



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

LUANNA BEZERRA DE LUNA LINS

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO
NAS PROPRIEDADES DE MISTURAS ASFÁLTICAS

CAMPINA GRANDE – PB

2019

LUANNA BEZERRA DE LUNA LINS

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO
NAS PROPRIEDADES DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Elísio de
Figueiredo Lopes Lucena

Co-orientador (a): Me. Jeovanesa Régis Carvalho

Campina Grande – PB

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autora: Luanna Bezerra de Luna Lins

Título: INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Defendido e aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

_____ Nota _____

Orientador: Prof. Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

_____ Nota _____

Co-Orientador: Me. Jeovanesa Régis de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

_____ Nota _____

Avaliador Interno: Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

_____ Nota _____

Avaliador Externo: Prof. Me. Maria das Vitorias do Nascimento

Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

DEDICATÓRIA

A Deus por toda sabedoria e ajuda. Aos meus pais, Joelson e Laércia, por proporcionar todo amor e dedicação. As minhas irmãs, Lettícia, Lívia, Julianna e Joyce, pelo companheirismo e responsabilidades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelo dom da vida e por sempre está iluminando e guiando meu caminho, nos momentos mais difíceis sempre me fortalecendo.

Aos meus pais, Joelson e Laércia, por todo amor, carinho. Por sempre apoiar minhas decisões e incentivar todos os meus sonhos. Por todos os esforços para minha formação tanto acadêmica quanto pessoal.

Às minhas irmãs, Lettícia, Lívia, Julianna e Joyce, por todo o companheirismo, paciência e afeto. Sem vocês não seria o que sou hoje, com todas as responsabilidades, cresci muito tendo vocês ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Adriano, muito obrigada pelo conhecimento adquirido ao longo desses meses, por acreditar que seria capaz de realizar esse trabalho.

À minha co-orientadora Jeovanesa, muito obrigada pela grande ajuda e paciência na realização dos ensaios, sem você acho que não conseguiria. Sempre me apoiando, corrigindo quando necessário, você terá um futuro brilhante.

Aos técnicos do Lep Jadilson e Nildinho, foram de fundamental importância na realização desta pesquisa, disponíveis o máximo possível.

Ao meu parceiro de laboratório Helker Filho, muito obrigada pelo companheirismo e paciência, por todas as lutas que enfrentamos nesse processo. Acredito muito no seu potencial, é a primeira das inúmeras vitórias que terá na vida.

Às minhas amigas de curso, Paula, Raabi, Rayanne e Paloma, por todo apoio durante essa jornada, vocês conseguiram tornar o convívio diário mais fácil. Cada palavra de apoio, incentivo nos estudos, foram de grande valia. Estou aqui hoje, por mérito de vocês também. Aos meus amigos Matheus Joviniano, Letícia Dias e Breno Azevedo obrigada por ter sonhado comigo esse futuro, cada gesto de apoio antes e durante o curso foram essenciais para mim.

À todos meus familiares, principalmente aos meus avós, e todos os meus amigos que sempre fizeram presentes. Cada pensamento, oração voltadas para meus estudos, têm todo o meu reconhecimento.

À instituição UFCG por ter proporcionado a concretização deste sonho, por todo ensinamento transmitido pelos seus docentes.

RESUMO

Atualmente existe uma preocupação com a destinação final dos resíduos sólidos (RS) de origem mineral gerados nas indústrias, como consequência sua disposição final em aterros sanitários geram um grande volume. Tendo em vista diminuir a quantidade de RS nos aterros, soluções alternativas estão sendo desenvolvidas para a sua reutilização. A utilização na fabricação de misturas asfálticas são uma alternativa das de destinação pois possuem características similares aos seus componentes habituais. Esta pesquisa verificou uma reutilização do Resíduo do Polimento do Porcelanato (RPP) nas misturas asfálticas como material de enchimento (filer). Para tanto, fez-se caracterização mecânica de misturas asfálticas com a cal e com a substituição do RPP, através da metodologia SUPERPAVE, no qual foram realizados os ensaios de resistência à tração indireta por compressão diametral (RT), módulo de resiliência (MR) e resistência ao dano por umidade induzida – Lottman modificado. Os resultados obtidos nos ensaios de RT foram similares para os dois fileres, para o MR demonstraram que a substituição do filer não sofreu discrepância na resistência, possuindo valores muito próximos também, para o DNIT, a cal dispendo de um valor maior e para o ASTM o RPP apresentando um valor levemente acima. No ensaio de Lottman modificado resultou numa queda da resistência, possuindo a relação de resistência retida à tração para a cal de 87,6% e para o RPP de 54,8%. Portanto, é importante que para uma correta utilização do RPP em misturas asfálticas também sejam incorporados aditivos melhoradores de adesividade.

Palavras-chaves: Misturas asfálticas, resíduo de polimento do porcelanato (RPP), propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Currently there is a concern with the final destination of the solid waste of mineral origin (SW) generated in the industries, as a consequence its final disposal in landfills generate a great volume. In order to decrease the amount of SW in the landfills alternative solutions are being developed for its reuse. The use in the manufacture of asphalt mixtures is an alternative destination since they have characteristics similar to their usual components. This research intends to make feasible a reuse of the Porcelain Polish Residue (PPR) in the asphalt mixtures as a filler. For this purpose, the mechanical characterization of asphalt mixtures with quicklime and PPR substitution was carried out using the SUPERPAVE methodology, in which the tensile strength tests were performed using diametrical compression (TS), resilient modulus (RM) and resistance to damage by induced humidity - modified Lottman. The results obtained in the TS test were similar, for the RM they showed that the substitution of the filler was not dissimilar in the resistance, having values very close also, for the DNIT to quicklime having a higher value and for the ASTM the PPR presenting a value slightly above. In the modified Lottman assay resulted in a drop in strength, having the traction retained strength ratio for quicklime of 87.6% and for PPR of 54.8%. Therefore, it is important that for the correct use of the PPR in asphalt mixtures also additives are added adhesion improving.

