

MARCELO YUDI FURUCHO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINAS PRODUTORAS DE
AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS NA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas
do curso de graduação do Departamento de
Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientadora: Profa. Dra. Carina Ulsen

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Kahn

**São Paulo
2013**

H2013 f

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009716

FICHA CATALOGRÁFICA

Furucho, Marcelo Yudi

Viabilidade econômica de usinas produtoras de agregados miúdos reciclados na Região Metropolitana de São Paulo / M.Y. Furucho. -- São Paulo, 2013.

p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.**

**1. Resíduos de construção (Reciclagem) 2. Agregados (Reciclagem) 3. Usinas (Análise Econômica) - São Paulo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e disposição.

Obrigado pela família que sempre me apoiou nos estudos e nos momentos mais difíceis.

Agradeço também a todos que estiveram presentes em minha trajetória acadêmica, seja com contribuições de informações/materiais, incentivos e conselhos.

Aos docentes da Engenharia Civil da Poli-USP com toda a bagagem de conhecimentos.

Obrigado também o pessoal do LCT (Laboratório de Caracterização Tecnológica). A orientação desse trabalho foi fundamental, tanto pelo perfeccionismo, pelas informações compartilhadas e principalmente pelo tempo e energia nas correções e encaminhamentos do trabalho.

À Votorantim Cimentos por acreditar no projeto. O trabalho carrega a contribuição de pessoas profissionais, apaixonadas pelo que fazem e em busca sempre da excelência.

RESUMO

As oportunidades de projetos relacionados com a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) ganham cada vez mais notoriedade diante da expansão da indústria da construção civil, acompanhada dos problemas relacionados com a gestão de tais resíduos e com o crescente aumento dos preços dos materiais de construção. Como se trata de uma prática pouco comum no mercado, salienta-se a importância do alinhamento entre os estudos de viabilidade técnica com a viabilidade econômica. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade econômica de usinas produtoras de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo, considerando-se diferentes cenários para a produção e processamento dos resíduos de construção e demolição.

As atividades compreenderam visitas técnicas a minerações de agregados, fábricas de argamassa, fabricantes de equipamentos e centrais de reciclagem de RCD para o levantamento de dados relativos à gestão e reciclagem destes. Através da consolidação das informações levantadas foram determinados indicadores econômicos para a definição da viabilidade econômica dos empreendimentos.

Os resultados para os cenários estudados demonstram que a viabilidade das usinas de reciclagem de RCD estão essencialmente vinculadas à logística de transporte entre a fonte geradora de resíduos, as usinas de reciclagem e fábrica de argamassas e os centros consumidores dos agregados reciclados. Os investimentos iniciais são elevados e a capacidade de produção requerida para diluir os custos operacionais do empreendimento deve ser considerada na análise de viabilidade. Somados a isso, a deficiente segregação do resíduo na origem, a falta de fiscalização da destinação do resíduo e os poucos incentivos públicos acabam por dificultar ainda mais tais iniciativas.

A importância deste estudo reside na possibilidade de iniciativas privadas atuarem na cadeia recicladora do RCD. Os benefícios da reciclagem estendem-se ao aumento da vida útil de jazidas de matérias-primas não renováveis, redução da extração ilegal de areia e das deposições ilegais de resíduos e aumento da vida útil dos aterros de inertes. Além disso, a possibilidade de construção de usinas recicladoras próximas aos centros consumidores permitirá a redução das distâncias de transporte, parâmetro decisivo no preço de agregados, e do tráfego de caminhões e, portanto, das emissões de CO₂.

ABSTRACT

The opportunities of projects related to recycling of construction and demolition waste (CDW) are getting more and more recognition as the civil construction business expands, followed by problems related to the management of this waste and by the constant raise in the prices of construction materials. As we are dealing with a new and uncommon practice in the market, it is highly important to have both the studies of technical feasibility and economical feasibility aligned. Therefore, the objective of this study was to evaluate the economical feasibility of plants that produce recycled aggregates in the metropolitan region of São Paulo, taking into consideration different scenarios to the production and processing of construction and demolition waste.

The activities involved technical visits to aggregates mining, mortar factories, equipments manufacturers and CDW recycling units to collect data related to management and recycling of them. Through the consolidation of the information collected, economical indicators were determined to define enterprises' economical feasibility.

The results to the scenarios studied show that the feasibility of the recycling CDW plants are essentially connected to the logistics of transportation among the source of waste, the recycling plants and mortar factories and the consuming centers of the recycling aggregates. The initial investments are high and the capacity of production required to dilute the enterprise's operational costs should be taken into consideration in the feasibility analysis. In addition to that, an inefficient segregation of the waste in its source, the lack of fiscalization of the waste's destination and little public incentive end up making it even more difficult to have such initiatives.

The importance of this study lies in the possibility of private enterprise acting in the recycling chain of the CDW. The benefits of recycling extends to a longer lifetime of non-renewable raw material deposits, reduction of illegal extraction of sand and depositions of illegal waste and increasing the life of landfills for inert. Besides, the possibility of building recycling plants near consumers centers will allow transportation distances to be shortened, which has a key role determining the price of aggregates, truck traffic and, therefore, the emission of CO₂.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO	3
3.2	GESTÃO DA RECICLAGEM	4
3.2.1	<i>Gestão de resíduos de construção e demolição em São Paulo</i>	4
3.2.2	<i>Estratégia na gestão de resíduos em países Europeus</i>	7
3.2.3	<i>Métodos produtivos dos agregados reciclados</i>	9
3.3	VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINAS DE RECICLAGEM	11
3.4	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	13
3.4.1	<i>Fluxo de Caixa</i>	13
3.4.2	<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	14
3.4.3	<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
5	RESULTADOS	18
5.1	NICHOS PARA VALORAÇÃO DO RCD	18
5.2	PROCESSO PRODUTIVO E INVESTIMENTOS INICIAIS	22
5.3	CUSTO OPERACIONAL	25
5.4	LOGÍSTICA DA USINA PARA FÁBRICA DE ARGAMASSAS	27
5.5	RECEITA DA USINA	28
6	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	30
6.1	MINERAÇÕES DE AGREGADOS E CENTRAIS RECICLADORAS	30
6.2	INDICADORES ECONÔMICOS	31
7	CONCLUSÕES	35
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	APÊNDICE	1

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DESDOBRAMENTO DAS ETAPAS E PARTICIPANTES DO RCD NÃO SEGREGADO E SEGREGADO (LOTURCO, 2004)	5
FIGURA 2 – ÁREA DE TRIAGEM E TRANSBORDO (FONTE: CARINA ULSEN).....	6
FIGURA 3 – USINA RECICLADORA “RECICLA ENTULHO”	7
FIGURA 4 – ASPECTO VISUAL DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CLASSIFICADOS COMO VERMELHO (A) (FONTE:CARINA ULSEN) E CINZA (B).....	9
FIGURA 1- BRITADOR DE MANDÍBULAS MÓVEL NO LOCAL DA DEMOLIÇÃO E O CONCRETO APÓS BRITAGEM.....	19
FIGURA 2 – USINA DE ARGAMASSA NO CANTEIRO DE OBRA FONTE: R3CICLO	20
FIGURA 3 – BLOCOS E PRÉ-MOLDADOS CONFECCIONADOS COM AGREGADOS RECICLADOS EM NA PRÓPRIA USINA DE RECICLAGEM.....	21
FIGURA 4 – INSTALAÇÃO DE PENEIRA DE ALTA-FREQUÊNCIA PARA FRACIONAMENTO DA AREIA PARA APLICAÇÃO EM ARGAMASSAS	21
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA BRITAGEM PARA OS DOIS CENÁRIOS ESTUDADOS.....	25
FIGURA 6 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS CUSTOS E RECEITAS	30
FIGURA 7 - CUSTOS MÉDIO DE PRODUÇÃO EM MINERAÇÕES DE AGREGADOS EM SÃO PAULO (R\$ 10 /T)	31
FIGURA 8 – CUSTOS CENÁRIO ATT-UR	32
FIGURA 9 – CUSTOS CENÁRIO UR	32
FIGURA 10 – INDICADORES ECONÔMICOS COMPARATIVOS PARA OS DISTINTOS CENÁRIOS CONSIDERADOS.....	33
FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE REGISTROS E CERTIFICAÇÕES LEED NO BRASIL (GBC BRASIL, 2013)	V
FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO NÚMERO DE EMPREENDIMENTOS COM CERTIFICAÇÃO LEED NO BRASIL (GBC BRASIL, 2013).....	VI

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO E PARTICIPAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS NO BRASIL (ANO BASE 2000) (ÂNGULO, ULSEN <i>ET AL.</i> , 2002)	3
TABELA 2 - ORIGEM E PROPORÇÃO DO RCD NA ALEMANHA (MONIER, MUDGAL <i>ET AL.</i> , 2011).....	8
TABELA 3 – EMPRESAS VISITADAS PARA LEVANTAMENTO DOS DADOS REFERENTES À GESTÃO E RECICLAGEM DE RCD	17
TABELA 4 – INVESTIMENTOS INICIAIS DO CENÁRIO ATT-UR	23
TABELA 5 – INVESTIMENTOS INICIAIS DO CENÁRIO UR	24
TABELA 6 – CUSTOS FIXOS PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS	26
TABELA 7 – CUSTOS VARIÁVEIS PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS.....	27
TABELA 8 - CUSTO DE TRANSPORTE DO AGREGADO DA MINERADORA À FÁBRICA DE ARGAMASSA.....	28
TABELA 9 – RECEITA PARA OS CENÁRIOS ATT-UR E UR.....	29
TABELA 10 – INDICADORES ECONÔMICOS PARA OS DISTINTOS CENÁRIOS CONSIDERADOS..	33

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil exerce papel fundamental dentro dos panoramas econômicos e sociais, já que o setor atua diretamente em políticas de geração de riquezas, empregos e bem estar da população. Além disso, a cadeia produtiva é responsável por consumir elevadas quantidades de matérias primas industrializadas e minerais, ao mesmo tempo em que representa participação em serviços de engenharia, equipamentos e financeiro. Dentro desse cenário é que se verifica o contexto nacional de déficit de habitação e de infraestrutura, onde os materiais de construção representam tanto um potencial de expansão de consumo quanto de desenvolvimento tecnológico.

A disposição imprópria de resíduos da construção civil consiste em uma das principais causas da degradação ambiental, afetando a qualidade de vida da população, os ecossistemas e os recursos naturais. Os resíduos de construção e demolição (RCD) não são exceção e, portanto, necessitam de um sistema de gerenciamento integrado que possibilite a minimização ou erradicação de tais danos. Além disso, a inadequada destinação representa um grande desperdício econômico, dado que estes constituem uma fração significativa da massa dos resíduos sólidos urbanos (cerca de 50%) e com elevada composição de materiais passíveis de reciclagem.

Restrições ambientais, esgotamento de jazidas de agregados e fretes com elevadas distâncias elevam o custo dos agregados naturais. Diante desse cenário, consumidores de agregados iniciam uma busca por produtos substitutos com maior competitividade como, por exemplo, os agregados reciclados. Atualmente, o mercado de agregados reciclados a partir de RCD é estruturado nos agregados graúdos produzidos a partir da britagem de resíduos de concreto (denominado "cinza"). De maneira geral, a aplicação deste restringe-se a atividades de pavimentação, em sub-base. Entretanto, já existem estudos que consideram a utilização de agregados miúdos reciclados na composição de argamassas e concretos.

