



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
Área de Concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente

Jupira Almeida

VIABILIDADE TÉCNICA DO USO E ECONÔMICA DA
PRODUÇÃO DO AGREGADO DE RCD EM
PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

Passo Fundo

2015

Jupira Almeida

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO E ECONÔMICA DA
PRODUÇÃO DO AGREGADO DE RCD EM PAVIMENTAÇÃO
DE VIAS URBANAS**

Orientador: Prof. Francisco Dalla Rosa, Dr.

Coorientador: Prof. Adalberto Pandolfo, Dr.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia, na área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Passo Fundo

2015

Jupira Almeida

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO E ECONÔMICA DA
PRODUÇÃO DO AGREGADO DE RCD EM PAVIMENTAÇÃO
DE VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia, na área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Data da aprovação: 13 de Maio de 2015.

Professor Doutor Francisco Dalla Rosa
Orientador

Professor Doutor Adalberto Pandolfo
Coorientador

Professor Doutor Antônio Thomé
Universidade de Passo Fundo - UPF

Professora Doutora Luciana Londero Brandli
Universidade de Passo Fundo - UPF

Professora Doutora Amanda Dalla Rosa Johann
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Passo Fundo
2015

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus filhos Guilherme e Stéfano, que são a razão de meu esforço em busca de conhecimento e de aperfeiçoamento.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Francisco Dalla Rosa, pela orientação, pelas críticas e pelas sugestões que, mais do que nunca, permitiram a realização do trabalho.

Ao Professor Dr. Adalberto Pandolfo, pela coorientação, pelo apoio, incentivo, críticas e sugestões para a conclusão do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelo incentivo e pela colaboração na elaboração do trabalho.

Aos colegas professores e professoras do Curso de graduação em Engenharia e Arquitetura, também pelo incentivo e pela colaboração na conclusão do trabalho.

Ao meu colega e amigo Ailson Oldair Barbizan pela amizade, incentivo e companheirismo na conclusão deste trabalho.

Aos funcionários do CETEC, Juliana, Leunir, Amilton, Nilton e Lucas, pela amizade, por apoiar e colaborar na realização deste trabalho.

Ao meu esposo Vilmar, aos meus pais Maria e Adão e aos meus familiares e amigos, pelo apoio, paciência, compreensão e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a todas as pessoas que, de uma forma ou outra, deram-me força e incentivo, acreditando que não crescemos sem conhecimento.

Agradeço, por fim, a Deus, pois sem ele nada seria possível.

*“Toda natureza é um serviço,
Serve a nuvem, serve o vento, serve a chuva.
Onde houver uma árvore para plantar, plante-a você.
Onde houver um erro para corrigir, corrija-o você.
Onde houver um trabalho e todos se esquivam,
Aceita-o você.”*
(Gabriela Mistral)

RESUMO

A construção civil, através de construções novas, demolições e reformas, é responsável pela produção de resíduos, conhecidos como RCD – Resíduos de Construção e Demolição. Esses resíduos são, na maioria das vezes, apontados como passivo ambiental, associados a questões econômicas e sociais, devido a sua forma inadequada de disposição na natureza, os quais, quando dispostos de forma adequada em aterros sanitários, geram outro problema, o da indisponibilidade de área de acomodação, pois, devido a sua demanda, reduzem a vida útil destes aterros. Como uma das alternativas de reutilização, o RCD tem sido avaliado para usos em camadas de pavimentação, visando à redução dos custos elevados com a utilização de materiais usuais na construção de bases e sub-bases destes pavimentos. Para atender aos objetivos propostos, o presente estudo avaliou a viabilidade técnica e econômica do uso do agregado reciclado na construção de camadas de sub-bases para pavimentação de vias urbanas do município de Passo Fundo. Os resíduos foram selecionados e classificados na Classe A, transformando-os em agregado, o qual foi avaliado quanto a sua capacidade técnica, sendo considerado apto para o uso como base e/ou sub-base em pavimentação de vias urbanas. A análise da viabilidade técnica permitiu posteriormente ao dimensionamento das camadas de sub-base para as vias de pavimentação urbana, para as quais foram utilizados dados das vias urbanas do município de Passo Fundo, como estudo modelo, para o tráfego leve e médio, juntamente com o levantamento do quantitativo de material necessário para a execução destas vias e a quantidade de resíduo possível de processar. Para a análise da viabilidade econômica, foi elaborado um estudo de planta de uma usina de reciclagem de RCD, – com capacidade efetiva de 112 t/dia, levando-se em conta os custos para a implantação, a operação e a manutenção, sobre os quais foram gerados fluxos de caixa para a condição mais provável – o qual não apresentou viabilidade econômica. Foram avaliados outros dois cenários, com alteração em alguns parâmetros, alteração no preço de venda do produto e aumento da quantidade de matéria prima processada, e estes apresentaram viabilidade econômica nos fluxos de caixa do empreendedor na situação de aumento do material processado e do aumento no preço de venda do produto final, mas não apresentaram viabilidade nos fluxos de caixa do investidor.

Palavras-chaves: Resíduos de Construção e Demolição; Agregado Reciclado; Pavimentação Urbana; Viabilidade econômica de uma Usina de Reciclagem.

ABSTRACT

The civil construction, through new constructions, demolitions and renovations, is responsible for the production of waste, known as CDW - Construction and Demolition Waste. These residues are, for the most part, identified as environmental liabilities associated with economic and social issues, due to their improper disposition in nature, which, when arranged properly in landfills, generate another problem, the unavailability of accommodation area because, due your demand, reduce the useful life of landfills. As one of the alternatives of reusing, the CDW has been evaluated for using in paving layers in order to reduce the high costs by using usual materials in the construction of bases and sub-bases from these surfaces. To attend the proposed objectives, the present study evaluated the technical and economic viability of the use of recycled aggregate in the building of sub-base layers for paving urban roads in the city of Passo Fundo. The residues were selected and classified as Class A, turning them into aggregate, which were evaluated regarding its technical capacity, being considered suitable for the use as a base and/or sub-base for paving urban roads. The analysis of technical feasibility allowed after, the designing of sub-base layers for the process of urban paving, for which we used data from urban roads in the city of Passo Fundo as a study model for light and medium traffic, along with the quantitative of equipments needed for the implementation of these facilities and the amount of waste able to process. For the economic viability analysis, we designed a plant study of an CDW recycling factory, - with an effective capacity of 112 ton a day, considering the costs for the implementation, operation and maintenance, on which cash flows were generated for the most likely condition - which showed no economic viability. Other two scenarios were evaluated, with changes in some parameters, change in the selling price of the product and increasing the amount of raw material processed, and these showed the economic viability entrepreneur's cash flows in the situation of rising raw material and increase in sales of the final product price, but showed no viability in the investor's cash flows.

Keywords: Construction and Demolition Waste; Recycled aggregate; Urban Paving; Economic viability of a plant of recycling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Considerações iniciais	11
1.2	Problema de pesquisa	12
1.3	Justificativa.....	14
1.4	Objetivos	15
1.4.1	Objetivo geral	15
1.4.2	Objetivos específicos.....	16
1.5	Delimitação da pesquisa	16
1.6	Estrutura da dissertação	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	A geração de resíduos de construção e demolição.....	18
2.1.1	Índices de coleta de RCD - Brasil e regiões	19
2.1.2	Legislação ambiental e normas técnicas.....	24
2.1.3	Tipos de RCD no município de Passo Fundo	26
2.1.4	Panorama evolutivo do uso e reciclagem de agregado de RCD	28
2.2	Pavimentos	30
2.2.1	Estrutura de pavimentos	30
2.2.2	Dimensionamento de pavimentos.....	31
2.2.3	Comportamento dos pavimentos	32
2.3	Agregado de RCD	33
2.3.1	Agregado como camada de base e sub-base em pavimentação viária	34
2.3.2	Características técnicas dos agregados de RCD para pavimentação	35
2.4	A Reciclagem do Resíduo de Construção e Demolição	37
2.4.1	Processo de reciclagem.....	37
2.4.2	Equipamentos de reciclagem para RCD	40
2.5	Avaliação econômica de projetos	41
2.5.1	Métodos de análise de investimento	42
2.5.1.1	Análise de investimento na condição de certeza.....	42
2.5.1.2	Análise de investimento na condição de incerteza	50
2.5.2	Regimes tributários e seus enquadramentos	50
3	MÉTODO DA PESQUISA	52
3.1	Método e procedimento	52
3.2	Caracterização dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD	53
3.2.1	Separação, britagem do material e caracterização	53
3.3	Caracterização tecnológica	54
3.3.1	Composição granulométrica	54
3.3.2	Dimensões máxima característica.....	55
3.3.3	Índice de forma.....	55
3.4	Análise da capacidade estrutural	56
3.5	Dimensionamento da estrutura do pavimento	56
3.6	Levantamento de quantitativos e definição da Unidade de Reciclagem.....	57
3.7	Avaliação da Viabilidade econômica	58
3.7.1	Análise da viabilidade econômica na condição mais provável.....	58
3.7.2	Análise da viabilidade econômica com mudanças de cenários.....	61
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	62
4.1	Avaliação Tecnológica	62
4.1.1	Caracterização dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD	62
4.1.2	Caracterização tecnológica	64
4.1.3	Análise da capacidade estrutural	67
4.2	Dimensionamento da estrutura do pavimento	69
4.2.1	Estrutura dos pavimentos.....	70
4.2.2	Análise mecânica: Capacidade de suporte dos subleitos	72
4.2.3	Estimativa de consumo de agregados.....	74
4.3	Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição	75
4.3.1	Estrutura da unidade	76

4.3.2	Funcionamento	79
4.3.3	Levantamento inicial de implantação e de operação do empreendimento	80
4.4	Análise Econômica do empreendimento	82
4.4.1	Licenciamento ambiental.....	82
4.4.2	Subsídios para a análise econômica.....	84
4.4.2.1	Investimento inicial	84
4.4.2.2	Custos e despesas	86
4.4.2.3	Preço de venda.....	92
4.4.2.4	Receita Bruta	92
4.4.2.5	Impostos	93
4.4.2.6	Avaliação econômica da Usina de Reciclagem de RCD	95
4.4.3	Análise de cenários com mudança de parâmetros	97
4.4.4	Considerações finais sobre a da viabilidade econômica	101
5	CONCLUSÕES	104
5.1	Conclusões do trabalho.....	104
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	106
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O desenvolvimento sustentável busca usar os recursos naturais de maneira que sua exploração seja racional, sem causar danos à natureza, nem em curto, nem em longo prazo. Formas alternativas de substituição desses recursos são cada vez mais exploradas. Uma dessas formas é o aproveitamento de materiais considerados de descarte, como o lixo, os resíduos ou o entulho.

Segundo Carvalho et al. (2007), o processo acelerado de urbanização, em consonância com os modelos atuais de desenvolvimento das sociedades, aumenta o descontrole na geração e no descarte dos seus resíduos sólidos. Dentre esses resíduos, estão aqueles resultantes dos processos construtivos, tanto de demolição, quanto de pequenas reformas. Tais resíduos, por causa de sua concentração desordenada, vêm alterando os panoramas das cidades, degradando a qualidade ambiental dessas cidades e resultando em prejuízos de ordem econômica e social. Essa situação se torna mais agravante durante os períodos chuvosos, quando tais detritos são carregados, entupindo os sistemas de drenagem e provocando enchentes.

Do ponto de vista ambiental, o problema principal ocasionado por esse tipo de resíduo está relacionado à sua deposição irregular e ao seu grande volume produzido. A deposição irregular do resíduo é muito comum em todo mundo. Esses resíduos depositados irregularmente causam não só enchentes, mas também provocam a proliferação de vetores nocivos à saúde, além da interdição parcial de vias e a degradação do ambiente urbano. Às vezes, esses resíduos são aceitos por proprietários de imóveis que os empregam como aterro, normalmente sem maiores preocupações com o controle técnico do processo. Essa prática pode levar a problemas futuros nas construções erigidas nestas áreas quando não a acidentes piores, como estes apresentados por JOHN et al. (2012).

Para Carneiro et al. (2001), a avaliação de aspectos econômicos é de fundamental importância para promover a aceitação dessa forma de reciclagem do RCD. Os aspectos tecnológicos, apresentados em estudos já realizados por diversos autores, tais como: John e Agopyan (2000), Leite (2001), Carneiro (2001), Ângulo (2005), Bernardes (2006), Ribeiro (2006), Poon e Chan (2006), Ricci (2007), Lovato (2007), Piovezan Junior (2007), Karpinski (2007), Lima (2008), Silva (2009), Santos (2009), Grubba e Parreira (2009), Nóbrega e Mello (2009), Mylane et al. (2009), Miranda et al. (2009), Silva et al. (2010), Bagatini (2011), Mália et al. (2011), Ferreira e Thomé (2011), Cunha e Lima (2011), Gonçalves (2011), Leite et al.

(2011), Herrador et al. (2012), Arulrajah et al. (2014), Mohammadinia et al. (2015), entre outros, comprovam que o agregado reciclado possui desempenho adequado para utilização em camadas de pavimentos. Estes estudos, entre outros, constatarem o desempenho que esse material alternativo apresenta.

1.2 Problema de pesquisa

A crescente urbanização, aliada ao crescimento econômico de forma globalizada nos municípios de médio e pequeno porte, tem gerado problemas ambientais de formas diversas. Um dos fatores agravantes é a quantidade de resíduos que são gerados pelo setor da construção civil. Problemas relacionados com a forma incorreta de descarte, como a falta ou a ineficiência de políticas de gerenciamento e a indisponibilidade de local adequado para o armazenamento, entre outros fatores, demonstram a necessidade de se buscar alternativas para o seu aproveitamento como substituto de matérias-primas.

Segundo Gomes (2011), a formação de aglomerações urbanas, o aumento populacional, as mudanças nos hábitos de consumo, o desenvolvimento industrial e uma série de outras questões, fizeram com que fossem potencializados os problemas ambientais, sanitários e sociais, causados pelos resíduos sólidos urbanos.

Para Byerne e Regan (2014), a realidade na Irlanda indica que são altos os índices de resíduos gerados na construção e na demolição; além disso, são poucas as pesquisas realizadas sobre o uso de agregados reciclados. O impacto ambiental da extração e do processamento dos agregados naturais é comparado com os custos de reciclagem e com as dificuldades relativas ao reprocessamento para novas utilizações. Os teóricos afirmam ainda que há pouco incentivo para o uso do agregado reciclado, pois o impacto ambiental e os efeitos de durabilidade em longo prazo ainda são desconhecidos.

As restrições impostas pela legislação ambiental, quanto à exploração de recursos naturais, geram escassez de materiais e custos altos na aquisição de matérias-primas, principalmente no setor de pavimentação viária. Tal situação, que faz uso de grandes quantidades de materiais oriundos da natureza, obriga o setor a buscar alternativas para substituição destes materiais. Uma das formas estudadas é o aproveitamento de entulhos de construção civil.

Reciclar e/ou reutilizar os resíduos da construção e de demolição acarreta uma série de benefícios como a preservação dos recursos naturais, a geração de emprego e de renda e o aumento da competitividade das empresas pela redução das perdas no canteiro de obra. A

utilização de RCD é um assunto que, nos últimos anos, vem sendo abordado intensamente em uma série de trabalhos e em diferentes aplicações, tais como execução de bases e sub-bases para pavimentação, confecção de blocos (pavimentação e alvenaria), produção de concretos e argamassas (Maculan, 2009).

Para Fu e Teng (2014), o desenvolvimento da indústria da construção civil tem aumentado; além disso, o mundo precisa poupar energia e reduzir emissões de carbono, entre outras promoções para a qualidade de vida. Nesta perspectiva, a sociedade está prestando mais atenção ao destino dos resíduos de construção. O processo de reciclagem passou a ser visto como o método mais científico e eficaz para a proteção ambiental. O estudioso afirma ainda que, a partir da perspectiva de reutilização de RCD, as empresas de construção devem analisar o ciclo de vida inteiro do projeto, melhorando a gestão de custos dos empreendimentos.

Para Bernardes et. al (2008), os resíduos apresentam heterogeneidade, o que gera uma dependência direta de suas características com a obra em que tais detritos foram gerados. Essa heterogeneidade altera a faixa de classificação destes resíduos, podendo apresentar em uma obra percentuais maiores de material inerte, como também podem apresentar percentuais significativos de material perigoso, conforme classificação determinada pela resolução Conama nº 307.

A reciclagem do RCD também colabora com a qualidade e com a segurança de vias urbanas, reduzindo custos nas ações de manutenção, reabilitação e reconstrução (M, R&R). Sobre esse assunto, Ricci (2007) ressalta que uma via em condições ruins ocasiona um aumento de 57% no consumo de combustível, 37% nos custos operacionais e 50% nos acidentes. Por outro lado, tem sido cada vez mais comum o uso de práticas de sustentabilidade como a 3R (Reciclar, Reusar e Reduzir) na construção de obras civis. Muitos trabalhos desenvolvidos por autores brasileiros e estrangeiros destacam pontos positivos de práticas de gestão de resíduos da construção e demolição.

O município de Passo Fundo, não diferente de diversos municípios brasileiros de pequeno e médio porte, não possuem programas de gerenciamento de resíduos sólidos, ou programas de gerenciamento de resíduos provenientes de obras de construção civil. Trabalhos e estudos já realizados para o município de Passo Fundo procuram enfatizar diversas formas de tratar o problema, indicando soluções para a minimização e controle deste passivo ambiental. Este estudo pretende acrescentar subsídios que poderão contribuir na adoção de soluções para este problema ambiental.

Com base nessas questões, faz-se necessário caracterizar o material proveniente de Resíduos de Construção e Demolição – daqui para frente denominado de RCD –, para o correto enquadramento dentro das normas pertinentes para o seu uso. Em outras palavras, tais esforços, giram em torno de poder dar um destino correto e ambientalmente sustentável a estes materiais, assim como de utilizar um material que possa ser um substituto compatível às matérias-primas usualmente utilizadas, evitando assim sua exploração desnecessária.

A questão levantada neste estudo é se o agregado reciclado, material proveniente de RCD, possui características técnicas para o uso na execução de camadas para pavimentação urbana e se a produção deste agregado reciclado é economicamente viável do ponto de vista empresarial, avaliando sua implantação no município de Passo Fundo, como simulação?

1.3 Justificativa

Por causa do grande volume de resíduos provenientes de construções, de reformas e de demolição, devido a crescente urbanização de nossas cidades, vislumbra-se o interesse em pesquisas na área de reciclagem destes materiais. Além disso, pode-se afirmar que a utilização de materiais reciclados, como o agregado utilizado em matéria-prima para diversas aplicações, como argamassas, concretos, pavimentação, entre outros, apresentam vantagens e atrativos, dos quais se destacam alguns:

- Diminuição dos custos com implantação e operação de aterros sanitários, devido à diminuição das quantidades;
- Necessidade de áreas menores para a implantação de aterros sanitários, prolongando sua vida útil;
- Melhoria significativa nos serviços de saneamento dos municípios, diminuindo o custo com manutenção de locais obstruídos;
- Diminuição dos custos na execução de serviços de pavimentação, devido ao baixo custo do material em relação ao produto natural, levando em conta a restrição de exploração da natureza;
- Rebaixamento ou anulação dos parâmetros de expansibilidade, devido à saturação do material;
- Presença de material pozolâmico potencializa a autocimentação, quando da aplicação do agregado reciclado;
- Economia para os municípios em relação à limpeza urbana, principalmente se as gestões municipais possuírem programas de gestão de resíduos;

- Economia na exploração de novas jazidas, responsáveis pelas matérias-primas naturais, as quais também geram passivos ambientais.

A necessidade de aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD), que são ainda um problema ambiental, pois geram quantidades expressivas e tem seu destino ainda incerto; a necessidade de buscar materiais economicamente alternativos, para o uso em pavimentações viárias, devido à quantidade expressiva de matéria-prima necessária para a sua execução; a avaliação das propriedades deste material que apresentem condições adequadas para uso; e o custo de produção para a segregação e reciclagem, são também justificativas para a elaboração deste trabalho.

A Resolução CONAMA 275 (BRASIL 2001) considera que a reciclagem de resíduos deve ser incentivada, facilitada e expandida no país, para reduzir não só o consumo de matérias-primas, mas também os recursos naturais não renováveis, além de energia e água, visto que há uma enorme necessidade de reduzir o impacto ambiental causado pela extração, beneficiamento, geração, transporte, tratamento e destinação final das matérias-primas, que, se não for bem administrado, acaba gerando um aumento expressivo de aterros e de lixões.

Segundo Carneiro et al. (2001), a utilização de resíduos de construção e de demolição como agregado reciclado, em camadas de pavimentos urbanos, é uma das formas de reciclagem mais difundidas para esse resíduo. Com a evolução das técnicas de pavimentação, que vem permitindo o aprimoramento de várias alternativas para a execução de pavimentos, estudos vêm sendo desenvolvidos como formas de aproveitamento do entulho, sobretudo em camadas de base e sub-base de vias urbanas.

O projeto a ser pesquisado aponta diversos fatores como motivação aos investimentos. A escassez de recursos naturais e as questões ambientais, sociais e de saúde, por exemplo, são alguns fatores que apontam a necessidade de aprofundamento de estudos e pesquisas neste segmento. Sendo assim, o presente estudo avaliou tecnicamente o RCD do município de Passo Fundo-RS, caracterizando-o e transformando-o em agregado para uso em pavimentação de vias urbanas, aliada a uma avaliação da viabilidade econômica do seu uso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral para a realização desse trabalho é contribuir com informações para o uso de agregado reciclado proveniente dos Resíduos de Construção e Demolição no

município de Passo Fundo, analisando a viabilidade técnica e econômica de seu uso como substituto de materiais usualmente empregados em camadas granulares de pavimentos de vias urbanas.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são definidos como:

- a) Caracterizar e classificar o Resíduo de Construção e Demolição;
- b) Classificar e analisar o agregado reciclado quanto ao enquadramento do uso em pavimentação e dimensionar as camadas de pavimentos urbanos com o agregado reciclado;
- c) Verificar a viabilidade econômica da produção do agregado reciclado para o município de Passo Fundo.

1.5 Delimitação da pesquisa

O presente trabalho analisou a geração de resíduos, especificamente, no município de Passo Fundo, fato que deve ser observado caso haja aplicação em outra localidade, pois as características de geração e de composição dos resíduos diferem de município para município, ou de região para região, podendo apresentar características próximas ou diferenciarem-se significativamente. Quanto à questão da viabilidade econômica, o estudo avalia a produção do material bica corrida e sua utilização específica. Estudos complementares, utilizando outros tipos de materiais possíveis de se obter do processamento de RCD, alterariam os resultados econômicos.

Observa-se, ainda, que existem várias formas de aproveitamento de resíduos de construção e demolição, porém seu uso só é garantido mediante estudos específicos para cada aplicação que o mesmo se destina.

1.6 Estrutura da dissertação

A estrutura do trabalho é composta por cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1 – Descreve o contexto geral da pesquisa, o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e as delimitações do trabalho.

Capítulo 2 – Estrutura-se a revisão bibliográfica, abordando questões consideradas relevantes para o escopo da pesquisa. Este capítulo aborda, também, itens referentes aos resíduos de construção e demolição, características tecnológicas para o uso em pavimentação e avaliação econômica de projetos.

Capítulo 3 – No terceiro capítulo, está descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, delineando a estruturação do processo investigativo e o tratamento dos dados obtidos.

Capítulo 4 – Apresenta, analisa e discute os resultados, divididos em três partes, conforme os objetivos específicos.

Capítulo 5 – Apresenta as conclusões da pesquisa e propõe recomendações para trabalhos futuros, elaboradas a partir dos resultados obtidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A geração de resíduos de construção e demolição

No Brasil, a construção civil ocupa um lugar de destaque na economia, visto que o desenvolvimento urbano, industrial e de prestação de serviços vem crescendo a cada ano; por isso, há necessidade de ampliar a infraestrutura necessária para o desenvolvimento das atividades econômicas, fato que aumenta a demanda por projetos de construção e de reformas. No entanto, paralelamente a esse crescimento, há o aumento da geração dos resíduos que sobram durante e após a finalização dos empreendimentos, os quais são conhecidos como “entulhos” de obra. Esse material, denominado de resíduo, oriundo de construção e de demolição, apresenta-se como passivo ambiental, gerando diversos problemas, o que aponta para a necessidade de haver um gerenciamento adequado diante desses materiais.

No município de Passo Fundo, onde o setor da indústria da construção tem um papel fundamental, tanto na economia quanto na geração de emprego e de renda, ainda não há dados referentes à geração dos resíduos provenientes de construções e demolições, tornando-se fundamental que se faça um diagnóstico para a futura adequação de tal processo à legislação (Bernardes, 2006). Salienta-se, ainda, que em muitos municípios já existem tais diagnósticos, mas que os resultados não podem ser utilizados para o local de estudo dessa pesquisa, devido às características locais, mas que podem servir como comparativo geral, em nível regional, estadual e federal.

Segundo Zordan (1997) apud Santos (2009), na prática, todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil têm potencial para gerar resíduos. Na produção, o grande volume de perdas de material é o principal responsável pela geração de RCD. Nas obras de demolição propriamente dita, a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata do produto do processo, e essa origem sempre existirá.

John e Agopyan (2000) afirmam que o resíduo da construção é gerado em vários momentos do ciclo de vida das construções:

- a) Fase de construção (canteiro), onde a geração de resíduo se dá na decorrência dos processos construtivos;
- b) Fase de maturação e reformas, fase em que a geração do resíduo está associada a vários fatores, tais como: correção de defeitos (patologias), reforma ou

modernização da obra ou parte dela, descarte de materiais que por algum motivo foram substituídos;

- c) Demolição de edifícios, fase em que os resíduos são gerados pela demolição parcial ou total da edificação.

O mesmo autor ressalta, ainda, que não existem estudos sobre a origem dos resíduos no Brasil, estima-se que o RCD gerado em atividades de manutenção e reformas e, provavelmente demolição, varia de 42 a 80% do total gerado. Naturalmente essa proporção dependerá das características de cada cidade.

Alguns estudos de autores estrangeiros também fornecem dados de utilização do agregado reciclado como um material com características de uso em prol da gestão ambiental.

Poon e Chan (2006) compararam o agregado reciclado com o natural para uso em sub-base de pavimentos, encontrando diferenças como densidade, absorção e compactação, cujos resultados para o agregado natural foram superiores ao agregado reciclado, porém com características aceitáveis para o uso em execução de sub-base de pavimentos.

Segundo Leite et al. (2011), em estudo comparativo entre RCD e agregado natural, através de ensaios de módulo de resiliência, encontraram comportamentos similares para ambos os materiais.

Mohammadinia et al. (2015) analisaram o agregado reciclado para o uso em base e sub-base de pavimentação, acrescentando percentuais de cimento a mistura e o resultado apresentou viabilidade de utilização, destacando que o estudo irá contribuir significativamente para a melhoria ambiental.

Arulrajah et al. (2014) observaram, a partir de ensaios triaxiais, valores relativamente elevados do ângulo de atrito para o RCD.

Herrador et al. (2012) observaram, a partir de um estudo experimental de campo, que a capacidade de suporte apresentada com o uso do RCD apresentou comportamento similar ao observado para uma estrutura com agregados convencionais.

Estes estudos, entre outros, constatarem o desempenho que esse material alternativo apresenta.