Keywords: Asphalt mixtures, porcelain polishing residue (PPR), mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos Resíduos Sólidos.....	4
Figura 2 - Comparativo entre logística convencional e logística reversa	6
Figura 3 – Processo de gerenciamento dos resíduos.....	7
Figura 4 - Exemplo de Aterro Sanitário.....	10
Figura 5 - Amostra de (a) brita 19, (b) brita 9,5, (c) pó de pedra e (d) cal hidratada	21
Figura 6 - a) Resíduo úmido; b) Resíduo após o beneficiamento	21
Figura 7 - Curva granulométrica.....	23
Figura 8 - Secagem da amostra do pó de pedra.....	24
Figura 9 - Equipamento viscosímetro Brookfield	25
Figura 10 - Ponto de amolecimento.....	26
Figura 11- Penetrômetro.....	27
Figura 12 - Fluxograma da dosagem SUPERPAVE	27
Figura 13 - Compactador Giratório SUPERPAVE.....	28
Figura 14 - Curva de Fuller	28
Figura 15 - Equipamento Rice Test	29
Figura 16 - Gráfico volume de vazios versus teor do ligante.....	31
Figura 17 - Equipamento para o ensaio de Resistência à Tração	32
Figura 18 - Prensa UTM - 25	33
Figura 19 - Recipiente a vácuo	34
Figura 20 - Gráfico do resultado de Resistência à Tração	35
Figura 21 - Gráfico Resultado do Módulo de Resiliência.....	36
Figura 22 - Resultado da Relação da Resistência Retida à Tração.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização do CAP.....	20
Tabela 2- Ensaio de caracterização e as normas utilizadas	22
Tabela 3 - Distribuição granulométrica.....	22
Tabela 4 - Valores das massas específicas reais e aparentes e absorção	25
Tabela 5 - Ensaio de caracterização do CAP	25
Tabela 6 - Proporção dos agregados na mistura	29
Tabela 7 - Temperaturas de usinagem e compactação.....	29
Tabela 8 - Valores dos parâmetros	30
Tabela 9 - Ensaio caracterização mecânica	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CGS	Compactador Giratório SUPERPAVE
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
DMT	Densidade Máxima Teórica
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EFA	Escória de Alto Forno
EMA	Escória Moída de Aciaria
LEP	Laboratório de Engenharia de Pavimentos
ME	Método de Ensaio
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
NR	Norma Regulamentadora
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RBRO	Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais
RBV	Relação Betume/Vazios
RCD	Resíduo de Construção e Demolições
RPP	Resíduo de Polimento de Porcelanato
RRT	Resistência à Tração Retida
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RT	Resistência à Tração
RTu	Resistência à Tração condicionada
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Resíduos Sólidos
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavement System
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

UTM	Universal Testing Machine
VAM	Vazios do Agregado Mineral
V _v	Volume de vazios

LISTA DE SIMBOLOS

%	Porcentagem
σ_t	Resistência à tração
°C	Graus Celsius
cP	Centipoise
D	Diâmetro do corpo de prova
F	Carga de ruptura
g	Gramas
Gmm	Densidade máxima medida (g/cm ³)
h	Horas
H	Altura do corpo de prova
HCl	Ácido Clorídrico
MgCl ₂ .6H ₂ O	Cloreto de Magnésio hexahidratado
min	Minutos
mm	milímetros
mmHg	milímetros de mercúrio
MPa	Mega Pascal
n°	Número
NaOH	Hidróxido de sódio
pH	potencial Hidrogeniônico
rpm	rotações por minuto
s	segundos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo geral.....	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
1.2	JUSTIFICATIVA	2
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	4
2.1.1	Classificação dos resíduos sólidos.....	4
2.1.2	Plano Nacional dos Resíduos Sólidos.....	5
2.1.3	Logística reversa.....	5
2.1.4	Gerenciamento dos resíduos sólidos.....	7
2.1.4.1	Redução.....	7
2.1.4.2	Reutilização	7
2.1.4.3	Reciclagem.....	8
2.1.4.4	Tratamentos.....	8
2.1.4.5	Disposição final ambientalmente adequada.....	9
2.2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	10
2.2.1	Classificação.....	10
2.2.2	Gerenciamento dos resíduos da construção civil.....	11
2.2.3	Resíduos de construção e demolições (RCD)	11
2.2.4	Escória de alto forno (EAF)	12
2.2.5	Cinzas volantes.....	13
2.2.6	Resíduos de polimento.....	13
2.2.6.1	Granito	13
2.3	RESÍDUOS INDUSTRIAIS	14
2.3.1	Classificação dos resíduos industriais.....	14
2.3.2	Destinação final	15
2.3.3	Resíduo de Polimento de Porcelanato	15
2.4	UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM MISTURAS ASFÁLTICAS.....	16
2.4.1	RCD	16
2.4.2	Escórias de alto forno.....	17
2.4.3	Borracha de pneus.....	17
2.4.4	Resíduo de minério de ferro	18

2.4.5	Polimento de porcelanato.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	MATERIAIS	20
3.1.1	Ligante asfáltico.....	20
3.1.2	Agregados.....	20
3.1.3	Resíduo do Polimento do Porcelanato	21
3.2	MÉTODOS	22
3.2.1	Caracterização do agregado.....	22
3.2.1.1	Granulometria.....	22
3.2.1.2	Massa específica e absorção.....	23
3.2.2	Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo	25
3.2.2.1	Viscosidade Rotacional.....	25
3.2.2.2	Ponto de Amolecimento.....	26
3.2.2.3	Penetração	26
3.2.3	Dosagem SUPERPAVE	27
3.2.4	Caracterização mecânica	31
3.2.4.1	Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral	31
3.2.4.2	Módulo de Resiliência	32
3.2.4.3	Resistência ao Dano por Umidade Induzida – Lottman Modificado	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	35
4.1.1	Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral	35
4.1.2	Módulo de Resiliência	36
4.1.3	Lottman modificado.....	37
5	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos (RS) sempre foi uma consequência do desenvolvimento da humanidade, em vista que os resíduos são advindos das ações humanas. Nos primórdios, a natureza conseguia absorver os despejos devido à grande quantidade de recursos que a mesma dispunha. A partir da Revolução Industrial, que visava o crescimento econômico no curto prazo, os resíduos gerados foram aumentando de tal forma que acarretou em problemas ambientais (CASSAGRANDE *et al*, 2008).

Há uma grande preocupação com relação às medidas de preservação ambiental. Tendo em vista isso, pode-se notar que a geração de RS é um fator que corrobora para implementação de medidas corretivas. No Brasil, a lei nº 12.305/10 retrata a maneira com a qual deve-se gerir os resíduos sólidos, visando que o país consiga se desenvolver de forma mais sustentável.

Segundo a ABNT NBR 10004:2004, os resíduos sólidos são aqueles que se encontram em estado sólido ou semissólido que originou de um processo industrial, doméstico, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Incluindo os lodos advindos de sistemas de tratamento de água, como também alguns líquidos que possuem características que impossibilita o despejo na rede pública de esgoto ou nos corpos d'água.

Pela NR 25:2011, os resíduos industriais são definidos por serem aqueles oriundos de procedimentos industriais no qual podem estar em estados sólido, líquido, gasoso ou por combinação deles. Possuindo características físicas, químicas ou microbiológicas que não se enquadram aos resíduos domésticos, como por exemplo: cinzas, lodos, óleos, substâncias lixiviadas.

Visando a inserção de resíduos gerados por materiais minerais, tem-se o setor de pavimentação, cujo as misturas asfálticas possui aproximadamente 95% de sua composição por materiais minerais, enquanto o restante é constituído por Cimento asfáltico de petróleo (CAP) (MARTIN, 2008).

A inserção de resíduos na composição de misturas asfáltica está bastante recorrente, pode-se citar o uso dos resíduos de escória, cinzas volantes, pneus, vidros, mármore e granito (GOTTARDI, 2015).