A relevância do trabalho consiste na análise da viabilidade econômica de usinas produtoras de agregados reciclados na região metropolitana de São Paulo, considerando-se diferentes cenários para a produção e processamento dos resíduos de construção e demolição. Além disso, o projeto industrial proposto pelo estudo segue a tendência do segmento de construção civil em decisões estratégicas alinhadas aos fatores ambientais, econômicos e sociais. A proposta de ampliar as taxas de reciclagem está alinhada com a política internacional de desenvolvimento sustentável e preservação ambiental, é uma alternativa tecnicamente viável e colabora com o desenvolvimento econômico, social e ambiental, fundamentais para o avanço produtivo do país.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade econômica de usinas produtoras de agregados reciclados na região metropolitana de São Paulo, considerando-se diferentes cenários para a produção e processamento dos resíduos de construção e demolição. Dessa forma, avaliar os elementos componentes do nicho de reciclagem analisando os efeitos e magnitudes de diversos pontos como: as atividades operacionais, os custos envolvidos, as receitas geradas e os diferentes elementos que pertencem à cadeia de tais resíduos.

Por meio da definição de indicadores econômicos, foi avaliada a viabilidade de duas centrais de reciclagem com diferentes configurações operacionais. Os empreendimentos buscarão uma rentabilidade atrativa aliada a um uso sustentável e inovador aos agregados reciclados no abastecimento de uma fábrica de argamassas próxima à região. Para isso, as seguintes questões são consideradas:

- Logística: distâncias de transporte entre geradores de resíduos, usinas de reciclagem e mercado consumidor de agregados reciclados.
- Operacional: configurações da usina de reciclagem, equipamentos utilizados na produção dos agregados miúdos, capacidade, equipamentos, gestão de recepção e tipo de material.
- Oportunidades de valoração do resíduo: diferentes iniciativas que visam à utilização do resíduo em diversos materiais de construção.

O escopo do trabalho envolveu um estudo de mercado da região, pesquisa das empresas de valoração dos resíduos de construção e demolição, levantamento do investimento inicial necessário, custo operacional, receita proveniente da venda e taxa de recebimento dos materiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO

A construção civil é responsável por uma grande parcela do consumo de recursos naturais, dentro dos quais os agregados. Os agregados utilizados em construção são materiais granulares, sem volume e forma definidos, pode-se citar como exemplo: rochas britada, cascalho, areias naturais de origem sedimentar e areia resultante da britagem de rochas. Tais produtos apresentam dimensões e propriedades estabelecidas para cada aplicação (SERNA, RECUERO *et al.*, 2009).

A norma NBR 7211:2009 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) determina as características exigidas para comercialização e produção de agregados miúdos e graúdos, de origem natural, ou seja, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Desse modo, define-se areia ou agregado miúdo como sendo grãos os quais passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. No caso do agregado graúdo define-se como pedregulho ou brita cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

O emprego de agregados na construção civil é amplo e diversificado. Em um levantamento da produção nacional (Tabela 1) nota-se que o agregado miúdo ainda apresenta maior participação em diversas aplicações se comparado com o graúdo.

Tabela 1 – Produção e participação dos agregados naturais no Brasil (ano base 2000)
(ÂNGULO, ULSEN *et al.*, 2002)

Agregado	Aplicação	Concreto Usinado	Concreto Construtoras	Argamassas	Pavimentação/ Obras públicas	Pré moldados	Revendedor/ Consumidor	Total
Graúdos	Segmentos (%)	32,7%	23,6%	-	13,5%	6,40%	23,8%	100%
	Produção (10 ⁶ ton/ano)	50,8	36,8	-	21	10	37,1	155,8
Miúdos	Segmentos (%)	32,7%	23,6%	23,8%	13,5%	6,40%	-	100%
	Produção (10 ⁶ ton/ano)	73,5	82,7	53,5	30,3	14,4	-	224,8

Nota-se também que o agregado miúdo constitui uma parcela expressiva da produção de agregados, sendo de grande relevância o uso em concretos e argamassas. De acordo com a NBR 13281, argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s) (ou areia), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). As aplicações mais comuns são no assentamento de tijolos, blocos ou cerâmicas, impermeabilização de superfícies, regularização e acabamento final de superfícies.

Alternativamente aos agregados provenientes de fontes não renováveis, os agregados produzidos a partir do processamento de resíduos de construção e demolição (RCD) tem se tornado um tema amplamente abordado, tanto na literatura científica como no setor produtivo.

Restrições ambientais e jazidas de areia cada vez mais distantes dos centros consumidores corroboram com o emprego do beneficiamento do RCD para obtenção de agregados reciclados miúdos. É dentro desse contexto que o desenvolvimento de procedimentos tanto de caracterização tecnológica quanto do processamento vem de encontro com a necessidade de agregados reciclados com propriedades tais que permitam maior campo de aplicação.

3.2 GESTÃO DA RECICLAGEM

Entende-se por resíduos de construção e demolição (RCD) como sendo resíduos gerados durante o ciclo de vida das construções civis. Para BIOCYCLE (1990), (Zordan, 1997), RCD são “resíduos sólidos não contaminados, provenientes de construção, reforma, reparos e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultantes de limpeza e escavação de solos.

Como resíduos, incluem-se blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, encanamentos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos que não camuflem outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais que estiverem num desses itens acima”.

3.2.1 Gestão de resíduos de construção e demolição em São Paulo

A acelerada urbanização brasileira de cidades de médio e grande porte não foi acompanhada pelo desenvolvimento da gestão dos RCD. Pinto (1999) ao propor uma metodologia para gestão diferenciada do RCD, levantou-se a composição e quantidade média de geração dos RCD em cidades de médio e grande porte no Brasil. A geração de resíduos per capita nessas localidades gira em torno de 500 kg/ano sendo distribuídas em

43% em novas edificações, 47% em reformas e demolições e 10% coletadas pelas administrações (PINTO, 1999), nota-se que a geração de RCD se divide igualmente entre novas construções e reformas/demolições.

De acordo com a Resolução Conama 307, os geradores são divididos em grandes geradores (construtoras) e pequenos gerados (população no geral). Ambos fazem parte do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, entretanto os grandes geradores devem desenvolver o Projeto de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, enquanto que os pequenos geradores devem atuar de acordo com os Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (LOTURCO, 2004).

O Projeto de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil deve abranger os procedimentos para o manejo e destinação dos resíduos. Finalizado esse procedimento, cada projeto será analisado pelo órgão ambiental local. Sendo assim, os projetos devem contemplar as etapas de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destino final. Existem outras regulamentações e exigências para a correta gestão dos resíduos no geral, informações mais detalhadas são apresentadas no Apêndice.

Nota-se que a cadeia de gestão do RCD desdobra-se em diferentes etapas e participantes, como exemplificado na Figura 1. Dentre eles há as empresas transportadoras de resíduos, os quais são responsáveis pela coleta, transporte e destinação correta dos resíduos. Entretanto, a deficiente fiscalização, falta de controle e a busca por menores custos tanto de operação quanto de destinação acarretam no elevado índice de deposição irregular de RCD na cidade de São Paulo (SCHNEIDER, 2003).

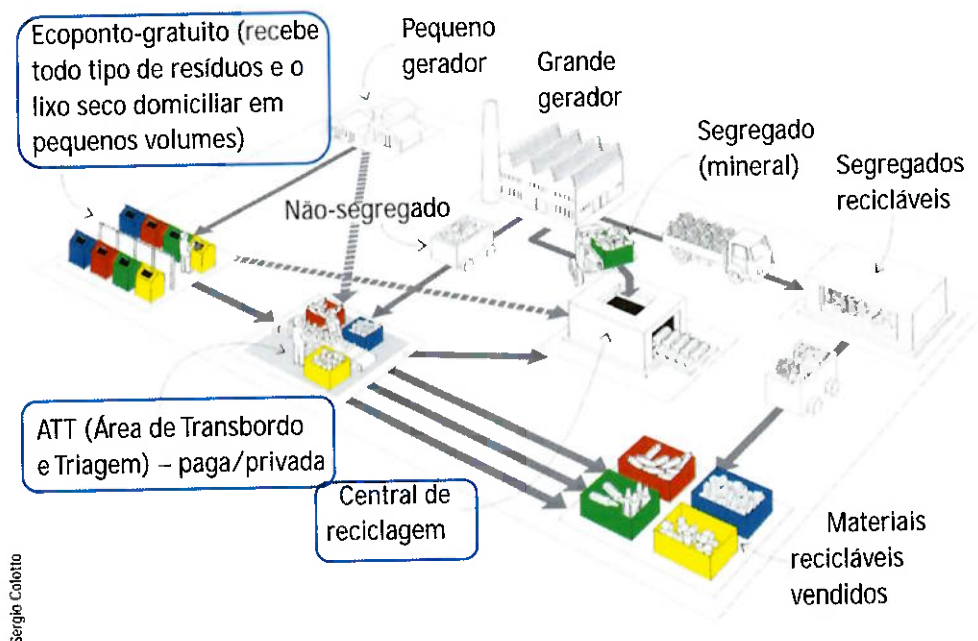


Figura 1 – Desdobramento das etapas e participantes do RCD não segregado e segregado (LOTURCO, 2004)

A situação atual revela uma preocupante realidade da cidade, apenas 7% de todo RCD gerado é reciclado enquanto que 50% são destinados em bota-foras clandestinos (ANGULO, 2012). Resultado disso é o poder público desembolsando recursos em ações corretivas e na atração de empresas transportadoras, por exemplo, em 2002 o custo municipal ficou em aproximadamente 35 milhões de reais (SCHNEIDER, 2003).

De acordo com a Prefeitura de São Paulo, os pequenos geradores podem destinar até 50 kg de resíduo por imóvel por dia para a coleta convencional de lixo domiciliar. Outra opção é a destinação a Ecopontos, que são locais de entrega voluntária de pequenos volumes de resíduos (até 1 m³). Para quantidades superiores o gerador deve contratar o serviço de transportadores de resíduos através de caçambas estacionárias.

Outro fator preocupante é o pequeno número de locais para triagem e destinação final. De acordo com a prefeitura, a cidade de São Paulo possui apenas cinco Áreas de Triagem e Transbordo (ATT) e a região metropolitana apenas quatro aterros de inertes (Riuma, Itaquareia, Lumina e Sete Praias).

As Áreas de Triagem e Transbordo (ATT) são áreas destinadas ao recebimento de resíduos de construção civil e resíduos volumosos. Esses empreendimentos realizam a triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados e remoção para destinação adequada (Figura 2). Tais processos seguem normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.



Figura 2 – Área de triagem e transbordo (Fonte: Carina Ulsen)

As usinas recicladoras são basicamente instalações de britagem onde o resíduo já triado é processado em diferentes agregados. As instalações em sua maioria são fixas e apresentam as seguintes operações: remoção manual dos contaminantes ainda presentes (papel, cerâmica, metal), um estágio único de britagem (mandíbulas ou impacto), separação de sucatas por um eletroimã, transportadores de correias e fracionamento em peneiras

vibratórias (Figura 3). A receita do empreendimento advém da venda do agregado reciclado e das taxa de recepção do resíduo, atendendo em sua maioria caçambeiros com resíduos limpos ou ATTs.



Figura 3 – Usina Recicladora “Recicla Entulho”

3.2.2 Estratégia na gestão de resíduos em países Europeus

Nos países Europeus, há países com diferentes indicadores de geração e reciclagem. Tal fato é fruto das diferenças entre as taxas de crescimento econômico (a quantidade de geração de resíduos é atrelada ao desenvolvimento econômico), preferências por diferentes materiais (concreto em algumas regiões é o principal material, enquanto em outras regiões têm-se preferencialmente alvenaria), mercado de demolidoras (em países como a França, a população possui uma baixa preferência em demolir antigas edificações), dentre outros fatores. O relatório da consultoria ambiental Bio Intelligence Service (MONIER, MUDGAL *et al.*, 2011) expõe a avançada gestão de resíduos em países como a Alemanha e a problemática situação da Espanha.

O relatório afirma que a geração de RCD per capita na Alemanha é de 883 kg/ano com taxas de reciclagem e reuso em 91,4%. A elevada porcentagem é resultado de incentivos governamentais por meio de legislações estimulando a reciclagem, o uso de agregados reciclados e ao mesmo tempo desencorajando a deposição em aterros através do aumento dos custos de deposição.