2.1.1 Índices de coleta de RCD - Brasil e regiões

Segundo Fernandez (2011), o diagnóstico do levantamento e do agrupamento das informações sobre geração e sobre o manejo de resíduos de construção civil é feito a partir das diferentes regiões do país, buscando identificar dados que possam estimar a geração dos

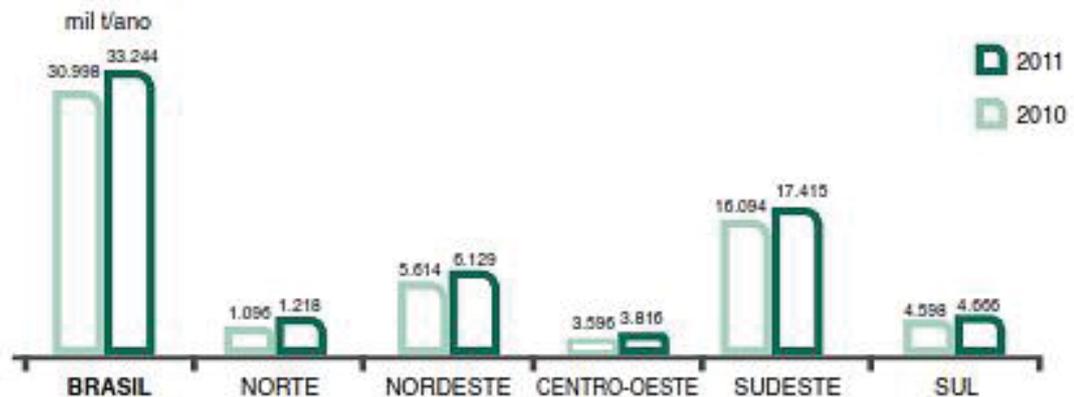
resíduos no território nacional, bem como recolhendo informações relativas à coleta, ao tratamento e à disposição final, sendo agrupados por macrorregiões, estados e municípios.

O mesmo autor ressalta que as informações disponíveis são obtidas por meio de metodologias diferentes, não havendo controle nem padronização sobre as formas adotadas para estimar a geração destes resíduos, cuja grande parte do levantamento é feita através de declaração de informações, que, em muitos casos, não são respondidas ou são repassadas parcialmente por parte de alguns municípios.

A Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2011) publica desde 2003 o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, do qual são obtidas as últimas versões, referentes a 2011 e 2012, sobre os índices de geração dos resíduos de construção e demolição.

A Figura 1 mostra a coleta de RCD no Brasil e regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudoeste e sul, entre os anos de 2010 a 2011. Segundo a ABRELPE (2011), o crescimento neste período foi de 7,2% na coleta destes resíduos, dado que revela quantidades expressivas, o que evidencia que muitos municípios desprenderam atenção especial a estes resíduos.

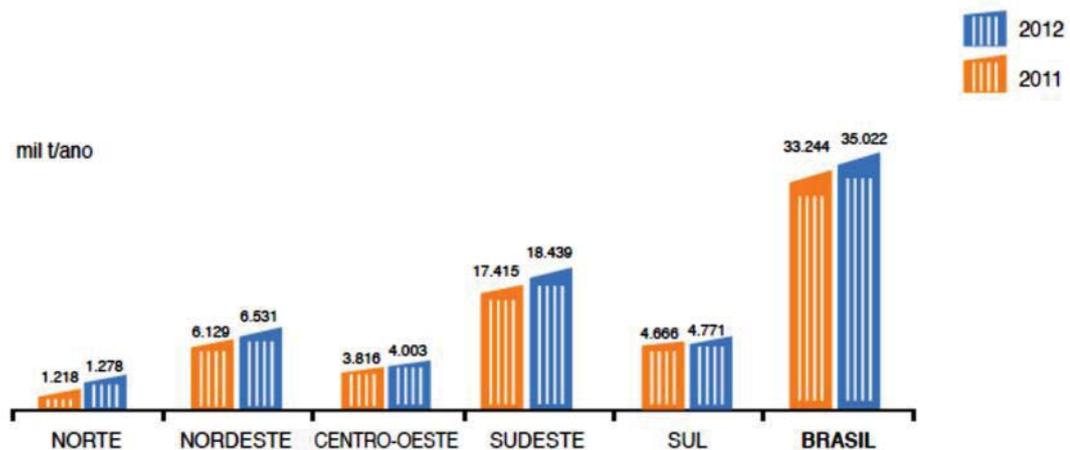
Figura 1: Total de RCD Coletados por Região e Brasil (2010 – 2011)



Fontes: ABRELPE, 2011.

Já a Figura 2 mostra a mesma coleta de RCD nas regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudoeste, sul e no Brasil, porém entre os anos de 2011 a 2012. Segundo a ABRELPE (2012), nesse período, houve um aumento de 5,3% em relação aos anos anteriores, reforçando a necessidade de atenção especial quanto ao destino final dado a estes resíduos, uma vez que os dados obtidos são maiores.

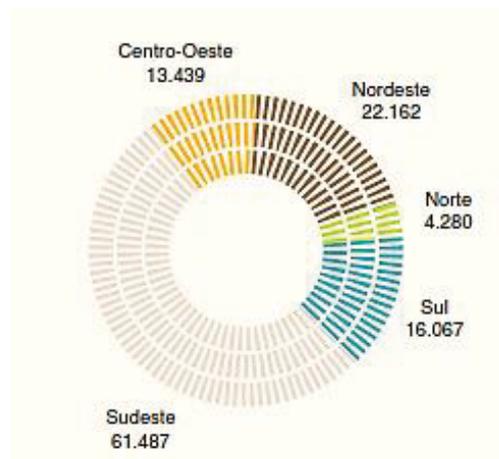
Figura 2: Total de RCD Coletados por Região e Brasil (2011 – 2012)



Fonte: ABRELPE, 2012.

A Figura 3 também mostra a coleta de RCD nas regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudoeste e sul, mas entre os anos de 2012 a 2013. Segundo a ABRELPE (2013), houve um aumento de 4,6% no total coletado.

Figura 3: Total de RCD Coletados por Região e Brasil (2012 – 2013) – t/dia



Fonte: ABRELPE, 2013.

Ressalta-se que os resíduos de construção civil e de demolição são em partes coletados e partes são dispostos em logradouros públicos ou terrenos baldios, o que gera impacto ambiental e visual, entre outros. É bom lembrar que a responsabilidade pelo destino é do gerador do resíduo, segundo a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e suas alterações, nº 348/2004, nº 431/2011 e nº 448/2012, além da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/10.

Os Quadros 1 e 2 mostram as quantidades de resíduos de RCD coletados pelos municípios no Brasil e na região Sul, respectivamente, para os anos de 2010/2011.

Quadro 1: Total de RCD Coletados pelos municípios no Brasil (2010 – 2011)

Região	2010	2011		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
BRASIL	99.354/0,618	162.318.568	106.549	0,656

Fonte: ABRELPE, 2011.

Quadro 2: Total de RCD Coletados pelos municípios na Região Sul (2010 – 2011)

Região Sul	2010	2011		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
TOTAL	14.738/0,634	23.424.082	14.955	0,638

Fonte: ABRELPE, 2011.

Os Quadros 3 e 4 revelam as quantidades de resíduos de RCD coletados pelos municípios no Brasil e na região Sul, respectivamente, para os anos de 2011/2012.

Quadro 3: Total de RCD Coletados pelos municípios no Brasil (2011 – 2012)

REGIÃO	2011	2012		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
BRASIL	106.549/0,656	163.713.417	112.248	0,686

Fonte: ABRELPE, 2012

Quadro 4: Total de RCD Coletados pelos municípios na Região Sul (2011 – 2012)

Região Sul	2011	2012		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
TOTAL	14.955/0,638	23.583.048	15.292	0,648

Fonte: ABRELPE, 2012

Segundo recomendações da ABRELPE, na sua 10ª edição do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2012, a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) continua apresentando um crescimento expressivo no país. De 2011 para 2012, o volume de RCD coletado pelos municípios aumentou 5,3%, dado que é maior do que o triplo do crescimento registrado na geração de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos). Esse aumento dos RCD é motivo de preocupação, uma vez que as quantidades reais são ainda maiores, já que o Panorama contabiliza apenas os resíduos sob a coordenação das municipalidades.

Os Quadros 5 e 6 mostram as quantidades de resíduos de RCD coletados pelos municípios no Brasil e na região Sul, para os anos de 2012/2013.

Quadro 5: Total de RCD Coletados pelos municípios no Brasil (2012 – 2013)

REGIÃO	2012	2013		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
BRASIL	112.248/0,579	201.062.789	117.435	0,584

Fonte: ABRELPE, 2013.

Quadro 6: Total de RCD Coletados pelos municípios na Região Sul (2012 – 2013)

REGIÃO SUL	2012	2013		
	RCD Coletado (t/dia)/ índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/habitante/dia)
TOTAL	15.292/0,551	28.795.762	16.067	0,558

Fonte: ABRELPE, 2013.

Segundo a ABRELPE, na sua 11ª edição do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2013, a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) continua apresentando um crescimento expressivo no país. De 2012 para 2013, o volume de RCD coletado pelos municípios aumentou 4,6% no total coletado.

De acordo com o IBGE (PNSB, 2008), 7,04% dos municípios considerados possuem alguma forma de processamento dos resíduos de construção civil. Estima-se um valor médio de 0,50 toneladas anual por habitante na geração desses resíduos em algumas cidades brasileiras (Karpinski et al, 2009).

2.1.2 Legislação ambiental e normas técnicas

A resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002), alterada em alguns artigos e incisos pelas Resoluções nº 348 de 2004, nº 431 de 2011 e a de nº 448 de 2012, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil, definindo alguns conceitos importantes, do artigo 2º.

“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;

II- Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III-Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as Áreas de destinação;

IV- Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V- Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI- Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

A resolução define, ainda, que os resíduos devem ser classificados da seguinte forma, segundo o artigo 3º.

“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 infraestrutura, 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, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

III- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

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 (BRASIL, 2002), no seu artigo 10º, determina que os resíduos de construção civil, Classe A, depois de triados, deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregado ou armazenados como reserva para uso futuros em aterros de resíduos de Classe A.

Para o uso dos resíduos de construção e de demolição, existem normas técnicas que definem diretrizes e determinam métodos de ensaio. O Quadro 7 mostra as normas técnicas da ABNT, relativas à reciclagem de RCD.

As normas de interesse em nosso estudo serão a NBR 15115/2004, que tem como objetivo estabelecer requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil para o uso em obras de pavimentação viária (camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação) ou revestimento primário de vias não pavimentadas, como também no preparo de concreto sem função estrutural, e a NBR 15114/2004, que tem como objetivo traçar as diretrizes para projeto, implantação e operação de unidades de reciclagem para os resíduos definidos como Classe A, necessária para o estudo da viabilidade econômica na produção de agregado reciclado.

Quadro 7: Normas técnicas relativas à reciclagem de RCD

Norma	Nome
NBR 15112/2004	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15113/2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15114/2004	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15115/2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimento – Procedimentos
NBR 15116/2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Fonte: catálogo da ABNT, 2012.

As classes definidas na norma NBR 15116/2004 são as mesmas definidas na resolução CONAMA 307/2002, das quais se definem Classe A os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.

Algumas capitais estaduais brasileiras possuem leis que regulamentam a gestão de resíduos de construção civil. O Quadro 8 mostra algumas destas capitais e sua legislação.

Quadro8: Instrumentos legais em capitais estaduais relativos aos resíduos de construção civil

Capitais	Estado	Legislação
Belém	PA	Lei Nº 8.014/2000
Belo Horizonte	MG	Lei Nº 9.193/2006 e Lei Nº 8.357/ 2002
Campo Grande	MS	Lei Complementar Nº 92/06
Cuiabá	MT	Lei Nº 3.586/1996 e Lei Nº 3241/ 1993
Curitiba	PR	Lei Nº 11.682/2006 e Decreto Nº 1.608/2004
Florianópolis	SC	Decreto Nº 8747/2011; Lei Complementar Nº 398/2010; Lei Nº 7964/2009 e Lei Complementar Nº 305/2007
Fortaleza	CE	Decreto Nº 9.374/1994 e Lei Municipal Ordinária Nº 5530/1981
Goiânia	GO	Lei Municipal Ordinária Nº 4653/1972
João Pessoa	PB	Lei Complementar Nº 2/1991
Manaus	AM	Lei Nº 1.411/2010 e Lei Nº 605/2001
Natal	RN	Decreto Municipal Nº 13.972
Porto Alegre	RS	Projeto de Lei Nº 136/2008
Recife	PE	Decreto Nº 18.082/98 Que Regulamenta A Lei Nº 16.377/98
Rio de Janeiro	RJ	Decreto Nº 27.078/2006
São Paulo	SP	Lei 14.803/2008; Decreto Nº 48.075/2006 e Decreto Nº 42.217/2002

Fonte: adaptado Fernandez, 2011.

2.1.3 Tipos de RCD no município de Passo Fundo

Karpinski (2007) fez um levantamento da situação do município de Passo Fundo-RS, quanto à geração de resíduos de construção e demolição (RCD), apresentando um modelo computacional como ferramenta para análise de dados na implantação de um plano de gestão. Em seu estudo, realizou a identificação dos diversos locais de disposição regular e irregular de RCD, limitando-se a descrição das áreas, não obtendo valores em volume do material descartado.

Barão (2008) enfatizou, em uma pesquisa, a problemática de localização dos locais de descarte dos RCD no município de Passo Fundo-RS. O autor apresenta um modelo para gerenciamento das rotas e da localização das áreas destinadas a descarte dos resíduos de construção e demolição.

Maculan (2009), em seu estudo, utiliza o RCD na composição de argamassas, não realizando levantamento das quantidades de material gerado pelo município de Passo Fundo-RS. O autor estuda o agregado em diversos traços de argamassa, investigando a sua resistência em suas diversas fases.

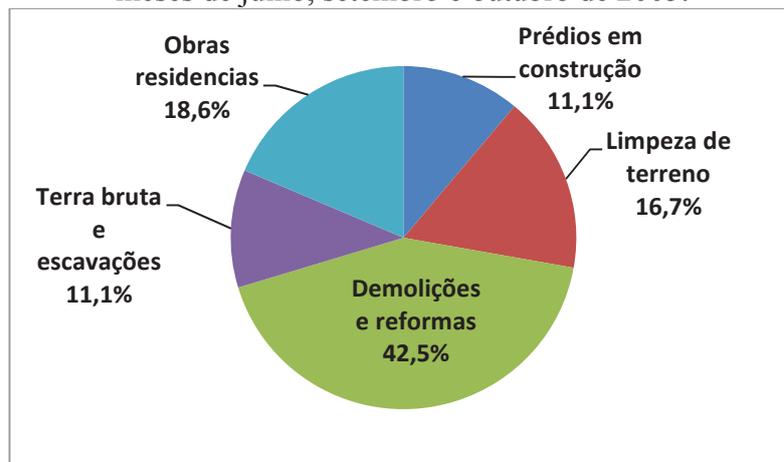
Gomes (2011), em outra pesquisa, faz um levantamento geral dos resíduos sólidos urbanos gerados pelo município de Passo Fundo-RS, com a finalidade de propor melhorias para o sistema de gestão de resíduos.

Bernardes (2006), em outro estudo, quantificou e caracterizou os resíduos de construção e de demolição do município de Passo Fundo-RS. Na ocasião, o autor utilizou

resíduos de empresas licenciadas, o que nos deixaria uma margem para os resíduos destinados de forma irregular.

Bernardes et al. (2008) demonstra, na Figura 4, a composição e o percentual de material de RCD coletado nos meses de julho, setembro e outubro de 2005, no município de Passo Fundo.

Figura 4: Composição das cargas de RCD coletados no município de Passo Fundo nos meses de julho, setembro e outubro de 2005.



Fonte: Bernardes et al., 2008.

Já os percentuais de material encontrado no RCD, proveniente da caracterização realizada por Bernardes et al. (2008) são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação e caracterização dos resíduos provenientes dos RCD no município de Passo Fundo-RS

Resíduos	Massa em kg	%	Classificação (Resolução nº 307 do CONAMA)
Argamassa	13.930,8	29,7	A
Cerâmica	1.327,1	2,8	A
Concreto	6.489,6	13,8	A
Finos de argamassa	3.617,8	7,7	A
Finos de tijolos	891,0	1,9	A
Gesso	1.141,7	2,4	C
Madeira	974,0	2,1	B
Matéria orgânica, galhos	45,8	0,1	B
Material retido (argamassa + tijolos)	5.925,1	12,6	A
Metal	143,5	0,3	B
Papel, plásticos, tecido, isopor, PVC	273,4	0,6	B
Pedras	499,7	1,1	A
Terra bruta	350,5	0,7	A
Tijolo	11.323,5	24,1	A
Totais	46.933,4	100,0	

Fonte: Bernardes et al., (2008).

A Tabela 2 demonstra os percentuais de resíduos e suas classes, segundo a resolução CONAMA nº 307/2002, na qual é possível visualizar um percentual de 94,5% do total coletado de resíduos da Classe A, justificando, assim, uma política de reaproveitamento e reciclagem dos RCD no município.

Tabela 2: Classificação conforme a Resolução nº 307 do CONAMA dos RCD no município de Passo Fundo nos meses da pesquisa

Classes de resíduos	Massa (kg)	Porcentagem
Classe A	44.355,1	94,5
Classe B	1.436,7	3,1
Classe C	1.141,7	2,4
Classe D	0,0	0,0
Total	46.933,4	100,0

Fonte: Bernardes et al. (2008).

2.1.4 Panorama evolutivo do uso e reciclagem de agregado de RCD

A utilização de resíduos de construção reciclados, em várias das camadas dos pavimentos, tem se mostrado viável na base tecnológica existente. Em muitas cidades do Brasil (São Paulo, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, entre outras) e do exterior, vem sendo utilizado agregados reciclados em pavimentação, e seus resultados satisfatórios demonstram a boa adequação a este material (CARNEIRO et al., 2001).

Ainda, segundo Carneiro et al. (2001), a Prefeitura de São Paulo, pioneira nesse tipo de reciclagem, implantou em 1991, a primeira usina de reciclagem do Hemisfério Sul, conhecida como Usina de Itatinga.

O mercado da reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil está ainda no começo. A reciclagem desses resíduos é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, motivado em grande parte pela escassez dos recursos naturais nestes países.

Segundo Mália et al. (2011), apesar de não existirem leis comunitárias próprias, alguns países da União Europeia tomaram diversas ações. Entre essas, destacam-se as várias iniciativas tomadas para estimular a redução e o reaproveitamento de RCD em países como Dinamarca, Alemanha e Reino Unido, nações consideradas as mais desenvolvidas nessa área, e na Espanha e em Portugal, países menos desenvolvidos nessa temática.

A Dinamarca, segundo Mália et al. (2011) é um dos maiores casos de sucesso no que diz respeito à gestão de RCD. Naquele país, a reciclagem de tais materiais é uma prática corrente. O objetivo de atingir uma taxa de reciclagem de 90% em 2004 foi alcançado em 1997 e manteve-se nesse nível desde então. Essa elevada taxa de reciclagem deve-se a dois importantes fatores: o primeiro, o elevado imposto a que estão sujeitos os resíduos que não são reciclados e, o segundo, a obrigatoriedade de separação dos resíduos na origem.

Já o Reino Unido é um dos países que mais RCD produz dentro da União Europeia. No entanto, é também a nação que mais têm implementado políticas, de modo a reaproveitá-los (Mália et al., 2011).

Segundo o mesmo autor, na Espanha, a reciclagem de RCD ainda se encontra pouco desenvolvida, apresentando uma taxa de reciclagem menor do que 10%. Caso semelhante acontece em Portugal, país em que só em 2008 foi publicada uma legislação para regular a produção e a gestão desse fluxo específico de resíduos.

Ribeiro (2006) listou alguns registros de trechos experimentais de pavimentos executados com agregado de RCD:

a) Em Ribeirão Preto/SP, a usina que entrou em funcionamento em 1996, no ano de 2006, executou 218.000 m² de pavimentação;

b) Em Belo Horizonte/MG, os agregados reciclados são aplicados na execução de revestimento primário (reforço de subleito, sub-base e base) de pavimentos desde 1996, sendo que de 1996 a 2001 foram utilizados em torno de 317 toneladas de material em vias urbanas;

c) Em Uberlândia/MG, a primeira aplicação de material reciclado foi em 2003, num trecho de 1600 metros da via de acesso a ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) de Uberlândia, estando em constante observação, para definição de parâmetros e de comportamento mecânico a serem aplicados em maior escala.

De acordo com Leite (2007), a primeira via a ser pavimentada com RCD no Brasil aconteceu na cidade de São Paulo, no ano de 1984, localizada na zona oeste da cidade e foi caracterizada por ter um baixo volume de tráfego, recebendo o RCD em sua camada de reforço de subleito. A construção teve acompanhamento executivo e de desempenho pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e, na época, apresentou bom desempenho.

Outras pesquisas, como a desenvolvida por FURNAS, em parceria com a Prefeitura Municipal de Goiânia, demonstraram a viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado de RCD na construção de bases, sub-bases e na mistura betuminosa de pavimentos urbanos, tendo sido executada uma pista experimental (SILVA et al., 2010).

2.2 Pavimentos

2.2.1 Estrutura de pavimentos

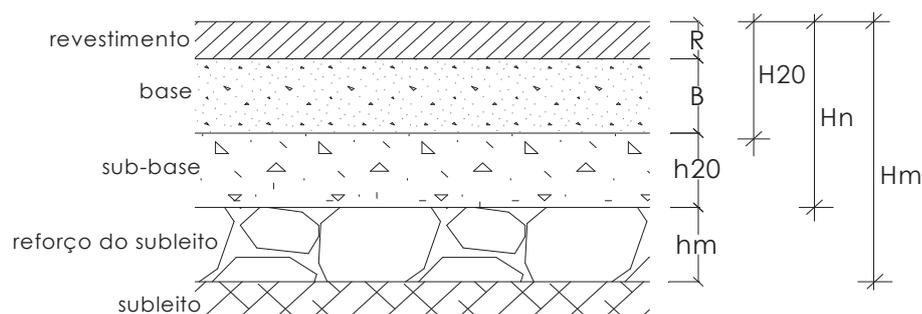
Segundo a NBR 7207/1982 (cancelada em 26/09/2014), pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplenagem, com os objetivos de resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego, que melhora as condições de rolamento, dando conforto e segurança ao usuário, e que resiste aos esforços horizontais, permitindo uma superfície de rolamento durável.

Os pavimentos são divididos em flexíveis e rígidos. Os pavimentos flexíveis são àqueles revestidos com materiais betuminosos ou asfálticos, podem ser aplicados como tratamentos da superfície do pavimento, tais como Tratamentos Superficiais Duplos ou Triplos (TSD ou TST), utilizados geralmente em estradas de volume de tráfego mais baixo, com camadas de misturas asfálticas, tipo concreto betuminoso, e para volumes de tráfego mais elevado camadas de asfalto usinado a quente. Os pavimentos rígidos são compostos de um revestimento constituído por placas de Concreto de Cimento Portland (CCP);tais pavimentos, eventualmente, podem ser reforçados por telas ou barras de aço, que são utilizadas para aumentar o espaçamento entre as juntas ou para promover reforço estrutural.

A estrutura de um pavimento é constituída de Subleito (terreno de fundação); Reforço do Subleito (camada complementar de espessura constante); Sub-base (correção do subleito que complementa a estrutura da base); Base (distribui os esforços e é o leito para o revestimento); e Revestimento (resiste e distribui os esforços, impermeabiliza a estrutura e atribui ao rolamento suavidade e segurança).

A Figura 5 representa uma estrutura genérica de pavimento, com as camadas necessárias de cada material, bem como o dimensionamento do mesmo.

Figura 5: Estrutura genérica de um pavimento



Fonte: adaptado de Balbo (2007).

Para a obtenção de um material que apresenta boa trabalhabilidade e que permite a realização de ensaios de laboratório para controle, é fundamental a composição das misturas nas faixas granulométricas definidas pela NBR11804, não importando a composição do resíduo. A incorporação de material coesivo (argila) melhora a trabalhabilidade e auxilia no controle de campo e de laboratório. Na construção de bases e de sub-bases de pavimentação, foi verificado que os agregados reciclados provenientes de RCD são um excelente material; além disso, observou-se a viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado na construção de obras de pavimentação urbana, visto que apresentaram baixos valores de expansão (SILVA et al., 2010).

2.2.2 Dimensionamento de pavimentos

O dimensionamento de pavimentos com a utilização de agregado reciclável segue as mesmas premissas de dimensionamento dos pavimentos tradicionais, que levam em consideração os materiais utilizados e o controle na execução. O uso do agregado reciclável necessita de uma averiguação para a determinação das propriedades dos diversos materiais constituintes, para o correto dimensionamento e também para um bom controle quando da execução.

Dentre os vários métodos utilizados para o dimensionamento de pavimentos Carneiro, et al (2001) destaca:

a) Métodos tradicionais:

- Método empírico da HRB (*Highway Research Board* ou Índice de Grupo), utilizado no dimensionamento de pavimentos flexíveis, baseando-se na granulometria, índice de plasticidade e limite de liquidez dos materiais. Segundo Bodi; Brito Filho; Almeida (1995 apud CARNEIRO et al., 2001, p.199), esse método foi desenvolvido para regiões de climas temperados e não se adapta a climas tropicais, pois eventualmente superdimensiona pavimentos executados com solos lateríticos e subdimensiona pavimentos executados com solos saprolíticos.
- Método do Índice de Suporte Califórnia (ISC), segundo Bodi; Brito Filho; Almeida (1995 apud CARNEIRO et al., 2001, p.199) este método fornece a espessura de material granular necessária para evitar a deformação plástica ou a ruptura por cisalhamento da camada de subleito, durante a vida útil do pavimento.

b) Método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical): Classificação geotécnica, desenvolvida por Nogami & Villibor, em 1981, especialmente para fins rodoviários, devido às limitações dos métodos tradicionais de caracterização e de classificação dos solos tropicais, podendo, assim, ser corrigidas discrepâncias do método tradicional de dimensionamento de pavimentos.

- Mini-MCV e Associados, ensaio que define o solo quanto ao comportamento laterítico ou não laterítico, através da análise de curvas de compactação.

- Mini-CBR e Associados, utilizado para determinar o índice de suporte, a expansão e contração do material.

2.2.3 Comportamento dos pavimentos

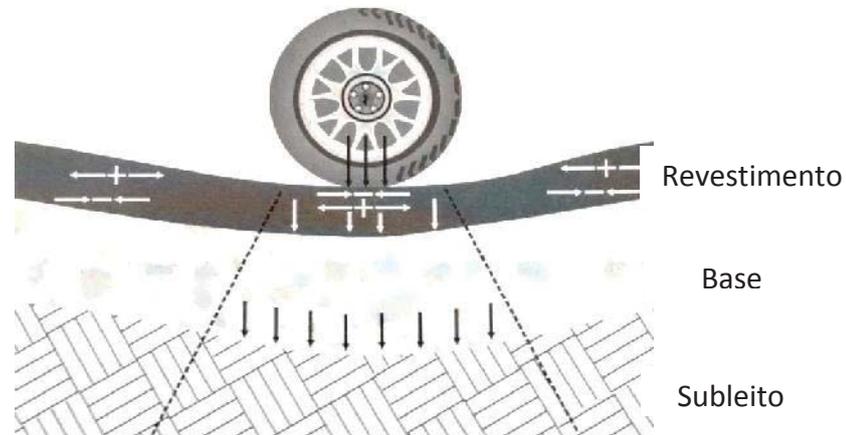
Pavimentos executados sofrem deformações e deflexões que precisam ser analisadas para prever sua vida útil. A análise mecanicista consiste na previsão, através de ensaios, do comportamento das estruturas de um pavimento.

Os processos de análise mecanicista baseiam-se nas características intrínsecas dos materiais que compõem o pavimento e na relação entre a tensão e a deformação, oriundas de um carregamento. Pode-se, por exemplo, determinar as espessuras que satisfazem alguns critérios pré-estabelecidos quanto a tensões e/ou deformações admissíveis, como a determinação do número “N”, em função das deformações intrínsecas na estrutura. O processo de análise mecanicista é utilizado, também, para a avaliação estrutural do pavimento, através da retroanálise (ZANETTI, 2008).

Quando uma carga é aplicada sobre um determinado ponto da superfície do pavimento, todas as demais camadas tendem a sofrer deformações e deflexões, definidas como bacias de deflexão; esses valores tendem a diminuir com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga.

A Figura 6 ilustra o comportamento do pavimento diante da aplicação de uma carga.