Segundo o site Exame (2017) o Brasil possui um destaque na produção mundial de porcelanato, sabendo também que o porcelanato polido é o mais consumido. Souza (2007) inferiu que a quantidade de resíduo gerado na fabricação do porcelanato é de 32 toneladas por dia numa indústria.

A destinação final desse resíduo é geralmente feita em aterros sanitários, porém esse material poderia ser reaproveitado como substituição de algum material para a composição de um produto, tendo assim uma destinação final de forma mais sustentável, como também diminuindo os custos do produto. Neste contexto, esta pesquisa visa uma alternativa para o resíduo do polimento do porcelanato como reaproveitamento na adição de misturas asfálticas como filer.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a influência da adição do resíduo de polimento do porcelanato nas propriedades das misturas asfálticas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Propor uma metodologia para o beneficiamento do resíduo de polimento de porcelanato de forma a ser incorporado como filer em misturas asfálticas;
- Comparar o comportamento do resíduo de polimento de porcelanato com um filer de referência (cal) nas misturas asfálticas; e
- Sugerir uma destinação final adequada para o resíduo;

1.2 JUSTIFICATIVA

A inserção de resíduos como matéria-prima secundária que possui seu despejo realizado em um local que propicia condições específicas, torna válido um estudo para reaproveitamento desse resíduo que proporcione um custo final bem mais baixo.

Conceição (2008), verificou a utilização dos resíduos gerados do corte do granito, como agregado graúdo, e resíduos de corte de pedra-sabão, como agregado miúdo, na composição do asfalto se tornaria viável. Pôde-se concluir que a inserção desses materiais obtiveram uma melhoria nas suas condições tanto na mecânica quanto na acústica, cujo

poderia ser indicado a utilização dessa mistura em locais que propiciem uma zona de silêncio nas cidades.

No processo de fabricação do porcelanato polido, há uma grande produção de resíduo no seu polimento, o qual propicia uma grande preocupação na sua destinação final, sendo que na maioria das vezes há um descarte deste resíduo de maneira incorreta. Esse segmento de resíduo já possui algumas pesquisas no seu reaproveitamento na produção do cimento, como por exemplo Steiner (2014) e Lima (2015). Por fim, as indústrias buscam outras formas do reaproveitamento desse resíduo de maneira sustentável, tendo em vista um menor custo na destinação final.

Portanto, a partir dos expostos analisados acima, verificou-se a escassez de estudos na linha de pesquisa da adição dos resíduos do polimento de porcelanato nas misturas asfálticas. Logo, a pesquisa se mostra fundamental na vertente da demanda da inserção da reutilização de resíduos na cadeia produtiva, visando principalmente a questão da sustentabilidade, no qual atualmente está em bastante ênfase.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

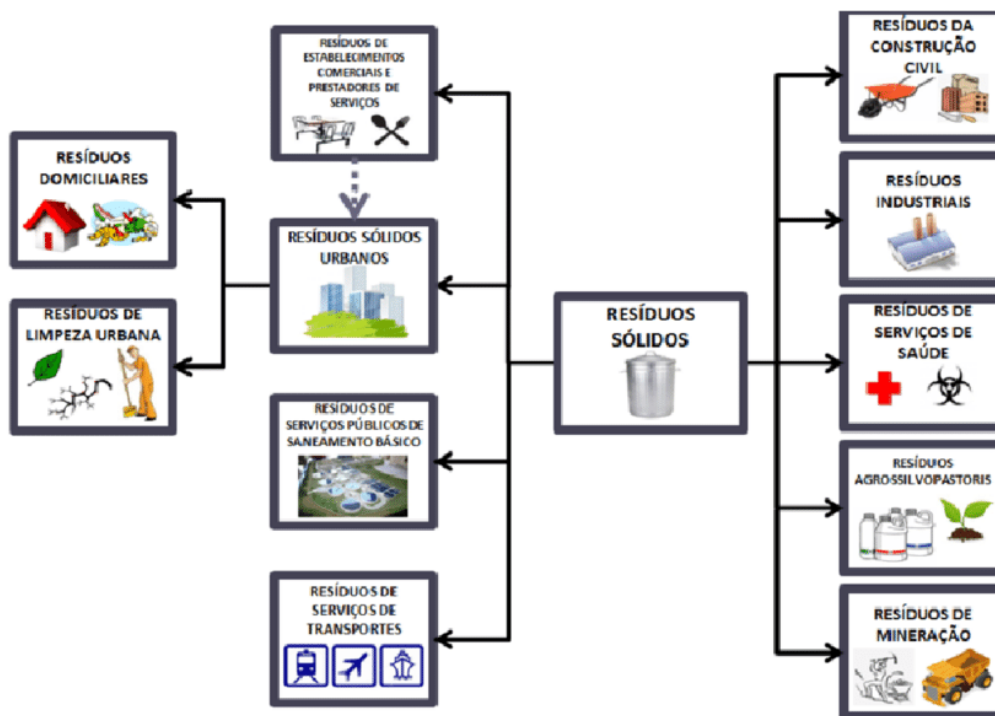
“Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) são todos os dejetos que não servem mais ao consumo humano, e que, pelas suas características físico-químicas, não são facilmente absorvidos e decompostos pela natureza” (BECK et al, 2009).

A expressão resíduos sólidos é comumente utilizada para determinar tudo aquilo que foi gerado por uma ação humana a qual não possui mais serventia. Entretanto, existe a diferença entre resíduo e rejeito, pode-se definir rejeito como sendo tudo aquilo gerado no qual todas as possibilidades de reaproveitamento foram esgotadas, enquanto o resíduo ainda possui possibilidade de reutilização e reciclagem.

2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos

Tomando como base a lei 12.305/2010 podemos classificar os resíduos sólidos quanto a sua origem e quanto a sua periculosidade. A figura 1 possui um fluxograma demonstrando a classificação dos RS quanto a sua origem.

Figura 1 - Classificação dos Resíduos Sólidos



(Fonte: SALES, 2015)

Enquanto a classificação devido a sua periculosidade podemos dividir em 2 tipos, os perigosos e os não perigosos. Os resíduos perigosos são aqueles que devido as suas peculiaridades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e muagenicidade, promovem um risco considerável à saúde pública ou à qualidade ambiental. Sendo assim os não perigosos são todos aqueles que não possuem as características descritas nos resíduos perigosos (SINIR, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Entretanto, pode-se classificar os resíduos além da classificação utilizada na lei 12.305. No caso, quanto a sua natureza física (úmido ou seco) e quanto a sua composição química (orgânico ou inorgânico).

2.1.2 Plano Nacional dos Resíduos Sólidos

A lei 12.305/2010 pressupõe a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos visando mobilização e participação social. A mesma atende as questões problemáticas de diferentes tipos de resíduos, como também possibilidades de gestão e gerenciamento suscetível à implementação, assim como plano de metas, programas, projetos e ações correspondentes (SINIR, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

O plano nacional dos resíduos sólidos influencia diretamente no gerenciamento dos resíduos sólidos dentro das indústrias, fábricas, distribuidores, mercados, e todos aqueles locais que propiciam um grande volume na geração dos RS, obrigando esses locais a dispor de uma destinação adequada.