O estudo ainda divulga dados sobre a origem do RCD na Alemanha (Tabela 2). Em torno de 97% da geração tem como origem as demolições de construções e rodovias enquanto que apenas 2,6% são provenientes de construções. Tal índice revela o avançado sistema de construção praticada pela indústria de construção civil alemã, evidenciando a

qualificada mão de obra, o planejamento e gestão envolvidos durante o projeto e execução da obra.

Analisando a questão da gestão dos resíduos RCD, outro motivo pela elevada taxa de reciclagem dentro do território alemão é a prática da “demolição seletiva”. Nesse processo a prática é toda sistematizada, controlada e selecionada. Antes da demolição, as empresas definem um planejamento para o reaproveitamento de maior parte dos resíduos procurando retirar todos os materiais contaminantes (janelas, sistema de aquecimento, portas, tubulações,...).

Tabela 2 - Origem e proporção do RCD na Alemanha (MONIER, MUDGAL *et al.*, 2011)

Origem dos materiais	Proporção
Demolição de construção	69,8%
Demolição de rodovias	27,2%
Construção	2,60%
Gesso	0,40%

No mesmo relatório foi analisado o caso da Espanha, onde em 2005 apresentava geração de 35 Mt de RCD equivalente a 810 kg per capita, sendo em grande parte composto de material cerâmico (54%) e concreto (12%). Desde o começo do século até meados de 2008, a construção civil do país apresentou elevados índices de atividade resultando em um aumento fora do comum na geração dos resíduos.

A porcentagem de destinação do resíduo para reciclagem, reutilização e aterro ainda não apresenta confiabilidade em decorrência da falta de levantamentos de dados a respeito da geração e composição do RCD. Entretanto, de acordo com uma estimativa, apenas 7,5% é reciclado, 62,5% são depositados em aterros clandestinos e 30% destinam-se a aterros autorizados.

A destinação dos resíduos revela uma deficiência tanto das empresas privadas quanto do poder público com relação à gestão dos resíduos. O relatório ainda aponta para algumas das principais dificuldades desse setor:

- Falta de consciência e envolvimento dos intervenientes do setor
- Falta do cumprimento da legislação: controle ineficiente e falta de fiscalização (sem triagem do material na origem e disposição ilegal em aterros clandestinos)
- Elevada heterogeneidade do resíduo

- Atividades extrativas (minerações de agregados) facilmente acessíveis com baixos preços
- Custo de transporte e taxa de aterro são menores do que os custos de operações de tratamento do resíduo. Os aterros possuem jurisdição municipal apresentando valores diferentes em cada região, desde 1 Euro por tonelada (Pamplona) até 25,20 Euros por tonelada (Madri)

3.2.3 Métodos produtivos dos agregados reciclados

Os métodos produtivos de agregados reciclados depende essencialmente da natureza do resíduo, sendo uma prática comum a separação do resíduo de acordo com sua composição. Os encarregados para tal atividade utilizam a avaliação visual para a classificação do resíduo em vermelho e cinza, geralmente feitas em transportadores de correias ou no momento do descarregamento do resíduo no terreno. Existem duas classificações (Figura 4):

- Cinza - Resíduos de origem cimentícia. Argamassas e concreto.
- Vermelho - Resíduos cerâmicos. Azulejos, tijolos, e telhas cerâmicas.



RCD vermelho (a)



RCD cinza (b)

Figura 4 – Aspecto visual de resíduos de construção classificados como vermelho (a) (Fonte:Carina Ulsen) e cinza (b)

Na literatura, o beneficiamento do RCD para a produção de agregados miúdos possuem duas linhas de processos possíveis: a úmido ou a seco.

A produção de areia reciclada por processamento a úmido considera a separação granulométrica em 75 μm por classificador espiral e na utilização de pilhas de homogeneização para a elaboração de areia para argamassas (MIRANDA, 2005). Tal produto foi aplicado em argamassas, tendo o autor considerado os resultados satisfatórios com tolerância na variação no teor de material cerâmico na composição entre 25% e 65%.

Entretanto, o controle da porosidade, da morfologia das partículas, da área de superfície específica do produto não foi estabelecido. Além disso, a necessidade de um posterior tratamento da água do processo acaba por criar barreiras para a implantação de usinas em centros urbanos.

Outros estudos propuseram uma alternativa de um beneficiamento a seco baseando-se nas características e propriedades dos produtos a fim de avaliar a eficiência dos processos de separação (ULSEN, 2011). A reciclagem por britagem de impacto autógena (rocha contra rocha), peneiramento e remoção das fases ricas em pasta cimentícia por meio de diferentes propriedades diferenciadoras resultaram em um processo a seco com elevada liberação e separação entre a pasta de cimento (elevada porosidade) e demais fases minerais (baixa porosidade). Como resultado, o produto apresentou menor porosidade e partículas com maior esfericidade se comparado com a areia reciclada sem o emprego dessas operações.

De maneira geral, as usinas de reciclagem nacionais apresentam instalações semelhantes às usinas de produção de agregados, possuindo alimentadores, britadores, peneiras, extratores de metais e transportadores de correia. No que diz respeito às usinas estrangeiras, o contraste das tecnologias e do controle de qualidade comprovam o avançado sistema de reciclagem.

Ulsen (2011) descreveu as operações unitárias europeias e japonesas. Essas usinas utilizam de um ou dois estágios de britagem e operações unitárias para a remoção de contaminantes (por exemplo fases metálicas, materiais orgânicos, papel, ...) e remoção de fases com elevada porosidade (por exemplo pasta de cimento). Na Europa, a remoção de contaminantes orgânicos é feita por classificação pneumática ou por remoção manual em transportadores de correias dentro de cabines pressurizadas, além disso, a atrição e remoção de finos e fases mais frágeis são feitos por meio do emprego da lavagem intensiva em equipamentos rotativos, por fim a concentração densitária é executava em jigues BAUM. As usinas japonesas norteiam-se na remoção da pasta de cimento através do emprego combinado de cominuição e atrição com britadores verticais de rotor excêntrico ou por aquecimento ocasionando a fragilização da pasta cimentícia seguida da remoção por atrição e peneiramento.

Angulo e colaboradores (ANGULO, CHAVES *et al.*, 2005) levantaram informações referentes às operações unitárias brasileiras e europeias de forma a analisar a eficiência dessas operações e o controle da qualidade dos produtos montando assim um comparativo entre as usinas. Como conclusão, as usinas nacionais apresentam apenas operações de cominuição e classificação por tamanho, diferentemente das usinas estrangeiras que

apresentam arranjos diferentes nas operações unitárias e no emprego de operações de concentração da fração mais leve presente dos agregados de RCD. O estudo propõe algumas mudanças nas operações brasileiras a fim de melhorar as propriedades físicas dos agregados e os balanços de massas. Dentre as mudanças propostas estão a utilização de concentração densitária e o aprimoramento no processo de recepção do resíduo nas centrais recicladoras.

A atual gestão do RCD é realizada em instalações simples e antigas, soma-se a isso a deficiente separação do material na origem do resíduo e a falta de incentivos e fiscalização do poder público. Reflexo disso é a expansão da deposição ilegal dos resíduos e a baixa qualidade dos agregados reciclados, cuja aplicação restringe-se a obras de pavimentação. Tal aplicação dificulta ainda mais a participação do setor privado, visto que o volume consumido não é representativo e além do mais, tal atividade geralmente é de responsabilidade do poder público.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINAS DE RECICLAGEM

O elevado potencial de reciclagem dos resíduos RCD e o significativo montante gerado próximo ao mercado consumidor de agregados fomenta empreendimentos dentro dessa cadeia. Partindo dessa realidade, há alguns estudos que abordam diferentes pontos de vistas nesse cenário, os quais se analisaram:

- Viabilidade de empresas recicladoras envolvendo ferramentas financeiras para avaliação de investimentos para Projetos Industriais (NUNES, KÁTIA REGINA ALVES, 2004) (JADOVISK, 2005);
- Potencial de absorção pelo mercado dos agregados reciclados (ÂNGULO, ULSEN *et al.*, 2002);
- Probabilidade de chances de programas de reciclagem em diferentes municípios(COSTA, 2008).

Nunes (NUNES, K.R.A., 2004) levantou informações de 14 usinas envolvendo os municípios: São Paulo, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Piracicaba, Vinhedo, Guarulhos, Ribeirão Pires, São José do Rio Preto, Belo Horizonte, Londrina, Brasília e Macaé. O estudo sobre viabilidade foi dividido em duas iniciativas, sendo uma pública e outra privada compreendendo ainda o porte da usina (pequeno com 20 t/h e médio com 100 t/h). Ao adotar as “condições atuais de mercado” e a não cobrança pelo recebimento do resíduo, concluiu-se a não viabilidade das empresas privadas. Com relação às tomadas de decisões da iniciativa pública, o fator econômico não exerce grande relevância, na realidade, tais empreendimentos estão mais relacionados aos benefícios de limpeza pública, proteção

ao meio ambiente e divulgação perante a sociedade de uma imagem positiva para os gestores públicos.

Entretanto, dentre os cenários estudados por Nunes, (2004) que consideravam cobrança pelo recebimento do resíduo, os melhores resultados foram com preço de recepção em R\$ 3,50/t para instalações com capacidade em 100 t/h. A autora não considerou o preço do terreno, o custo de transporte e disposição em aterros dos rejeitos produzidos pelas usinas.

Jadovisk, (2005) desenvolveu sua pesquisa a partir da coleta de dados em publicações na literatura técnica, contatos pessoais e visitas às usinas de reciclagem nos municípios de Belo Horizonte, São Paulo, Vinhedo, Socorro e Piracicaba. Com base nos resultados obtidos, observou-se que a capacidade de produção mínima para se obter viabilidade econômica são de 30 t/h para empresa pública e de 40 t/h para empresa privada, ou seja, os custos de reciclagem são reduzidos com o aumento da produção. Ressalta-se ainda que o autor adotou diferentes preços para duas aplicações dos agregados reciclados, no caso do agregado reciclado para concreto, a base foi no valor médio entre a areia e brita e no caso do agregado reciclado para pavimentação o preço foi equiparado ao saibro.

Pela perspectiva do mercado da construção civil e dos agregados reciclados existe um potencial que pode ser explorado. Os segmentos de maior participação nas vendas dos agregados naturais são na formulação de concretos e argamassas, sendo que a utilização de agregados para pavimentação é a única aplicação consolidada para o agregado reciclado. O uso em pavimentação além de ficar limitado pelo setor público, é capaz de absorver apenas 50% do resíduo. Somando a atual demanda de agregados reciclados para pavimentação com um possível consumo pela substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado em concretos resultaria na utilização integral do RCD gerado no Brasil (ÂNGULO, ULSEN *et al.*, 2002).

Em um outro estudo, uma abordagem mais ampla foi analisada de forma a levantar dados de cidades brasileiras com a finalidade de propor um modelo quantitativo de modo a obter a probabilidade de sucesso da implantação de programas de reciclagem de RCD. Os parâmetros considerados foram: número de áreas de recepção de resíduos, renda média da população local, programas de coleta seletiva, % de funcionários da prefeitura com nível médio, dentre outros. As cidades que obtiveram melhor colocação foram Belo Horizonte, Piracicaba, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo (COSTA, 2008).

3.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A decisão de implantação de um empreendimento compreende um momento crucial na estrutura de planejamento de uma empresa. Através da análise econômica indica-se, por meio de técnicas de avaliação específicas, os parâmetros de economicidade.

A determinação de se investir ou não em um empreendimento é norteada por tais parâmetros de economicidade. Além disso, tais técnicas de avaliação se completam, não havendo um modelo único que atenda às inúmeras questões formuladas para a tomada de decisões (FERREIRA e ANDRADE, 2002).

Portanto, depois de levantados os dados do projeto, é possível convertê-los em indicadores econômicos que permitam avaliar a rentabilidade, os riscos e a comparação com demais projetos ou investimentos. Com este objetivo faz-se necessário o cálculo do fluxo de caixa do projeto, no qual são calculados os indicadores econômicos mais relevantes para a tomada de decisão.