Figura 6: Comportamento do pavimento submetido a uma carga



Fonte: Baldo (2007).

Estudos já realizados que analisaram o comportamento dos pavimentos apontam para uma avaliação positiva do uso de agregado reciclado na execução de camadas de pavimentos.

Segundo Herrador et al. (2012), que estudou o comportamento de pavimentos utilizando agregado reciclado, asfalto e material cerâmico, como mistura, constatou, através de ensaios de deflexão, que o comportamento da mistura apresentou melhor desempenho do que o agregado natural. O estudo mostrou, ainda, que o local onde foi aplicado o agregado reciclado obteve uma maior uniformidade na camada, devido ao fator de distribuição da umidade, apesar de ser mais difícil a compactação por necessitar de maior volume de água.

Para Freire et al. (2013), no estudo de seções experimentais, utilizando materiais reciclados de construção e demolição, encontrou resultados com desempenho satisfatório. Em ensaios de deflexão, essa análise confirmou que os materiais reciclados mostram um comportamento diferente dos materiais naturais, apesar de apresentarem maior deformidade. Os teóricos concluíram, também, que a rigidez das camadas de base com agregados reciclados mostrou-se igual ou ligeiramente menor do que as camadas de base utilizadas com agregados naturais.

2.3 Agregado de RCD

A NBR 15115/2004 permite o uso dos resíduos de construção e de demolição como agregado, após etapas de segregação, caracterização e classificação, os quais deverão ser Classe A.

2.3.1 Agregado como camada de base e sub-base em pavimentação viária

As bases ou sub-bases granulares são constituídas de solos, areias, seixos, pedregulhos, produtos de britagem de rochas ou de resíduos sólidos (entulho, escória entre outros). Essas camadas também podem ser constituídas, quando adequadamente compactas, por combinações de materiais que apresentam estabilidade e durabilidade adequadas para resistir às cargas do trânsito e à ação dos agentes climáticos. (CARNEIRO et al., 2001).

Segundo Bernucci et al. (2008), os agregados utilizados em pavimentação são classificados em três grandes grupos, segundo a sua natureza, o seu tamanho e a distribuição dos grãos.

- a) Quanto à natureza, eles podem ser classificados como natural, artificial ou reciclado.

Natural: quando são obtidos pelos processos de desmonte, escavação ou dragagem em depósitos naturais, como continentais, marinhos, estuários e rios. Os pedregulhos, as britas e os seixos são agregados naturais.

Artificial: resíduos oriundos de processos industriais (escória de alto-forno e de aciaria) ou argila expandida e calcinada. Na pavimentação, o agregado artificial mais usado é o de escória de alto-forno, provenientes do processo de produção do aço.

Reciclado: são os agregados oriundos do reuso de diversos materiais. O uso desse material como agregado vem crescendo cada vez mais, devido às restrições ambientais na exploração de materiais naturais.

- b) Quanto ao tamanho, eles podem ser graúdo, miúdo e filer (material de enchimento).

Graúdo: material retido na peneira nº 10, ou seja, maiores que 2,0 mm.

Miúdo: material retido na peneira nº 200, ou seja, dimensões entre 0,075mm a 2,0mm (areias e pó-de-brita).

Filer: também conhecido como material de enchimento, material que deve possuir em torno de 65% de partículas menores que 0,075mm (cimentos e cal).

- c) Quanto à distribuição dos grãos, eles devem passar pelo processo de granulometria, em que os agregados são peneirados por diversas aberturas de malhas. Dessa análise granulométrica, obtêm-se agregados de graduação densa, aberta, uniforme e descontínua.

2.3.2 Características técnicas dos agregados de RCD para pavimentação

De acordo com as especificações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) e do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), os agregados, quando analisados, devem possuir características mínimas para seu aceite no uso como base e sub-base de pavimentação. A NBR 11804/1991 fixa condições exigíveis para os materiais que serão usados na execução de camadas de bases e sub-bases de pavimentos estabilizados granulometricamente.

- a) Tamanho e graduação: segundo Bernucci et al. (2008), a distribuição granulométrica assegura a estabilidade da camada de revestimento asfáltico, por estar relacionada ao entrosamento entre as partículas e o consequente atrito entre elas. A análise granulométrica com lavagem será mais eficiente, uma vez que irá garantir a limpeza do agregado, garantindo a não presença de materiais indesejados.
- b) Resistência à abrasão: segundo Carneiro et al. (2001), o ensaio de Abrasão Los Angeles tem como objetivo avaliar o desgaste do material, quando submetido a ações de impacto e de atrito. A NBR 11804/1991 determina que, nesses ensaios, materiais apresentem uma perda inferior a 55%.
- c) Massa específica seca, máxima e umidade ótima: ensaios realizados através de compactação, de acordo com a NBR 7182/1986, revelam que é possível correlacionar o teor de umidade e a massa específica seca do material. Esta relação é obtida ao se aumentar o teor de umidade do material para cada estado de compactação. A massa específica da amostra crescerá até o limite máximo, para, então, decrescer. O teor de umidade corresponde ao valor de massa específica seca máxima é, então, o que se denomina de teor de umidade ótima e equivale ao teor de umidade do material, que proporciona ao pavimento maior estabilidade. (CARNEIRO et al., 2001).
- d) Índice de Suporte Califórnia: é realizado através da NBR 9895/1987, na qual se pode conhecer, antecipadamente, a expansão do material constituinte de um pavimento submetido a um processo de saturação. Conhecido como CBR (California Bearing Ratio), determina a deformabilidade e a resistência do material submetido à carga estática em condições saturadas. A NBR 11804/91 determina valores de CBR igual ou superior a 20% e expansão inferior ou igual a 1% para sub-base e para base CBR igual ou superior a 60% para um número “N”, inferior ou

igual a 5×10^6 e expansão inferior ou igual a 0,5% ou CBR igual ou superior a 80% para um número “N”, maior que 5×10^6 e expansão inferior ou igual a 0,5%.

Os requisitos gerais que um agregado reciclado deverá apresentar para ser usado na pavimentação, segundo a NBR 15116/2004, estão ilustrados no Quadro 9.

Os requisitos específicos que o agregado reciclado deve apresentar, dependendo do tipo de emprego na execução de camadas de pavimentos, estão ilustrados no Quadro 10.

Quadro 9: Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
	Graúdo	Miúdo	Agregado Graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensões máxima característica	≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma	≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características ¹⁾	2	Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas ¹⁾	3	Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2	ABNT NBR 9917	

¹⁾ Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Fonte: NBR 15116/2004.

Quadro 10: Requisitos específicos para agregado reciclado destinado à pavimentação

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para a execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para a execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ¹⁾	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

¹⁾ permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $n \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

Fonte: NBR 15116/2004.

2.4 A Reciclagem do Resíduo de Construção e Demolição

Para Monteiro (2001), a implantação de novas usinas de reciclagem para esses materiais deve ser incentivada, mesmo que sua viabilidade econômica seja alcançada através da cobrança de taxas específicas. Três fatores devem ser considerados quando se está avaliando a implantação de um processo de reciclagem de entulho em uma determinada região. Em ordem de importância, os três fatores são:

1. Densidade populacional: é necessária uma alta densidade populacional de forma a assegurar um constante suprimento de resíduos que servirão de matéria-prima para a indústria de reciclagem.
2. Obtenção de agregados naturais: escassez ou dificuldade de acesso a jazidas naturais favorecem a reciclagem de entulho, desde que um alto nível de tecnologia seja empregado. Abundância e fácil acesso a jazidas não inviabilizam a reciclagem do entulho de obra por si só, mas, por razões econômicas, normalmente induzem à aplicação de baixos níveis de tecnologia ao processo.
3. Nível de industrialização: afeta diretamente a necessidade e a conscientização de uma sociedade em reciclar o entulho. Em áreas densamente povoadas, razões de ordem social e sanitária estimulam a redução do volume de resíduos que devam ser levados aos aterros.

As montagens das instalações de reciclagem podem estar baseadas em britadores de impacto ou em britadores de mandíbula, associado a moinhos de martelos. A diferença entre os dois tipos de instalação se dá principalmente na produtividade, maior nos britadores de impacto, e secundariamente no formato dos grãos obtidos, com maior cubicidade nos britadores de impacto, e maior lamelaridade nos britadores de mandíbula. Esta última característica interfere nas formas de reaproveitamento do resíduo reciclado. Para pavimentação, o ideal é que os agregados sejam mais cúbicos que lamelares. Assim, o britador de impacto torna-se mais adequado para esta aplicação (RIBEIRO, 2006).

2.4.1 Processo de reciclagem

Segundo o Manual de pavimentação (DNIT, 2006), a produção de agregados graúdos e miúdos, necessários para atender as especificações e normas técnicas de projeto, através da redução dos seus diâmetros, se faz através da britagem em quatro fases distintas:

Fase 1: britagem primária, utilização de britadores de mandíbula;

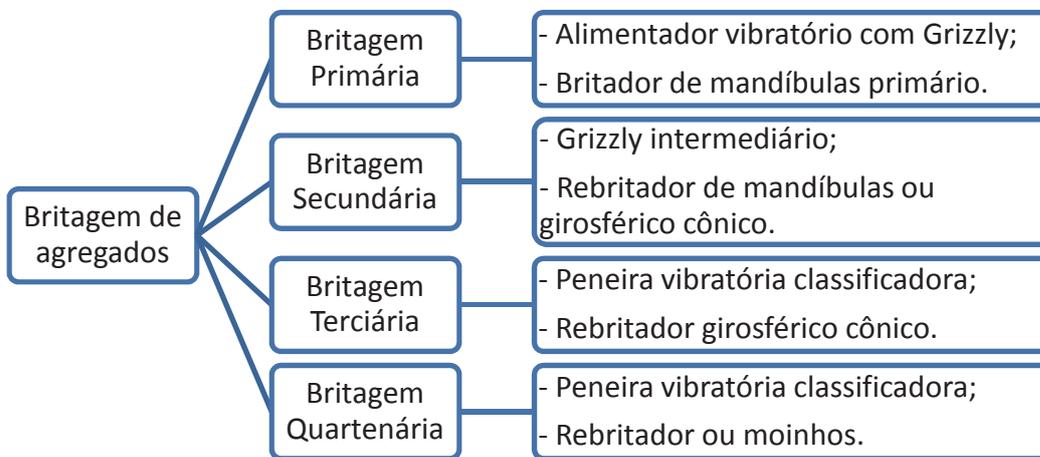
Fase 2: britagem secundária, utilização de rebitadores de mandíbula ou girosféricos (rebitadores de cone);

Fase 3: britagem terciária, utilização de rebitadores de cone (girosféricos);

Fase 4: britagem quaternária, utilização de rebitadores hidrocônicos, girosféricos rocha/rocha, ou moinhos de barra ou de bola.

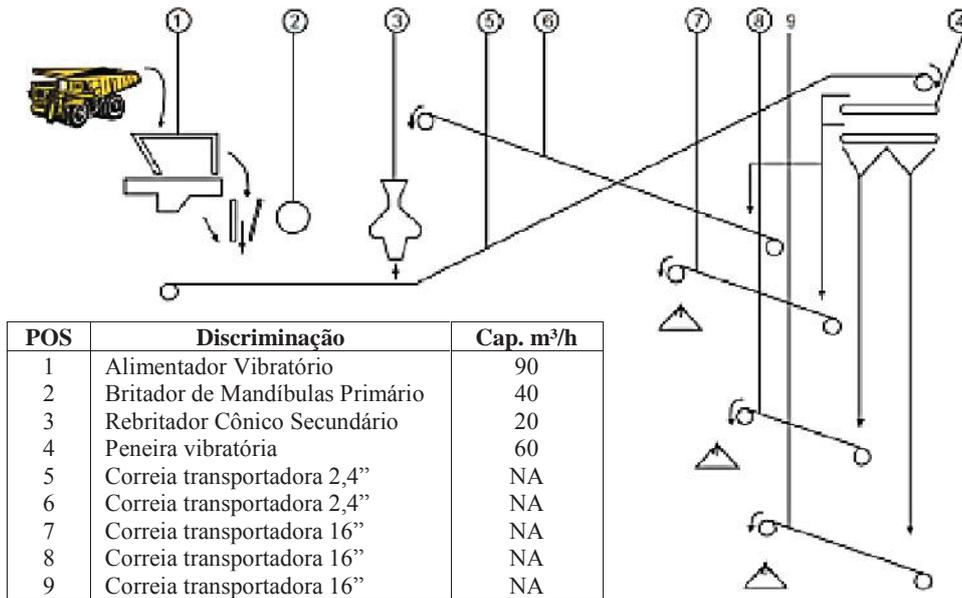
O fluxograma da Figura 7 mostra os equipamentos necessários para cada fase de britagem.

Figura 7: Equipamentos necessários para as quatro fases de britagem de agregados

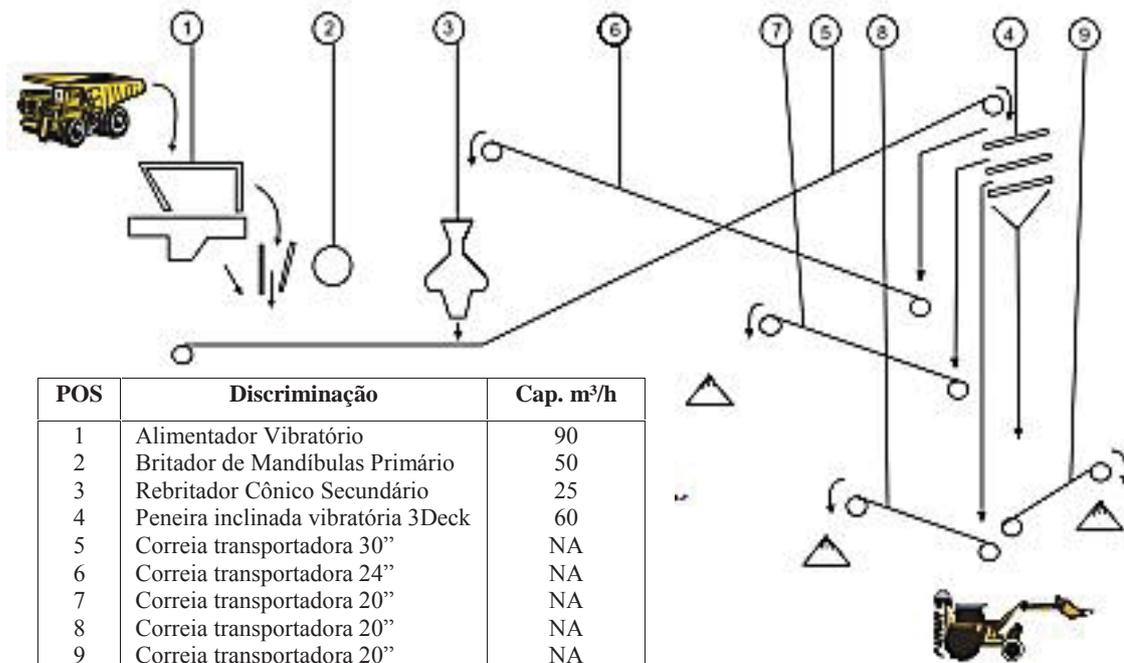


Fonte: adaptado do Manual de Pavimentação, DNIT, 2006.

Já, nas Figuras 8 e 9 estão ilustrados os fluxogramas de instalação de britagem de pequeno e de médio porte, de acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

Figura 8: Fluxograma de britagem de pequeno porte (25 m³/h)

Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT, 2006.

Figura 9: Fluxograma de britagem de médio porte (50 m³/h)

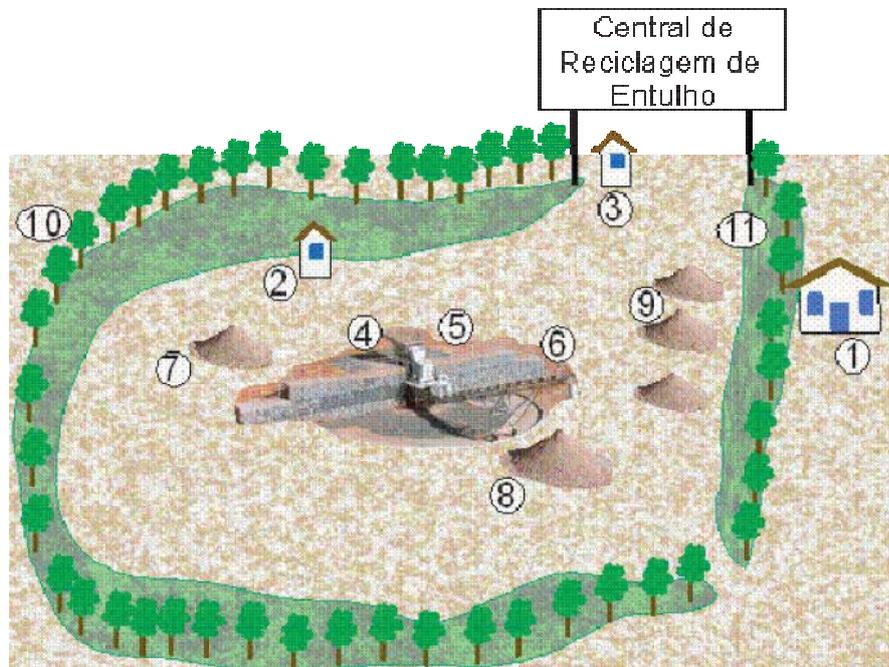
Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT, 2006.

2.4.2 Equipamentos de reciclagem para RCD

O equipamento mais flexível para moagem em termos operacionais é o britador de impacto, constituído por um rotor de eixo horizontal que proporciona impactos do material contra os próprios martelos e contra as placas de impacto internas. A granulometria de saída dos materiais pode ser controlada pela regulagem da aproximação das placas de impacto junto aos martelos. O peneiramento deve ser feito por uma peneira do tipo vibratória e os materiais já classificados devem ser empilhados até posterior utilização (RIBEIRO, 2006).

As esteiras transportadoras são montadas sobre rodízios, de forma a permitir o seu deslocamento lateral em semicírculo no pátio de estocagem. Essa providência evita que se tenha de efetuar a remoção das pilhas de material triturado com pá mecânica, permitindo a estocagem contínua de material, sem paralisar a operação (RIBEIRO, 2006). A Figura 10 apresenta um esquema para funcionamento de Central de Reciclagem de Entulho.

Figura 10: Croqui de uma Usina de Reciclagem de RCD



- | | | | |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1. Administração | 4. Calha de alimentação | 7. Entulho a ser reciclado | 10. Cinturão verde |
| 2. Cabine de comando | 5. Britador | 8. Pátio de estocagem | 11. Jardim |
| 3. Guarita de entrada | 6. Correia transportadora | 9. Pátio de recepção | |

Fonte: adaptado de Monteiro (2001).

2.5 Avaliação econômica de projetos

A análise econômica de um projeto pode ser entendida como um conjunto de informações, coletadas e processadas, de modo a simular uma dada alternativa de investimento, testando, assim, sua viabilidade.

Os aspectos relevantes encontrados em uma alternativa de investimento são classificados como (SOUZA et al., 2001):

- a) Aspectos econômicos: entre os quais há o mercado (oportunidade advinda de uma análise de mercado), a localização (busca do local ideal para a implantação) e a escala (determinação da capacidade de produção);
- b) Aspectos técnicos: dos quais se consideram os processos de produção, as tecnologias e os equipamentos;
- c) Aspectos financeiros: para os quais se analisa a composição do capital (capital próprio ou de terceiros), financiamentos (análise das alternativas de financiamento), o capital de giro (análise das fontes e aplicações do dinheiro para giro) e outros aspectos financeiros (grau de endividamento, índices de liquidez, capacidade de pagamento de empréstimos, etc.);
- d) Aspectos administrativos: em que se considera a estrutura organizacional (implantação, operação e treinamento de pessoal);
- e) Aspectos jurídicos e legais: dos quais se verificam a forma de constituição da empresa, o registro na Junta Comercial e as demais exigências legais (impostos e/ou incentivos fiscais);
- f) Aspectos de meio ambiente: em que se averiguam as exigências dos órgãos ambientais (licenciamentos e projetos de controle ambiental);
- g) Aspectos contábeis: em que se avalia a determinação dos instrumentos de controle das finanças da empresa.

Para a realização da análise econômica de um projeto, é necessária a definição de indicadores, os quais de maneira geral estão subdivididos em dois grandes grupos, segundo Souza et al. (2001). O primeiro grupo está associado à rentabilidade do projeto: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR); e o segundo grupo vem associado ao risco do projeto: Taxa Interna de Retorno (TIR) e ao Período de Recuperação do Investimento (*Payback*).

O Quadro 11 apresenta um resumo dos indicadores de análise de projetos de investimentos, para análises de viabilidade.

Quadro 11: Resumo dos indicadores de análise de projeto de investimentos

Indicador	Definição
VPL – Valor Presente Líquido	É a concentração de todos os valores de um fluxo de caixa, descontados para a data presente (zero) usando como taxa de desconto a TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Representa, em valores monetários de hoje, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se $VPL > 0$ significa que foram recuperados o investimento inicial e a parcela que se teria se esse capital tivesse sido aplicado à TMA.
TIR – Taxa Interna de Retorno	É a taxa que anula o VPL de um fluxo de caixa. Representa um limite para a variabilidade da TMA. O risco do projeto aumenta na medida em que a TMA se aproxima da TIR.
PRI – Período de Recuperação do Investimento	Representa o tempo necessário para que os benefícios do projeto recuperem o valor investido. Pode ser interpretado como uma medida de risco do projeto.

Fonte: adaptado de Souza et al., (2001).

2.5.1 Métodos de análise de investimento

Para a análise de investimentos, existem três métodos, que são: análise na condição de certeza, análise na condição de incerteza e análise de risco.

2.5.1.1 Análise de investimento na condição de certeza

A análise de investimentos em situação de certeza corresponde à previsibilidade de um resultado final certo ou esperado como tal. Ao se analisar um investimento sob essa ótica, se escolherá o que proporcionar maior retorno (RITTER, 2011).

1) Fluxo de caixa

A construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento deve ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas na tomada de decisão sobre a implantação ou não. O fluxo de caixa é estruturado mediante a estimação dos valores de entradas e de saídas de recursos financeiros. Os principais passos para estimar o fluxo de caixa são detalhados a seguir, de acordo com Unisanta (2013) apud Caibre (2013):

a) Vida econômica ou vida útil do projeto:

O horizonte de projeção em que o projeto deverá produzir resultados econômicos é denominado Vida Econômica do Projeto. A escolha do horizonte de projeção do fluxo de

caixa não apresenta uma regra definida, dependendo do julgamento do analista, do setor da empresa e do crescimento projetado. Números usuais são de 5, 7, 10 ou 12 anos, mas há casos de 2 ou 3 anos, para pequenos projetos.

Também há situações em que o horizonte de projeto é fixado em 25 anos ou mais. Horizontes longos assim são mais comuns em empreendimentos grandes, como por exemplo: siderurgia, construção de usina hidroelétrica, rodovias, ferrovias, etc.

b) Receita líquida de vendas:

Compreende uma das variáveis mais importantes de projetar, pois é ela que atua no sentido de fazer crescer o valor do investimento. Em termos práticos, essa variável envolve todas as entradas de caixa provenientes da venda de serviços e de produtos, oriundos do investimento, considerando ainda os descontos decorrentes dos impostos que incidem sobre o faturamento como o IPI, ICMS, Confins e PIS.

c) Custos operacionais:

Referem-se a todos os gastos incorridos em decorrência direta da implementação de um investimento. Para efeito de análise, os custos podem ser classificados ou agrupados distintamente em custos fixos e custos variáveis.

Os custos fixos são aqueles que existem independentemente do nível de produção e que não são diretamente alocáveis aos produtos ou aos serviços vendidos. Os itens mais importantes são: seguros, taxas, manutenção dos equipamentos, depreciação dos equipamentos da fábrica, royalties, salários supervisores de produção, controle de qualidade, serviços de infraestrutura, aluguel, etc.

Os custos variáveis são aqueles que dependem proporcionalmente do nível de operação do investimento. Os itens mais importantes são: matéria prima, embalagens, mão de obra, energia, combustíveis, etc.

d) Resultado bruto:

Trata-se do primeiro resultado do investimento e resulta da diferença entre a receita de vendas e os custos operacionais projetados, sem levar em consideração ainda a depreciação e as despesas operacionais. Portanto, reflete a capacidade de geração de caixa operacional, levando em consideração somente as receitas de vendas e os custos operacionais.

e) Despesas Operacionais:

São dispêndios determinados fundamentalmente pela decisão de implementação de um investimento. Estão incluídas as despesas comerciais, as despesas de administração e as despesas gerais. Fazem parte desse elenco: as despesas com promoção, propaganda, comissões de vendedores e representantes, pesquisas de mercado, despesas com pessoal, escritório, diretoria, recursos humanos, informática, aluguel e depreciação, além de outras despesas relacionadas à administração da empresa. Esse tipo de despesas podem sofrer oscilações de valores decorrentes do aumento do volume de operações; portanto, é comum projetá-las como uma porcentagem da receita de vendas.

f) Despesas Financeiras:

São as remunerações aos capitais de terceiros, tais como juros pagos, comissões bancárias, correção monetária pré-fixada, descontos concedidos, juros de mora pagos, etc. As despesas financeiras devem ser compensadas com as receitas financeiras, isto é, essas receitas serão deduzidas daquelas despesas. As receitas financeiras são derivadas de aplicações financeiras, juros de mora recebidos, descontos obtidos, etc. Se o montante da receita financeira for maior que a despesa financeira, a receita financeira será deduzida das despesas operacionais.

g) Depreciação:

A depreciação é a redução do valor do bem (móveis utensílios, máquinas, equipamentos, veículos, ferramentas, etc.) no tempo em decorrência de desgaste ou pela obsolescência tecnológica. No fluxo de caixa, a depreciação é um custo sem desembolso, o qual, ao ser abatido dos lucros, em cada exercício fiscal, acarreta menor lucro tributável, que, por sua vez, mantida a mesma alíquota do imposto de renda, resulta em menor imposto de renda a pagar.

Existem vários métodos para se obter o valor da depreciação, como soma dos dígitos, inclinação dupla, exponencial, depreciação por produção, e o método linear. No Brasil, adota-se o Método Linear (ou Linha Reta), segundo o qual a carga anual será a mesma até o final do prazo da depreciação, isto é, a carga total de depreciação será rateada por igual, ao longo dos anos.

Admitida a limitação da vida útil dos bens tangíveis, a depreciação aplicada a seu valor consiste na divisão do valor do bem ou ativo investido pela sua vida útil. O valor do bem ou do ativo é o valor de aquisição do ativo a ser depreciado. São depreciáveis a

construção civil e edificações, instalações, máquinas e equipamentos, veículos, móveis e utensílios. Não são itens depreciáveis os terrenos e capital de giro.

O tempo de vida útil é o tempo estimado de duração do bem ou direito, em termos de sua capacidade física ou circunstancial de uso ou exploração econômica. Por sua natureza mutável e de limitações da vida, os bens e direitos que integram o projeto ou a empresa devem ser depreciados, na medida do seu uso ou do tempo, transformando-se em despesas ou custos de produção.

O Quadro 12 apresenta os valores de vida útil contábil de alguns ativos e a taxa de depreciação que são definidos pela Secretaria da Receita Federal.