Em contra partida, o RS não é visto como apenas um rejeito e sim possuindo um valor agregado, no qual pode-se retornar à cadeia produtiva, possuindo um valor de mercado, sendo assim, visto com um negócio rentável e contribuindo com o meio ambiente.

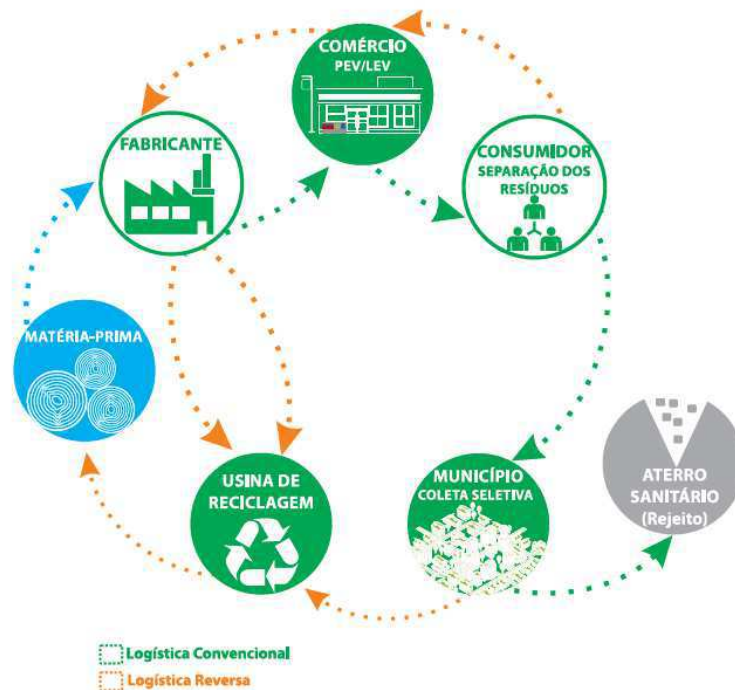
2.1.3 Logística reversa

A logística reversa é um "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento,

em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada". (SINIR, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

A partir disso, a lei exige que muitas empresas promovam a logística reversa. Como também instituiu 3 diferentes tipos de sistemas para o implementação da mesma, sendo elas o regulamento, acordo setorial e termo de compromisso. A figura 2 faz um comparativo no ciclo entre a logística convencional e a logística reversa.

Figura 2 - Comparativo entre logística convencional e logística reversa



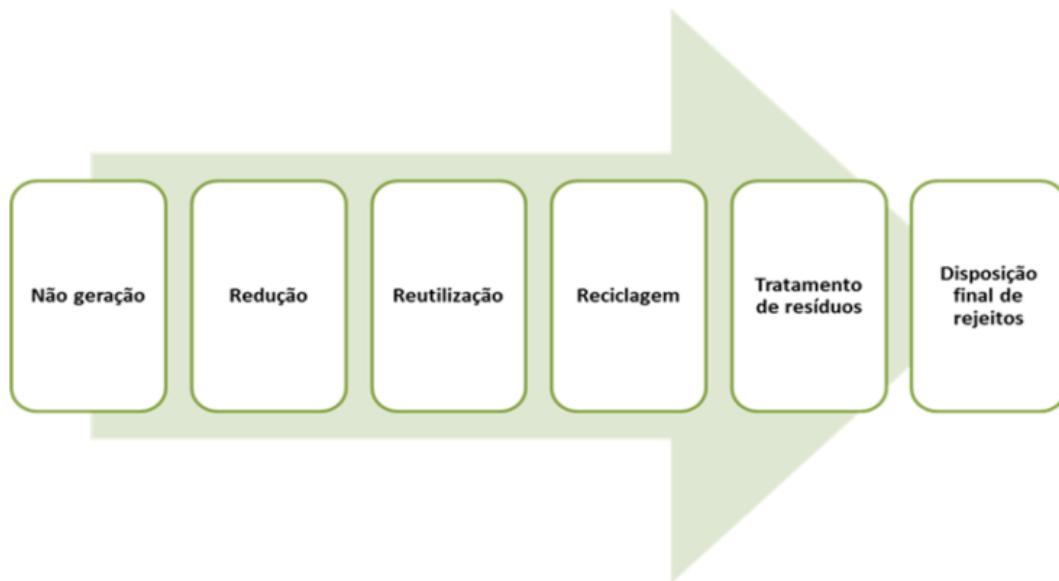
(Fonte: Alvo consultoria & treinamentos)

O acordo setorial é definido como um ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Sendo assim, por ser um mecanismo que promove grande participação social é um meio de predileção para a implantação da logística reversa (SINIR, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

2.1.4 Gerenciamento dos resíduos sólidos

Segundo a resolução 307 do CONAMA, de 5 de julho de 2002, pode-se definir gerenciamento de resíduos como sistema de gestão propõem-se em reduzir, reutilizar ou reciclar os resíduos, abrangendo também o planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos que visa desenvolver e implementar as ações indispensáveis ao cumprimento das etapas prenunciada em programas e planos. A figura 3 demonstra a ordem de prioridade no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos.

Figura 3 – Processo de gerenciamento dos resíduos



(Fonte: EnCiclo soluções sustentáveis, 2016)

2.1.4.1 Redução

O primeiro passo instituído pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a não geração, entretanto, quando uma empresa /fábrica/indústria esgota todas as maneiras para a não geração de resíduos, o próximo passo é a redução do máximo possível a sua geração. Portanto, um dos maiores desafios das empresas é de melhorar sua produção ou serviço, a fim de viabilizar a redução dos resíduos.

2.1.4.2 Reutilização

A reutilização faz com que os resíduos que possuem características no qual podem ser utilizados na fabricação de novos produtos possam vir a fazer parte da cadeia produtiva novamente.

A partir disso, pode-se perceber que o processo de reutilização traz consigo algumas economias que implicam no preço final do produto. Pois devido a utilização de um material que não precisa ser extraído da natureza, em consequência dele já ter sido extraído anteriormente, há uma economia no preço da matéria-prima.

2.1.4.3 Reciclagem

Para que um resíduo seja introduzido no processo da reciclagem, ele precisa passar por uma triagem afim de classifica-lo como um resíduo apto ou não para esse processo. Sendo assim, o principal meio para um resíduo poder ser reciclado é através da coleta seletiva dos materiais. Esta atividade tem início com a separação correta dos materiais, posteriormente uma coleta e pôr fim a designação para um local adequado.

Com a separação correta dos resíduos, a reciclagem é um meio que promove a diminuição dos resíduos que são destinados aos aterros sanitários, impulsionando uma diminuição de custos para as prefeituras, como também para as empresas que iram dispor da utilização desses materiais como matéria-prima secundária, além de contribuir para a sustentabilidade.

