	0,05	16	3,08	0,04
Cerâmica Portobello Bali White (43x43)cm	19	3,66	0,05	16	3,08	0,04
Vidro laminado bronze 6,38mm	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 6,3mm	5	0,96	0,01	10	1,92	0,02
Cabo de protensao	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Vidro bronze 6mm	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-50 8,0mm	5	0,96	0,01	10	1,92	0,02
Bloco de concreto 09x19x39 cm	3	0,58	0,01	10	1,92	0,02
Barrote 2 1/2 x 2 1/2	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00

Tabela 15 – Cálculo da redução no custo com materiais – Literatura - Conclusão

Material	%TCPO (2008)	%Redução nas perdas	%Redução Custo Materiais	%Agopyan <i>et al.</i> (2003)	%Redução nas perdas	%Redução Custo Materiais
Madeirit plastificado 18mm	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Sarrafo 1"x4"	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Porta pronta (0,80x2,10) de abrir	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Textura Acrilica Ibratim	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Pintura acrílica branco neve	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Impermeabilizacão c\ Manta viapol glass 3mm	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Divisória de gesso (68x7,5x50)cm	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Cerâmica Eliane (10x10)cm cor branca	19	3,66	0,03	12	2,31	0,02
Bancada Granito Juparaná Gold	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Ferro CA-60 5,0mm	5	0,96	0,01	10	1,92	0,02
Placa pré-moldada para piso elevado	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Chapim em Granito Juparaná Gold - (L=29x2cm)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Porta pronta (0,70x2,10) de abrir	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Porcelanato Portobello Perlato Bianco Ret (45x45)cm	19	3,66	0,03	22	4,23	0,03
Emassamento PVA latex sobre paredes	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Peitoril em granito juparaná gold L=30cm (e=2cm)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Areia Grossa	20	3,85	0,03	0	0,00	0,00
Chapim em Granito Juparaná Gold - (L=29x2cm) - Curvo	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Redução no custo - materiais			0,74			1,01
Redução no custo – total (diretos + indiretos)			0,23			0,31

Fonte: Elaborada pela autora.