Quadro 12: Valores de vida útil contábil de alguns ativos e taxa de depreciação

Item	Código	Vida útil (anos)	Depreciação (%)
Edificações	-	25	4
Instalações	-	10	10
Aparelhos e instrumentos de pesagem	8423	10	10
Máquinas e aparelhos de terraplenagem	8430	10	10
Móveis para escritório	9403	10	10
Veículos para usos especiais	8705	4	25
Máquinas moer, esmagar minerais.	8474	5	20

Fonte: Secretaria da Receita Federal, 2015.

h) Resultado Operacional:

Reflete a capacidade de geração de caixa operacional por parte do projeto. Esse resultado é obtido pela diferença entre o resultado bruto e as despesas operacionais e a depreciação, exaustão e amortização.

i) Imposto de renda e contribuição social:

São calculados sobre o resultado operacional decorrente exclusivamente das operações. A alíquota do IR gira em torno de 15% para lucros de até R\$ 240 mil anuais e 25% para lucros estimados acima desse valor, e a contribuição social de 9%.

j) Resultado líquido operacional:

O resultado líquido operacional é obtido pela diferença entre o resultado operacional e a provisão do imposto de renda. É o resultado que o projeto terá sem dívidas financeiras.

k) Investimento inicial:

Corresponde aos gastos incorridos no início do investimento. Deve ser considerado todo e qualquer desembolso de recurso que o investimento necessite como os gastos com as máquinas e equipamentos, e as despesas de montagem e treinamento pessoal.

l) Capital de giro:

É uma espécie de reserva de capital para fazer frente a obrigações fora do ciclo do fluxo de caixa operacional ordinário.

Normalmente, um projeto exigirá que a empresa invista em capital de giro líquido, além de ativos permanentes com o objetivo de manter o negócio em funcionamento. Por exemplo, um projeto geralmente exigirá a manutenção de algum saldo de caixa para pagar eventuais despesas. Isso porque, um projeto demandará um investimento inicial em estoques, contas a receber. Parte desse financiamento ocorrerá sob a forma de quantias devidas a fornecedores (contas a pagar), mas a empresa será obrigada a complementar o montante necessário. Essa diferença é investimento em capital de giro líquido.

m) Taxa Mínima de Atratividade – TMA:

Para se avaliar o fluxo de caixa de um projeto de investimento, levando-se em conta o valor do dinheiro no tempo, o risco e o retorno mínimo, relativos ao segmento de negócio, é necessário estabelecer uma taxa de desconto, a qual servirá de base para o cálculo dos indicadores econômicos do projeto (SAMPAIO FILHO, 2008).

A taxa mínima de atratividade (TMA) é a taxa de desconto que exige o retorno mínimo do projeto, em função do seu risco de mercado, assegurando a remuneração do capital próprio e do capital de terceiros, também chamada custo de oportunidade, ou ainda custo de capital. Essa taxa significa o retorno que o investidor espera obter com um projeto, para que deixe de investir no mercado financeiro, num investimento sem risco, como por exemplo, na poupança ou em títulos com retorno garantido (DE BRITO, 2004).

2) Indicadores de viabilidade econômica de projetos

Segundo Silva (2008) apud Caibre (2013), podem ser admitidos diferentes indicadores como resultados de um fluxo de caixa. A adoção de um indicador em especial é função do objetivo da análise considerada. Três indicadores são comumente utilizados nas análises de viabilidade econômica de empreendimentos imobiliários, os quais compreendem o Valor

Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno e o período de recuperação do investimento.

a) Valor Presente Líquido - VLP

Este método considera o valor do dinheiro no tempo e consiste em trazer todas as entradas e saídas de caixa do projeto para valores monetários de uma mesma data, através de uma taxa mínima de atratividade.

O Valor Presente Líquido é obtido ao se submeter o valor presente de uma série de pagamentos e/ou recebimentos, a uma mesma taxa de juros (TMA – Taxa mínima de atratividade) e deduzir desse, o valor do desembolso inicial.

O Valor Presente Líquido é calculo pela Fórmula 1.

$$VPL = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0 \quad (1)$$

Onde:

F_n = valor do fluxo de caixa de ordem n ;

F_0 = fluxo inicial;

i = taxa de retomo (TMA).

O critério de verificação deste método é:

$VPL > 0$, o projeto é viável;

$VPL < 0$, o projeto não é viável;

$VPL = 0$, o projeto é indiferente.

Para a interpretação dos resultados, deve ser verificada se a situação de VPL for maior que zero, significará que o valor presente das entradas de caixa é maior que o valor presente das saídas de caixa, informando que o investimento agregará valor a empresa, ou seja, esta obterá um retorno maior do que o custo de capital investido.

Na situação contrária, quando VPL for igual a zero, significará que o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa, tornando o investimento indiferente.

Quando o VPL é menor que zero, significará que o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa, significando que o investimento não obterá o retorno do seu custo de capital investido.

b) Taxa Interna de Retorno - TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de um investimento pode ser definida como a taxa de juros para a qual o valor presente dos recebimentos resultantes do projeto é exatamente igual ao valor presente dos desembolsos.

Este método consiste em calcular a taxa que anula o valor presente dos fluxos de caixa do projeto (DE BRITO, 2004), conforme a Fórmula 2.

$$0 = \frac{-F_0}{(1 + \frac{TIR}{100})^0} + \frac{F_1}{(1 + \frac{TIR}{100})^1} + \frac{F_2}{(1 + \frac{TIR}{100})^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + \frac{TIR}{100})^n} \quad (2)$$

O critério de verificação deste método é:

TIR > TMA, o projeto é viável;

TIR = TMA, o projeto é indiferente;

TIR < TMA, o projeto não é viável.

A interpretação do resultado da análise utilizando esse método revela o retorno relativo do investimento (DE BRITTO, 2004).

- a) Quando a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade, significa que o investimento estará rendendo mais do que a taxa requerida de retorno.
- b) Quando a TIR for igual a taxa mínima de atratividade, implicará que o investimento renderá o mesmo que a taxa requerida de retorno. O investimento está em uma situação de indiferença, pois poderá optar pelo mercado financeiro com a mesma taxa de retorno e sem risco.
- c) Quando a TIR for menor que a taxa mínima de atratividade, indica que o investimento não é viável, pois há investimentos sem risco, que trarão uma taxa de retorno maior.

c) Período de Recuperação do Investimento

Em definição, o Período de Retorno do Investimento é o período de tempo necessário para que as entradas de caixa do projeto se igualem ao valor a ser investido, ou seja, o tempo de recuperação do investimento realizado.

Para definição do Período de Recuperação de Investimento, utiliza-se a Fórmula 3.

$$PRI = p + \frac{-(CF_p)}{CF_p - CF_{p+1}} \quad (3)$$

Onde:

p = período imediatamente antes do fluxo de caixa acumulado passar a positivo;

CF_p = fluxo de caixa acumulado para o período p;

CF_{p+1} = fluxo de caixa acumulado para o período p+1.

Quando o Período de Retorno do Investimento é utilizado para avaliar decisões de aceitar ou não determinados projetos, os critérios de tomada de decisões, segundo Gitman (2006), são:

- a) Se o Período de Retorno do Investimento é menor do que o Período de Retorno do Investimento máximo aceitável (variável definida pela administração, levando em consideração vários fatores, tais como tipo projeto e aceitação de mercado), o projeto será aceito;
- b) Se o Período de Retorno do Investimento é maior do que o Período de Retorno do Investimento máximo aceitável, o projeto será rejeitado.

O Período de Retorno do Investimento é amplamente usado por grandes empresas para avaliar pequenos projetos, e utilizado por pequenas empresas para avaliar a maioria dos projetos. Sua popularidade resulta da simplicidade do seu cálculo e do apelo intuitivo. Ele também atrai no sentido de que leva em consideração fluxos de caixa em vez de lucros contábeis (GITMAN, 2006).

Ressalva-se que o Período de Retorno do Investimento não possui prazos específicos, o qual é bastante subjetivo, pois leva em consideração a disposição dos proprietários em relação ao prazo que pretendem alcançar a recuperação do capital investido.

2.5.1.2 Análise de investimento na condição de incerteza

A incerteza é um dos fatores que está sempre presente nos projetos de investimentos, porque se reporta às expectativas futuras que geram insegurança e instabilidade em momentos de tomada de decisão. A decisão entre investir ou não investir, no momento, mais tarde ou nunca, sempre é levada em consideração no processo de decisão das pessoas, com relação às incertezas, nesses momentos e frente ao futuro (RITTER, 2011).

1) Análise de cenários

Para Ritter (2011), uma análise com mudança de parâmetros demonstra o quanto o Valor Presente Líquido ou outro fator utilizado será alterado, devido a uma dada variação de uma entrada. Assim, na análise de fluxos de caixa pelos modelos de Engenharia Econômica, alguns itens podem ter maior influência no resultado final do que outros, podendo-se identificar as entradas mais significativas.

2.5.2 Regimes tributários e seus enquadramentos

Segundo o Guia Tributário (2015), a Receita Federal do Brasil estabelece três tipos de regimes tributários, no qual cada um possui legislação própria que define todos os procedimentos a serem seguidos pela empresa, com o fim de determinar um enquadramento mais adequado. Os regimes são o Lucro Real, Lucro Presumido e Simples Nacional.

1) Lucro Real: No Lucro Real, o imposto de renda e a contribuição social sobre o lucro são determinados a partir do lucro contábil, apurado pela pessoa jurídica, acrescido de ajustes (positivos e negativos) requeridos pela legislação fiscal.

Também neste regime o PIS e COFINS são determinados (com exceções específicas) através do regime não cumulativo, creditando-se os valores das aquisições realizadas de acordo com os parâmetros e limites legais.

2) Lucro Presumido: No Lucro Presumido, realiza-se a tributação simplificada do Imposto de Renda das Pessoas Jurídicas (IRPJ) e a Contribuição Social sobre o Lucro (CSLL). Entretanto, no Lucro Presumido, o limite da receita bruta para poder optar, a partir de 2014, é de até R\$ 78 milhões da receita bruta total, no ano-calendário anterior.

Outro detalhe é que as empresas tributadas pelo Lucro Presumido não podem aproveitar os créditos do PIS e da COFINS, por estarem fora do sistema não cumulativo, no entanto recolhem tais contribuições com alíquotas mais baixas do que aquelas exigidas pelo Lucro Real.

3) Simples Nacional: No regime tributário conhecido como Simples Nacional, há normas simplificadas no cálculo e no recolhimento de tributos (IRPJ, CSLL, PIS, COFINS, IPI, Contribuições Previdenciárias, alcançando também o ICMS e o ISS) das microempresas e empresas de pequeno porte.

Nem todas as empresas podem optar pelo Simples, a primeira barreira é em relação à receita bruta anual, que deve restringir-se ao teto de R\$ 3.600.000 anuais (valor vigente para opção em 2013).

Determinadas atividades ou formas societárias estão vedadas de adotar o Simples Nacional – dentre essas vedações, destacam-se:

- a) pessoas jurídicas constituídas como cooperativas (exceto as de consumo);
- b) empresas em cujo capital participa outra pessoa jurídica;
- c) pessoas jurídicas cujo sócio ou titular seja administrador ou equiparado de outra pessoa jurídica com fins lucrativos, desde que a receita bruta global ultrapasse o limite de receita.

3 MÉTODO DA PESQUISA

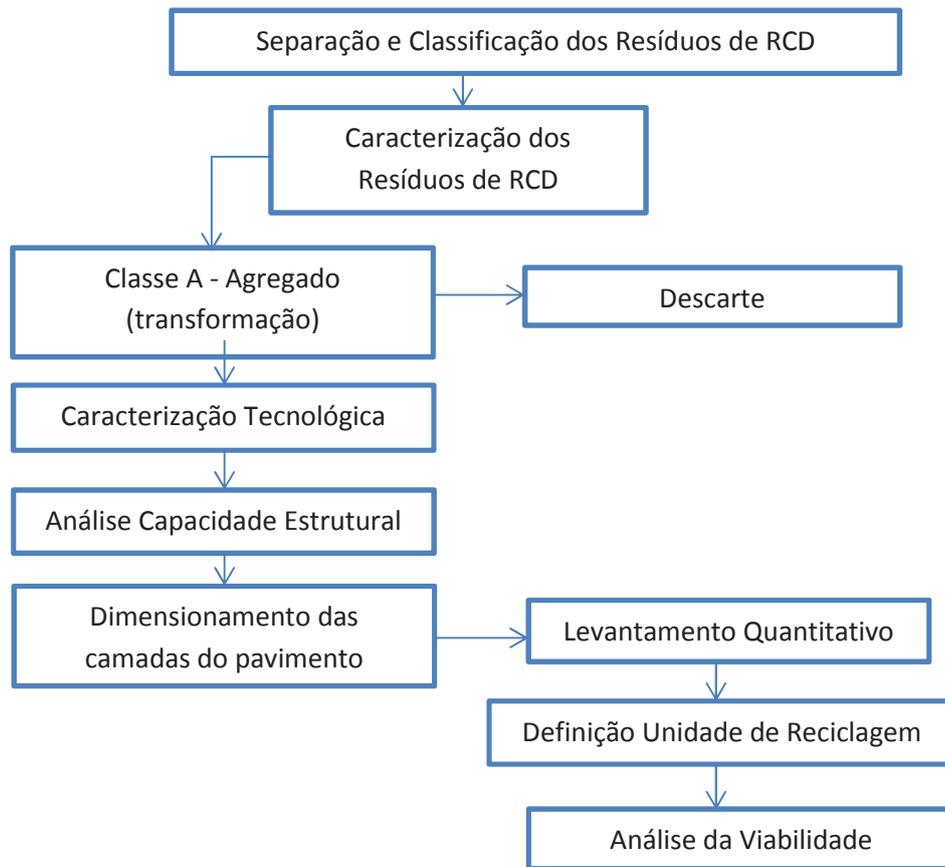
O trabalho foi executado em três etapas, em seguimento aos objetivos específicos. Na primeira etapa, realizaram-se a caracterização e a classificação dos materiais constituintes dos resíduos de construção e de demolição, provenientes de diversas obras do município de Passo Fundo-RS. O material foi coletado no local destinado a depósito dos resíduos de construção e de demolição, denominada “antiga pedreira”, dispostos pelas empresas responsáveis pela coleta no município. A segunda etapa foi realizada já com os resíduos classificados como Classe A, compreendendo a britagem, a classificação e a análise da capacidade de suporte, através de ensaios determinados por normas e por especificações, para o uso em pavimentação, juntamente com o dimensionamento das camadas de sub-bases de pavimentos urbanos, utilizando os parâmetros do agregado reciclado em substituição ao usualmente utilizado, neste nosso caso, o macadame. Na terceira e última etapa, foi realizada uma avaliação da viabilidade econômica, visando à implantação de uma unidade de britagem de RCD, no município de Passo Fundo, levando em consideração o volume necessário para utilização deste material como sub-base na construção de pavimentos urbanos.

Todos os ensaios realizados seguiram as diretrizes da NBR 15116/2004, a qual define os requisitos gerais e específicos que o agregado deve apresentar para ser utilizado em pavimentação.

3.1 Método e procedimento

O desenvolvimento do trabalho proposto seguiu as etapas constantes no fluxograma, apresentado na Figura 11, em que se realizaram a caracterização do material e o comportamento deste para o uso em pavimentação, além de avaliar o seu custo de processamento.

Figura 11: Fluxograma das etapas de pesquisa



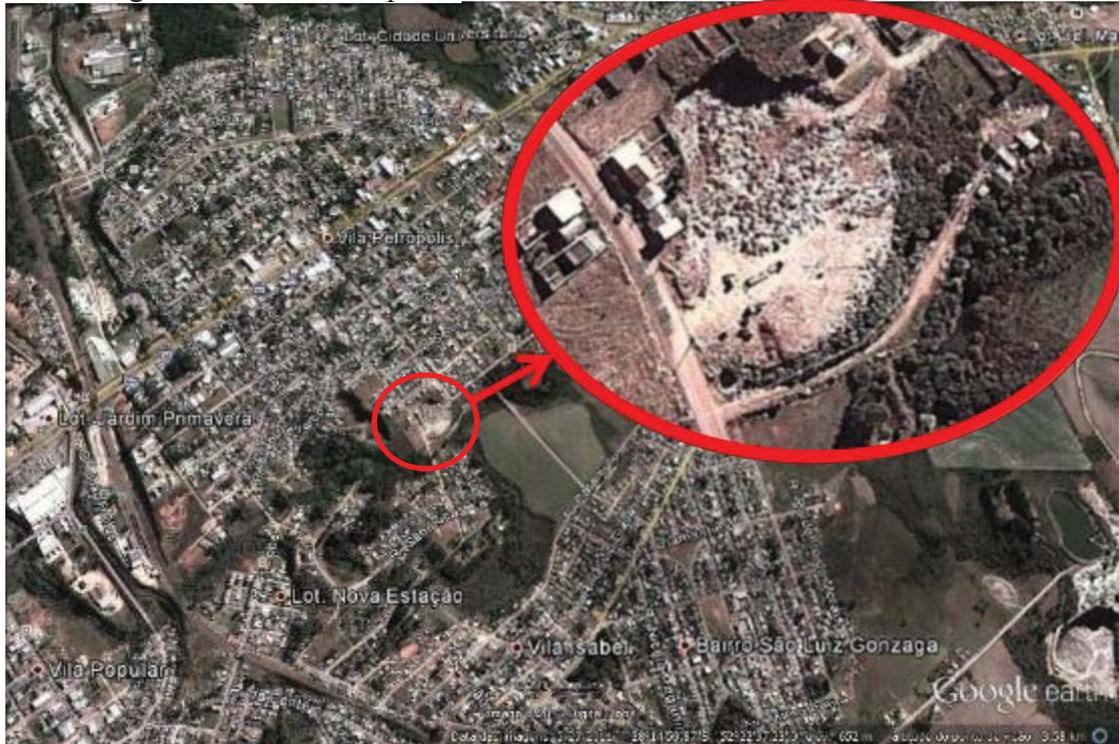
Fonte: próprio autor, 2015.

3.2 Caracterização dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD

3.2.1 Separação, britagem do material e caracterização

O material de RCD foi coletado na “antiga pedreira” (Figura 12), local de destino final dos resíduos no município de Passo Fundo e levados ao Centro Tecnológico da Universidade de Passo Fundo (CETEC-UPF). Nessa fase, separou-se o material, de forma segregativa e manualmente, com posterior identificação. O método de segregação compreendeu as ações de separar e de identificar, conforme a seguinte classificação: argamassa, concreto, aço (armaduras), metais, cerâmicas (azulejos, ladrilhos, pastilhas, entre outros), pedras, tijolos, gesso, madeira, papéis, plásticos, orgânicos, resíduos perigosos (tintas, solventes, entre outros) e materiais finos (argamassa e tijolos). O material que não fez parte do que seria analisado foi descartado; na sequência, tal material foi pesado e classificado de acordo com as Resoluções CONAMA, de números 307/2002, 348/2004, 431/2011 e 448/2012.

Figura 12: Vista do depósito de RCD de Passo Fundo – Antiga pedreira



Fonte: imagem do Google Earth, 2013.

O material classificado como Classe A foi britado em equipamento adaptado, tipo forrageira, cuja abertura da peneira utilizada na saída do material foi de 1”.

3.3 Caracterização tecnológica

3.3.1 Composição granulométrica

A granulometria é uma das principais características dos agregados, pois influenciará no comportamento dos pavimentos, especificamente em sua estabilidade, rigidez, trabalhabilidade, permeabilidade, resistência à deformação permanente, à fadiga e ao dano por umidade.

Nesta etapa, foi realizada a granulometria do agregado, cuja amostra do material seco foi passada por diversas peneiras sequenciais, de aberturas cada vez menores, sendo que o material retido em cada peneira foi pesado e comparado com a massa total da amostra, definindo, assim, a massa específica do agregado.

A composição granulométrica seguiu as diretrizes da NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica, e da NBR 7181 (ABNT, 1984) – Análise granulométrica.

Após a obtenção da curva granulométrica, foi calculada a massa específica real, aparente e de absorção do agregado graúdo, seguindo as orientações da norma NBR NM 53 (ABNT, 2009): Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Na sequência, foi obtida a massa específica do agregado miúdo através das orientações da NBR NM 52 (ABNT, 2009): Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente.

3.3.2 Dimensões máxima característica

A dimensão máxima característica é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5% em massa, que, segundo a NBR 15116, deverá ser menor ou igual a 63 mm.

A caracterização das dimensões máximas característica do agregado em estudo foi realizada através da NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

3.3.3 Índice de forma

A forma das partículas dos agregados influi na trabalhabilidade e na resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas em uma energia de compactação necessária para se alcançar certa densidade. As partículas irregulares ou de forma angular, tais como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita tendem a apresentar melhor intertravamento entre os grãos compactados, tanto maiores quanto mais cúbicos forem às partículas e mais afiladas forem suas arestas (Bernucci et al., 2008).

A definição do índice de forma do agregado em estudo foi realizada através da NBR 7809 (ABNT, 2006) – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma, pelo método do paquímetro – Método de ensaio.

3.4 Análise da capacidade estrutural

Será analisado o comportamento mecânico do agregado de RCD através do índice de suporte Califórnia (ISC), conhecido em inglês como *California Bearing Ratio* (CBR), bastante utilizado no meio rodoviário. Esse índice é essencial para o projeto da estrutura do pavimento urbano a partir de modelos semiempíricos.

O CBR define o valor da capacidade de suporte dos solos e de materiais granulares empregados na pavimentação. O ensaio consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão em um corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração num material granular padrão de referência (DNIT, 2006).

A NBR 15116 (ABNT, 2004) utiliza o valor do CBR como parâmetro para emprego do agregado reciclado em pavimentação. São fixados valores mínimos de acordo com a função estrutural do material no pavimento, se será usado como base, sub-base ou reforço de subleito. Considera, ainda, a expansão do agregado reciclado.

3.5 Dimensionamento da estrutura do pavimento

Com os dados de análise granulométrica, dimensão máxima característica, índice de forma e de CBR, fez-se o enquadramento do agregado reciclado para o uso em pavimentação com base na NBR 15116 (ABNT, 2004), e, posteriormente, dimensionou-se as camadas de sub-bases necessárias para o pavimento que poderá ser utilizado nas vias urbanas de Passo Fundo, utilizando os parâmetros de dimensionamento, usados pela Prefeitura de São Paulo. A coletânea de Instruções para dimensionamento foi obtida no site da Prefeitura paulista, através do SIURB/PMSP, e para o dimensionamento foi utilizada a IP-04: Instruções para o dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio, e a ETS-001/2003: Especificação de serviço para camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos de construção civil.

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento, a IP-04 define como parâmetros o tráfego, a espessura do pavimento, o tipo e a espessura da camada de rolamento. Já o tráfego é definido pelo indicador $N_{\text{característico}}$ de 10^5 solicitações para o tráfego leve e 5×10^5 solicitações para o tráfego médio. A espessura total do pavimento (H_{SL}) é obtida através de valores tabelados. Após definido o tráfego do pavimento e determinado o suporte representativo do subleito (CBR), define-se a altura equivalente (H_{eq}). O tipo e espessura (R)

da camada de rolamento do pavimento dependem do tipo de revestimento utilizado. Outro parâmetro considerado é o coeficiente estrutural (k), que se trata de um valor empírico que relaciona a espessura de uma base com o material utilizado na camada, o qual deve apresentar desempenho semelhante. O Quadro 13 apresenta um resumo destes parâmetros para o Tráfego leve e médio.

Quadro 13: Parâmetros de dimensionamento da estrutura do pavimento

Tráfego	Indicador / Parâmetro				Coeficiente Estrutural (k)
	N _{característico}	Espessura total (H _{LS})	Camada rolamento		
			Tipo de revestimento	Espessura (R)	
Leve	10 ⁵	Tabelado função do CBR	PMQ*	4,0 cm	Tabelado em função do tipo de camada do pavimento ou relações de CBR
			CAUQ**	3,5 cm	
Médio	5 x 10 ⁵		CAUQ**	≥ 5 cm	

*PMQ – Pré-Misturado a Quente
 **CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente

Fonte: IP-04 - SIURB/PMSP, 2004.

Para o dimensionamento das camadas de sub-bases de pavimentação urbana do município de Passo Fundo, com o agregado reciclado de resíduos de construção e demolição, foi utilizado como base o projeto de pavimentação PAC-2, disponibilizado pela Prefeitura de Passo Fundo, cujas camadas já estão dimensionadas e são praticadas no município. Neste estudo, foram calculadas as camadas de sub-base e substituídas no perfil já existente.

3.6 Levantamento de quantitativos e definição da Unidade de Reciclagem

Após, o dimensionamento das camadas dos pavimentos serviu de ponto de partida para definição da quantidade de material necessário para o uso como sub-base de pavimentação urbana. Com a demanda de material, definiu-se uma unidade de reciclagem que fosse capaz de processar os resíduos de construção e de demolição do município de Passo Fundo, transformando-os em agregado reciclado, do tipo bica corrida, para uso em pavimentação urbana.

3.7 Avaliação da Viabilidade econômica

De posse dos volumes utilizados para a execução das camadas de sub-base nas vias urbanas de Passo Fundo, utilizadas neste estudo, e dos dados para a implantação de unidade de britagem para transformação do RCD em agregado reciclável, compilaram-se os custos e analisou-se a viabilidade econômica da utilização deste material na pavimentação urbana do município de Passo Fundo.

3.7.1 Análise da viabilidade econômica na condição mais provável

Nesta etapa, foram relacionados, em um fluxo de caixa, os investimentos em equipamentos e os custos e as despesas necessárias para a construção e para a operação da Usina de Reciclagem de RCD e as receitas geradas com a venda do produto.

Para isso, realizou-se pesquisa de mercado para se obter informações de custos com equipamentos e materiais utilizados na infraestrutura. Os custos com mão de obra foram obtidos através da Lei nº 14.653/2014, que determina o piso salarial dos trabalhadores da indústria da construção civil, para o Rio Grande do Sul. Também foi realizada consulta contábil para a classificação, para o enquadramento da empresa e para a definição dos encargos fiscais e tributários.

Para a análise de viabilidade, foram avaliados os seguintes parâmetros:

a) Investimento inicial: contemplando os custos e as despesas com infraestrutura, equipamentos, licenciamento ambiental e demais licenças necessárias ao funcionamento da Usina de Reciclagem;

b) Custos e despesas: compreendidos pelos gastos com funcionários e os gastos administrativos, como materiais de escritório, contas de água, energia elétrica, combustível, equipamentos gerais e despesas legais;

c) Custos de manutenção: gastos com manutenções preventivas e corretivas dos equipamentos e veículos;

d) Impostos e tributos aplicados a este tipo de empreendimento;

e) Preço de venda: determinação do preço de venda no mercado para o produto gerado.

Após o levantamento das informações dos parâmetros de investimento inicial, custos e despesas, depreciação, impostos e o preço de venda, calculou-se a receita bruta do empreendimento.

1) Determinação das receitas

Para o cálculo da receita da Usina de Reciclagem, pesquisou-se o preço de venda do produto substituto, o macadame, nas tabelas de composições de preços SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Insumos) e SICRO-2 (Sistema de Custos Rodoviários). Após, estimou-se o preço de venda com um valor em torno de 80% menor que o material usado normalmente, em virtude de buscar o cliente com um valor mais atrativo financeiramente, além do apelo ambiental para o uso deste material.

2) Fluxo de Caixa

Para a determinação do fluxo de caixa financeiro, utilizou-se uma planilha Excel, na qual se relacionou a receita bruta para dez anos de vida econômica do projeto e deduziu-se o valor dos impostos, obtendo-se a receita líquida. Após, subtraiu-se os custos de produção e a depreciação, obtendo-se o lucro líquido tributável, e após a dedução do imposto de renda e da contribuição social sobre o lucro líquido, obteve-se o lucro real do empreendimento.

Baseado no investimento inicial, no tempo de vida útil e no lucro líquido da Usina de Reciclagem, calcularam-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Recuperação do Investimento (*Payback*). A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi estimada em 7% da rentabilidade média esperada.

O montante para o capital de giro foi considerado para suprir as eventuais faltas de recursos financeiros durante a diferença temporal entre pagamentos de insumos produtivos e recebimento de receitas.

O valor residual do investimento inicial foi estimado em 40% do Investimento em ativos fixos relacionados à edificação da usina e aos equipamentos para sua operação.

3) Valor Presente Líquido (VPL)

Para o cálculo do valor presente líquido (VPL), utilizou-se a seguinte equação (4):

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

Onde:

VPL é o valor presente líquido;

I é o investimento de capital na data zero;

FC_t representa o valor final na data t do fluxo de caixa;

n é o prazo de análise do projeto;

i é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento.