2.1.4.4 Tratamentos

O tratamento dos resíduos tem como finalidade neutralizar a periculosidade dos mesmo, a partir disso obtendo a possibilidade de ocorrer a reutilização e a reciclagem. Segundo o site Portal Resíduo Sólidos (2013) pode-se dividir o tratamento em 3 tipos: o tratamento mecânico, tratamento bioquímico e o tratamento térmico.

Para o tratamento mecânico são indicados os resíduos inertes e não inerte, devido ser um procedimento que envolve as características físicas, ou seja, ele pode haver uma quebra das suas partículas, ou compacta-las, ou ter uma separação de fases físicas através da sedimentação, filtragem e decantação, ou promover as mudanças dos estados físicos via condensação ou evaporação.

O tratamento bioquímico é destinado apenas aos resíduos não inertes, pois é efetuado através da ação dos micro-organismos. Podem ser via biodigestor – não há presença de oxigênio – ou pela compostagem – há presença de oxigênio.

Por fim, o tratamento térmico pode ser efetuado pelos resíduos perigosos e os inertes, por receberem calor que resulta em mudanças de suas características, em

consequência de processos físico-químicos, podendo ser através de pirólise – há uma decomposição da matéria a altas temperaturas sem a presença do oxigênio – ou o plasma – a desintegração da matéria para a formação de gases.

2.1.4.5 Disposição final ambientalmente adequada

Para tanto, a disposição final dos resíduos pode-se ser feita basicamente de quatro maneiras: reciclagem, compostagem, aterros sanitários e incineração.

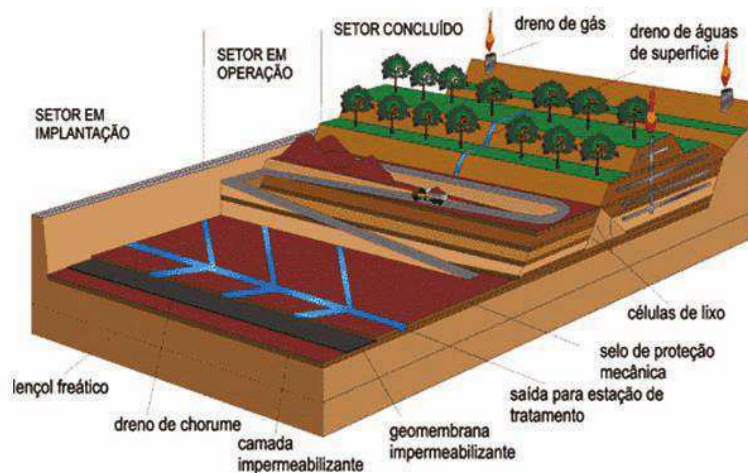
A compostagem acontece pela decomposição da matéria orgânica proveniente de origem animal ou vegetal. No qual os fatores que mais interferem nesse processo são: a temperatura, aeração, umidade, relação carbono:nitrogênio e os nutrientes, que a partir deles possa ser analisado as condições para que haja um aceleração na decomposição do material orgânico (COSTA *et al*, 2005).

O processo de incineração se dá pela diminuição do peso e do volume do rejeito, por meio de combustão controlada. Esse processo necessita de temperaturas acima de 100°C, para que haja um eliminação dos seus resíduos patogênicos e tóxicos que pode-se chegar a 90% do total (NASCIMENTO, 2017).

O lixão se dá pela descarga de resíduos sólidos sobre o solo, sem qualquer critério ou medida de proteção ambiental e/ou saúde pública, no qual os resíduos ficam expostos atraindo vetores de doenças assim como tendo o seu lixiviado infiltrando no solo. Em contrapartida o aterro controlado dispõe de normas técnicas para sua aplicação, tendo assim um maior rigor na segurança visando a saúde pública e os impactos ambientais, porém não possui impermeabilização na camada da base, assim como o lixão, infiltrando no solo (ROSA *et al*, 2006, apud LANZA E CARVALHO, 2017).

O aterro sanitário comparado aos lixões e aos aterros controlados é a forma mais adequada de destinação dos resíduos, no qual proporciona menores danos à saúde pública como também diminuindo os impactos ambientais. De forma geral, o aterro sanitário possui a impermeabilização do solo, ausência de catadores e de animais, sistemas de drenagem de gases, águas pluviais e lixiviado. A figura 4 mostra um exemplo de aterro sanitário.

Figura 4 - Exemplo de Aterro Sanitário



(Fonte: Jucá, 2000)

2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

“A Lei 12.305 em seu artigo 13 item I, subitem h, define resíduos da construção civil como: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (SINIR, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Segundo Rao, Jah e Misra (2006), existem algumas barreiras para o uso do resíduo da construção civil como um agregado, dentre elas podemos citar: a recusa da população – a grande maioria da população não têm acesso a estudos que demonstram que a utilização desses resíduos não comprometem o produto final, a precariedade da qualidade de instalações que promovam a reciclagem, tecnologias ultrapassadas, e também ausência de incentivos do governo.

2.2.1 Classificação

Pode-se classificar os resíduos da construção civil, segundo o CONAMA – resolução 307:2002 – como: classe A, aqueles que podem ser reutilizados ou recicláveis como por exemplo: resíduos de construção e demolição, classe B, recicláveis que são utilizados em outras destinações (vidro, plástico), classe C, não possuem tecnologias ou viabilidade econômica que permitam a reciclagem (gesso), classe D, são definidos como

resíduos perigosos advindos da construção civil (tintas, solventes, óleos, reparos de clinica radiológicas).

2.2.2 Gerenciamento dos resíduos da construção civil

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. (CONAMA, resolução 307, 2002, p.1)

Segundo a resolução do CONAMA nº307 de 2002, os projetos para o gerenciamento dos resíduos da construção civil deve-se abranger as 5 etapas elencadas abaixo:

- Caracterização: identificação e quantificação dos resíduos;
- Triagem: separação dos resíduos levando em consideração suas classes;
- Acondicionamento: haver um confinamento dos resíduos após a geração até o seu transporte;
- Transporte: seguir as normas técnicas para o seu transporte;
- Destinação.

2.2.3 Resíduos de construção e demolições (RCD)

O setor da construção civil é um dos principais geradores de resíduos, no qual propicia cerca de 40% do total da geração de resíduos, tendo sua taxa de geração per capita média de aproximadamente 1,60 kg/hab.dia. (SCREMIN, 2007).

Segundo Mariano (2008), um exemplo da utilização do RCD como um agregado foi a construção do centro de visitantes, galerias de exibição, teatros, lojas de souvenir, cafés, áreas de recreação, salas de aula, centros de pesquisa, no Parque “Wetland” localizado em Hong Kong, no qual foi utilizado a substituição da pedra britada pelo concreto de demolição e a areia pela argamassa. Pode-se concluir que, os agregados reciclados entretanto atingiram valores abaixo da resistência dos agregados naturais, sendo que o concreto reciclado ainda recebeu uma porcentagem de 4% a mais de cimento do que um concreto convencional, logo, inferiu que a utilização desses materiais

reciclados podem ser aplicada, salientando que deverão ser dosados de maneira coerente, a fim de não comprometer a estrutura.