3.4.1 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa é a diferença entre as entradas e as saídas de caixa durante um determinado período de tempo de um determinado projeto. Cada período do fluxo de caixa pode apresentar diferentes resultados. Geralmente nos períodos iniciais durante a implantação, o fluxo pode ser negativo, pois corresponde a fase dos investimentos e maturação do negócio. Com o início das vendas, os fluxos geralmente passam a ser positivos, entretanto, podem ocorrer períodos negativos nos casos de expansão do projeto, modificação e substituição dos equipamentos.

Segundo (FERREIRA e ANDRADE, 2002) para um típico empreendimento mineiro, a entrada do caixa está relacionada com os seguintes itens:

- Venda de minério, concentrado, metal ou outro tipo de produto mineral;
- Venda de equipamentos usados;
- Retorno do capital de giro no fim da vida útil do empreendimento;
- Outras receitas não operacionais;

No caso da saída do caixa os itens relacionados são:

- Aquisição de direitos minerários, royalties ou arrendamentos;
- Despesas com desenvolvimento da lavra (preparação para início da produção);
- Investimentos para implantação da mina e usina de tratamento (máquinas, equipamentos, obras de engenharia etc);

- Investimento de capital de giro (recursos para fazer face aos estoques e despesas em geral, principalmente na fase inicial de operação);
- Custos operacionais de lavra e tratamento (matérias-primas, água, energia, manutenção de máquinas e equipamentos, salários, encargos sociais, despesas administrativas etc);
- Impostos sobre a renda e circulação de mercadorias, compensação financeira, COFINS, taxas e outros tributos.

Com os valores do fluxo de caixa livre é possível avaliar a rentabilidade, os riscos e comparar com outros projetos ou investimentos. Com base no fluxo de caixa e uma avaliação econômica são calculados os indicadores econômicos.

Os métodos empregados são o Valor Presente Líquido, Razão do Valor Atual Líquido, Relação Benefício-Custo, Valor Anual Equivalente e Taxa Interna de Retorno. Os indicadores econômicos tratados no presente trabalho serão o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

3.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Método do Valor Presente Líquido (VPL) consiste em converter os fluxos de caixa do projeto em um determinado período para um valor equivalente no momento atual, ou seja, no tempo zero.

O VPL é calculado pela seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Onde:

- t é um ponto no tempo, geralmente 1 ano;
- n é a vida total do projeto, normalmente em anos;
- i é a taxa de desconto atribuída como sendo atrativa ao projeto;
- FC_t é o fluxo de caixa em cada ponto no tempo

3.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como sendo a taxa do desconto que iguala o valor atual dos fluxos de caixa positivos ao valor atual dos fluxos de caixa negativos. Portanto, a TIR é a taxa de desconto que ao ser aplicada no fluxo de caixa de um projeto, resulta em um VPL nulo.

O método VPL é calculado a partir de uma taxa de desconto pré-determinada, no caso do método do TIR o valor da taxa de retorno do empreendimento é determinado. A TIR pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$VPL = 0 = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Onde:

- t é um ponto no tempo, geralmente 1 ano;
- n é a vida total do projeto, normalmente em anos;
- FC_t é o fluxo de caixa em cada ponto no tempo

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades realizadas neste trabalho envolveram resumidamente o levantamento de informações sobre o mercado de reciclagem a fim de se estabelecer os valores médios praticados pelo mercado de agregados e a análise do fluxo de caixa de empreendimentos em diferentes cenários de operação, a saber:

Coleta de dados a partir de:

- Visitas às empresas recicladoras
- Visitas às empresas produtoras de agregados
- Visitas às fábricas de argamassas
- Orientações com docentes e empresários do ramo da reciclagem
- Conversas com fabricantes de equipamentos
- Pesquisas bibliográficas

Cálculo da viabilidade:

- Seleção de diferentes cenários de reciclagem (fluxogramas de processamento)
- Cálculo do fluxo de caixa com base nas informações anteriormente coletadas

Além das informações para o cálculo do fluxo de caixa, houve também o interesse em entender como as diferentes iniciativas dentro do ciclo do resíduo podem trabalhar em conjunto, visando uma gestão correta e lucrativa para as participantes. Dessa maneira, foram propostos alguns cenários estratégicos.

Primeiramente, os parâmetros básicos da usina de reciclagem foram definidos, como por exemplo o processo produtivo, a localização aproximada e aplicação do produto. Após a definição dessas variáveis, foram estudados os principais participantes da cadeia do resíduo, dentre eles os geradores, caçambeiros, ATT, recicladores e possíveis parceiros da usina. Com o término dessas etapas foram estruturados dois diferentes cenários estratégicos em que a usina poderá operar, sendo:

- Cenário ATT-UR: Área de triagem e transbordo, usina recicladora de britagem e demais processos auxiliares (cenário engloba a recepção de diversos resíduos não segregados a partir das construções, demolições e reformas).
- Cenário UR: Usina recicladora de britagem e demais processos auxiliares (cenário considera a recepção e reciclagem de resíduos segregados para a produção de agregados reciclados).

Definidas as empresas e os conceitos que envolvem a gestão dos resíduos em São Paulo, foi realizado um contato com ATTs e usinas de reciclagem procurando entender a estrutura de negócio do estabelecimento. Os locais visitados são listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Empresas visitadas para levantamento dos dados referentes à gestão e reciclagem de RCD

Empresa	Atividades	Localização
Urbem	Usina Recicladora	São Bernardo do Campo
Trata Entulho	Usina Recicladora	Guarulhos
Recycle Entulho	Usina Recicladora	São Paulo
Pepec Ambiental	ATT	São Paulo
Sete Praias	ATT/Usina/Aterro	São Paulo
Morelix	ATT/Usina	São Paulo
Solos Reciclagem	ATT/Usina	Americana
Nortec	Fabricante de equipamentos	São Paulo

Em posse dos dados e parâmetros operacionais das centrais recicladoras calculou-se o fluxo de caixa e os indicadores econômicos para os dois cenários. Além disso, compreendendo as operações e os custos envolvidos foi possível concluir como que as diferentes variáveis influenciam na viabilidade do empreendimento. Sendo assim, o trabalho definirá a viabilidade para os cenários estudados e possíveis cenários estudos futuros.

5 RESULTADOS

Através do estudo de mercado dos agregados reciclados foi possível elucidar os negócios envolvidos na valoração do RCD. Como já mencionado, o desdobramento da cadeia do resíduo e o leque de aplicações do produto geram variadas iniciativas dentro da gestão do RCD.

Além disso, por meio do levantamento de dados fornecidos e coletados nas visitas técnicas foi possível a elaboração dos processos operacionais, logísticos e econômicos envolvidos no empreendimento das centrais de reciclagem. Dessa forma, os resultados avançaram para a elaboração dos cálculos de viabilidade econômica para dois cenários diferentes

5.1 NICHOS PARA VALORAÇÃO DO RCD

Durante o estudo de mercado constatou-se que dentro da cadeia do RCD existem diversos negócios em início de operação ou em fase de projeto piloto. Desde micro e pequenas empresas até gigantes dos ramos de gestão de resíduos sólidos, cimentos, agregados e construção. De modo geral, tais empreendimentos foram atraídos pelo aquecimento da construção civil e pelo crescente problema da gestão do RCD em São Paulo. Como já citado, no presente trabalho serão abordados em dois diferentes cenários os principais agentes da reciclagem de RCD em São Paulo, sendo um composto pelas Áreas de Triagem e Transbordo mais a usinas recicladoras (ATT-UR) e um segundo considerando somente as usinas recicladoras (UR).

As ATTs são empreendimentos que exigem um terreno considerável, onde é realizada a triagem do material, a instalação da britagem primária, o armazenamento dos agregados britados e dos demais materiais recicláveis. O serviço de recebimento atende uma diversidade de clientes, em sua maioria de caçambeiros¹ terceirizados. Partindo desse conceito, alguns desses empreendimentos correspondem às cooperativas regionais que lucram tanto pelo serviço de coleta e transporte do resíduo quanto da reciclagem. Além disso, como as regiões em torno do empreendimento são carentes de recursos e serviços, estas são beneficiadas pelas oportunidades de negócio de reciclagem (por exemplo: atração de ferros-velhos e recicladores de aparas de papel), tendo também como outro aspecto positivo a inclusão social de pessoas sem formação educacional dada a criação de oportunidades de trabalho em um estabelecimento fixo.

¹ Os caçambeiros são empresas que prestam o serviço de coleta e destinação dos resíduos de construção civil e demolição. Operam geralmente em caminhões poliguindastes com caçambas metálicas estacionárias de 5 m³.

As usinas recicladoras podem ser instaladas em terrenos menores pelo fato da recepção dos resíduos já selecionados das ATT parceiras ou na origem. Os maiores cuidados dos gestores são com relação aos problemas gerados nas regiões habitadas em torno da usina, sendo necessárias medidas para diminuir a poluição sonora, a contaminação de ruas próximas por resíduos e a geração de poeira.

Outra prática comum em São Paulo são empresas que prestam o serviço de britagem móvel em canteiros de obras e sítios de demolição (Figura 1). As demolidoras e construtoras contratam essas empresas tanto pelo serviço prestado de tratamento do resíduo quanto pela compra do agregado reciclado (por volta de 30% abaixo do preço do agregado natural). De acordo com uma empresa do ramo, a economia dos recursos destinados à gestão dos resíduos fica em torno de 10% e 15%. Nesse valor considera-se a diminuição do volume de resíduos destinados ao serviço de caçambas e a substituição do agregado natural pelo reciclado no nivelamento do terreno



Figura 1- Britador de mandíbulas móvel no local da demolição e o concreto após britagem

Expandindo em termos de aplicação e de processos, as empresas avançam para a fabricação de argamassas no próprio canteiro de obras utilizando os finos provenientes da britagem do RCD (Figura 2). De acordo com uma empresa do ramo, o serviço prestado oferece argamassa ensacada para assentamento e contrapiso com capacidade de 8 a 12 sacos mensais com 40 kg cada.

A viabilização de uma instalação desse porte depende de alguns fatores como, por exemplo, uma área mínima de 20.000 m² de alvenaria, espaço suficiente para instalação dos equipamentos e treinamentos dos trabalhadores da obra visando uma correta separação dos resíduos. Após a coleta e segregação do resíduo pela obra, o material é apenas britado e peneirado. O maior desafio é conciliar a geração do resíduo com a necessidade de uso da argamassa, uma vez que as diferentes fases da construção possuem diferentes gerações de resíduos e diferentes consumos de argamassa. Outra

adversidade fica por conta do processo de fabricação da argamassa que gera produtos sem um controle de qualidade e sem preocupação com a caracterização da areia que será utilizada na formulação das argamassas, o que pode resultar em futuros problemas nas estruturas.



Figura 2 – Sistema de classificação para reciclagem de resíduos com aplicação em argamassas
Fonte: R3ciclo

Seguindo a linha da expansão do uso de agregados reciclados em novos produtos de construção civil, alguns empreendimentos visitados apresentaram futuros projetos e tentativas passadas que não evoluíram. Em um empreendimento que englobava um aterro de inerte, uma área de triagem e uma usina de britagem, o gestor apresentou um sistema de prensa e moldes para a fabricação de blocos e pré-moldados (Figura 3). A iniciativa entretanto não avançou devido à baixa demanda, sendo resultado da restrita aplicação do produto e a falta de embasamento tanto técnico quanto de qualidade do produto.

Já no caso de uma área de triagem e transbordo com serviço próprio de caçambeiros, o sistema de peneiramento de RCD estava passando por uma expansão para classificar a areia em diferentes granulometrias (fina, média e grossa) para a formulação de argamassas (Figura 4). O projeto visava à produção de areia ensacada para a produção de argamassas no canteiro das obras. Por tratar-se de um projeto em implantação não foi possível definir o sucesso da iniciativa, o gestor apenas relatou que a formulação de argamassas com areia reciclada apresentava boa aceitação com os operários das obras clientes.