4) Taxa Interna de Retorno (TIR)

O cálculo da TIR se faz através da determinação da taxa de juros que anula o fluxo de caixa no horizonte de tempo do projeto.

Para se determinar a Taxa Interna de Retorno (TIR) fez-se uso da fórmula (5).

$$0 = I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (5)$$

Onde:

FC_t é o valor presente das entradas de caixa;

I é o investimento inicial;

t é o tempo de desconto de cada entrada de caixa;

n é o tempo de desconto do último fluxo de caixa.

5) Período de Recuperação do Capital Simples (*Payback*)

O método do *Payback* consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido.

O *Payback* pode ser calculado conforme a equação 6, na qual se dividiu o Valor do Investimento Inicial pela média do Fluxo de caixa anual:

$$PB = \frac{Invest. \text{ Inicial}}{\sum_i FC_{ano}} \quad (6)$$

Ao final desta fase, com base nos indicadores financeiros do projeto, verificou-se a viabilidade econômica da implantação da usina de reciclagem de resíduos no município de Passo Fundo.

3.7.2 Análise da viabilidade econômica com mudanças de cenários

Na análise de cenários, buscou-se avaliar o impacto econômico da variação dos parâmetros utilizados na análise da usina de reciclagem, tais como: investimento inicial, custos, despesas e receitas. A análise de cenários serviu para se conhecer qual o cenário que tornaria o empreendimento viável economicamente.

Nesta pesquisa, a análise de cenários apresenta particularmente o impacto dos pesos atribuídos aos atributos das soluções em análise, e também mostra como uma eventual variação do peso pode influenciar a mudança na decisão.

Foram estudados dois cenários que consideram a variação da quantidade da matéria-prima e do preço de venda do produto. O Quadro 14 apresenta as características dos cenários estudados.

Quadro 14: Características dos cenários estudados na análise

Cenário	Característica
1	Variação da quantidade de material processado e preço de venda do produto
2	Variação do preço de venda do produto e na quantidade de material processado

Fonte: próprio autor, 2015.

Para cada cenário estudado, foi elaborado um fluxo de caixa financeiro e calculado os indicadores de viabilidade econômica, conforme metodologia descrita no item 3.7.1.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da pesquisa são divididos em três fases, respondendo aos objetivos específicos. Na primeira, consta a avaliação tecnológica do material de RCD; na segunda fase, dimensiona-se a estrutura do pavimento utilizando o agregado reciclado de RCD; na terceira e última fase, faz-se o levantamento dos dados para a implantação de uma unidade de reciclagem de RCD em Passo Fundo; e, analisa-se economicamente a implantação do empreendimento para o uso específico.

4.1 Avaliação Tecnológica

Para que o material estudado seja enquadrado como agregado reciclado para pavimentação, deve apresentar requisitos gerais e específicos, seguidos pela NBR 15116/2004 da ABNT, sobre os quais é necessária a realização dos ensaios de composição granulométrica, índice de forma e Índice Suporte Califórnia (CBR).

4.1.1 Caracterização dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD

a) Separação, caracterização e britagem do material

Os resíduos de construção e de demolição analisados foram retirados do aterro, denominado “antiga pedreira”, local onde as empresas de Passo Fundo, responsáveis pelo recolhimento desses resíduos depositam tais materiais (Figura13). O material foi recolhido e levado ao CETEC, onde foram segregados e selecionados apenas os materiais considerados como Classe A, conforme Resoluções CONAMA de números 307/2002, 348/2004, 431/11 e 448/12 e definidos como resíduos de construção civil, conforme NBR 15116/2004 da ABNT, os demais materiais foram descartados.

Figura 13: Local de depósito dos resíduos sólidos de construção civil de Passo Fundo



Fonte: próprio autor, 2015.

Para a realização dos demais ensaios, os resíduos foram triturados em equipamento adaptado (Figura 14a), transformando-os em agregados, necessários para a utilização como base ou sub-base em pavimentação urbana (Figura 14b).

Figura 14: Equipamento para triturar o RCD e material pronto para os ensaios

(a) – equipamento adaptado



(b)- material britado



Fonte: próprio autor, 2015.

4.1.2 Caracterização tecnológica

a) Composição granulométrica

Foi traçada a curva granulométrica, por meio do peneiramento a seco, realizado de acordo com os critérios da NBR 7181/1984 (Figura 15).

Figura 15: Ensaio de granulometria



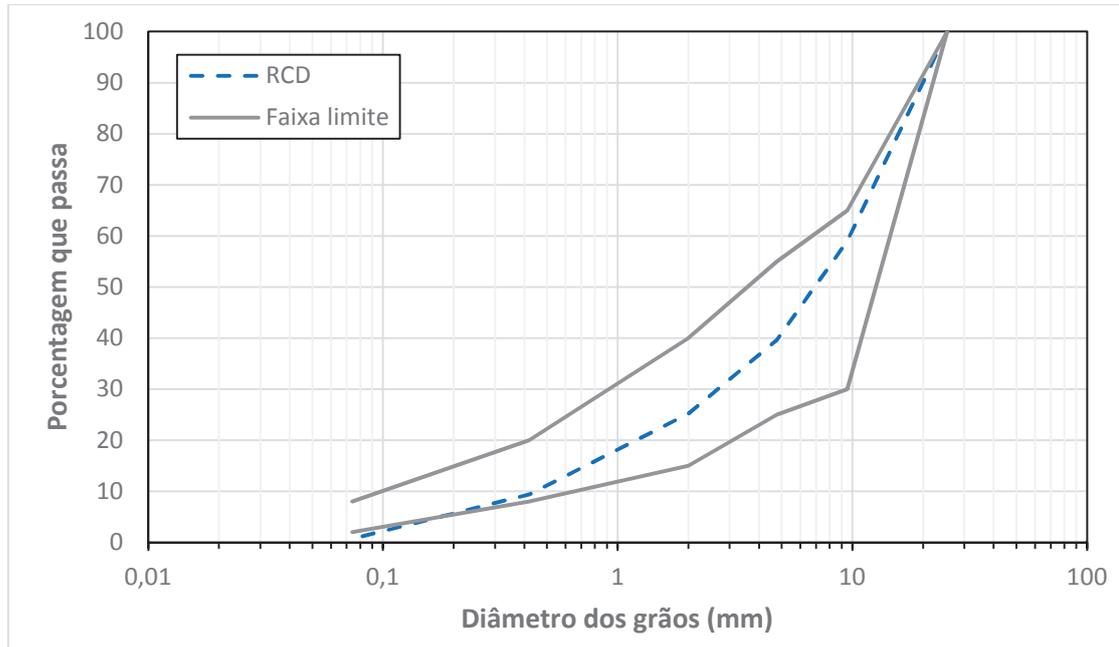
Fonte: próprio autor, 2015.

De acordo com a NBR 15116/2004, a curva granulométrica deve ter um Coeficiente de Uniformidade (C_u), que é a razão entre os diâmetros que correspondem a 60% e a 10% do material passante, maior ou igual a 10. A NBR citada também define que a granulometria passante na peneira 0,42 mm deve ficar entre 10% e 40%.

No resultado do ensaio de granulometria do agregado reciclado analisado, o C_u foi encontrado para o percentual de 60%, 6 mm, e para 10%, 0,25 mm, dando um resultado igual a 24, e o material passante na peneira 0,42 mm foi de 17,07%, enquadrando-se nos limites da referida norma (Figura 16).

A densidade média encontrada das amostras foi de 1200 kg/m³ para o material de RCD analisado.

Figura 16: Granulometria do agregado reciclado



Fonte: próprio autor, 2015.

O enquadramento do agregado reciclado pela faixa granulométrica é realizado, seguindo as instruções do manual de pavimentação (DNIT/2006), que define faixas que vão de A a F para tráfegos de $N > 5 \times 10^6$ e $N < 5 \times 10^6$ (Tabela3).

Embora o agregado de RCD esteja sendo estudado para ser usado com camadas para pavimentos urbanos, o que define tráfegos com $N < 5 \times 10^6$, o que permitiria termos granulometrias variando entre as faixas E e F, o resultado apresentou faixa granulométrica característica mais próxima a faixa A, conforme mostra a Tabela3.

Tabela 3: Faixas granulométricas

Tipos	RCD	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias da faixa de projeto
		A	B	C	D	E	F	
% em peso passando								
2"	100	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	100	-	75 - 90	100	100	100	100	± 7
3/8"	59,0	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	± 7
Nº 4	39,6	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	10 - 100	± 5
Nº 10	25,2	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	± 5
Nº 40	9,4	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	± 2
Nº 200	0,7	2 - 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	± 2

Fonte: adaptado de DNIT, 2006.

b) Dimensão máxima característica

A dimensão máxima característica foi obtida conforme instruções da NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Considerando a composição granulométrica do agregado reciclado em estudo, o resultado obtido que corresponde a um valor \leq a 5% em massa foi o da peneira de nº 3/4”, de abertura 19 mm, cujo diâmetro estipulado na NBR 15116 é de \leq a 63 mm, considerando nosso resultado dentro do enquadramento.

c) Índice de forma

A definição do índice de forma do agregado em estudo foi realizada através da NBR 7809 (ABNT, 2006) – Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio.

Dos agregados retidos nas peneiras de abertura 19 mm, 12,5 mm e 9,5 mm, foram recolhidos aleatoriamente 200 espécimes para a realização do ensaio do índice de forma. Esses elementos foram medidos conforme instruções da norma, e foi feita a média ponderada conforme a equação 7.

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (7)$$

Onde:

200 = número de grãos necessários para o ensaio;

N_i = número de grãos a serem medidos na fração i ;

F_i = é a percentagem de massa retida individual da fração i .

O resultado obtido, para a amostra de 19 mm, foi de $N_i = 1,4$; para a amostra de 12,5 mm, foi de $N_i = 2,15$; e, para a amostra de 9,5 mm, foi de $N_i = 2,25$, lembrando que os resultados menores que 3 estão enquadrados na NBR 15116.

4.1.3 Análise da capacidade estrutural

Para a caracterização do comportamento mecânico do material e verificação da resistência do material, foi realizado ensaio de compactação (Figura 17), através do Índice de Suporte Califórnia (ISC), também conhecido como CBR (*California Bearing Ratio*), conforme especificações DNER-ME 129/94.

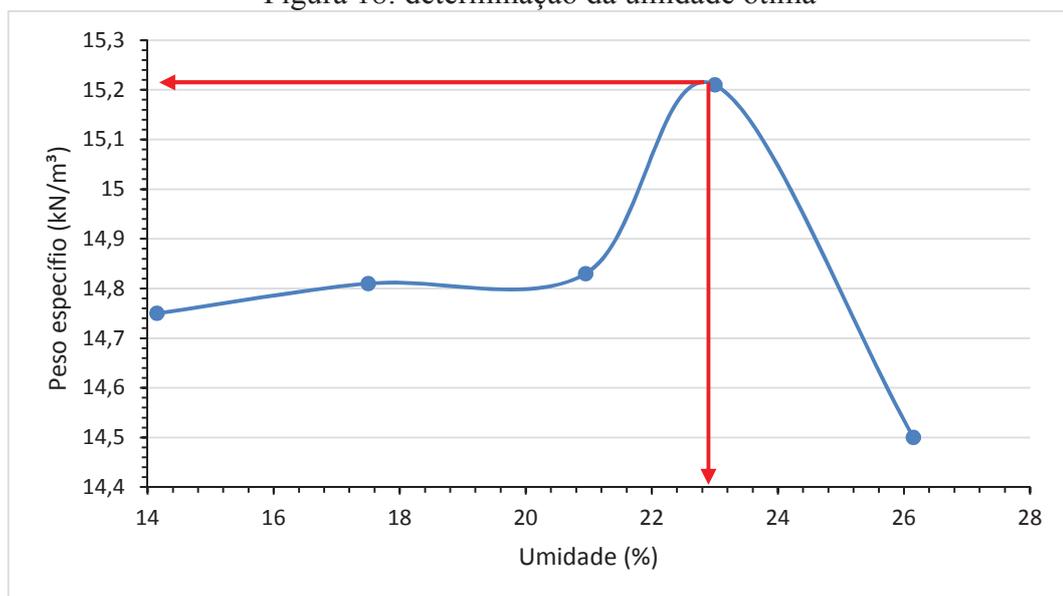
Figura 17: Ensaio de Proctor



Fonte: próprio autor, 2015.

Utilizando para esse ensaio o agregado reciclado, de acordo com as definições da EL-007/01 do DAER/RS, obteve-se uma umidade ótima de 22,89%, conforme Figura 18.

Figura 18: determinação da umidade ótima



Fonte: próprio autor, 2015.

A NBR 15116 (ABNT, 2004) especifica valores mínimos de ISC (CBR) e expansão, para material que será usado como pavimento, sendo base, sub-base ou reforço de subleito. Foram realizados cinco ensaios de CBR, em dias alternados, com esforço de compactação intermediário, na sequência ilustrada na Figura 19, tendo como resultado valor médio de CBR igual a 83% ($\sigma = 8,62\%$) e expansão de 0,00% caracterizando-o, segundo a referida norma, como material bom para execução de base de pavimento, a qual determina que, para base de pavimento, tenhamos de ter um valor de ISC (CBR) $\geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5$, e, para sub-base, valor de ISC (CBR) $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1,0$. O enquadramento na Especificação de Serviço ETS – 001/2003 do SIURB/PMSP, a qual especifica as camadas de reforço do subleito, da sub-base e da base mista de pavimentação, com o uso de agregado reciclado de resíduos de construção civil, também fica no uso como base.

O agregado reciclado analisado é um bom material e poderá ser usado tanto para base como para sub-base e para reforço de subleito; porém, este trabalho utilizará o material apenas como uso em sub-base, para que possa ser melhor analisado tecnicamente e economicamente.

Figura 19: Ensaio de CBR

(a) - Moldagem de CBR



(b) – imersão do CBR moldado em água



(c) – Medição de expansão do CBR



(d) – Ruptura de CBR



Fonte: próprio autor, 2015.

4.2 Dimensionamento da estrutura do pavimento

Passo Fundo adota pavimento flexível tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). O revestimento é assente sobre camada granular estabilizada granulometricamente. A camada granular utilizada é dividida em duas camadas: sub-base e base de brita graduada. Nas vias urbanas, com circulação de ônibus, foi prevista a adição de cimento, em 4%, na camada de base granular, com o objetivo de elevar a capacidade estrutural da camada, devido à passagem repetida de cargas pesadas na via, diminuindo a formação de “trilha de rodas”.

O método de dimensionamento utilizado no município de Passo Fundo é o proposto pelo DNER (método Murillo), indicado para pavimentos flexíveis, e os parâmetros fundamentais para o dimensionamento são o ISC (do subleito) e a estimativa de tráfego atuante no período calculado como vida útil.

A sequência adotada para o dimensionamento das vias urbanas de Passo Fundo é:

- Definição do Índice de Suporte de Projeto (ISP);
- Definição do número equivalente de operações do eixo padrão (N);
- Dimensionamento da estrutura do pavimento;
- Seções tipo do pavimento;
- Definições das fontes de material para a execução dos pavimentos.

A Prefeitura Municipal de São Paulo é referência no uso de agregado reciclado em pavimentação de vias urbanas e possui, através do SIURB/PMSP, instruções para o dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio (IP-04) e apresenta especificação de serviço para camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos de construção civil (ETS – 001/2003), os quais servirão como base no dimensionamento deste estudo, juntamente com as informações já existentes e praticadas pelo município de Passo Fundo.

A definição do Índice Suporte de Projeto e do número N, para o município de Passo Fundo, foi obtido do projeto de pavimentação PAC 2, em que foram realizados estudos geotécnicos, em função das características geomecânicas dos solos, das investigações do subleito e das condicionantes do projeto, para as quais foi estabelecido um $ISP=8\%$ para as diversas vias objeto do projeto. O número N foi obtido através de estudos do tráfego, dos quais foram definidas três categorias:

- Tráfego muito leve (TML): $N = 10^4$
- Tráfego leve (TL): $N = 10^5$

- Tráfego médio (TM): $N = 10^6$

Na IP-04 (instruções para dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio) da Prefeitura de São Paulo, definidas pelo SIURB/PMSP, a caracterização é feita pela classificação das vias, utilizando o $N_{\text{característico}}$ de 10^5 para tráfego leve e 10^6 para tráfego médio, possuindo, assim, as mesmas características de Passo Fundo.

4.2.1 Estrutura dos pavimentos

A Prefeitura de Passo Fundo possui sua estrutura definida para os pavimentos, de acordo com as Tabelas 4 e 5, para o tráfego leve e médio, respectivamente.

Tabela 4: Estrutura de Pavimento para $N_{\text{característico}} = 10^5$ para Passo Fundo

Pavimento Camada	Espessura real (cm)	K (coeficiente estrutural)
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente	4,00	2,00
Base Granular (brita graduada)	12,00	1,00
Sub-base (macadame)	18,00	1,00
Subleito regularizado com $ISC \geq 8\%$	-	0,71
TOTAL (cm)	34,00	

Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo – Programa de Pavimentação – PAC 2, 2013.

Tabela 5: Estrutura de Pavimento para $N_{\text{característico}} = 10^6$ para Passo Fundo

Pavimento Camada	Espessura real (cm)	K (coeficiente estrutural)
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente	5,00	2,00
Base Granular (brita graduada) c/ 4% de cimento	15,00	1,00
Sub-base (macadame)	19,00	1,00
Subleito regularizado com $ISC \geq 8\%$	-	0,71
TOTAL (cm)	39,00	

Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo – Programa de Pavimentação – PAC 2, 2013.

Para a definição da espessura total do pavimento, utilizando o agregado reciclado, para os tipos de tráfego leve e médio, foi utilizado o ábaco de dimensionamento, juntamente com os valores de altura equivalente (Heq) tabelados, apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Valores Tabelados para Heq em função do CBR para Tráfego Leve

CBR (%)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
Heq (cm)	79	59	48	41	35	32	29	27	25	23	21	18	15

Fonte: adaptado da IP-04 - SIURB/PMSP, 2004.

Tabela 7: Valores Tabelados para Heq em função do CBR para Tráfego Médio

CBR (%)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
Heq (cm)	95	75	64	57	51	48	44	40	39	34	30	26

Fonte: adaptado da IP-04 - SIURB/PMSP, 2004.

Definidas a espessura total do pavimento, que seria de 29 cm para o pavimento com tráfego leve e de 44 cm para o pavimento com tráfego médio, definiram-se as demais camadas. Retiram-se os valores de CBUQ e Base e o restante é sub-base reciclada.

Os coeficientes estruturais da sub-base granular do agregado reciclado e do reforço do subleito foram obtidos pelas expressões 8 e 9:

$$K^{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (8)$$

$$K^{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (9)$$

Onde:

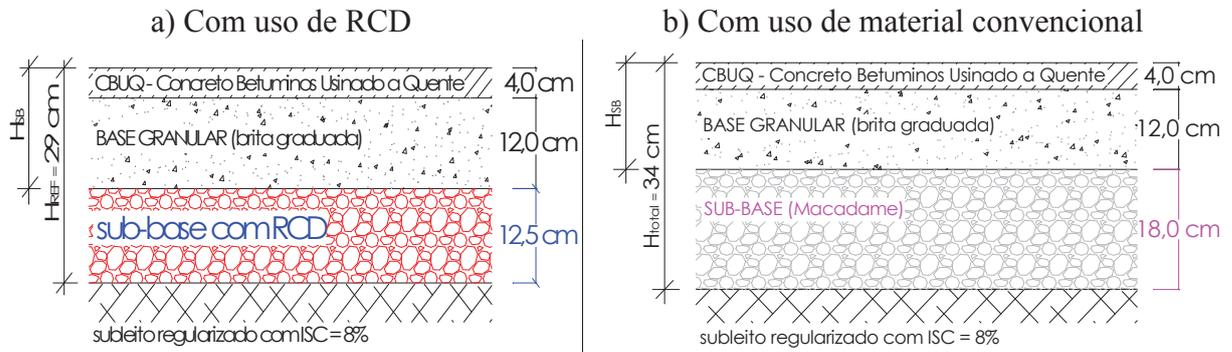
CBR_{SB} , CBR_{REF} e CBR_{SL} são os suportes da sub-base, reforço e subleito.

Para calcular o coeficiente estrutural para a sub-base dos pavimentos com tráfego leve e médio, utilizamos $CBR_{SB} = 30\%$ (definido na IP-04) e $CBR_{SL} = 8\%$ (definido e utilizado pelo município de Passo Fundo para o subleito), obtendo um resultado de 1,10 de relação, obtendo um $K = 0,72$.

O dimensionamento das camadas de sub-base com o uso do agregado reciclado, analisado neste estudo, foi definido com base na IP-04 do SIURB/PMSP, para o tráfego leve e médio com $N_{característico} = 10^5$ e 10^6 solicitações. As demais camadas permanecem com os valores já definidos e utilizados pelo município.

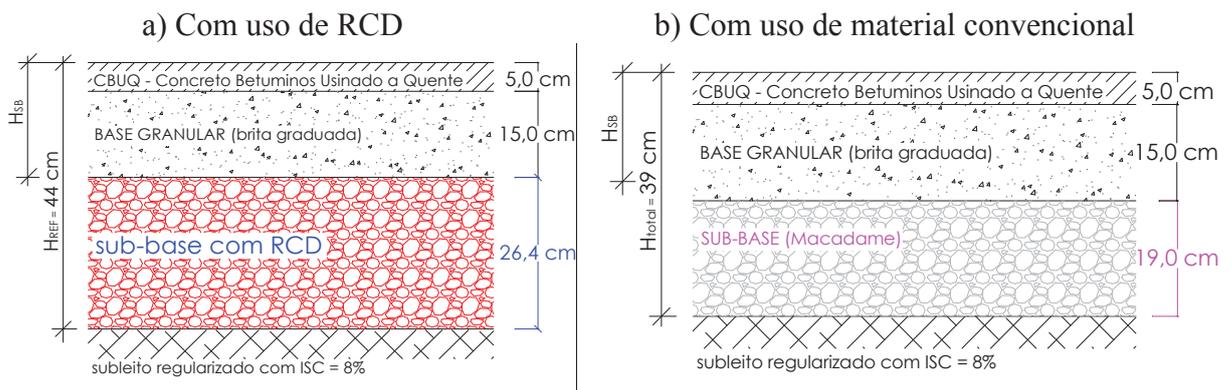
A estrutura dos dois tipos de pavimentos, ilustrados nas Figuras 20a e 21a, levam em consideração o subleito regularizado com $ISC = 8\%$, definido no projeto executivo em implantação no município de Passo Fundo, ilustrado nas figuras 20b e 21b.

Figura 20: Esquema elucidativo das camadas de pavimentos para tráfego leve ($K=0,72$)



Fonte: próprio autor, 2015.

Figura 21: Esquema elucidativo das camadas de pavimentos para tráfego médio ($K=0,72$)



Fonte: próprio autor, 2015.

4.2.2 Análise mecânica: Capacidade de suporte dos subleitos

Segundo Goldene Spada (2003), os pavimentos requerem um entendimento ao carregamento a que estão sendo submetidos e sofrem influência do meio ambiente, considerando os efeitos da água e da temperatura. Observa-se, ainda, a necessidade de um entendimento dos mecanismos de ruptura potenciais e uma compreensão de como esses evoluem com o número de aplicações do carregamento.

Nos pavimentos flexíveis, a capacidade de suporte dos subleitos é de extrema importância em relação ao dimensionamento de toda a estrutura, necessitando estabelecer

condições satisfatórias para a deformação do subleito, principalmente nas situações em que a fração fina prevalece.

As análises de solo, realizadas para o projeto “Programa de Pavimentação – PAC 2” do município de Passo Fundo, demonstraram que o subleito é composto por solos argilosos com predominância da cor vermelha tendendo para o grupo A-7 (subgrupos A-7-5 e A-7-6).

Considerando que nestes grupos de solos, de acordo com a classificação HRB (Quadro 15), a previsão de desempenho varia de regular a mau como subleito, podendo apresentar valores elevados de expansão (> 2%). Porém, os resultados de ensaios de capacidade de suporte, realizados pelo município, segundo informações do mesmo, mostram valores de $ISC > 8\%$, ou seja, pressupõe uma capacidade média de suporte do subleito com expansão menor que 1%.

Quadro 15: Classificação dos solos TRB

Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira nº 200)							Materiais Siltosos e Argilosos (35% passando pela peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal 2,00 mm 0,42 mm 0,074 mm	50 máx 30 máx 15 máx	50 máx 25 máx	51 máx 10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 máx	36 máx	36 máx	36 máx
Características da fração que passa na peneira 0,42 mm Limite de Liquidez (%) Índice de Plasticidade (%)	-	-	-	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			
OBS: Caso o solo se enquadre no grupo A-7, deve-se verificar se ele pertence ao subgrupo A-7-5 ou A-7-6 Se $IP \leq LL - 30$: solo pertence ao subgrupo A-7-5 Se $IP > LL - 30$: solo pertence ao subgrupo A-7-6											

Fonte: DNIT, 2006.

Essas definições e classificações foram apresentadas no projeto de pavimentação asfáltica do município de Passo Fundo, para o Programa Pró-Transporte – PAC 2 (2012), ressaltando que o método mais adequado para classificação dos solos tropicais, característico desta região, seria o Método MCT.

Segundo Santos (2006), o sistema de classificação HRB, quando aplicado aos solos tropicais, torna-se restrito, devido às peculiaridades desse solo, destacando-se o fato de que a

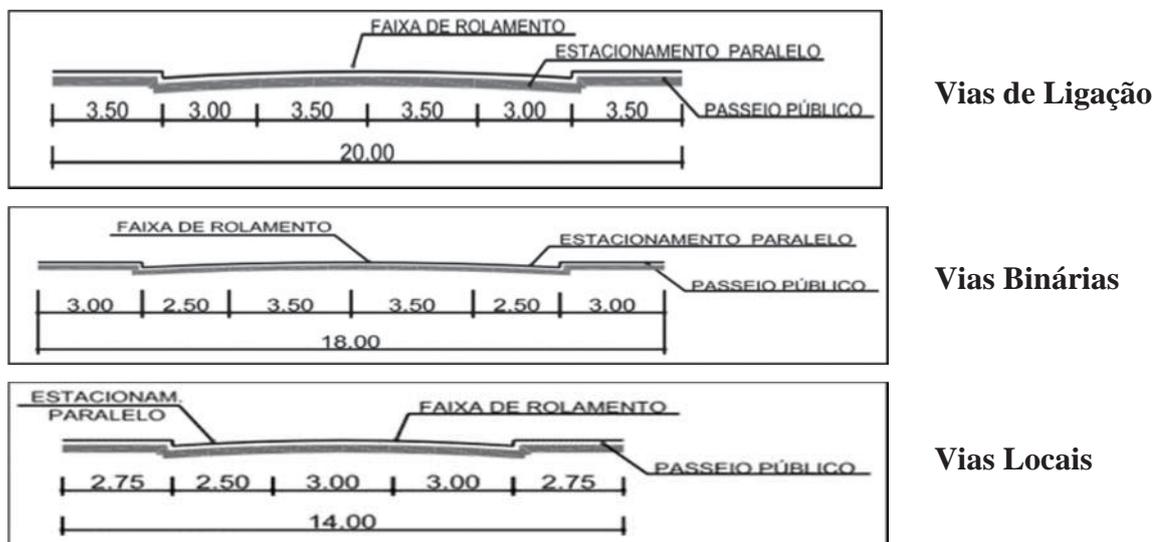
hierarquização dos solos utilizados em pavimentação é baseada nas classificações geotécnicas tradicionais que não correspondem ao real desempenho dos mesmos nas obras. Os solos tropicais podem apresentar comportamentos distintos relacionados ao seu comportamento mecânico e hidráulico devido ao processo de laterização.

Para as obras de pavimentação, as propriedades após a compactação são importantes. Um solo que apresenta comportamento laterítico, quando compactado em condições ideais, adquire alta capacidade de suporte e baixa perda dessa capacidade, quando imerso em água.