2.2.4 Escória de alto forno (EAF)

A escória de alto-forno é um resíduo siderúrgico industrial constituído, basicamente, de aluminossilicatos cálcicos, como resultado da combinação da ganga do minério de ferro com as cinzas do coque e do calcário utilizado como fundente no processo siderúrgico da fabricação do ferro fundido “ferro-gusa” (VELTEN et al, 2006, p. 236).

Segundo Rebelo *et al.* (2012) a escória de alto forno é um material que possui características físico-químicas quando moída a uma granulometria indicada e com a aplicação de ativadores, o mesmo passa a ter propriedade de aglomerante.

“A mistura da escória granulada moída com o clínquer Portland é uma das formas mais antigas de reciclagem da escória. Atualmente a reciclagem na produção de cimento consome boa parte das escórias geradas no Brasil” (JOHN e AGOPYAN, 2014). A produção de [...] EAF aumentou em todo o mundo, de tal forma que o volume de EAF produzido, em breve, ultrapassará a demanda e o consumo. É essencial, portanto, o contínuo desenvolvimento de processos de reciclagem de EAF novos e avançados (REBELO et al, 2012).

Rebelo *et al.* (2012) promoveu um estudo no qual teve o objetivo de sintetizar materiais do tipo hidrotalcita sem a presença de outras fases cristalinas, por meio da coprecipitação a pH crescente. Logo, fez uso somente da NaOH como agente precipitante. Enquanto, a EAF foi digerida em ácido clorídrico (HCl) e a solução obtida foi misturada com quantidades suficientes de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ para estabelecer a razão molar $Mg/Al = 3,5$. Por fim, teve como conclusão que é possível preparar uma variedade de hidróxidos duplos lamelares, com estruturas semelhantes à da hidrotalcita, fazendo o uso da EAF como matéria-prima.

John e Agopyan (2014) elencaram alguns benefícios da produção do cimento Portland no qual contenha escória de alto forno:

- Redução do calor de hidratação, importante em grande peças de concreto, como barragens;

- Controle da reação de álcali-agregado, que leva a destruição de estruturas expostas à umidade;
- Melhoria da resistência contra a penetração de cloretos. Um fator limitante.

2.2.5 Cinzas volantes

“Estima-se que a produção mundial de cinzas de carvão atinja, na atualidade, mais de 500 milhões de toneladas/ano, das quais apenas cerca de 20% são aproveitadas .” (CHIES et al., 1995, apud MANZ, 2003).

A combustão do carvão pulverizado nas centrais termoeletricas resulta alguns resíduos no qual pode-se identificar como cinzas volantes aquelas cinzas no qual ficam suspensas no ar.

Silva (2017), desenvolveu um estudo com o objetivo de avaliar a potencialidade do emprego de resíduo da construção e demolição (RCD) como agregado graúdo reciclado e cinza volantes na produção de concretos de cimento Portland. Logo, obteve-se que com relação a resistência a compressão dos concretos valores significativamente menores em relação aos concretos tradicionais. Enquanto na resistência à tração por compressão diametral também obteve-se valores menores do que os concretos tradicionais, porém após 50 dias apresentaram resistências de valores maiores em comparação com os mesmo concretos tradicionais.

2.2.6 Resíduos de polimento

2.2.6.1 Granito

O granito é um material que atualmente é bastante utilizado na construção civil, e seu uso vêm em crescente. Diante disso, pode-se deduzir que há um grande volume na geração de resíduos, podendo ser: resíduo da lavra (extração dos blocos), na jazida, corte do granito, polimento das placas, do corte. Pôde-se estimar que são gerados cerca de 400.000 toneladas de resíduos do granito nos processos de corte e polimento (ALVES, 2008).

Costa *et al.* (2010), promoveu um estudo com objetivo de identificar as características químicas, físicas e mineralógicas dos resíduos de granito oriundo da

serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. O estudo destacou que a dinâmica dos resíduos do processamento de granito está intimamente associada a sua granulometria reduzida e elevada superfície da partícula. O alto nível de ferro pode se tornar um fator limitante ao seu uso no solo sendo necessária a extração deste elemento. A reduzida taxa de suspensão coloidal indica um material de pouca mobilidade no solo sendo necessária a adequação de seu manejo. Os resíduos se mostram diversificados em relação à composição mineralógica, mas com potencial para serem utilizados como fertilizantes.

2.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Resíduo sólido industrial: é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. (CONAMA N°313, 2002).

2.3.1 Classificação dos resíduos industriais

Os resíduos industriais podem ser classificados segundo a norma NBR 10.004:2004, como classe I – perigosos – e classe II – não perigosos. Sendo que, a classe II possui duas subclassificações: classe II A – não inertes – e classe II B – inertes.

Os resíduos que constituem a classe I são aqueles que possuem alguma característica que propicie risco a saúde pública devido existir na sua composição elementos que causem inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, com isso provocando ou ajudando com a mortalidade como também ocorrência de doenças, e devido ao seu manuseio de maneira errônea provocando efeitos nocivos ao meio ambiente.

Enquanto os resíduos classificados como classe II B são aqueles que ao serem submetidos à teste de solubilidade não possuem nenhum constituinte solubilizado a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Logo, os resíduos

caracterizados como classe II A serão aqueles que não possuem características que sejam classificados com classe I e nem com classe II B.

2.3.2 Destinação final

Os resíduos industriais podem ter sua destinação final em aterros controlados, aterros comuns, sendo que os mais indicados são os aterros sanitários e os aterros industriais.

Os aterros industriais, se diferenciam um pouco dos aterros sanitários devido a solicitar uma impermeabilização rigorosa da base, como também uma cobertura impermeável para as células que já estão preenchidas. Esse tipo de aterro tem como vantagem se comparado a outros tipos de destinações finais o seu custo mais baixo e por atender uma variedade de resíduos, entretanto a possui também desvantagens que exige uma grande área para ser alocado e necessita que seja feito um monitoramento sempre (NASCIMENTO, 2017).

2.3.3 Resíduo de Polimento de Porcelanato

“Os fabricantes de porcelanato oferecem ao mercado consumidor, basicamente dois tipos de porcelanato: o polido e o rústico. [...] No entanto, o maior consumo é o porcelanato polido” (LIMA, 2015).

O resíduo do polimento é constituído por uma mistura de material cerâmico oriundo do polimento do porcelanato e material abrasivo desprendido durante o processo. O material abrasivo utilizado durante o polimento é geralmente composto por partículas de diamante ou carbeto de silício aglomerados por cimentos à base de cloretos magnesianos. O que evidencia que o resíduo é constituído basicamente por material cerâmico, entretanto ele é descartado diretamente em aterros, apesar do seu potencial como matéria-prima cerâmica alternativa (MARQUES et al., 2007, p.35).