Buscando diminuir os custos de frete, existe no estado de São Paulo uma iniciativa em que o transporte ferroviário é ferramenta fundamental para a viabilização da reciclagem de RCD. O resíduo é transportado do centro urbano de São Paulo até a região do Vale do

Paraíba, onde o processo de reciclagem acontece. Ao retornar para a cidade de São Paulo, o trem carrega agregados reciclados, ou seja, o sistema de transporte é integralmente utilizado nos dois trajetos. Além disso, a empresa conta com terminais ferroviários e áreas de transbordo de forma a estruturar uma rede de transporte com custos mínimos de frete.

De maneira geral, os empreendimentos procuram flexibilizar suas operações, seja com equipamentos móveis ou com instalações simples e compactas na própria fonte de geração do resíduo. Outra alternativa é cobrar pela taxa de serviço de gestão dos resíduos ou trabalhar com altos volumes de produção para diluir os investimentos e os custos fixos. Além disso, fica evidente alguns pontos na aplicação dos produtos, como por exemplo a falta de controle de qualidade dos produtos, a falta de confiabilidade com relação à duração, às exigências mecânicas e químicas aos produtos.



Figura 3 – Blocos e pré-moldados confeccionados com agregados reciclados na própria usina de reciclagem. Fonte: Aterro Sete Praias



Figura 4 – Instalação de peneira de alta-frequência para fracionamento da areia para aplicação em argamassas. Fonte: ATT Morelix

5.2 PROCESSO PRODUTIVO E INVESTIMENTOS INICIAIS

Em ambos os cenários considerados (ATT-UR e UR), o fluxograma de processamento da usina de reciclagem será o mesmo. O processo produtivo e os equipamentos necessários serão escolhidos de modo que haja a produção de agregados miúdos reciclados para a substituição parcial dos agregados naturais na formulação de argamassas.

Definiu-se que a usina de reciclagem deverá ser instalada o mais próxima do centro urbano, a uma distância média de 40 km até a fábrica de argamassas. A localização da respectiva fábrica foi definida pela maior concentração de tal indústria no entorno da Metrópole de São Paulo; o mesmo ocorre com as minerações de agregados, sendo assim, os custos de transportes dos insumos entre os respectivos empreendimentos ficam reduzidos.

Para os dois cenários, o processo produtivo consistirá na produção inicial de agregados com dimensão máxima de 19 mm, isento de impurezas orgânicas e materiais metálicos, para o abastecimento de uma fábrica de argamassa. Nesta, o material passará pelas seguintes operações unitárias: secagem em secador horizontal, moagem em moinho BHS Sand Maker², classificação pneumática para remoção dos finos (denominado filler, com dimensão característica de 0,074 mm) e fracionamento da areia em peneiras vibratórias.

A capacidade adotada foi de 15.000 toneladas mensais, posto isto, a substituição parcial adotada será de aproximadamente 50% do respectivo agregado (4.400 m³ mensais).

No que diz respeito aos valores dos investimentos iniciais, as estimativas foram definidas com as visitas técnicas e sugestões da empresa produtora de agregados naturais e são apresentadas na Tabela 4 para o cenário ATT-UR e na Tabela 5 para o cenário UR.

² BHS Sand Maker é um equipamento que tem por característica principal reduzir o tamanho das partículas e ao mesmo tempo promover o arredondamento de suas arestas, por isso é utilizado na produção de areia. Muito conhecido na Europa, mas pouco popular no Brasil, onde são utilizados preferencialmente britadores de impacto vertical (VSI).

Tabela 4 – Investimentos iniciais do Cenário ATT-UR

Investimento Inicial			
Terreno e Construção			
Terreno 20.000 m ²	200 R\$/m ²		R\$ 4.000.000,00
Construção da Planta / Projetos / Terraplanagem			R\$ 2.000.000,00
Portaria/Balança (Expedição)			R\$ 250.000,00
Administração (3 Contêineres de 6 m)	R\$ 30.000 unitário		R\$ 90.000,00
Oficina Mecânica			R\$ 150.000,00
Subtotal terreno e construção ATT-UR			R\$ 6.490.000,00
Equipamentos			
Equipamentos Fixos	Capacidade/Modelo	Qt.	
Moega de Carregamento	6m ³	1	R\$ 40.000,00
Esteira de Catação		1	R\$ 20.000,00
Correias Transportadoras	24" x 21m	4	R\$ 240.000,00
Extrator Magnético	auto limpante	1	R\$ 60.000,00
Britador Mandíbula	50 t/h	1	R\$ 400.000,00
Britador Cônico	70 t/h	1	R\$ 300.000,00
Peneiras 3 decks	3015 / 1 Deck	1	R\$ 75.000,00
Outros (peças de reposição, instalações civis, calhas,...)			R\$ 100.000,00
Equipamentos Móveis	Modelo	Qt.	
Caminhão	30 ton	1	R\$ 500.000,00
Carregadora	Caçamba de 2m ³	1	R\$ 500.000,00
Subtotal equipamentos ATT-UR			R\$ 2.235.000,00
Total investimentos iniciais ATT-UR			R\$ 8.725.000

Tabela 5 – Investimentos iniciais do Cenário UR

Investimento Inicial			
Terreno e Construção			
Terreno 10.000 m ²	200 R\$/m ²		R\$ 2.000.000,00
Construção da Planta / Projetos / Terraplanagem			R\$ 1.000.000,00
Portaria/Balança (Expedição)			R\$ 250.000,00
Administração (3 Contêineres de 6 m)	R\$ 30.000 unitário		R\$ 90.000,00
Oficina Mecânica			R\$ 150.000,00
Subtotal terreno e construção UR			R\$ 3.490.000,00
Equipamentos			
Equipamentos Fixos	Capacidade/Modelo	Qt.	
Moega de Carregamento	6m ³	1	R\$ 40.000,00
Esteira de Catação		1	R\$ 20.000,00
Correias Transportadoras	24" x 21m	4	R\$ 240.000,00
Extrator Magnético	Auto Limpante	1	R\$ 60.000,00
Britador Mandíbula	50 t/h	1	R\$ 400.000,00
Britador Cônico	70 t/h	1	R\$ 300.000,00
Peneiras 3 decks	3015 / 1 Deck	1	R\$ 75.000,00
Outros (peças de reposição, instalações civis, calhas ...)			R\$ 100.000,00
Equipamentos Móveis	Modelo	Qt.	
Carregadora	Caçamba de 2m ³	1	R\$ 500.000,00
Subtotal equipamentos UR			R\$ 1.735.000,00
Total investimentos iniciais UR			R\$ 5.225.000

A usina de reciclagem apresentará dois estágios de britagem, sendo o primário um britador de mandíbulas e o secundário um britador cônico (Figura 5). Além disso, a instalação contará com um extrator auto limpante de sucata, esteira para a catação manual de contaminantes (pregos, madeira, cerâmicas, materiais orgânicos), uma carregadora e uma peneira. As instalações civis contarão com uma expedição com balança rodoviária, contêineres especiais para a administração e uma oficina mecânica para a manutenção da carregadora e equipamentos da britagem.

A usina será de pequeno porte com capacidade de 50 t/h, operando com um turno semanal de 44 horas com disponibilidade de 80% da britagem. Considerando uma densidade bulk aproximada do produto de 1,6 t/m³, a produção mensal será de 4.400 m³ mensais de agregados reciclados para atender a demanda de substituição parcial em 50% do agregado natural na fábrica de argamassa.

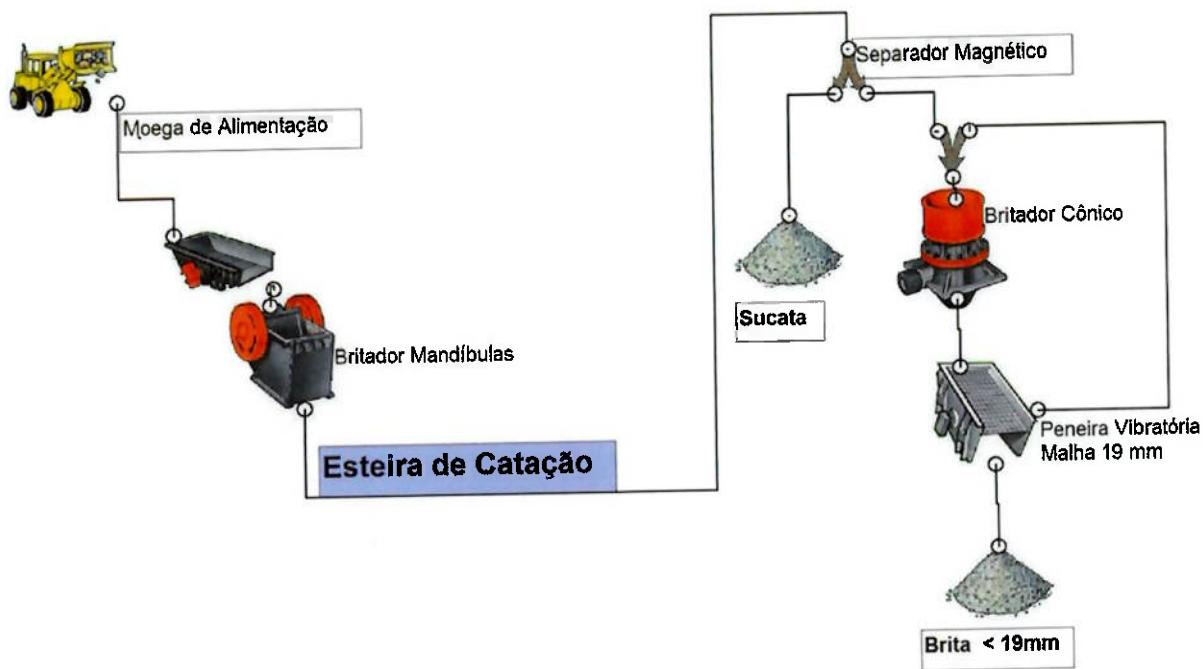


Figura 5 – Fluxograma da britagem para os dois cenários estudados

5.3 CUSTO OPERACIONAL

O levantamento dos custos operacionais seguiu a linha do levantamento dos investimentos iniciais. O custo operacional para o Cenário ATT-UR e UR foi determinado por meio de visitas técnicas e estimativas propostas por diferentes empresas produtoras de agregados.

De maneira geral, os custos operacionais fixos são compostos pelo salário da equipe e manutenção dos equipamentos, tal como apresentados na Tabela 6. Para o Cenário ATT-UR serão necessários nove empregados qualificados distribuídos em três operadores de britagem, um soldador mecânico, um eletricitista, dois operadores de máquinas móveis, um administrativo e um segurança; no caso dos empregados de baixa qualificação educacional serão quatro na triagem. Para o Cenário UR serão necessários os mesmos nove empregados qualificados exercendo as mesmas funções do Cenário ATT-UR e apenas dois empregados não qualificados na triagem.

Os custos de manutenção para os dois cenários serão de 10% ao ano do total de investimentos em equipamentos que necessitam de manutenção; tal porcentagem é a mesma utilizada pela empresa fabricante de materiais para construção civil em suas mineradoras.

Tabela 6 – Custos fixos para os diferentes cenários

Custos fixos - cenário ATT-UR			
Mão de obra com impostos			
Qualificada 4.000 R\$/mês	9	funcionários	R\$ 36.000,00
Não qualificada 1.500 R\$/mês	4	funcionários	R\$ 6.000,00
Gerente 8000 R\$/mês	1	gerente	R\$ 8.000,00
Manutenção/Desgaste	10 % a.a. sob valor dos equipamentos		R\$ 18.625,00
Subtotal fixos ATT-UR			R\$ 68.625,00
Custos fixos - cenário UR			
Mão de obra com impostos			
Qualificada 4.000 R\$/mês	9	funcionários	R\$ 36.000,00
Não qualificada 1.500 R\$/mês	2	funcionários	R\$ 3.000,00
Gerente 8.000 R\$/mês	1	gerente	R\$ 8.000,00
Manutenção/Desgaste	10 % a.a. sob valor dos equipamentos		R\$ 14.458,33
Subtotal fixos UR			R\$ 61.458,33

Para os custos variáveis foram estimados os consumos de energia elétrica, água, diesel e destinação dos rejeitos (Tabela 7).