4.2.3 Estimativa de consumo de agregados

O município de Passo Fundo possui em seu Código de Obras, Lei Complementar 170/2006 – anexo 1, o perfil viário de suas vias urbanas (Figura 22), das quais foram utilizados os perfis das vias de menor tráfego, para a estimativa do consumo de agregado reciclado e para utilização como sub-base, pois são estas vias objetos de projetos de pavimentação pelo Programa de Pavimentação – PAC 2, as quais são Vias de ligação, Vias binárias e Vias locais.

Figura 22: Perfis das Vias urbanas do município de Passo Fundo-RS



Fonte: Lei Complementar 170/2006-Anexo 1, Código de Obras do Município de Passo Fundo-RS

De acordo com a classe da via, existe uma respectiva seção transversal a ser construída. Para estimativa de consumo de materiais, foi considerado um volume médio que seria consumido nos três tipos de seção transversal, mencionados previamente por quilômetro

de via urbana executado. Nesse cálculo, levaram-se em conta os resultados do ensaio de compactação para a previsão da massa necessária, para cada quilômetro de via urbana executado. A Tabela 8 apresenta um resumo destas informações de consumo de agregados reciclados.

Tabela 8: Estimativa do consumo médio de RCD por quilômetro de via executado.

Tipo de via	Tráfego	Largura da via (m)	Espessura (cm)	Consumo estimado de RCD (m³/km)	Consumo médio de RCD (t/km)
Ligação	Médio	13,5	0,264	3564	~ 4000
Binária	Médio	12,5	0,264	3300	
Local	Leve	9,00	0,125	1125	

Fonte: próprio autor, 2015.

Para que este quantitativo possa ser comparado com o material que está sendo usado na execução destas vias, no caso o macadame, a Tabela 9 apresenta o quantitativo deste material, em função das espessuras do projeto PAC 2, para as mesmas vias de tráfego.

Tabela 9: Estimativa do consumo médio de macadame por quilômetro de via executado

Tipo de via	Tráfego	Largura da via (m)	Espessura (m)	Consumo estimado de macadame (m³/km)	Consumo médio de RCD (t/km)
Ligação	Médio	13,5	0,19	2565	~ 3200
Binária	Médio	12,5	0,19	2375	
Local	Leve	9,00	0,18	1620	

Fonte: próprio autor, 2015.

4.3 Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição

O estudo referente à implantação de uma Usina de reciclagem de resíduos de construção e de demolição (RCD) foi realizado para a produção de material do tipo bica corrida e para o uso como sub-bases em pavimentações urbanas.

Os materiais que serão reciclados na usina compreendem fragmentos de alvenaria de componentes cerâmicos; fragmentos de alvenaria de blocos de concreto; fragmentos de concreto, armado ou não, sem fôrmas; fragmentos de lajes e de pisos; argamassas de cal, de cimento ou mistas, de assentamento ou revestimento; componentes de concreto ou cerâmico:

blocos, tijolos, telhas, tubos, briquetes, lajotas para laje, etc.; fragmentos de pedra britada e de areia naturais, sem presença significativa de terra ou outros materiais proibidos, ou seja, deverão se enquadrar como Classe A pela resolução CONAMA nº. 307.

Neste projeto, foi definido que não serão processados materiais como gesso, fragmentos de cimento amianto, madeira, vegetação e matéria orgânica; papel, papelão, plástico, isopor e similares; tecidos, borracha, espuma e demais materiais sintéticos; metais; vidro; tintas, impermeabilizantes e asfalto; líquidos em geral; entre outros não classificados como Classe A.

A mão de obra consistirá em operários, a fim de fazer a inspeção visual e a triagem do material manualmente para posterior entrada no britador, o qual compreende equipamentos que produzirá apenas bica corrida.

4.3.1 Estrutura da unidade

a) Recepção:

Os resíduos que chegarão ao pátio da Usina de Reciclagem deverão estar pré-selecionados, ou seja, classificados como resíduos de Classe A. Essa pré-seleção será feita por empresas responsáveis pela coleta desses resíduos no município.

A Usina de Reciclagem fará parceria com essas empresas, para que as mesmas levem seu resíduo ao pátio da Usina, sem custo de transporte para o empreendimento, local onde poderá ser reutilizado como agregado, ao invés de disporem em aterro ou outro local.

b) Capacidade de produção:

A capacidade nominal do conjunto de britagem é estimada em 20 t/h, considerando-se uma efetividade de 70 % de produção, da qual se obtém um processamento de 14 t/h em 8h/dia, originando uma produção de 112 t/dia. Assim, com o trabalho em torno de 20 dias úteis à produção é de 2.240 t/mês, levando em consideração que somente os resíduos de RCD serão transbordados no pátio de triagem da Usina.

De acordo com a Tabela 8, a necessidade calculada de RCD para cada quilômetro de via pavimentada, levando em consideração os três tipos de vias (de ligação, binária e local) e as duas condições de tráfego (leve e médio), tem-se uma média de consumo de 4.000 toneladas para cada quilômetro. Se a usina de reciclagem produzir 2.240 t/mês de agregado

reciclado tipo bica corrida por mês, seria executado o equivalente a 0,6 km/mês de pavimentação, considerando que uma quadra tenha 100 metros ou 0,10 km, seriam executadas aproximadamente 6 quadras/mês.

O conjunto para britagem do RCD, para uma capacidade efetiva de 112 t/dia, caracterizado como britagem de pequeno porte, é composto dos seguintes equipamentos:

- 1 alimentador vibratório – av 200x40;
- 1 transportador de correia 16” x 8000;
- 2 bicas de transferência;
- 1 britador de impacto ti-km 06x04;
- 1 separador magnético;
- 1 transportador de correia 16” x 12.000, com sistema de giro manual;
- 1 peneira rotativa diam.1000 x 3000;
- 1 sistema antipó;
- 1 estrutura de sustentação;
- 1 painel elétrico;
- 1 transportador de correia 16” x 6000.

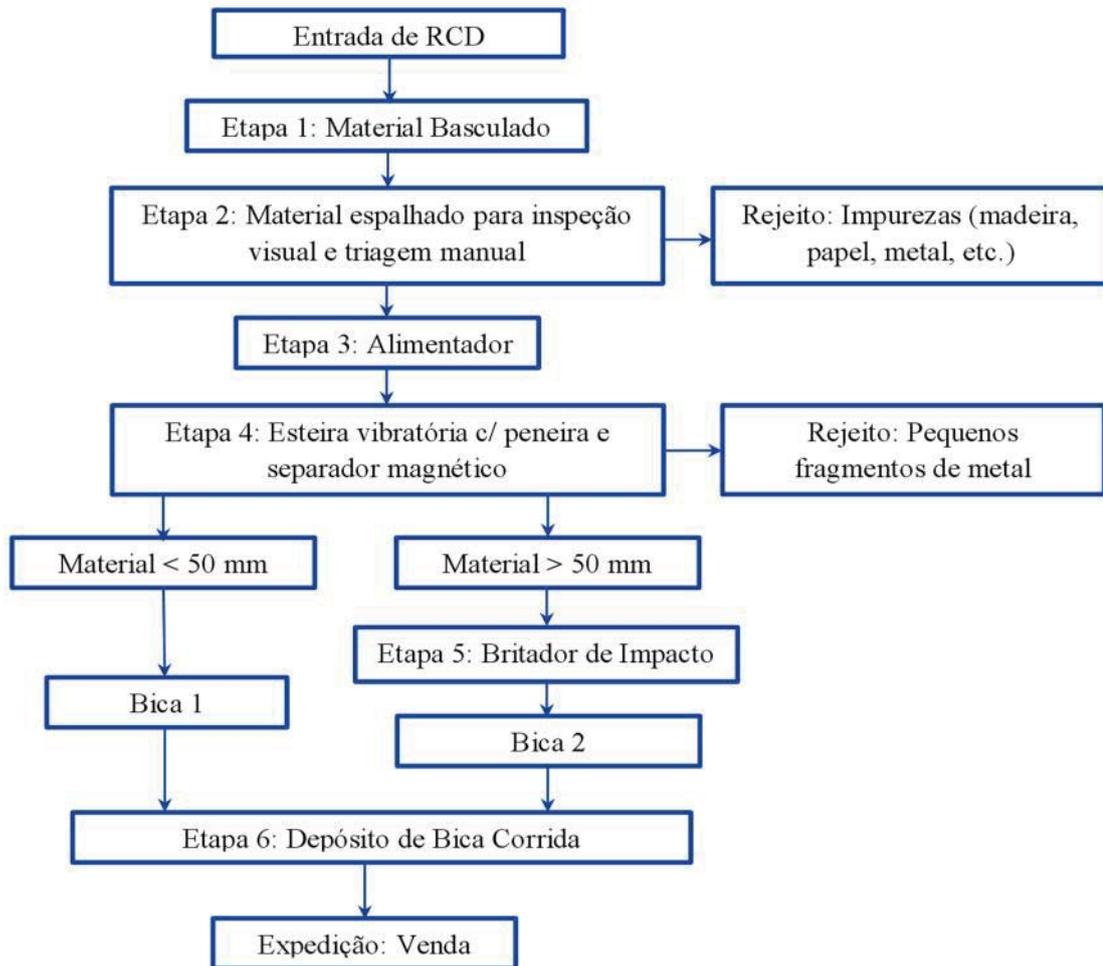
c) Fluxograma de operação:

O processo de operação da usina de reciclagem de RCD funcionaria de acordo com o fluxograma da Figura 23.

As etapas de processo da usina funcionariam da seguinte forma:

- a) Etapas a serem feitas manualmente:
 - Recepção e análise visual dos resíduos recebidos;
 - Triagem e retirada de contaminantes dos resíduos.
- b) Etapas a serem feitas com equipamentos:
 - Disposição em áreas para triagem;
 - Manejo, estocagem e expedição de rejeitos; alimentação do núcleo de reciclagem;
 - Processamento dos resíduos (pré-classificação, britagem, peneiração, rebritagem e transporte);
 - Retirada de contaminantes após a britagem (impurezas de metal e ferro e outras);
 - Formação de pilhas de agregado reciclado na forma de “brita corrida”;
 - Estocagem de agregado reciclado;
 - Expedição.

Figura 23: Fluxograma de operação de uma usina de reciclagem RCD

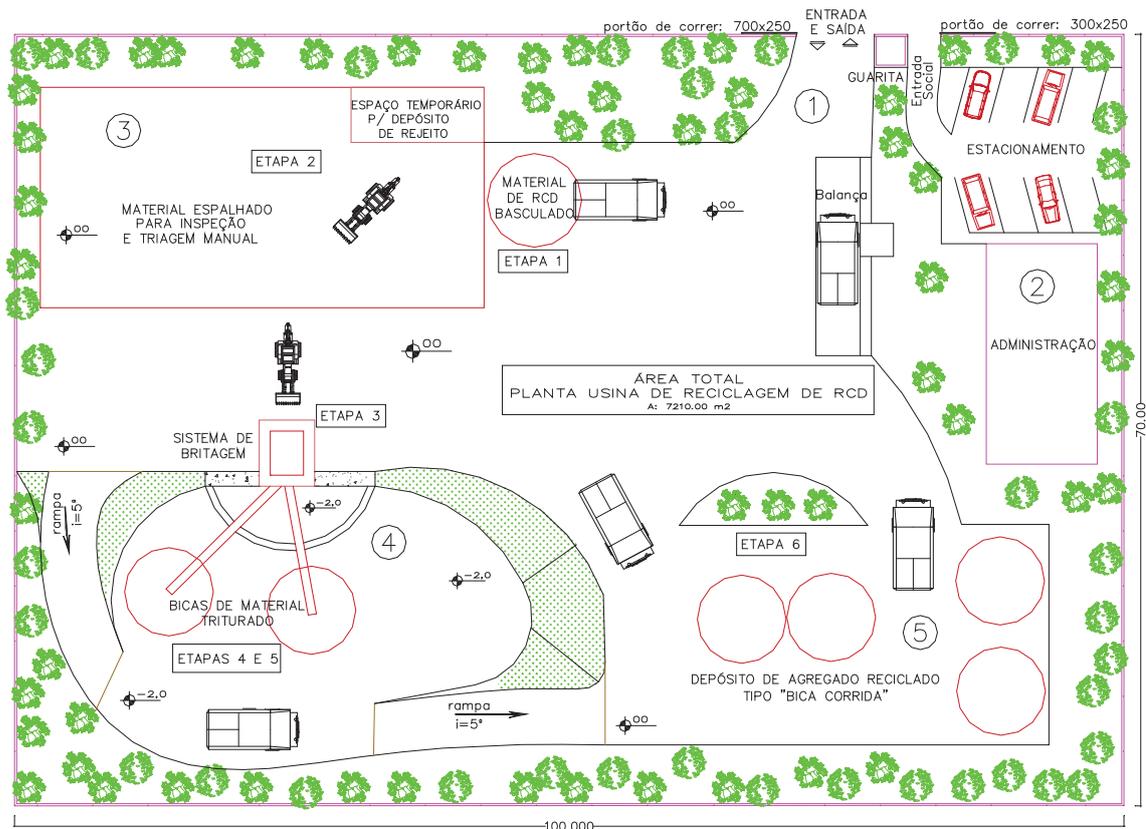


Fonte: próprio autor, 2015.

d) Planta do empreendimento:

Para a instalação do empreendimento, estimou-se uma área de 7.210,00 m², utilizados na alocação dos equipamentos, nos locais de manejo e demais itens necessários à produção mensal de 2.240 toneladas, conforme mostra a Figura 24 (a planta em escala encontra-se no Apêndice 1).

Figura 24: Planta Baixa da Usina de Reciclagem de RCD



Legenda:

1. Guarita (Pesagem/Entrada/Saída)
2. Administração

3. Material espalhado p/ inspeção e triagem manual
4. Sistema de britagem/Material triturado
5. Depósito de agregado reciclado

Fonte: próprio autor, 2015.

4.3.2 Funcionamento

Descrição das etapas do processo de transformação do RCD em agregado reciclado:

1º - Entrada do material na usina, proveniente das obras de construção e demolição do município de Passo Fundo, entregues pelas empresas responsáveis pela coleta deste material.

2º - O material é basculado no pátio da usina; com uma retroescavadeira, ele é espalhado para a inspeção visual e a triagem manual, de onde serão retiradas as impurezas do tipo madeira, metal, plástico, papel, etc. Nesta etapa, se necessário, peças de concreto poderão ser quebradas com rompedor preso a retroescavadeira.

3º - Novamente, com a retroescavadeira, o material será encaminhado ao alimentador do britador.

4º - Antes de ser triturado, o resíduo passará por uma peneira vibratória (a fim de separar o material menor de 50 mm). A fração menor cairá em um alimentador da correia transportadora elevatória, que levará esse resíduo para o depósito (bica 1). Essa esteira, por

ser móvel, depositará o material formando pilhas de resíduo triturado. No final da esteira, haverá um separador magnético para reter os pedaços pequenos de metal que não foram vistos ou detectados na triagem manual.

5º - O material maior que 50 mm será direcionado para o britador de impacto (com saída menor que 50 mm). O resíduo britado cairá em outra correia transportadora, móvel e elevatória (bica 2) que, por sua vez, levará o material triturado para o depósito junto ao material da bica 1.

6º - Esse material, considerado como bica corrida, estará pronto para ser usado como sub-base na pavimentação das vias urbanas e permanecerá no depósito aguardando o carregamento em caminhão caçamba basculante, para ser levado ao seu destino final.

4.3.3 Levantamento inicial de implantação e de operação do empreendimento

Para o estudo de implantação e operação do empreendimento da Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil na produção de agregado do tipo bica corrida, levantaram-se três conjuntos de orçamento qualitativo. No primeiro, os equipamentos e infraestrutura necessários (Tabela 10); no segundo, a quantidade necessária de funcionários (Tabela 11) e, no terceiro, a previsão de custos e despesas administrativas (Tabela 12). O terreno não estará incluído como aquisição, será considerado como doação ou comodato, levando em consideração que, por ser um projeto de cunho ambiental, poder-se-á buscar diversos programas de incentivos para a implantação.

Tabela 10: Equipamentos e Infraestrutura

Equipamentos e Infraestrutura	Unidade	Quantidade
Usina de britagem	conjunto	1,00
Retroescavadeira	unidade	1,00
Rompedor hidráulico	unidade	1,00
Caminhão caçamba basculante	unidade	1,00
Balança de pesagem	unidade	1,00
Despesa de abertura da empresa	unidade	1,00
Despesa com licenciamento ambiental	unidade	1,00
Despesa com outras licenças	verba	1,00
Poço Tubular Profundo	unidade	1,00
Escritório/administração	m ²	200,00
Guarita	m ²	7,00
Terreno (doação ou comodato)	m ²	7.210,00
Cercamento	m	340,00
Arborização	unidade	150,00

Fonte: próprio autor, 2015.

Tabela 11: Custos e despesas mensais - funcionários

Funcionário	Quantidade	Piso salarial⁽¹⁾
Responsável técnico	1,00	4,0
Auxiliar administrativo	1,00	1,0
Apontador	1,00	1,0
Auxiliar de britagem	1,00	1,0
Operador de britagem	1,00	1,2
Operador de Máquina	2,00	1,2
Auxiliar de manutenção	1,00	1,0

⁽¹⁾ O piso salarial de referência para o Responsável Técnico é o salário mínimo nacional e, para os demais, é o preconizado pela Lei nº 14.653/2014 para trabalhadores da indústria da construção civil.

Fonte: próprio autor, 2015.

Quanto ao número de funcionários, a atribuição foi realizada em função da quantidade mínima de pessoal necessária para a realização dos trabalhos. Como foi definido que não seriam feitas entregas do agregado reciclado, os quais seriam retirados pelos clientes, o funcionário responsável pelo deslocamento do caminhão, dentro do pátio da empresa, teve sua atribuição enquadrada como operador de máquina (caso o funcionário tivesse de sair do pátio da empresa para realizar alguma entrega de material, esse deveria ser enquadrado como motorista e, dessa forma, teria outra categoria de salário e outro sindicato).

Tabela 12: Previsão de custos e despesas administrativas

Item	Unidade
Água	m ³
Energia elétrica	watts
Materiais escritório / limpeza / telefone	verba
Combustível / lubrificante / filtro / graxa	litros
EPIs	unidade
Contabilidade	unidade
TOTAL:	

Fonte: próprio autor, 2014.

Os custos e despesas com valores mensais e anuais estão detalhados no item 4.4.2.2, custos e despesas.

4.4 Análise Econômica do empreendimento

Na definição do projeto de implantação da unidade de reciclagem de resíduos de construção civil, foram consultas as diretrizes das normas técnicas da ABNT:

- NBR 15112/2004– Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15113/2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114/2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

4.4.1 Licenciamento ambiental

O empreendimento também necessitará de aprovação junto ao órgão ambiental. Embora a resolução CONAMA nº 307/2002 defina o RCD como material de Classe A, para efeito de licenciamento ambiental, deve-se consultar a norma técnica da ABNT, NBR 10004/2004 – Resíduos sólidos – Classificação, a qual define a Classe II para resíduos não perigosos, não inertes e inertes. Dentro desse enquadramento, o empreendimento não pode ser licenciado pelo município de Passo Fundo, pois esse município, segundo a resolução CONSEMA nº 111/2005, classifica o empreendimento como demonstrado no Quadro 16. O projeto que está sendo analisado prevê uma geração de agregado reciclado maior do que 35 t/mês; dessa forma, o projeto do empreendimento necessita ser encaminhado ao órgão ambiental do estado, ou seja, a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção do Meio Ambiente).

Quadro 16: Atividade considerada de impacto local, passível de licenciamento municipal

Código do ramo	Atividade	Unidade de Medida	Porte	Potencial Graduação
3123,00	Beneficiamento de Resíduo Sólido Classe II	Quantidade total de resíduos (t/mês)	<=35	médio

Fonte: Resolução CONAMA nº 111/2004.

A FEPAM classifica o empreendimento conforme a área útil utilizada em m² e, de acordo com o potencial poluidor, atribui as taxas a serem cobradas, conforme Quadros 17 e 18.

Quadro 17: Atividade para licenciamento ambiental

Atividade			Unidade de medida	Porte				
Código	Ramo	Pot. Poluidor		Mínimo	Pequeno	Médio	Grande	Excep.
1.010,21	BRITAGEM	MÉDIO	Área útil em m ²	Até 250	De 250,01 até 2000	De 2000,01 até 10000	De 10000,01 até 40000	Demais

Fonte: FEPAM, 2014.

De acordo com o Quadro 17, o empreendimento é classificado como potencial poluidor médio e, de acordo com a área do empreendimento, que é de 7.210,00 m², é classificado como porte médio.

Quadro 18: Custos para licenciamento ambiental – valores em R\$

Porte	Potencial Poluidor	Transportadoras (qt. de veículos)	LP (Licença Prévia)	LI (Licença Instalação)	LO (Licença de Operação)
Mínimo	Baixo	1	241,61	241,61	241,61
	Médio		241,61	241,61	241,61
	Alto		241,61	241,61	241,61
Pequeno	Baixo	2 a 5	392,61	1.103,69	557,34
	Médio		783,38	1.335,69	940,33
	Alto		1.133,89	3.094,19	2.659,02
Médio	Baixo	6 a 15	2.611,25	3.979,61	1.993,24
	Médio		5.222,50	5.681,82	4.178,00
	Alto		7.833,75	7.754,68	10.126,76
Grande	Baixo	16 a 50	14.100,75	7.563,86	6.267,00
	Médio		18.801,00	12.534,00	12.534,00
	Alto		28.201,50	21.934,50	21.934,50
Excepcional	Baixo	Acima de 50	39.168,75	15.667,50	15.667,50
	Médio		52.225,00	20.890,00	20.890,00
	Alto		91.393,75	83.560,00	83.560,00

Fonte: FEPAM, 2014.

De acordo com o Quadro 18, para um empreendimento de porte médio, com potencial poluidor médio, teremos um gasto com taxas de licenciamento ambiental para as licenças prévia, de instalação e de operação em R\$ 15.082,32. Esses valores foram estimados para o segundo semestre do ano de 2014.

Levando-se em consideração que o município de Passo Fundo possui uma população estimada para 2014 de 195.620 habitantes (IBGE, 2014) e uma produção de RCD estimada em 0,558 kg/hab./dia, segundo ABRELPE (2013) para a região Sul do Brasil, obtém-se uma geração de RCD de aproximadamente 109.155,96 kg/dia.

Segundo estudo de Bernardes et al.(2008), os resíduos de Classe A chegaram a 94,5 % do total gerado; dessa forma, o material que realmente seria de utilidade para a unidade de

reciclagem para a produção do agregado seria 103.152,38 kg/dia. Utilizando-se como estimativa que um quantitativo de 70% de todo o RCD produzido no município iria para a unidade de reciclagem, quantidade aproximada de 72.206,67 kg/dia, ou seja, 72,21 t/dia, que chegariam à Usina para ser processado.

A Usina de Reciclagem de RCD possui capacidade nominal de processamento de 160 t/dia. Considerando-se uma capacidade efetiva em torno de 70%, tem-se uma capacidade de processamento de 112 t/dia em 8 horas por dia. Assim, 63% da sua capacidade produtiva estaria sendo utilizada para processar 70% de resíduos de Classe A, que chegariam ao pátio do empreendimento.

4.4.2 Subsídios para a análise econômica

Para a avaliação econômica do projeto, foram relacionados, em um fluxo de caixa, os investimentos em equipamentos e os gastos para construção e instalação da central de britagem para o processamento do agregado reciclado. Também foi relacionado o custo dos materiais e de mão de obra, utilizados na operação, além das receitas geradas com a venda do produto. Com esses parâmetros, determinaram-se os indicadores da viabilidade econômica do empreendimento.

Os valores de gastos para a implantação e para a operação foram obtidos através de pesquisas de mercado e de análise de informações financeiras para esse setor de indústria. Foram compilados dados de gastos com materiais e equipamentos utilizados na construção, mão de obra especializada e serviços diversos, para a implantação da unidade de processamento do agregado reciclado de RCD.

4.4.2.1 Investimento inicial

O investimento inicial, visando implantar o sistema de britagem, é composto por gastos com projetos, licenças ambientais, construção civil e instalação dos equipamentos que compõem o sistema. Esses gastos foram levantados no ano de 2014. Não haverá gasto com aquisição de terreno, pois o empreendimento contará com área cedida pelo município, em sistema de comodato, visto que o empreendimento é de caráter ambiental e o município tem aprovada, a Lei nº 4.969/2013, que trata da Política de Resíduos Sólidos em Passo Fundo, a qual prevê incentivos a empreendimentos de reciclagem.

Na sequência, serão descritos os itens relativos ao investimento inicial.

a) Gastos com equipamentos

Os equipamentos principais para o processamento do agregado reciclado foram pesquisados junto às empresas do setor, com preços que tiveram por base para o segundo semestre de 2014, os quais estão descritos na Tabela 13, sendo eles:

- O conjunto de britagem, cujos componentes estão descritos no item 4.3.1, letra b, com capacidade efetiva de 112 t/dia, ao preço de R\$ 800.000,00;
- Uma retroescavadeira para o deslocamento do resíduo, do transbordo ao alimentador do sistema de britagem, com custo de R\$ 300.000,00;
- Um rompedor hidráulico para auxiliar no rompimento de blocos de concreto, que, por ventura, possam ser muito grande para a introdução no alimentador do sistema de britagem, ao custo de R\$ 29.000,00;
- Um caminhão caçamba basculante, com capacidade de 15 t, para o transporte interno do agregado reciclado ou para transporte em local pré-determinado, ao preço de R\$ 150.000,00;
- Uma balança de pesagem, instalada no portão de acesso de cargas, para controle do material que sai e que entra no pátio do empreendimento, ao custo de R\$ 20.000,00.

O total do investimento para os equipamentos é previsto em R\$ 1.299.000,00 conforme discriminado na Tabela 13.

Tabela 13: Orçamento de Equipamentos e Infraestrutura

Equipamentos e Infraestrutura	Quantidade	Unidade	Valor (R\$)
Usina de britagem	1,00	conjunto	800.000,00
Retroescavadeira	1,00	unidade	300.000,00
Rompedor hidráulico	1,00	unidade	29.000,00
Caminhão caçamba basculante	1,00	unidade	150.000,00
Balança pesagem	1,00	unidade	20.000,00
TOTAL:			1.299.000,00

Fonte: próprio autor, 2014.

b) Gastos com implantação

Os gastos para as instalações de infraestrutura, como guarita, almoxarifado, escritório, estrutura de fixação do conjunto de britagem, cercamento e arborização, soma o total de R\$ 183.350,00. Esses valores foram obtidos através de custos referenciados nas tabelas do

SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil) do mês de julho de 2014. O levantamento dos custos encontram-se no Apêndice 2.

Os gastos de perfuração e de instalação do poço tubular profundo foram obtidos através de pesquisa de mercado, no período do segundo semestre de 2014, junto às empresas que prestam esse serviço, remontando o valor em torno de R\$ 15.000,00. Esse valor pode variar em função da profundidade de perfuração e do tipo de bombeamento utilizado.

Para o somatório dos gastos com implantação, há ainda os custos de abertura da empresa (R\$ 5.000,00), aprovação da prefeitura, vigilância sanitária, corpo de bombeiros (R\$ 7.000,00) e licenciamento ambiental (R\$ 15.082,32), que somam R\$ 27.082,32.

c) Gastos com investimento inicial

O investimento inicial para a implantação do sistema de reciclagem de resíduos de construção civil, com capacidade efetiva de processamento de agregado reciclado de 112 t/dia, será de R\$ 1.524.432,32, conforme mostra a Tabela 14. Esses valores referem-se ao segundo semestre do ano base de 2014.

Tabela 14: Gastos para instalação de unidade de reciclagem de RCD

Descrição	Valor (R\$)
Aquisição do terreno (7.210,00 m ²)	0,00
Aquisição de equipamentos	1.299.000,00
Infraestrutura (construções, cercamento, arborização)	183.350,00
Licenças ambientais, aprovações de projeto, abertura empresa, etc.	27.082,32
Perfuração e instalação de poço tubular profundo	15.000,00
Total (R\$)	1.524.432,32

Fonte: próprio autor, 2014.