Steiner (2014) promoveu um estudo para verificação da viabilidade de utilização do material de resíduo do polimento de porcelanato em substituição parcial ao cimento Portland, observando a evolução das propriedades mecânicas, seu efeito sinérgico ou pozolânico, juntamente com seu efeito sobre o fenômeno da retração autógena, que é um

agente causador de problemas patológicos. Neste estudo pode-se concluir que houve um excelente desempenho do RPP como um material cimentício suplementa.

Lima (2015) realizou um estudo no qual seu objetivo era avaliar a influência da adição do RPP no comportamento de concretos em relação à resistência à compressão e à corrosão de armaduras desencadeada pela ação de íons cloretos. Obteve-se conclusões, no qual ressalta-se que devido o RPP ser um material de granulometria fina mostrou-se ser um composto adequado para a fabricação de concreto auto adensáveis.

2.4 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Segundo Souza (2018), as principais vantagens para a utilização dos resíduos da construção civil na pavimentação, são:

- A pavimentação é a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia, o que implica em um menor custo do processo;
- A pavimentação permite a utilização de todos os componentes minerais dos resíduos sólidos (concretos, argamassas, materiais cerâmicos areias, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Ocorre uma economia de energia no processo de moagem dos resíduos (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que parte do material permanece em granulometrias graúdas;
- Possibilidade de utilização de maior parcela dos resíduos produzidos, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/trituração;
- Maior eficiência do resíduo quando adicionado ao solo, em relação à mesma adição feita com brita.

2.4.1 RCD

“O RCD é um material nobre ao ponto de vista da engenharia, pois normalmente se apresenta resistente e com baixa expansão. Estas características indicam o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação” (LEITE, 2007).

Leite (2007), promoveu um estudo no qual teve um objetivo estudar o comportamento mecânico do agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil

para empregar nas camadas de pavimentos cujo as vias são de baixo volume de tráfego. Levando em consideração que o agregado reciclado possui uma variabilidade dificultando seu emprego em camadas de pavimentos, pode-se concluir que mesmo este material tendo uma variação de suas propriedades, se for executado de maneira controlada é possível obter um pavimento de bom desempenho.

2.4.2 Escórias de alto forno

Velten *et al.* (2006), promoveu um estudo que tinha como objetivo a melhoria de camadas de base de pavimentos de estradas florestais, no qual foi estudado a inserção da escória de alto-forno em mistura com um solo para aplicação na camada de pavimento de estradas.

Este estudo obteve como resultado algumas conclusões, podendo destacar que a escória utilizada na pesquisa junto com a cal hidratada demonstrou ser eficaz na estabilização do solo proposto (solo residual jovem), como também inserção da escória no solo não provocou nenhuma alteração relevante nos parâmetros ótimos de compactação do solo em questão.

2.4.3 Borracha de pneus

Bertollo *et al.* (2002), promoveu um estudo no qual tinha como objetivo os benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos, diante disso obteve-se as seguintes conclusões:

- Os resultados dos ensaios de trilha de roda indicam que a incorporação de borracha na granulometria fina proporciona efeito benéfico, melhorando o desempenho em termos de resistência à deformação permanente quando comparada à 8 mistura de controle. As relações entre módulo de resiliência e resistência à tração encontradas para as misturas com borracha sugerem, em princípio, uma maior flexibilidade e resistência à fadiga;
- Os ensaios de solubilização e lixiviação mostraram que a incorporação da borracha na mistura asfáltica foi eficiente na sua inertização. Os resultados apresentados indicam que a inclusão de borracha de pneus nas misturas asfálticas não compromete seu desempenho, ao contrário, pode melhorar

algumas propriedades mecânicas, o que torna promissor o seu uso como agregado;

Para tanto, Netto *et al.* (2016), também realizou um estudo que teve foco na utilização da borracha na produção do asfalto, pode-se notar o quanto esse assunto vem sendo discutido e estudado no decorrer dos anos. Logo, o seu estudo teve como objetivo “Unificar a legislação ambiental da logística reversa de pneus no cenário nacional com a viabilidade técnica de produção do asfalto-borracha, diagnosticando os benefícios dessa associação do ponto de vista econômico e sustentável.” Obteve algumas conclusões, nos quais, pode-se ressaltar:

- O emprego da borracha de pneus na mistura asfáltica é uma iniciativa de grande relevância por ser uma alternativa competitiva em termos econômicos e técnicos, contribui para que o país desenvolva uma política ambiental séria e eficiente ao reutilizar os pneus usados e inservíveis na pavimentação de ruas e estradas, ao mesmo tempo em que diminui o uso de recursos minerais empregados como componentes da pavimentação.
- A logística reversa pode ser o agente fomentador dessa aplicação, uma vez que há um déficit anual de coleta e tratamento de pneus inservíveis, passível de ser destinado aos pavimentos asfálticos pela produção de asfalto borracha. Para isso faz-se necessário o incentivo através de políticas público privadas de associação da produção de asfaltos-borracha com logística reversa de pneus inservíveis.

2.4.4 Resíduo de minério de ferro

Apaza et al (2016), estudou a utilização do resíduo de minério de ferro na composição de microrrevestimento do asfalto. A partir dos seus resultados de estudos concluiu-se que nos ensaios de perda por abrasão todas as amostras obtiveram uma diminuição da perda por abrasão. Nos ensaios de excesso de asfalto pela adesão de areia os parâmetros estudados foram atendidos. Por fim, a pesquisa recomendou a utilização da mistura com o teor máximo de 20% do resíduo de mineração do ferro.

2.4.5 Polimento de porcelanato

Araújo e Costa (2015), avaliaram o emprego de misturas de solo e resíduo de polimento de porcelanato (RPP) na pavimentação. A partir dos ensaios utilizados na pesquisa pode-se obter resultados, pode-se destacar que devido o RPP possuir uma granulometria de sedimentos finos acarretou um aumento nos valores da umidade ótima e uma redução da massa específica seca máxima na compactação das dosagens. A partir de todos os resultados encontrados pôde-se concluir que o RPP obteve resultados significativos na sua inserção na composição das misturas, especialmente na dosagem de 10%.

Scheffer e Steiner (2017), também promoveram um estudo com relação a adição do resíduo do polimento de porcelanato nas misturas asfálticas. O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de incorporação de resíduo de polimento de porcelanato como material alternativo a cal hidratada e analisar a sua influência nas propriedades de misturas asfálticas de graduação densa. Os autores concluíram que a adição do RPP proporcionou uma redução do teor de ligante da mistura. Pôde-se constatar a partir do ensaio de resistência a tração e pelos parâmetros com relação ao desgaste, estabilidade e fluência, que a inserção do RPP nas misturas asfálticas provoca algumas melhorias relevantes nas propriedades das misturas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Ligante asfáltico

Nesta pesquisa utilizou-se o CAP 50/70 fornecido pela empresa Rocha Cavalcante. Seguindo à norma do DNIT - ME 095/2006 (Cimento asfáltico de petróleo – especificação de material) que tem como objetivo fixar as características exigíveis para CAP aplicado na pavimentação, obteve-se limites que seguem como referência para os valores encontrados nos ensaios, a tabela 1 apresenta esses limites assim como os valores determinados por ensaios mecânicos para o CAP.