Os rejeitos possuem dois destinos possíveis de acordo com a composição, por exemplo: os solos e materiais cerâmicos são destinados a aterros de inertes, já no caso dos papéis, matéria orgânica, plástico, entre outros resíduos são destinados a aterros sanitários. A contaminação deste último é estimada pelas recicladoras como sendo 5% de massa do total recebido para o Cenário ATT-UR e de 2% para o Cenário UR. A contaminação de solos e materiais cerâmicos foi de difícil estimativa, pois varia muito com o decorrer do ano e com os fornecedores de resíduos, sendo assim, a estimativa encontrada foi o dobro da massa dos resíduos com destinação para aterros sanitários. Nota-se que essa parcela dos custos apresentam papel fundamental na viabilidade do negócio, visto que compõe aproximadamente metade dos custos variáveis.

O consumo estimado de energia elétrica depende do material a ser processado (resistência à cominuição), dos equipamentos e do período de operação da usina (principalmente em relação ao horário de pico de energia elétrica onde os custos são mais elevados). Uma estimativa média considerada por diferentes empresas produtoras de agregados é de R\$ 1,10 reais/t de produto.

O consumo de diesel varia de acordo com o tipo de atividade dos equipamentos móveis, com o porte e com o preço do combustível. De acordo com dados médios de produtores de agregados, o consumo de diesel é da ordem de 20 l/h de funcionamento dos equipamentos móveis nas minerações de agregados.

Tabela 7 – Custos variáveis para os diferentes cenários

Custos variáveis - cenário ATT-UR				
Energia (0,35 R\$/kWh)	7603,2		kWh	R\$ 2.661,12
Água (1,75 R\$/m³)	3000		m³	R\$ 5.250,00
Rejeitos - Aterro Inerte	704	30	t , km	R\$ 7.392,00
Rejeitos – Aterros Sanitários	352	30	t , km	R\$ 26.329,60
Diesel	4928	2	R\$/mês , carregadeiras	R\$ 9.856,00
Subtotal fixos ATT-UR				R\$ 51.488,72
Custos variáveis - cenário UR				
Energia 0,35 R\$/kWh	7603,2		kWh	R\$ 2.661,12
Água 1,75 R\$/m³	3000		m³	R\$ 5.250,00
Rejeitos - Aterro Inerte	287	30	t , km	R\$ 3.017,14
Rejeitos – Aterros Sanitários	144	30	t , km	R\$ 10.746,78
Diesel	4928	1	R\$/mês , carregadeiras	R\$ 4.928,00
Subtotal fixos UR				R\$ 26.603,04

5.4 LOGÍSTICA DA USINA PARA FÁBRICA DE ARGAMASSAS

Os agregados para construção civil ainda são abundantes na natureza e consumidos em grandes escalas, sendo os centros urbanos os maiores consumidores dessa matéria prima. Como consequência disso, os custos logísticos compõem uma ampla parcela do preço final. Com o propósito de estudar a logística envolvida na cadeia de agregados em centros urbanos, Aguirre e Hennies (AGUIRRE e HENNIES, 2010) realizaram um levantamento sobre os custos envolvidos na logística do agregado em São Paulo.

De acordo com esse levantamento, o agregado é comercializado na mineradora com um valor de R\$ 18,00/m³ com frete a R\$ 0,09/m³.km, com destino a grandes distribuidores. Após isso, o agregado segue para o revendedor de materiais de construção para finalmente chegar ao cliente final. Partindo de um raio de 15 km entre a mineração e o cliente final, o agregado chega com preço final de aproximadamente R\$ 63,00/m³ (3,5 vezes o valor inicial).

Fica evidente que o preço final do agregado é composto em grande parte pelos custos de logística. As ações propostas pelo estudo envolvem o uso racional de diferentes veículos (carretas, trucks, toco e VUCs), o estudo da viabilidade de entrega direta ao consumidor final e o escalonamento de horários para melhor atendimento.

A análise dos custos de transporte entre a usina recicladora e a fábrica de argamassa a ser implantada foi feita a partir de dados fornecidos por empresas produtoras de agregados (Tabela 8). As informações referem-se ao transporte de agregados das minerações na RMSP até o centro urbano da cidade de São Paulo e os percursos envolvem

trajetos urbanos com média de 1 pedágio. Conclui-se que o transporte de agregados na RMSP fica em torno de R\$ 12,00 por tonelada. A determinação da distância que o caminhão irá percorrer será de aproximadamente 40 km.

Tabela 8 - Custo de transporte do agregado da mineradora à fábrica de argamassa

Frete				
	Quantidade	Distância	Unidades	R\$
Mineração - fábrica de argamassa	7.040	40	t. km	R\$ 84.480,00
			Subtotal	R\$ 84.480,00

O presente estudo considerou os custos de transporte envolvendo apenas o transporte dos agregados reciclados, sendo assim, o caminhão no trajeto de ida para a fábrica estará cheio e na volta vazio. Entretanto, existe a possibilidade de no retorno o caminhão atender ao transporte de agregado natural das minerações de agregados próximas a fábrica para o centro urbano. Como resultado, os custos de transportes seriam reduzidos.

5.5 RECEITA DA USINA

Os agentes que recebem o RCD têm como receita tanto o recebimento do material quanto a venda do produto beneficiado. As empresas recicladoras realizam a avaliação visual da qualidade e quantidade do RCD durante a recepção, através desse procedimento é definida a taxa de entrada do resíduo dentro do estabelecimento (a recicladora é paga por receber o resíduo). Tal prática é fundamental no plano de gestão das usinas, em decorrência dos elevados custos de destinação dos contaminantes, como já calculados.

Na Usina Solos em Americana-SP, a usina opera com duas vias de processo possíveis. Tal configuração é razão do recebimento tanto de resíduos de concreto das Centrais Dosadoras de Concreto, quanto de resíduos de caçambeiros terceirizados (variação de resíduos de concreto e mistos de concreto e alvenaria). O preço do agregado reciclado varia de acordo com a natureza do resíduo, sendo da ordem de R\$ 30/t a R\$ 35/t de resíduos de concreto (cinza) e R\$ 25/t de resíduos mistos (cerâmicos ou vermelhos). A distinção entre os resíduos é feita de modo visual no momento de recepção do entulho, e baseada essencialmente na cor do RCD.

O presente trabalho considera como receita a recepção dos resíduos e a venda de agregados reciclados (R\$ 22/t), não sendo considerada a venda dos demais materiais passíveis de reciclagem (aço, papel, madeira, dentre outros). A taxa de entrada para o Cenário ATT-UR será de R\$ 100 por caçamba de 5m³, sendo aproximadamente R\$ 13/t (a densidade do resíduo é de aproximadamente 1,5 t/m³); para o Cenário UR a cobrança será

de R\$ 60 por caçamba, o que corresponde a aproximadamente R\$ 10/t. Na Tabela 9 temos os valores das receitas para ambos os cenários.

Tabela 9 – Receita para os Cenários ATT-UR e UR

Receita		
Cenário	Taxa Entrada (R\$/t)	Agregado Reciclado (R\$/t)
ATT-UR	R\$ 13,00	R\$ 22,00
UR	R\$ 10,00	R\$ 22,00

6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Depois de levantados e estimados os dados do projeto, é possível convertê-los em indicadores econômicos que permitam avaliar a rentabilidade, os riscos e a comparação com demais projetos ou investimentos. Com este objetivo faz-se necessário o cálculo do fluxo de caixa do projeto, no qual são calculados os indicadores econômicos mais relevantes para a tomada de decisão.

6.1 MINERAÇÕES DE AGREGADOS E CENTRAIS RECICLADORAS

Inicialmente, uma comparação entre minerações de agregados e centrais recicladoras foi feita. Na Figura 6 tem-se um esquema simplificado das duas alternativas que existem para o abastecimento com agregados em uma fábrica de argamassas.

Como todo empreendimento mineiro, as minerações de agregados apresentam elevados investimentos, necessidade de infraestrutura desenvolvida nos arredores, longo período de maturação, vida útil, projeto de recuperação ambiental com o término da exploração, dentre outros fatores negativos. Em contrapartida, no caso das centrais recicladoras pode-se citar os diversos benefícios sociais, ambientais e econômicos de iniciativas recicladoras, como já mencionado.

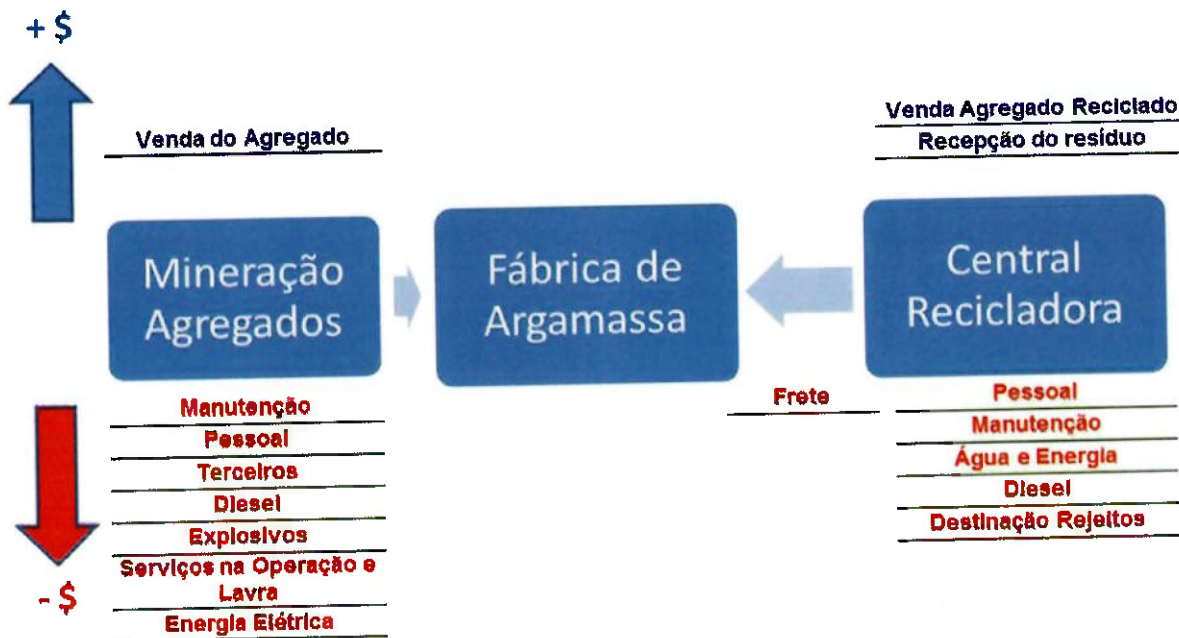


Figura 6 - Esquema simplificado dos custos e receitas

Para efeito de comparação de custos com os dois cenários (ATT-UR e UR) foi feito um levantamento dos custos de minerações de agregados de grande porte (130 kton/mês) na Região Metropolitana de São Paulo. De acordo esses empreendimentos mineiros, o

custo fica em aproximadamente R\$ 10/t. Na Figura 7 é apresentado o gráfico com os custos divididos, sendo que os custos fixos estão deslocados para melhor compreensão. Nota-se que tais custos representam quase que 50% dos custos totais, portanto, fica evidente o ganho de rentabilidade com o emprego da capacidade máxima das unidades.