4.4.2.2 Custos e despesas

Além do investimento inicial, foram calculados custos e despesas compostos pelos gastos com matéria prima, insumos gerais (materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz e telefone), mão de obra, veículos, equipamentos gerais e despesas legais.

Como o gerador é responsável pelo resíduo produzido, esse terá de pagar a uma empresa licenciada, para que se faça o recolhimento deste resíduo. Essas empresas, além de ter licenciamento para o recolhimento, precisam de um local licenciado para o depósito deste material, o que geraria um custo maior para a empresa responsável pelo recolhimento. Dessa

forma, o empreendimento proporcionará uma parceria com essas empresas, recebendo o material recolhido em seu pátio, para processamento.

A água e a energia elétrica são gastos com insumos de produção. Para o consumo de água no processo produtivo, o custo será o de manutenção do equipamento poço tubular, tendo em vista a instalação de um poço para esse fim, sendo o seu valor de perfuração, instalação e outorga definidos nos custos de implantação. A água só será utilizada para uso no escritório, sobre a qual será computada a taxa mínima mensal de 30 m³, enquadrando-se ao tarifário para indústria, a um custo de R\$ 5,28/m³ mais serviço básico de R\$ 68,96, conforme informações da CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento (2014) para o segundo semestre de 2014, totalizando em média R\$ 227,36/mês e R\$ 2.728,32/ano.

O consumo de energia foi calculado em função da potência instalada para a capacidade de produção da usina. Verificou-se, com as empresas fabricantes dos equipamentos de britagem, a potência dos equipamentos em função da capacidade de produção.

A Tabela 15 apresenta esses valores específicos para a capacidade da Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição deste estudo.

Tabela 15: Potência dos equipamentos da Usina de reciclagem de RCD

Capacidade de produção	Alimentador vibratório	Transportador de correia	Britador de Impacto	Separador magnético	Peneira rotativa	Sistema antipó (lavadores)	Total potência
(t/h)	(kW)						
20	11	5,5	37	55	11	5,5	125

Fonte: Imic, 2015.

Na Tabela 15, a potência total instalada de equipamentos é de 125 kW. No site da RGE, realizou-se a simulação de consumo mensal, utilizando a potência instalada dos equipamentos, mais o consumo de iluminação e das tomadas do empreendimento, totalizando um consumo médio mensal de aproximadamente 600 kWh, conforme mostra a Figura 25. O custo unitário, obtido da concessionária, para o segundo semestre de 2014, é de R\$ 1,79/kWh, totalizando R\$ 1.072,85/mês e R\$ 12.874,25/ano.

Figura 25: Simulação consumo energia elétrica



Fonte: RGE, 2015.

Os custos com combustível, lubrificantes, filtros e graxas foi calculado utilizando o manual de custo horário de equipamentos do SINCTAN-DNIT. Nesse órgão, obtiveram-se os valores médios em função da potência do equipamento. Os valores foram obtidos no primeiro semestre de 2015, utilizando-se para o cálculo a seguinte equação (10):

$$CLFG = CM \times P \times \text{Custo combustível} \quad (10)$$

Onde:

CLFG é o custo de combustível, lubrificante, filtro e graxa (R\$/h);

CM é o consumo total por kW do equipamento;

P é a potência do equipamento (kW);

Custo combustível é o valor de mercado do tipo de combustível usado (R\$).

A Tabela 16 apresenta os coeficientes e os valores necessários para o cálculo do consumo de combustível, lubrificante, filtro e graxa dos equipamentos da Usina de Reciclagem.

Tabela 16: Coeficientes para cálculo do consumo de combustível, lubrificantes, filtros e graxas

Equipamento	Potência (kW)	Consumo total p/kW (litro)	Preço do Diesel - Jan/2015(R\$/litro)
Retroescavadeira	57	0,259	2,66
Caminhão Basculante	170	0,170	

Fonte: SINCTAN-DNIT, 2015.

O custo horário de combustível, lubrificante, filtro e graxa para a retroescavadeira é de R\$ 39,27 e, para o caminhão, é de R\$ 76,87, considerando que a retroescavadeira operará em torno de 6 horas por dia, pois ela é responsável pela alimentação dos resíduos no britador, teremos, assim, um custo mensal de combustível de R\$ 4.712,40. O caminhão, também, será utilizado em períodos menores, atribuindo a ele uma utilização estimada em 3 horas por dia, e seu custo mensal de combustível de R\$ 4.612,20. O custo anual com combustível, lubrificante, filtro e graxa para a retroescavadeira e para o caminhão será de R\$ 93.048,08.

As despesas administrativas foram estimadas em R\$ 21.711,60 por ano, referentes aos gastos com contabilidade de R\$ 724,00/mês (um salário mínimo nacional), material escritório, limpeza e telefone de R\$ 600,00/mês (como estimativa de verba) e EPIs (equipamentos de proteção individual), descritos na Tabela 17, num total anual de R\$ 4.658,96. Esses valores foram obtidos no segundo semestre de 2014.

Tabela 17: Despesas com EPIs

Descrição EPI	Período troca (meses)	Valor unitário (R\$/pç)	Valor total (R\$/pç/mês)	Total p/ 8 funcionários (R\$/mês)
Calça	6	20,00	3,33	26,67
Jaleco	6	60,00	10,00	80,00
Camiseta	3	30,00	10,00	80,00
Botina	6	47,50	7,92	63,33
Luvas	3	4,10	1,37	10,93
Capacete	12	37,00	3,08	24,67
Óculos	6	34,20	5,70	45,60
Protetor auricular descartável	4	0,48	0,12	0,96
Protetor Abafador Concha	6	36,00	6,00	48,00
Protetor respiratório	4	3,96	0,99	7,92
			Total R\$/mês	388,08
			Total R\$/ano	4.658,96

Fonte: adaptado de Jadovski, 2005.

Nos custos de manutenção, foram consideradas as manutenções do britador, do caminhão, da retroescavadeira, do rompedor hidráulico, da balança e do poço tubular profundo, obtidos através de informações dos fornecedores dos referidos equipamentos e das planilhas do SINCTAN (Sistema de Custos de Infraestrutura de Transportes), no segundo semestre de 2014.

Os custos de manutenção do conjunto britador, do caminhão, da retroescavadeira e do rompedor hidráulico foram calculados através da fórmula 11.

$$M = \frac{VAxK}{HTAxVU} \quad (11)$$

Onde:

M é o custo horário da manutenção (R\$/h);

HTA são as horas trabalhadas por ano;

VU é a vida útil em anos;

VA é o valor de aquisição do equipamento (R\$);

K é o coeficiente de manutenção.

Os dados para o cálculo dos custos de manutenção foram obtidos do manual de custo horário de equipamentos do DNIT (SINCTRAN) e estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Coeficientes para cálculo dos Custos de Manutenção de Equipamentos

Tipo de equipamento	Coeficiente de manutenção (K)	HTA (h)	Vida útil (anos)
Caminhão basculante	0,9	2000	6
Conjunto de britagem	0,6	1750	8
Martelete/Perfurador/Rompedor	0,5	1750	6
Retroescavadeira de pneus	1,0	2000	5

Fonte: adaptado do manual SINCTRAN-DNIT, 2014.

Os coeficientes da Tabela 18, aplicados na Fórmula 11, resultaram nos valores calculados para os equipamentos (caminhão basculante, conjunto de britagem, rompedor e retroescavadeira) e os demais foram obtidos através de informações quanto aos custos de manutenção retiradas do SINCTRAN e estão compiladas e expostas na Tabela 19.

Tabela 19: Manutenção de equipamentos

Equipamento	Custo manutenção - M (R\$/h)	Horas trabalhadas (mês)	Custo manutenção (R\$/mês)	Custo manutenção (R\$/ano)
Conjunto britador	34,29	120	4.114,29	49.371,43
Caminhão Basculante	11,25	60	675,00	8.100,00
Retroescavadeira	30,00	80	2.400,00	28.800,00
Rompedor hidráulico	1,38	20	27,62	331,43
Balança pesagem	2,00	40	80,00	960,00
Poço tubular profundo	1,10	160	176,00	2.112,00
Total (R\$/ano)				89.674,86
% relativo ao investimento inicial		5,9 %		

Fonte: próprio autor, 2014.

Os custos operacionais fixos compostos por pessoal foram determinados com base nos salários para operação da unidade e foram estimados através dos valores praticados na região para cada profissional, dentro do ano base de 2014, considerando a operação da usina em dois turnos de 8 horas por dia.

Os custos e as despesas com funcionários foram baseados no piso salarial de R\$ 1.006,88, definido pela Lei Estadual nº 14.653, de 19 de dezembro de 2014, base para o ano de 2014, para trabalhadores da indústria da construção civil, art. 1, item I, letra f. O responsável técnico e o engenheiro civil tem seu salário definido pelo CREA-RS (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul), o qual define quando da inscrição do profissional, como responsável técnico pela empresa, em função das horas trabalhadas e do capital social da empresa. Nesse caso, foi usado o valor de quatro salários mínimos nacionais de R\$ 724,00, para o profissional atuar 10 horas semanais, totalizando R\$ 2.896,00 mensais.

A incidência de encargos sobre o salário varia de 70 % a 100%, dependendo do tipo de indústria e das condições de trabalho dos operários. Para esse estudo, foi estimado o índice de 70%, que caracteriza a empresa optante pelo simples nacional, segundo informações obtidas junto à assessoria contábil.

A Tabela 20 apresenta os salários e o número de funcionários necessários para a operação da usina de reciclagem de RCD, com capacidade efetiva de 112 t/dia de agregado reciclado.

Tabela 20 – Custo de mão-de-obra para operação da Usina de Reciclagem de RCD

Profissional	Quantidade	Salário unitário⁽¹⁾ (R\$)	Salário mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Engenheiro Responsável Técnico	1	2.896,00	2.896,00	34.752,00
Auxiliar administrativo	1	1.006,88	1.006,88	12.082,56
Apontador	1	1.006,88	1.006,88	12.082,56
Auxiliar de britagem	1	1.006,88	1.006,88	12.082,56
Operador de britagem	1	1.208,26	1.208,26	14.499,12
Operador de máquina	2	1.208,26	2.416,52	28.998,24
Auxiliar de manutenção	1	1.006,88	1.006,88	12.082,56
Subtotal R\$			10.548,30	126.579,60
Encargos 70%			7.383,81	88.605,72
Total R\$			17.932,11	215.185,32

⁽¹⁾ O piso salarial de referência para o Responsável Técnico é o salário mínimo nacional e para os demais é o preconizado pela Lei nº 14.653/2014 para trabalhadores da indústria da construção civil.

O custo de mão de obra, para operação da usina de reciclagem, foi estimado como descrito na Tabela 20, utilizando salários vigentes para o ano de 2014 e resultou em um custo de mão de obra direta de R\$ 10.548,30 mensais.

Os encargos sociais levam em conta impostos e contribuições como INSS (Instituto Nacional de Seguro Social), SESI (Serviço Social da Indústria), SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Social), INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), SEBRAE (Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa), Salário Educação, Seguro Contra Acidentes de trabalho, FGTS (Fundo de Garantia por Tempo Serviço).

Os encargos trabalhistas são formados pela provisão de férias, 13º salário, descanso semanal remunerado, acidente de trabalho, auxílio doença (enfermidade), licença maternidade/paternidade, faltas justificadas (abonadas legalmente) e aviso prévio.

Dessa maneira, os custos operacionais fixos compostos por pessoal mais encargos resultam em um montante de R\$ 17.932,11 ao mês e R\$ 215.185,32 ao ano.

4.4.2.3 Preço de venda

Para a estimativa do preço de venda do agregado reciclado tipo “bica corrida” na usina de reciclagem de RCD, foi considerado o valor referente a mais ou menos 80% do material classificado como “bica corrida”, ao custo de R\$ 42,05 o m³, segundo tabelas do SINAPI (código 4748), mês de referência junho de 2014. O custo de venda adotado do material “bica corrida”, para análise da viabilidade econômica, será de R\$ 33,64 o m³.

4.4.2.4 Receita Bruta

Com base no valor adotado para a venda do produto gerado pela usina de reciclagem e da produção da mesma, realizou-se o cálculo da receita bruta para o sistema pesquisado.

O peso específico dos resíduos de construção e de demolição é bastante variável devido a sua heterogeneidade, pois cada lote de resíduos poderá compor percentuais diferentes de cada tipo de material (concreto, tijolos, argamassa, etc.).

A massa específica encontrada para o resíduo analisado foi de 1,2 t/m³, o que representa uma capacidade efetiva de produção da Usina de Reciclagem de RCD, de 112 t/dia ou em torno de 93,33 m³/dia.

Para se calcular a receita bruta, com a venda do agregado reciclado, foi considerada a quantidade prevista de matéria-prima diária que entrará na Usina. O município de Passo

Fundo produz aproximadamente 103,2 t/dia de resíduo de construção civil, Classe A, conforme descrito no item 4.4.1, estimando-se que 70% desse resíduo seja entregue na Usina de Reciclagem, o que resulta em 72,24 t/dia. Utilizando-se um peso específico de 1,20 t/m³, tem-se aproximadamente 60,20 m³/dia.

A Tabela 21 apresenta o levantamento da receita bruta para o empreendimento operando com a capacidade efetiva de 70% (93,33 m³/dia); com o processando dos 70% de RCD gerado pelo município (60,20m³/dia); e, com a quantidade total de RCD, Classe A, gerado pelo município (86 m³/dia).

Tabela 21: Receita bruta com a venda do produto da Usina de Reciclagem de RCD

Capacidade de processamento	Produção mensal (m³)	Produção anual (m³)	Preço (R\$/m³)	Receita Bruta (R\$/ano)
93,33 m ³ /dia	1.866,67	22.400,00	33,64	753.536,00
60,20 m ³ /dia	1.204,00	14.448,00	33,64	486.030,72
86,00 m ³ /dia	1.720,00	20.640,00	33,64	694.329,60

Fonte: próprio autor, 2015.

Como estimativa, adotar-se-á que o município possa processar 70% de todo os resíduos de construção e demolição produzidos.

Dessa forma, para a realização da avaliação econômica do empreendimento, a receita bruta foi considerada igual a R\$ 486.030,72, para uma produção de 60,20 m³/dia.

4.4.2.5 Impostos

Para o cálculo dos impostos incidentes sobre a produção de agregado reciclado para uma Usina de Reciclagem de RCD, buscaram-se informações baseadas nas premissas da Lei Complementar nº 123/2006, que regulamenta o Simples Nacional, na qual o empreendimento analisado é caracterizado como indústria de britagem e a mesma poderá ser optante pelo Simples Nacional. A tributação será de acordo com a regulamentação prevista para as faixas de receita bruta do empreendimento, constantes nas Tabelas do Anexo I, da referida Lei.

A assessoria contábil define ainda que as alíquotas do empreendimento devem ser as de atividade comercial, pois o mesmo não extrai a matéria-prima e não as transforma apenas a reutiliza.

Dessa maneira, os impostos que devem ser computados na análise de viabilidade com suas respectivas alíquotas são os apresentados na Tabela 22. Esses impostos referem-se à Receita Bruta anual do empreendimento, assim sendo, definiram-se algumas faixas.

Tabela 22: Alíquota dos impostos incidentes sobre a operação da Usina de Reciclagem de RCD – optante pelo Simples Nacional

Receita Bruta anual (R\$)	Alíquota total (%)	IRPJ (%)	CSLL (%)	COFINS (%)	PIS/PASEP (%)	CPP (%)	ICMS (%)
Até 180.000,00	4,0	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,25
De 180.000,01 a 360.000,00	5,47	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,86
De 360.000,01 a 540.000,00	6,84	0,27	0,31	0,95	0,23	2,75	2,33
De 540.000,01 a 720.000,00	7,54	0,35	0,35	1,04	0,25	2,99	2,56
De 720.000,01 a 900.000,00	7,60	0,35	0,35	1,05	0,25	3,02	2,58

Fonte: Receita Federal, 2015.

Foi utilizada, para efeito de avaliação do empreendimento, a alíquota de tributação referente à receita anual bruta de R\$ 486.031,00, que, para a empresa optante do Simples Nacional, descontariam uma alíquota única de 6,84%, conforme Tabela 22.

Serão descontados em uma única vez, com uma única alíquota o IRPJ (Imposto de Renda de Pessoa Jurídica = 0,27%), CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido = 0,31%), COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social = 0,95%), PIS/PASEP (Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público = 0,23%), de CPP (Contribuição Previdenciária Patronal = 2,75%) e, ICMS (Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação = 2,33%).

O imposto sobre produtos industrializados (IPI) que incide sobre produtos industrializados, nacionais e estrangeiros está regulamentado pelo Decreto 7.212/2010 (RIPI/2010) e, com base nesse imposto, a Usina de Reciclagem de RCD não sofre à incidência do IPI, sendo não tributável, conforme mostra Quadro 19.

Quadro 19: Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados (TIPI)

2517.10.00	- Calhaus, cascalho, pedras britadas, dos tipos geralmente usados em concreto ou para empedramento de estradas, de vias férreas ou outros balastros, seixos rolados e sílex, mesmo tratados termicamente.	NT
------------	---	----

Fonte: Decreto 7.212/2010 (RIPI/2010).

4.4.2.6 Avaliação econômica da Usina de Reciclagem de RCD

Neste item, foi analisado o fluxo financeiro do empreendimento no período de 10 anos, para a Usina de Reciclagem de RCD do município de Passo Fundo.

Para a determinação do fluxo financeiro, relacionou-se a receita bruta para cada ano e deduziu-se o valor dos impostos incidentes do Simples Nacional (COFINS, PIS/PASEP, CPP, ICMS e IR), com a alíquota total de 6,84%, apresentadas na Tabela 25, obtendo-se a receita líquida. Após, subtraiu-se os custos e despesas, obtendo-se o lucro líquido.

Baseado no investimento inicial, no tempo de vida útil e no lucro líquido da Usina de Reciclagem de RCD, calcularam-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Anual Uniforme (VA). A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 7,00%.

O montante para o capital de giro foi considerado para suprir as eventuais faltas de recursos financeiros durante a diferença temporal entre pagamentos de insumos e recebimento de receitas. Dessa forma, considerou-se que o empreendimento operará 10 dias com dinheiro em caixa ao ano; e ainda financiamento das vendas para 30 dias, pagamento dos fornecedores à vista e com um estoque de 30 dias. Sendo assim, para a análise na condição mais provável, o capital de giro foi estimado em R\$ 79.903,78.

O valor residual do investimento inicial foi determinado como previsão um percentual de 40%. Assim, quando da venda do ativo ao final de sua vida útil, prevista no fluxo de caixa como 10 anos, será equivalente a 40% do capital investido em equipamentos e construções.

O Quadro 20 apresenta o fluxo de caixa para a Usina de Reciclagem de RCD na cidade de Passo Fundo. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 3.

Quadro 20: Fluxo financeiro do empreendimento da Usina de Reciclagem de RCD de Passo Fundo

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento											
Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita Bruta		340.222	437.428	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031
(-) Impostos Prop. s/ Vendas		23.271	29.920	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245
(=) Receita Líquida		316.950	407.508	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575
(=) Lucro Bruto		-60.680	8.147	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545
(-) Despesas Financeiras		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Lucro Líquido		-81.225	-12.398	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016
(+) Resultado venda ativo (VR)											557.973
Lucro Líquido após o impostos		-81.225	-12.398	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	579.988
(-) Amortização		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Investimentos	1.604.336										
(+) Liberação Financiamento	0										
(+) Capital de Giro											79.904
Fluxo Caixa Líquido	-1.604.336	-81.225	-12.398	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	22.016	659.892
Taxa Interna de Retorno =	-7,61%			TMA	7,00%						
Valor Presente Líquido=	(R\$1.251.988,12)	Payback		IR/CSLL	0,0%						
Valor Anual =	(R\$178.254,94)	25,05		V. Residual =	40%						

Fonte: próprio autor, 2015.

Analisando o fluxo de caixa para o empreendimento estudado, num horizonte de 10 anos, foi possível observar que o empreendimento não é viável se instalado e operado nas condições estudadas.

A análise será feita em função do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do período de recuperação do investimento (*Payback*).

Considerando que a taxa interna de retorno (TIR = -7,61%) é negativa e inferior à taxa mínima de atratividade (TMA = 7%), o empreendimento analisado não é atrativo para o empreendedor.

Como se pode observar, no fluxo de caixa do empreendedor, o período de recuperação do investimento (*Payback*) foi superior a vida econômica do negócio (10 anos) indicando que o empreendimento não é atrativo.

O valor presente líquido apresentado (VPL = -1.251.988,12) é negativo, ou seja, $VPL < 0$, o negócio é economicamente inviável.

Se o investidor conseguisse um empréstimo de 70% do valor do investimento inicial pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) a juros de 9% a.a. para pagamento em 10 anos, o projeto também seria inviável, visto que os custos aumentam em função das parcelas do financiamento.

O Quadro 21 apresenta o fluxo de caixa do investidor. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 3.

Quadro 21: Fluxo financeiro do investidor da Usina de Reciclagem de RCD de Passo Fundo

Quadro do Fluxo Financeiro do Investidor (Acionista)											
Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita Bruta		340.222	437.428	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031	486.031
(-) Impostos Prop. sobre Vendas		23.271	29.920	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245	33.245
(=) Receita Líquida		316.950	407.508	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786	452.786
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575
(=) Lucro Bruto		-60.680	8.147	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561	42.561
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545
(-) Despesas Financeiras		94.333	94.333	94.333	82.541	70.750	58.958	47.167	35.375	23.583	11.792
(=) Lucro Líquido		-175.558	-106.731	-72.317	-60.526	-48.734	-36.942	-25.151	-13.359	-1.568	10.224
(+) Resultado venda ativo (VR)											557.973
Lucro Líquido após impostos		-175.558	-106.731	-72.317	-60.526	-48.734	-36.942	-25.151	-13.359	-1.568	568.197
(-) Amortização		0	0	131.018	131.018	131.018	131.018	131.018	131.018	131.018	131.018
(-) Investimentos	1.604.336										
(+) Liberação Financiamento	1.048.145										
(+) Capital de Giro											79.904
Fluxo de Caixa Líquido	-556.191	-175.558	-106.731	-203.336	-191.544	-179.752	-167.961	-156.169	-144.377	-132.586	517.082
Taxa Interna de Retorno =	#NÚM!		Parcela Fin.	70,0%							
Valor Presente Líquido=	(R\$1.356.220,03)	Payback	Juros	9,0%							
Valor Anual =	(R\$193.095,22)	-5,45									

Fonte: próprio autor, 2015.

De acordo com a análise dos indicadores financeiros do fluxo de caixa do empreendimento (Quadro 20) e do investidor (Quadro 21) não são viáveis economicamente, pois o VPL, a TIR são negativos, e o *Payback* não existe.

Quadro 22: Indicadores financeiros da viabilidade econômica do projeto

Fluxo de caixa	Indicadores Financeiros			Resultado
	TIR	VPL	Payback	
Empreendimento	-7,61%	R\$ -1.251.988,12	25,05	Não é viável
Investidor	-	R\$ -1.356.220,03	-5,45	Não é viável

Fonte: próprio autor, 2015.

4.4.3 Análise de cenários com mudança de parâmetros

A análise de cenários avalia o impacto econômico da variação dos parâmetros utilizados na análise do projeto, tais como: investimento inicial, custos, despesas e receitas.

A análise de cenários apresenta os requisitos para a viabilidade do empreendimento, em função da possível variação de alguns parâmetros como a capacidade de produção e o preço final de venda. Foram estudados dois cenários, avaliando-se os impactos que a variação do preço de venda do agregado reciclado e da capacidade de produção pode interferir na viabilidade do empreendimento.

a) Primeiro cenário

O primeiro cenário estudado considera a implantação da Usina de Reciclagem de RCD no município de Passo Fundo, processando 90% de resíduos gerados pelo município, estimado em 77,40 m³/dia e com o preço de venda de R\$ 37,84 o m³, representando 90% do valor de venda do produto “bica corrida” de basalto.

O Quadro 23 apresenta o fluxo de caixa do empreendimento para o primeiro cenário. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 4.

Quadro 23: Fluxo financeiro do empreendimento – primeiro cenário

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento											
Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita Bruta		492.041	632.624	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916
(-) Impostos Prop. s/ Vendas		37.100	47.700	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000
(=) Receita Líquida		454.941	584.924	649.916							
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575
(=) Lucro Bruto		77.311	185.564	239.690							
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545
(-) Despesas Financeiras		0									
(=) Lucro Líquido		56.766	165.019	219.145							
(+) Resultado venda ativo (VR)											557.973
Lucro Líquido após o Impostos		56.766	165.019	219.145	777.118						
(-) Amortização		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Investimentos	1.612.007										
(+) Liberação Financiamento	0										
(+) Capital de Giro											87.575
Fluxo Caixa Líquido	-1.612.007	56.766	165.019	219.145	864.693						
Taxa Interna de Retorno =	7,58%		TMA	7,00%							
Valor Presente Líquido =	R\$56.309,38	Payback	IR/CSLL	0,0%							
Valor Anual =	R\$8.017,19	6,36	V. Residual =	40%							

Fonte: próprio autor, 2015.

Observa-se que a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL) são positivos, $TIR > TMA$, com retorno de investimento próximo ao sétimo ano. Nessas condições de processamento e aumento do preço de venda, a usina de reciclagem torna-se viável.

Se for utilizado um empréstimo de 40% do valor do investimento inicial do BNDES a juros de 9% a.a. para pagamento em 10 anos, o projeto permaneceria inviável, sem atratividade, como mostra o Quadro 24. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 4.

Quadro 24: Fluxo financeiro do investidor – primeiro cenário

Quadro do Fluxo Financeiro do Investidor (Acionista)											
Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita Bruta		492.041	632.624	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916	702.916
(-) Impostos Prop. sobre Vendas		37.100	47.700	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000	53.000
(=) Receita Líquida		454.941	584.924	649.916							
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575
(=) Lucro Bruto		77.311	185.564	239.690							
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545
(-) Despesas Financeiras		53.905	53.905	53.905	47.167	40.428	33.690	26.952	20.214	13.476	6.738
(=) Lucro Líquido		2.861	111.114	165.241	171.979	178.717	185.455	192.193	198.931	205.669	212.407
(+) Resultado venda ativo (VR)											557.973
Lucro Líquido após impostos		2.861	111.114	165.241	171.979	178.717	185.455	192.193	198.931	205.669	770.380
(-) Amortização		0	0	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868
(-) Investimentos	1.612.007										
(+) Liberação Financiamento	598.940										
(+) Capital de Giro											87.575
Fluxo de Caixa Líquido	-1.013.067	2.861	111.114	90.373	97.111	103.849	110.588	117.326	124.064	130.802	783.087
Taxa Interna de Retorno =	6,95%		Parcela Fin.	40,0%							
Valor Presente Líquido =	(R\$3.251,71)	Payback	Juros	9,0%							
Valor Anual =	(R\$462,97)	6,40									

Fonte: próprio autor, 2015.

O Quadro 25 apresenta o resumo dos indicadores de viabilidade da análise de cenários para o primeiro cenário (variação da quantidade de matéria-prima e do preço de venda).

Quadro 25: Indicadores financeiros da viabilidade econômica do projeto – Cenário 1

Fluxo de caixa	Indicadores Financeiros			Resultado
	TIR	VPL	Payback	
Empreendimento	7,58%	R\$ 56.309,38	6,36	É viável
Investidor	6,95%	R\$ -3.251,71	6,40	É viável

Fonte: Próprio autor, 2015.

O fluxo de caixa do empreendimento indicou viabilidade com uma taxa interna de retorno acima da TMA de 7%, com um VPL positivo e um período de retorno do investimento (*Payback*) entre 6 e 7 anos.

Para o fluxo de caixa do investidor, o VPL ficou próximo de zero e a TIR próxima a TMA; portanto, pode-se considerar viável, visto que os parâmetros estão adequados aos valores mínimos.

b) Segundo cenário

No segundo cenário, verificou-se a viabilidade econômica do empreendimento, aumentando o valor do preço de venda do agregado reciclado para 100% do valor praticado para a venda do produto não reciclado, “bica corrida” de basalto, R\$ 42,05 o m³. Também se considerou aumentar a quantidade de produção para 80% dos resíduos gerados pelo município, que seria de 68,80 m³/dia. O Quadro 26 apresenta o fluxo de caixa para o segundo cenário. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 5.

Quadro 26: Fluxo financeiro do empreendimento – segundo cenário

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento											
Descrição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita Bruta		486.031	624.897	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330
(-) Impostos Prop. s/ Vendas		36.647	47.117	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352
(=) Receita Líquida		449.384	577.779	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575
(=) Lucro Bruto		71.754	178.419	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545
(-) Despesas Financeiras		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Lucro Líquido		51.209	157.874	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207
(+) Resultado venda ativo (VR)											553.780
Lucro Líquido após impostos		51.209	157.874	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	764.987
(-) Amortização		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Investimentos	1.611.715										
(+) Liberação Financiamento	0										
(+) Capital de Giro											87.282
Fluxo Caixa Líquido	-1.611.715	51.209	157.874	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	211.207	852.269
Taxa Interna de Retorno =	7,02%		TMA	7,00%							
Valor Presente Líquido =	R\$1.482,05	Payback	IR/CSLL	0,0%							
Valor Anual =	R\$211,01	6,57	V. Residual =	40%							

Fonte: próprio autor, 2015.

Nessa projeção, observa-se que o empreendimento também é viável, apresentando uma taxa interna de retorno (TIR) maior que a TMA de 7%, com um VPL positivo e período de retorno do investimento no sétimo ano.

Se o investidor obtivesse um empréstimo de 40% do valor do investimento inicial do BNDES, a juros de 9% a.a. para pagamento em 10 anos, o projeto permaneceria inviável, como mostra o Quadro 27. Os fluxos de caixa em escala maior encontram-se no Apêndice 5.

Quadro 27: Fluxo financeiro do investidor – segundo cenário

Quadro do Fluxo Financeiro do Investidor (Acionista)											
Descrição	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
Receita Bruta		486.031	624.897	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	694.330	
(-) Impostos Prop. sobre Vendas		36.647	47.117	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	52.352	
(=) Receita Líquida		449.384	577.779	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	641.977	
(-) Custo Variável de Produção		76.055	97.786	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	108.651	
(-) Custo Fixo de Produção		301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	301.575	
(=) Lucro Bruto		71.754	178.419	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	231.752	
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Despesas Gerais Fixas		20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	20.545	
(-) Despesas Financeiras		53.905	53.905	53.905	47.167	40.428	33.690	26.952	20.214	13.476	6.738
(=) Lucro Líquido antes do IR		-2.696	103.969	157.302	164.040	170.778	177.516	184.254	190.992	197.730	204.469
(+) Resultado venda ativo (VR)											553.780
Lucro Líquido após impostos		-2.696	103.969	157.302	164.040	170.778	177.516	184.254	190.992	197.730	758.248
(-) Amortização		0	0	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868	74.868
(-) Investimentos	1.611.715										
(+) Liberação Financiamento	598.940										
(+) Capital de Giro											87.282
Fluxo de Caixa Líquido	-1.012.775	-2.696	103.969	82.434	89.173	95.911	102.649	109.387	116.125	122.863	770.663
Taxa Interna de Retorno =	6,14%		Parcela Fin.	40,0%							
Valor Presente Líquido =	(R\$58.079,04)	Payback	Juros	9,0%							
Valor Anual =	(R\$8.269,15)	6,74									

Fonte: próprio autor, 2015.

O Quadro 28 apresenta o resumo dos indicadores de viabilidade da análise de cenários

para o segundo cenário (variação no preço de venda do agregado reciclado e na quantidade de matéria-prima).

Quadro 28: Indicadores financeiros da viabilidade econômica do projeto – Cenário 2

Fluxo de caixa	Indicadores Financeiros			Resultado
	TIR	VPL	Payback	
Empreendimento	7,02%	R\$ 1.482,05	6,57	É viável
Investidor	6,14%	R\$ -58.079,04	6,74	Não é viável

Fonte: próprio autor, 2015.

O fluxo de caixa do empreendimento para o segundo cenário indicou viabilidade com uma taxa interna de retorno (TIR) praticamente iguala TMA de 7% e um VPL próximo a zero; porém, para o fluxo de caixa do investidor, a TIR ficou abaixo da TMA e o VPL negativo, em ambos os casos o período de retorno do investimento (*Payback*) ficou em torno de 7 anos.

4.4.4 Considerações finais sobre a da viabilidade econômica

Na análise de cenários, utilizou-se a variação de alguns parâmetros para verificara viabilidade econômica do negócio, visto que no fluxo de caixa inicial, o investimento não se demonstrou viável.

Considerando que a planta da Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e de Demolição, estudada para o município de Passo Fundo, caracteriza-se por um conjunto de britagem com capacidade de processar 93,33 m³ de material por dia, e que a média de resíduos de construção e de demolição gerados em Passo Fundo está próxima desse volume, 86,00 m³/dia. Além disso, não é possível a integração com outros municípios para viabilizar o empreendimento, pois, dessa forma, teríamos de aumentar a capacidade de produção e, com isso, se elevaria o investimento inicial e a estrutura para a produção.

O Quadro 29 apresenta um resumo da análise na condição mais provável e dos cenários estudados.

Quadro 29: Quadro resumo dos cenários estudados para implantação da Usina de Reciclagem de RCD

Análise	Parâmetro	Empreendimento			Investidor		
		VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback
Mais Provável	Processamento de 70% da geração de resíduos com preço de venda 80% menor que o material usual.	R\$-1.251.988,12	-7,61%	25,05	R\$-1.356.220,03	Negativa (não foi possível calcular)	Não existe
Cenário1	Processamento de 90% da geração de resíduos com preço de venda 90% menor que o material usual.	R\$56.309,38	7,58%	6,36	R\$-3.251,71	6,95%	6,40
Cenário2	Processamento de 80% da geração de resíduos com preço de venda igual ao do material usual.	R\$1.482,05	7,02%	6,57	R\$-58.079,04	6,14%	6,74

Fonte: próprio autor, 2015.

Analisando-se o quadro resumo dos cenários estudados, é possível observar que a implantação de uma usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição no município de Passo Fundo não é viável economicamente, nas condições de oferecer um produto com preço 80% mais baixo que o material pelo qual seria substituído e processando 70% dos resíduos gerados pelo município. Porém, alguns parâmetros foram modificados no fluxo financeiro, os quais melhoraram um pouco a viabilidade do negócio.

No primeiro cenário, analisou-se a viabilidade do empreendimento considerando um processamento de 90% dos resíduos gerados pelo município, ou seja, produção de 77,40 m³/dia e aumentando o preço de venda para um valor 90% menor que o material usualmente utilizado, pelo qual se pretende substituir. Os indicadores de viabilidade econômica apontam para a viabilidade do negócio, visto que consideram a taxa interna de retorno acima de 7,0% a.a., além de apresentar um período de retorno do capital investido próximo de sete anos para o fluxo de caixa do empreendimento e do investidor. O fluxo de caixa do investidor pode ser considerado viável, visto que os parâmetros estão muito próximos aos valores mínimos.

O segundo cenário avaliou o impacto no fluxo de caixa do empreendimento de processar 80% dos resíduos gerados pelo município e aumentou o preço de venda do produto para R\$ 42,05 o m³, igual ao material a que se pretende substituir. Esse cenário também se mostrou viável economicamente, apresentando TIR acima da TMA de 7,0% a.a., e apresentou um período de retorno do capital investido para o fluxo de caixa do empreendimento, em

torno de sete anos. O fluxo de caixa do investidor apresentou $TIR < TMA$ e VPL negativo, o que torna o empreendimento inviável se for utilizado o financiamento especificado.

A análise de cenários demonstrou a possibilidade de viabilização da implantação de uma Usina de reciclagem de resíduos de construção e de demolição no município de Passo Fundo, em função da variação de determinados parâmetros. Os parâmetros analisados compreenderam a variação da capacidade de produção e do preço de venda. Ambos os cenários apresentaram viabilidade econômica no fluxo de caixa do empreendimento. Já, para o fluxo de caixa do investidor, nenhum cenário apresentou viabilidade econômica.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões do trabalho

O Brasil, de forma geral, apresenta um aumento de obras, principalmente residenciais, devido, principalmente, aos incentivos governamentais para construção, isso demanda um volume considerável de resíduos provenientes destas obras. A reutilização desses resíduos, em camadas de pavimentos, representa uma das muitas alternativas para a problemática ambiental do descarte.

Passo Fundo não é diferente das demais cidades do Brasil que, hoje, encontra dificuldades quanto ao descarte correto de materiais provenientes de construção e de demolição de obras civis. Dessa forma, o estudo em questão verificou a possibilidade do uso desses materiais como camadas constituintes da estrutura de pavimentos urbanos.

Em cumprimento aos objetivos propostos no trabalho, far-se-á a conclusiva do estudo.

Como primeiro objetivo específico, que é o de caracterizar e o de classificar o resíduo de construção e de demolição, gerado pelo município de Passo Fundo, conseguiu-se realizar a coleta de resíduos provenientes de obras diversas, coletados em local destinado ao descarte, separando-os em resíduos classificados como classe A, confirmando, assim, que o RCD, quanto ao tipo de material, é considerado bom por apresentar percentuais superiores a 90% de materiais cimentícios.

O segundo objetivo específico foi classificar e analisar o agregado reciclado quanto ao seu enquadramento para o uso em pavimentação. Para o seu cumprimento, seguiu-se as diretrizes da NBR 15.116/2004 e verificou-se, na avaliação tecnológica, que o agregado reciclado, oriundo dos resíduos caracterizados e classificados para este estudo, possui boa granulometria, com enquadramento na faixa A, o que diz que pode ser usado em vias com tráfego de $N > 5 \times 10^6$, dimensão máxima característica de 19 mm, sendo aceito dimensões ≤ 63 mm e índice de forma < 3 , resultados que garantem o enquadramento do material para o uso em pavimentação. Ainda em cumprimento ao segundo objetivo específico, fez-se a análise da capacidade estrutural através de ensaios de CBR, conseguindo resultado de 83% e expansão de 0,00%, caracterizando-o, segundo a referida norma, como material bom para ser utilizado em base de pavimentos.

Na sequência, foram dimensionadas as camadas de pavimentos urbanos usando o agregado reciclado. Para o cumprimento final do segundo objetivo, foram calculadas as

camadas de sub-bases, utilizando as diretrizes praticadas pela Prefeitura de São Paulo, nas suas instruções de projeto IP-04/2004 e nos perfis de pavimentação já calculado das vias urbanas do município de Passo Fundo, apenas para as camadas de sub-base, substituindo o material dessa, pelo agregado reciclado. Nessa etapa, ainda foi calculada a quantidade necessária de agregado reciclado de RCD para a execução destas camadas de sub-bases.

Para o cumprimento do terceiro objetivo específico que era o de avaliar a viabilidade econômica da produção de agregado reciclado no município de Passo Fundo, foi projetada uma planta de uma unidade de reciclagem de resíduos com capacidade de 112 t/dia. Essa capacidade foi definida em função da quantidade de resíduos gerados pelo município que é de 103,33 t/dia; desse modo, à planta projetada atenderia ao processamento de todo o resíduo gerado. Nessa etapa, foram levantadas a área, a infraestrutura e os equipamentos necessários para a implantação do empreendimento. Também foram calculados os custos e as despesas que o empreendimento teria para o processamento do agregado reciclado tipo “bica corrida”, ideal para o uso em pavimentação. Assim, elaboraram-se fluxos de caixa para simular a viabilidade deste empreendimento.

Na condição mais provável, o empreendimento não apresentou viabilidade econômica; porém, foram avaliados dois cenários alterando parâmetros de produção e preço do produto, os quais apresentaram viabilidade no empreendimento. Apesar de se obter viabilidade, os indicadores financeiros analisados não mostraram atratividade. No caso da TIR, o índice apresentado para o cenário 1, que foi de 7,60% e para o cenário 2 de 7,08%, ficaram muito próximos ao índice determinado como atrativo, que era de 7,00%, demonstrando que o investimento aplicado a esse empreendimento seria indiferente se analisado apenas o percentual, não contando os possíveis riscos que o empreendimento poderia trazer ao longo do tempo determinado para retorno do investimento.

Outro ponto a considerar quanto à viabilidade econômica é a capacidade de produção do conjunto de britagem estimado para a planta da Usina de Reciclagem de RCD para o município de Passo Fundo, avaliada para uma produção de 93,33 m³ de material por dia, sendo que a média dos resíduos de construção e de demolição gerados pelo município é de 86,00 m³/dia. Dessa forma, não haveria possibilidade de uma integração com outros municípios para viabilizar o empreendimento, pois um acréscimo de produção, acima da capacidade da usina, necessitaria de aumento nos gastos com investimento inicial e de estrutura para a operação da usina e, conseqüentemente, geraria mais custos e despesas.

Este trabalho contribui com informações para o uso de agregado reciclado proveniente dos Resíduos de Construção e Demolição no município de Passo Fundo, analisando a

viabilidade técnica e econômica de seu uso como substituto de materiais usualmente utilizados em camadas para pavimentos de vias urbanas. Conclui-se que o material de RCD pode ser transformado em um agregado reciclado com condições tecnológicas de utilização na execução de camadas de pavimentação urbana, mas não há viabilidade econômica de se produzir esse material no município de Passo Fundo. Apesar de os fluxos de caixa do empreendedor, na análise de cenários, apresentar viabilidade, deve-se considerar dois fatores que podem inviabilizar o empreendimento. O primeiro é a dificuldade de obtenção da quantidade de resíduos gerados pelo município, já que a análise na condição mais provável foi estimada em 70% de matéria-prima (o RCD), para a usina de reciclagem. O segundo trata do valor praticado para o preço de venda, estipulado na análise da condição mais provável como 80% do preço do produto usualmente utilizado, o qual demonstrou ser um atrativo, uma vez que seria necessário, segundo o cálculo das camadas de pavimentação, de uma quantidade maior de agregado reciclado, o que poderia ser um atrativo para a utilização deste material.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Um dos fatores que poderia tornar o empreendimento viável é a questão ambiental, mas para isso teríamos de ter garantias de subsídios nesta área, o que seria matéria de outro estudo, o qual fica como sugestão para trabalhos futuros. Essa iniciativa auxiliaria o processo de preservação ambiental, pois poderia ser reduzir o uso de material granular com o incremento do processo de reciclagem e com a reutilização de materiais que iriam para aterros sanitários, ocupando áreas consideráveis, ou que seriam descartados a céu aberto, muitas vezes sem controle.

Outro ponto que poderá ser explorado são estudos sobre a possibilidade de produção de outros produtos, como areia, pedrisco, brita, rachão, entre outros, os quais poderá ou não resultar em ganhos maiores, mesmo sendo necessário aumentar o investimento ou conseguir manter o valor investido.

Quanto à viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a realização de ensaios de resiliência, fadiga e deflexão, os quais permitirão uma análise mais aprofundada do comportamento mecânico do material em urbanas.

REFERÊNCIAS

ANGULO, Sergio Cirelli; **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas propriedades no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo. 2005. 167p.

ARULRAJAH, Arul; DISFANI, Mahdi M.; HORPIBULSUK, Suksun; SUKSIRIPATTANAPONG, Cherdasak, PRONGMANEE, Nutthachai; **Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications**. *Construction and Building Materials*. 58, 2014, 245–257.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, **NBR NM 248 – Agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro-RJ: 2003. 6p.

_____. **NBR 7182 – Solo – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro-RJ: 1986. 10p.

_____. **NBR 7207 – Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro-RJ: 1982. 3p.

_____. **NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimento - procedimentos**. Rio de Janeiro-RJ: 2004. 6p.

_____. **NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimento – utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural**. Rio de Janeiro-RJ: 2004. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE), **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, edição 2011**. <http://www.jbrj.gov.br/a3p_site/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>, acesso em 05 nov. 2012.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, edição 2012**. <http://www.jbrj.gov.br/a3p_site/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>, acesso em 05 nov. 2012.

BAGATINI, Felipe; **Resíduos de construção civil: Aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Porto Alegre, RS. 2011. 72p.

BALBO, José Tadeu; **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.

BARÃO, Fábio Roberto; **Problemas de localização e roteamento aplicados na otimização da coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo-RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008. 71p.

BERNARDES, Alexandre; **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006. 96p.

BERNARDES, Alexandre, THOMÉ, Antônio, PRIETTO, Pedro D. M. e ABREU, Águida G. de; **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS.** Porto Alegre. Revista Ambiente Construído. v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BERNUCCI, Liedi Bariani, MOTTA, Laura M. G. da, CERATTI, Jorge A. P., SOARES, Jorge B.; **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro. Petrobrás, 2008. 501p.

BYRNE, Rosemary; REGAN, Bernadette O’; **Increasing the potential for reuse recycling of construction and demolition waste – A case study from Ireland.** Environment and Natural Resources Research; Vol. 4, No. 4. Disponível em: <<http://www.ccsenet.org/journal/index.php/enrr/article/view/41972>>, acesso em 20 jan. 2015.

BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval; **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001. 197p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 275** de 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>, acesso em: 07 out. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 307** de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>, acesso em: 07 out. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 348** de 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>, acesso em: 07 out. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 431** de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>, acesso em: 07 out. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 448** de 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>, acesso em: 07 out. 2012.

CARNEIRO, Alex Pires, BURGOS, Paulo César, ALBERTE, Elaine Pinto Varela; **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção.** Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

CUNHA, Gabriel Nocito Miquelino, LIMA, Francisco Mariano da Rocha de Souza; **A Formação de mercado de agregados reciclados na indústria da construção civil.** Disponível em:

<http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XIX_jic_2011/XIX_JIC2011_gabriel_nocito_miquelino_cunha.pdf>, acesso em 12 dez. 2012.

DE BRITO, Alexandra Mara; **O processo de análise do risco e incerteza no projeto de investimentos**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2004. 57p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), **Manual de pavimentação**, 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p.

_____. **Manual de custos rodoviários**, 2003. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/servicos/sicro/manual-de-custos-rodoviaros>>, acesso em 06 jan. 2015.

_____. **Norma DNIT 031/2004 – ES: Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004. 13p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER), **DNER-ME 089/94: Agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio**, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>, acesso em: 04 nov. 2012. – São Paulo, 1994. 6p.

_____. **DNER-ME 035/98: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”**, Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME035-98.pdf>>, acesso em: 04 nov. 2012. – São Paulo, 1998. 6p.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - LEI Nº 14.653 DE 19.12.2014 <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/Lei-rs-14653-2014.htm>>, acesso em 25 jan. 2015.

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Relatório preliminar da situação atual dos resíduos sólidos no Brasil**. IPEA – Instituto de pesquisa econômica aplicada, programa de pesquisa para o desenvolvimento nacional – PNPd. Relatório III – Resíduos de construção civil, julho de 2011. Disponível em: <http://www.cress-mg.org.br/arquivos/reciclagem/relatorio_preliminar_da_situa%C3%A7%C3%A3o_atual_dos_residuos_s%C3%B3lidos_no_brasil.pdf> , acesso em 12 dez. 2012.

FERREIRA, Matheus De Conto, THOMÉ, Antônio; **Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais**. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 18, p. 1-12, novembro, 2011.

FREIRE, A. C.; NEVES, J.; ROQUE, A.; MARTINS, I.; ANTUNES, M. L.; FARIA, G.; **Use of construction and demolition recycled materials (C&DRM) in road pavements validated on experimental test sections**. Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities. 2^a International Conference. September 11 – 13, 2013.

FU, Qin; TENG, Jing; **Analysis of the construction cost management based on the perspective of the construction waste recycling**. International Conference on Management Science and Management Innovation (MSMI 2014). Disponível em: <<http://www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=msmi-14&frame=http%3A//www.atlantispress.com/php/paper-details.php%3Ffrom%3Dsession+results%26id%3D13004%26querystr%3Did%253D230>>, acesso em 20 jan. 2015.

GITMAN, Lawrence Jeffrey; **Princípios de administração financeira – Essencial**. Porto Alegre: Bookman, 2006. 610p.

GOMES, Aline Pimentel; **Diagnóstico e proposições para a gestão participativa e integrada dos resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo-RS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011. 149p.

GONÇALVES, Rogério Rodrigues; **Tratamento dos resíduos sólidos da construção civil no município de Ibirité - MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental. 2011. 96p.

GOUDENE SPADA, Jorge Luís; **Uma abordagem de mecânica dos pavimentos aplicada ao entendimento do mecanismo de comportamento Tensão-deformação da Via Férrea**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro - RJ. 2003. 240p.

GRUBBA, David Christian Regis Pereira; PARREIRA, Alexandre Benetti; **Emprego de agregado reciclado de concreto em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Disponível em <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2009/95_AC.pdf>, acesso em: 12 dez. 2012.

GUI TRIBUTÁRIO 2015. Disponível em: <<http://www.portaltributario.com.br>>, acesso em 20 jan. 2015.

HERRADOR, Rosario; PÉREZ, Pablo; GARACH, Laura; ORDÓÑEZ, Javier. **Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing**. *Journal of Transportation Engineering*. 2012, 138, 182-190.

IMIC. Disponível em: <<http://www.imic.com.br/produtos-novos/>>, acesso em 20 jan. 2015.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; **Reciclagem de resíduos da Construção**. In: Seminário de Resíduos Sólidos e Domiciliares, 2000, São Paulo. Resíduos Sólidos e Domiciliares. São Paulo: CETESB, 2000. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>>, acesso em 09 nov. 2012.

KARPINSKI, Luisete Andreis; **Proposta de gestão de resíduos da construção civil para o município de Passo Fundo – RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia – Infraestrutura e Meio Ambiente, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS. 2007. 160p.

LEITE, Fabiana da Conceição; **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia dos Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2007. 185p.

LEITE, Fabiana da Conceição; MOTTA, Rosângela dos Santos; VASCONCELOS, Kamilla L.; BERNUCCI, Liedi. **Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements.** *Construction and Building Materials*. 25, 2011, 2972–2979

LEITE, Monica Batista; **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre - RS. 2001. 290p.

LIMA, João Henrique Camelo; **Utilização de resíduos de construção e demolição para pavimentos urbanos da região metropolitana de Fortaleza.** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia dos Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2008. 162p.

LOVATO, Patrícia Silveira; **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre. 2007. 182p.

MACULAN, Laércio Stolfo; **Avaliação do Desempenho de Argamassas de Revestimento com Resíduo de Construção e Demolição Aplicando a Metodologia de Projeto Robusto.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009. 143p.

MÁLIA, Miguel, BRITO, Jorge de e BRAVO, Miguel; **Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções de residências novas.** Porto Alegre. Revista Ambiente Construído. v.11, n. 3, p. 117-130, jul./set. 2011.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback, ANGULO, Sérgio Cirelli e CARELI, Élcio Duduchi; **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Porto Alegre. Revista Ambiente Construído. v.9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

MOHAMMADINIA, Alizera; ARULRAJAH, Arul; SANJAYAN, Jay; DISFANI, Mahdi M.; WIN BO, Myint; DARMAWAN, Stephen; **Geotechnical properties of lightly stabilized recycled demolition materials in base/sub-base applications.** IFCEE 2015 © ASCE 2015.

MONTEIRO, João Henrique Penido. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** 15 ed. Rio de Janeiro. IBAM, 2001.

MYLANE, Viana Hortegal; FERREIRA, Thiago Coelho; SANT'ANA, Walter Canales; **Utilização de agregados resíduo sólidos da construção para pavimentação em São Luis-MA.** Revista Pesquisa em Foco. v. 17, n.2, p. 60-74, 2009.

NOBREGA, Renan Dantas da e, MELO, Ricardo Almeida de; **Uso de agregados de resíduos da construção civil na pavimentação urbana em João Pessoa**. Anais do Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos – ENARC 2009 – U1 - 013. Feira de Santana de 08 a 10 de julho de 2009.

PIOVEZAN JUNIOR, Gilson Tadeu Amaral; **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM-RS. 2007. 76p.

POON, Chi Sun; CHAN, Dixon; **Feasible use recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base**. *Construction and Building Materials*. 20 (2006) 578–585

PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO, SECRETARIA DE OBRAS, **Programa Pró-Transporte: Projeto de pavimentação, drenagem, sinalização e acessibilidade – PAC 2**, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA URBANA, **IP – 04 – SIURB/PMSP: Instrução para dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio**. Disponível em:

<http://www.sinaldetransito.com.br/normas/SIURB_pavimentos_flexiveis.pdf>, acesso em: 09 nov. 2012.

_____. **ETS – 01 – SIURB/PMSP: Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil**. Disponível em:

<http://www.sinaldetransito.com.br/normas/SIURB_pavimentos_flexiveis.pdf>, acesso em: 09 nov. 2012.

RECEITA FEDERAL. Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998 – anexo I. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/ins/ant2001/1998/in16298ane1.htm>>, acesso em 20 jan. 2015.

RECEITA FEDERAL. Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998 – anexo II. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/ins/ant2001/1998/in16298ane2.htm>>, acesso em 20 jan. 2015.

RIBEIRO, Fabrício; **Estudo da aplicação do agregado reciclado na base de um pavimento flexível**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – PPGEMA-UFG, Goiânia. 2006. 171p.

RICCI, Gino; **Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo. 2007. 196p.

RITTER, Filipe. **Análise da viabilidade econômica do policultivo de Jundiás, Carpas e Tilápias-do-Nilo como uma alternativa de modelo de cultivo de peixes na piscicultura**

familiar de pequenas propriedades. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011. 97p.

SAMPAIO FILHO, Antônio Carlos de Souza. **Taxa Interna de Retorno Modificada: Proposta de Implementação automatizada para cálculo em projetos não-periódicos, não necessariamente convencionais.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia e Finanças – IBMEC, Rio de Janeiro, 2008. 161p.

SANTOS, Alcimar Laurentino dos; **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos da construção e demolição (RCD): Análise das construtoras associadas ao SINDUSCON/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN.** Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN. 2009. 107p.

SANTOS, Eliana Fernandes dos; **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2006. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-29052007.../EFS.pdf> acesso em 10 abr. 2015.

SILVA, Cesar Augusto Rodrigues da; **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, NUGEO. 2009. 194p.

SILVA, Taciano Oliveira da, CARVALHO, Carlos Alexandre Braz de, LIMA, Dario Cardoso de, CALIJURI, Maria Lúcia, LANI, João Luiz, Oliveira, Tales Moreira de; **Sistemas de classificações geotécnicas de solos: estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada VCS346, Viçosa, MG.R.** *Árvore, Viçosa-MG*, v.34, n.2, p.313-321, 2010. Disponível em<<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n2/v34n2a14.pdf>> acesso em 25 ago. 2013.

SOUZA, Flávio Vasconcelos de. et al. **Análise de tensões e deformações de pavimentos utilizando o modelo plástico de Mohr-Coulomb.** Resumo. 33^a Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis, SC. 2001. 10p.

ZANETTI, Flavio Serpa; **O uso de redes neurais artificiais como ferramenta para auxiliar na determinação da vida útil de pavimentos flexíveis.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2008.

APÊNDICE 1: Planta de implantação da Usina de Reciclagem de RCD

APÊNDICE 2: Orçamento dos componentes da infraestrutura da Usina de Reciclagem

APÊNDICE 3: Fluxo de Caixa do empreendimento analisado na condição mais provável –
Empreendedor e Financiador

APÊNDICE 4: Fluxo de Caixa do empreendimento analisado - Cenário 1 – Empreendedor e
Financiador

APÊNDICE 5: Fluxo de Caixa do empreendimento analisado - Cenário 2 – Empreendedor e
Financiador