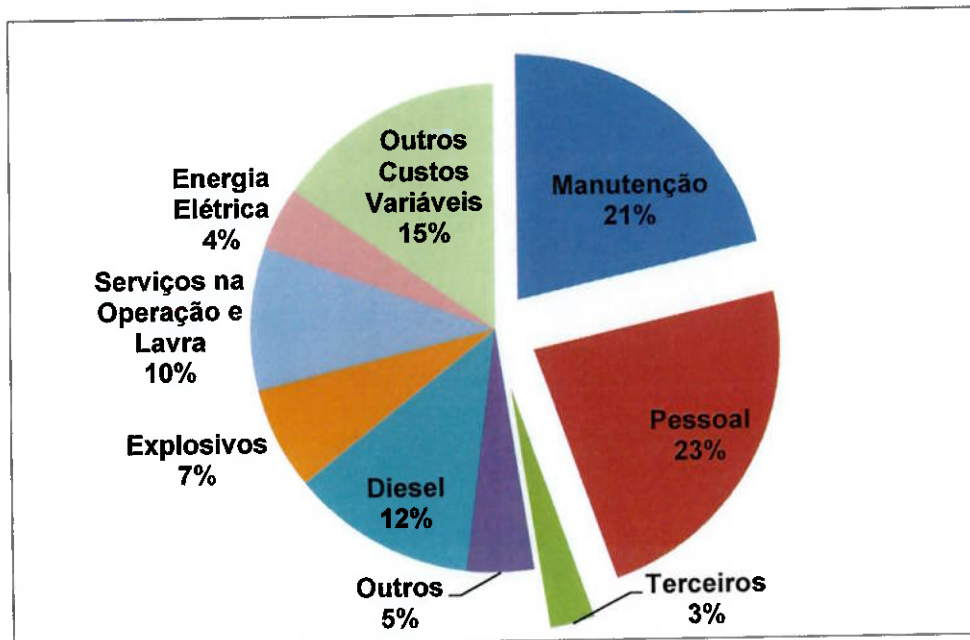


Figura 7 - Custos médio de produção em minerações de agregados em São Paulo (R\$ 10 /t)

Sob o ponto de vista de produção do agregado em minerações para o abastecimento em fábricas de argamassas, o valor do frete entre tais empreendimentos não foi levado em consideração, pois de maneira geral ambos estão localizados muito próximos entre si.

6.2 INDICADORES ECONÔMICOS

Como já representado na Figura 6, nos dois cenários (ATT-UR e UR) as entradas do fluxo corresponderão à venda do agregado e a taxa de entrada do resíduo. Para as saídas serão os investimentos de implantação, custos operacionais e impostos. Com os valores do fluxo de caixa livre é possível avaliar a rentabilidade, os riscos e comparar com outros projetos ou investimentos. Com base no fluxo de caixa e uma avaliação econômica são calculado os indicadores econômicos.

Indo de encontro com produção de agregados em minerações, o processo de reciclagem resultam nas distribuições de custos apresentadas na Figura 8 e na Figura 9. Logo, fica claro que os custos do frete entre as centrais recicladoras e a fábrica de argamassa apresentam a maior parcela nos custos totais.

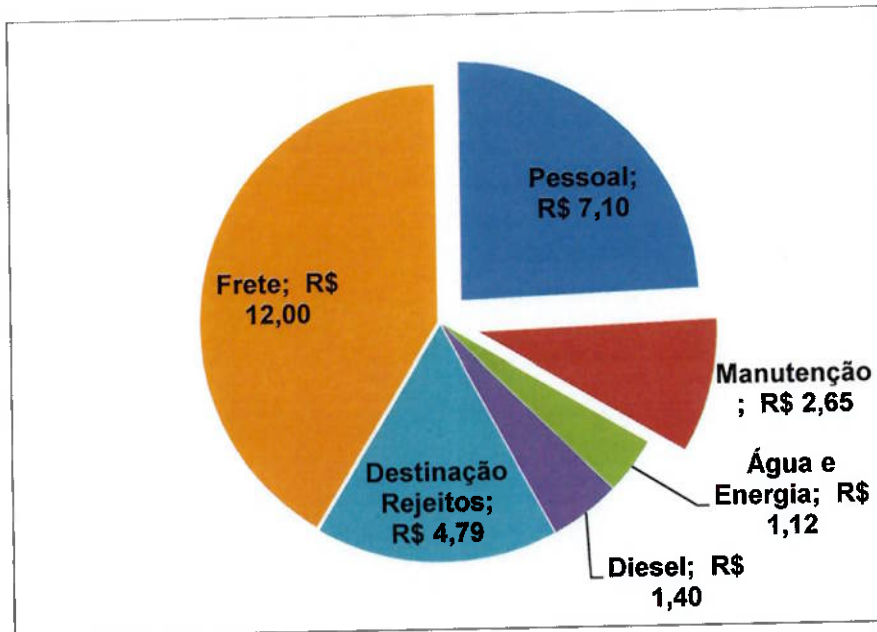


Figura 8 – Custos Cenário ATT-UR

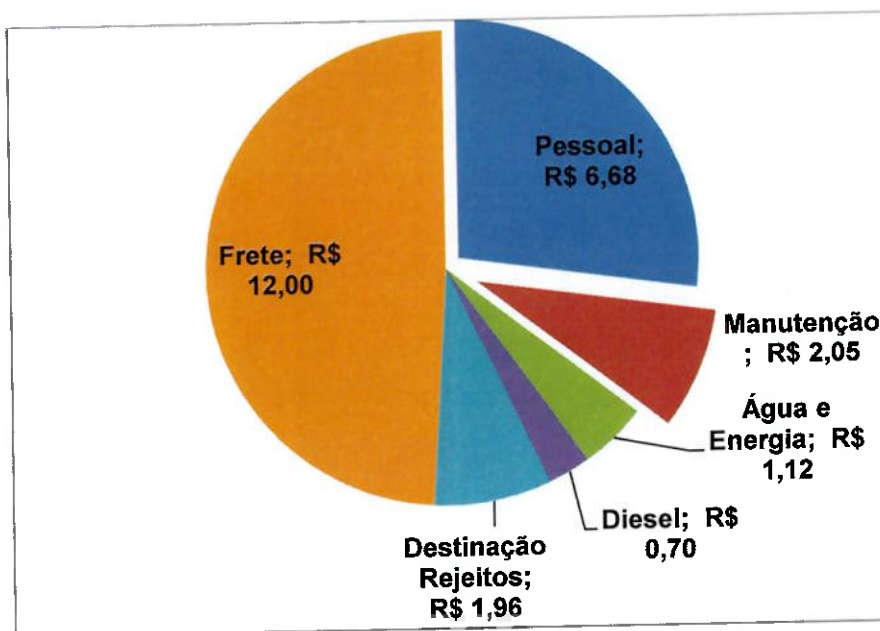


Figura 9 – Custos Cenário UR

Para o cálculo do VPL considerou-se um horizonte do projeto de 10 anos com taxa de desconto de 8,3%.

Na Figura 10 são apresentados os valores de fluxo de caixa livre, o valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para os dois cenários considerados. Na Tabela 10 são apresentados comparativamente os resultados dos indicadores econômicos.

Tabela 10 – Indicadores econômicos para os distintos cenários considerados

Cenário	Fluxo de caixa livre	VPL	TIR
ATT-UR	R\$ 985.214,76	- R\$ 1.061.250,72	2,27%
UR	R\$ 628.943,87	- R\$ 2.202.657,63	3,52%

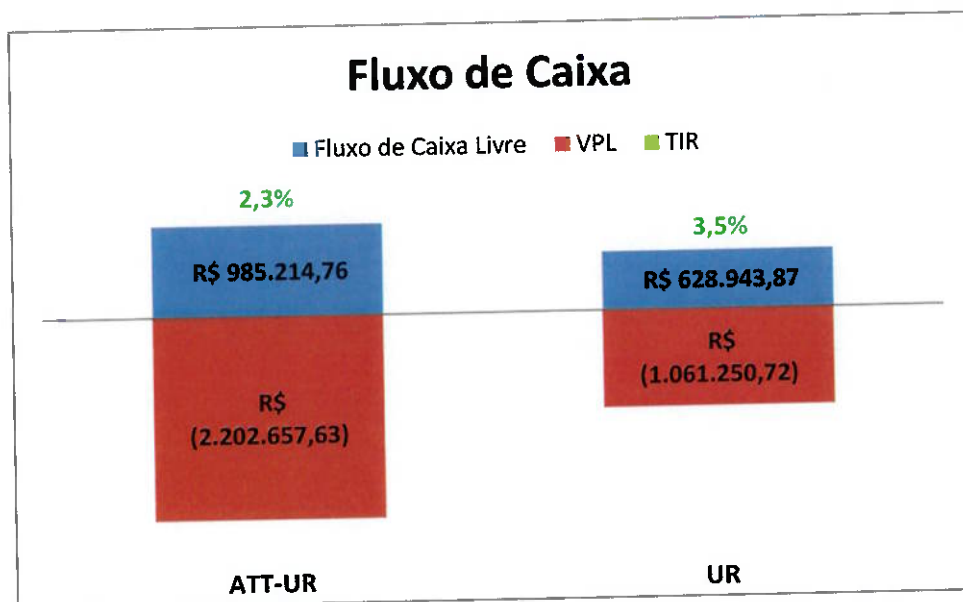


Figura 10 – Indicadores econômicos comparativos para os distintos cenários considerados

Com os dados apresentados observa-se que ambos não apresentam indicadores atrativos, entretanto o Cenário UR apresentou melhores resultados frente ao Cenário ATT-UR. Através dessa comparação verificam-se os efeitos das atividades operacionais em centrais de reciclagem.

Embora o Cenário ATT-UR apresente maiores capacidades de recebimento e maiores taxas de entrada, as atividades operacionais envolvidas geram maiores custos variáveis com a destinação dos contaminantes. Os resíduos não inertes e impassíveis de reciclagem possuem elevados custos de destinação.

Os indicadores econômicos mostram que as condições de operação e de mercado dos agregados reciclados não viabilizam a iniciativa privada para os cenários estudados. Os investimentos iniciais são elevados para o respectivo volume de produção da usina, visto a necessidade de um terreno com grande porte. Além disso, o levantamento dos custos indica que a destinação dos contaminantes e o transporte até a fábrica de argamassas são os principais responsáveis pela inviabilidade. Entretanto, é importante reforçar que a complexidade dos sistemas logísticos e os diferentes participantes dentro da gestão do RCD permite a estruturação de diferentes cenários possíveis.

O preço praticado pela venda do agregado reciclado também reflete na baixa competitividade de empreendimentos de centrais de reciclagem. O baixo preço é resultado das deficientes políticas de incentivos ao consumo do agregado reciclado, da falta de informação sobre a aplicação de tais produtos e do baixo valor dos agregados naturais (a precificação do agregado reciclado está diretamente vinculada ao preço do agregado natural).

No que diz respeito ao agregado natural, a prática de preços muito baixos e da concorrência desleal no mercado decorre de diversos fatores, entre eles, o envolvimento de interesses políticos através de obras de infraestruturas, informalidade no mercado possibilitando ilegalidades tanto no transporte quanto na emissão de notas fiscais, processos produtivos em minerações que não estão de acordo com normas de segurança, dentre outros fatores.

7 CONCLUSÕES

Nos cenários estudados, a viabilidade econômica de usinas recicladoras de agregados na Região Metropolitana de São Paulo depende essencialmente de questões logísticas e da necessidade da destinação dos contaminantes. Além disso, os principais obstáculos para a viabilidade técnica e econômica das usinas de reciclagem são: a falta de incentivos públicos a essas iniciativas, os elevados índices de deposição irregular do RCD e a falta de comprometimento da triagem do material na origem do resíduo.

No que tange a falta de atratividade dos investimentos tem-se que o elevado custo de frete (R\$ 12,00/t) afeta de forma crucial a rentabilidade do empreendimento. Tal custo revela a necessidade de se estudar alternativas para minimizá-lo, seja instalando a central recicladora mais próxima da fábrica de argamassa ou estruturando um sistema de transporte por caminhões em que se tenha um maior proveito das viagens (por exemplo, no trajeto de ida para a fábrica de argamassa, o caminhão transporta RCD e no retorno para o centro urbano, o caminhão transporta argamassa). Explorando o conceito de forma mais ampla, existe também a possibilidade da estruturação de sistemas de transportes mais econômicos, como por exemplo, o ferroviário (já citado) e fluvial.

Avançando nas operações de reciclagem, existe ainda a possibilidade da instalação de uma fábrica de argamassas, no centro urbano, utilizando agregado reciclado e natural, ou seja, a central recicladora passaria a apresentar mais etapas de fabricação de forma a agregar maior valor ao produto. Portanto, o desdobramento das etapas e a complexidade logística da gestão do RCD possibilita uma diversidade de cenários com diferentes oportunidades, riscos e rentabilidades.

Os resultados desse estudo revelaram que o mercado de valorização do RCD em São Paulo apresenta uma série de oportunidades, tanto pelo aquecimento do setor de materiais de construção civil, quanto pela massiva geração dos resíduos. Enfatiza-se a importância do alinhamento dos estudos técnicos com as análises de viabilidade econômica, visto que dentro do contexto de reciclagem de RCD deve-se ter em mente a necessidade de um processo operacional e logístico rentável com um produto beneficiado que tenha confiabilidade com relação à durabilidade, às exigências mecânicas e químicas dos produtos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: NBR-7211: Agregados para concreto - Especificação. 2005.

AGUIRRE, A. D. B.; HENNIES, W. T. *Logística para agregados (brita e areia) em grandes centros urbanos*. 2010

ANGULO, S. *Apresentação: Estratégias para a gestão de RCD em pequenos e grandes municípios*. São Paulo. 2012

ÂNGULO, S.; ULSEN, C.; KAHN, H.; JOHN, V. *Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD*. São Paulo. 2002

ANGULO, S. C.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M.; ALMEIDA, S. L. M.; LIMA, F. M. R. S.; GOMES, P. C. *Análise comparativa da tecnologia de usina na reciclagem da fração mineral dos resíduos de construção e demolição*. In: *XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME)*, 2005. Natal. **Proceedings**. Natal: 2005. p. 305-312.

COSTA, N. D. *Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada*. 2008

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. D. *Elaboração e Avaliação Econômica de Projetos de Mineração*. Rio de Janeiro. 2002

GBC Brasil. 2013.

JADOVISK, I. *Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição*. Porto Alegre. 2005

LOTURCO, B. A nova lei do lixo. *TÉCHNE*, p. 52-55, 2004.

MIRANDA, L. F. R. *Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduo classe A da construção civil*. São Paulo. 2005

MONIER, V.; MUDGAL, S.; HESTIN, M.; TRARIEUX, M.; MIMID, S. *SERVICE CONTRACT ON MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE – SR1*. Paris. 2011

NUNES, K. R. A. *Avaliação de Investimentos e de Desempenho de Centrais de Reciclagem para Resíduos Sólidos de Construção e Demolição*. Rio de Janeiro. 2004

NUNES, K. R. A. *Avaliação de Investimentos e de Desempenho de Centrais de Recycling para Resíduos de Construção Civil e Demolição: Estudo de Caso para o Município do Rio de Janeiro*. 2004. 276 p. Tese (Doutorado) -, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PINTO, T. D. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. São Paulo. 1999

SCHNEIDER, D. M. *Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo*. São Paulo. 2003

SERNA, H. A. D. L.; RECUERO, J. C.; REZENDE, M. M.; CAVALCANTI, V. M. M.
Agregados para construção civil. São Paulo. 2009

ULSEN, C. *Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição*. São Paulo. 2011

APÊNDICE

Resolução 307/2002 - CONAMA

Através da Lei 6.938/1981 foi definida a Política Nacional do Meio Ambiente e criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Trata-se de um órgão responsável pela deliberação e consulta da política nacional do meio ambiente, além disso é de competência da instituição estabelecer diretrizes e normas técnicas relativas à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais.

A expansão da urbanização nacional aliada à inadequada gestão dos resíduos oriundos dessa atividade acarretou no agravamento da disposição inadequada dos resíduos de construção. Para reverter essa situação foi aprovada pelo CONAMA em 2002 a resolução 307, que visa disciplinar as atividades relacionadas com os resíduos da construção civil.

A Resolução CONAMA 307/2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Tal norma inclusive proíbe expressamente a disposição de resíduos da construção civil em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora" (aquelas áreas que não possuem Licença Ambiental), em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. Portanto, de forma alguma, os resíduos poderão ser enviados a locais não licenciados pelo órgão ambiental competente.

A Resolução CONAMA 307/2002 no artigo 2º define os resíduos da construção civil da seguinte forma:

I – Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Em seu artigo 3º a Resolução CONAMA 307/2002, alterada pela Resolução CONAMA 348/2004 (inciso IV, Art 3º) classifica os resíduos da construção civil em quatro classes:

I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelação, metais, vidros, madeiras e outros;

III – Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV – Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem, como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A Resolução CONAMA 307/2002 no artigo 6º define o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil para gestão dos resíduos da construção civil a ser elaborado pelos Municípios e Distrito Federal, constando o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de responsabilidade dos grandes geradores de resíduos da construção civil.

A partir de 2004, por determinação da Resolução CONAMA 307/2002, todos os municípios devem ter um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil. Um “Manual de Orientação” foi desenvolvido pelos: Ministério das Cidades, Ministério do Meio Ambiente e Caixa Econômica Federal. Esse manual visa orientar a elaboração do plano, de maneira a incentivar a reciclagem dos resíduos, definir as obrigações dos agentes públicos e privados e orientar os pequenos e grandes geradores.

Para melhor gerenciar os resíduos da construção civil a resolução CONAMA 307/2002 dividiu o processo de gerenciamento em cinco etapas:

I – caracterização: o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

II – triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no artigo 3º da resolução 307/2002

III – acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando condições de reutilização e de reciclagem;

IV – transporte: deverá ser realizado de acordo com as normas técnicas vigentes;

V – destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido na resolução 307/2002.

Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12305/2010

A lei 12305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei 12305/2010 dentre outras exigências, estrutura a logística reversa, que consiste em um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Portanto, as empresas são obrigadas a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- agrotóxicos, seus resíduos, embalagens e outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso;
- pilhas e baterias;
- pneus;
- óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- produtos eletrônicos e seus componentes.

A lei 12305/2010 no artigo 13 define o resíduo de construção civil como:

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - quanto à origem:

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

Entretanto, a lei 12305/2010 não estrutura a logística reversa para a construção civil e apenas reforça a exigência da implementação do plano de gerenciamento do resíduo.

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;

Parágrafo único. Observado o disposto no Capítulo IV deste Título, serão estabelecidas por regulamento exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

Certificações ambientais para “construções verdes”

Tanto a sociedade quanto o mercado de construção civil estão alinhados com um desenvolvimento sustentável, isto é, um crescimento econômico aliado à qualidade da vida humana e à preservação ambiental. Resultado disso é a expansão das certificações para edificações “Green Building”.

No momento, as duas principais certificações no mercado brasileiro são: o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e a AQUA (adaptação de Haute Qualité Environnemental). A maior parte das edificações brasileiras norteia-se pelo LEED por apresentar uma metodologia mais aceita comercialmente. O LEED é uma certificação para construções sustentáveis, concebida e concedida pela Organização Não Governamental americana U.S. Green Building Council (USGBC), os critérios levados em consideração são o uso racional de recursos (energia, água, material, etc.) utilizados por um edifício tanto no período de operação quanto na construção.

No Brasil tem-se a organização não governamental Green Building Council Brasil (GBC Brasil) responsável por fornecer as certificações LEED de acordo com a realidade e condições nacionais. Nas figuras abaixo são mostradas a distribuição regional, tipologia e a evolução dos registros LEED no Brasil reforçando ainda mais o potencial dessas edificações. De acordo com a organização, em 2012 haviam 79 edificações com certificados LEED em território brasileiro e 206 registros (Figura 11). Para obter a certificação de uma edificação, primeiramente, o projeto deve ser registrado junto ao USGBC e no Brasil quem

fornece essa certificação é o Green Building Council Brasil. Após o registro, a certificação só será válida com a confirmação dos pré-requisitos estabelecidos no registro.

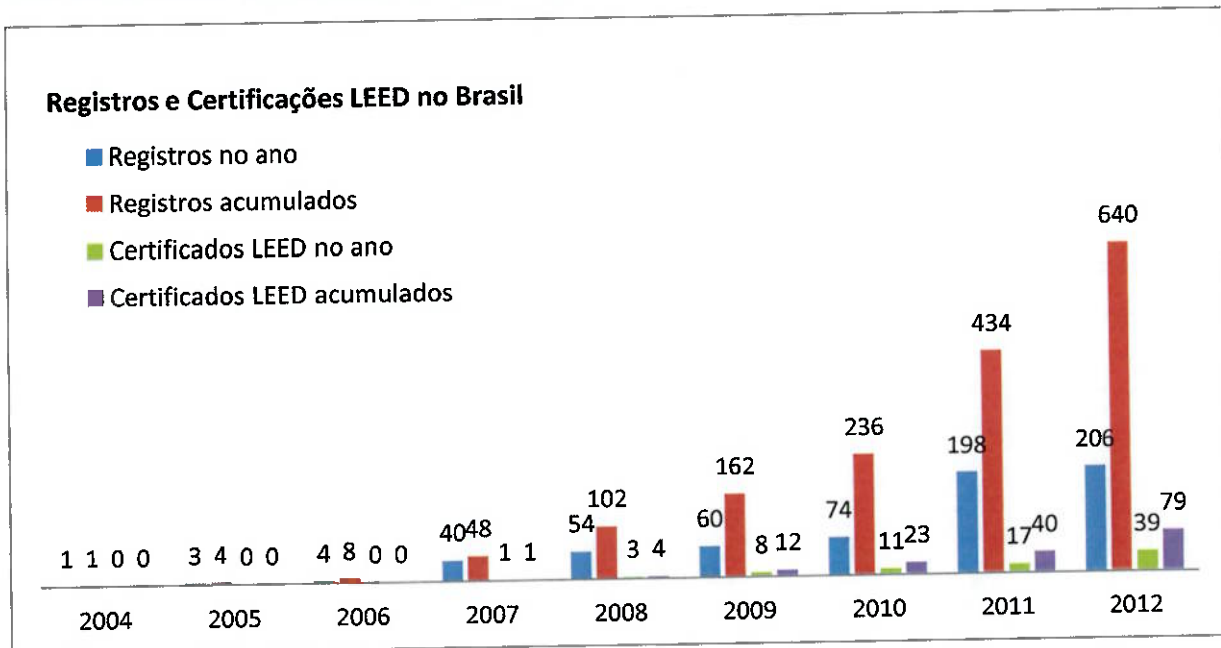


Figura 11 – Evolução do número de registros e certificações Leed no Brasil (GBC Brasil, 2013)

Os benefícios para as construções com certificação LEED englobam tanto o reconhecimento ambiental quanto a diminuição dos custos operacionais da edificação e a valorização do edifício. O proveito dessa atividade está presente em todas regiões do país, entretanto as construções estão centradas na região Sudeste (Figura 12). De acordo com um levantamento feito por uma consultoria para uma empresa de transporte coletivo que obteve o certificado em uma de suas garagens industriais, a economia anual no consumo de energia elétrica será de 13,5% para o edifício administrativo, 28,6% para o edifício de manutenção, no consumo de água a redução será aproximadamente 20%, resultando em aproximadamente 8% de economia do custo operacional da edificação como um todo.

Projetos registrados LEED por Estado



Figura 12 – Distribuição geográfica do número de empreendimentos com certificação Leed no Brasil (GBC Brasil, 2013)