Tabela 1 - Caracterização do CAP

Características	CAP Puro	Limites
Penetração (0,1mm)	49	50-70
Ponto de Amolecimento (°C)	48.25	46 (mín)
Viscosidade Rotacional 135°C (cp)	385	274 (mín)
Viscosidade Rotacional 150°C (cp)	193	112 (mín)
Viscosidade Rotacional 177°C (cp)	71	57 - 285

Analisando os resultados encontrados a partir dos ensaios e comparando com os limites apresentados nota-se que o valor médio para o ensaio de penetração foi abaixo do limite, porém é um valor aceitável por ser próximo do limite.

3.1.2 Agregados

Para a execução desta pesquisa foram utilizados como agregados graúdos a brita 19mm e a brita 9,5 mm. O agregado miúdo utilizado foi o pó de pedra, e cal hidrata como filer (Figura 5).

Figura 5 - Amostra de (a) brita 19, (b) brita 9,5, (c) pó de pedra e (d) cal hidratada



3.1.3 Resíduo do Polimento do Porcelanato

O RPP utilizado foi fornecido pela empresa Elizabeth. Foi coletado com elevada umidade devido aos processos de polimento. Como opção de beneficiamento decidiu-se colocar o RRP em estufa submetido a uma temperatura de $\pm 100^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas. Em seguida o material foi peneirado na #200 para ficar com granulometria compatível com um filer ($>65\%$ passante na #200). A figura 6 mostra o resíduo antes e após o beneficiamento.

Figura 6 - a) Resíduo úmido; b) Resíduo após o beneficiamento



3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do agregado

Para os ensaios de caracterização dos agregados tomou-se como base as normas do DNIT, com o auxílio das NBR. Sendo assim, a tabela 2 apresenta cada ensaio e a norma seguida.

Tabela 2- Ensaios de caracterização e as normas utilizadas

Ensaios de caracterização	Normas
Granulometria	DNIT-ME 083/98
Massa específica	NBR NM 52 e NBR NM 53

3.2.1.1 Granulometria

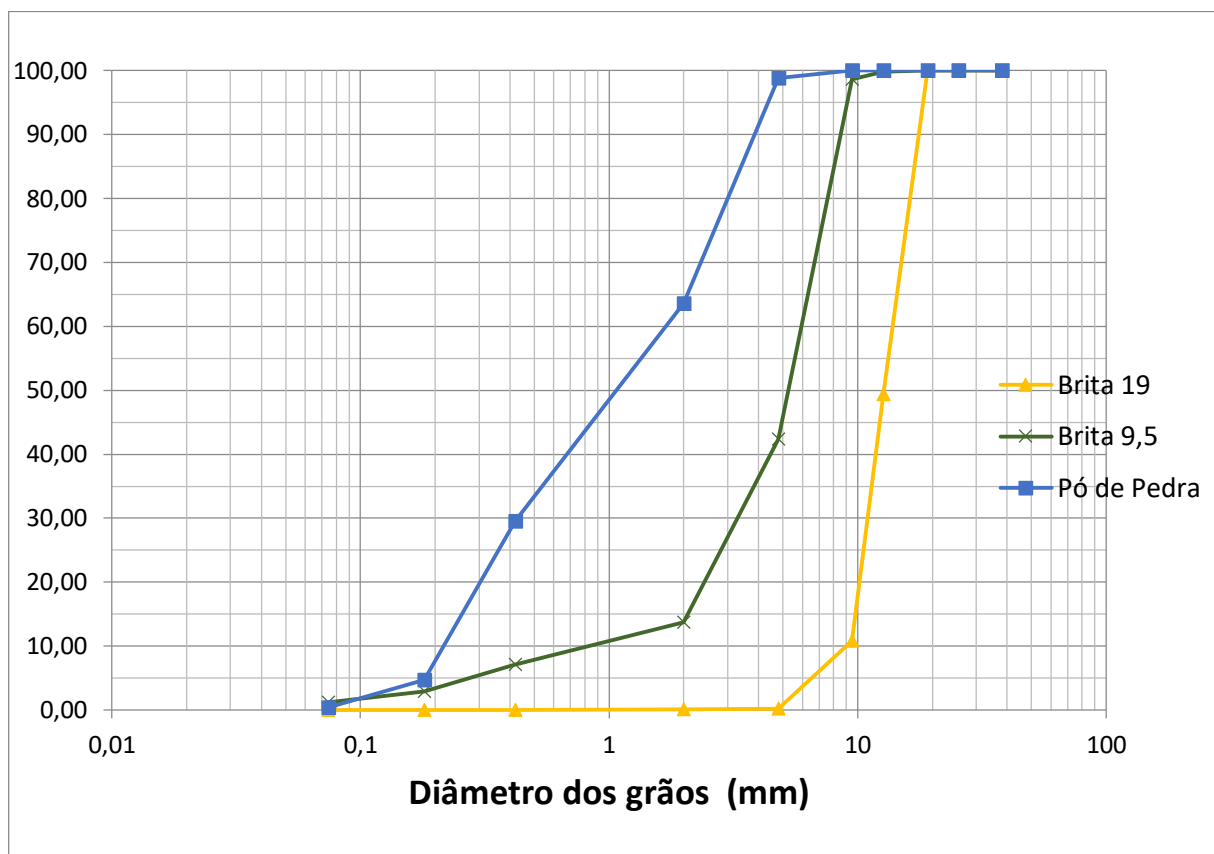
O ensaio de granulometria foi realizado seguindo a norma DNIT – ME 083/98, no qual o material para o ensaio ficou na estufa à 110°C por um período de 4 horas para retirar a sua umidade, e logo em seguida foi peneirado nas peneiras com malhas de abertura de 0,0074 mm, 0,18 mm, 0,42 mm, 2,0 mm, 4,8 mm, 9,5 mm, 12,7 mm, 19,1mm, 25,4 mm e 38,1 mm.

A tabela 3 e a figura 7 expõem os dados da distribuição granulométrica obtida nos ensaios.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica

Quantidade passante acumulada (%)				
Peneira	Peneira (mm)	Brita 19	Brita 9,5	Pó de pedra
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,1	100	100	100
1/2"	12,7	49,33	99,86	100
3/8"	9,5	10,86	98,61	100
N° 4	4,8	0,19	42,33	98,83
N° 10	2	0,07	13,71	63,59
N° 40	0,42	0,06	7,16	29,56
N° 80	0,18	0,04	2,89	4,74
N° 200	0,074	0,02	1,17	0,43

Figura 7 - Curva granulométrica

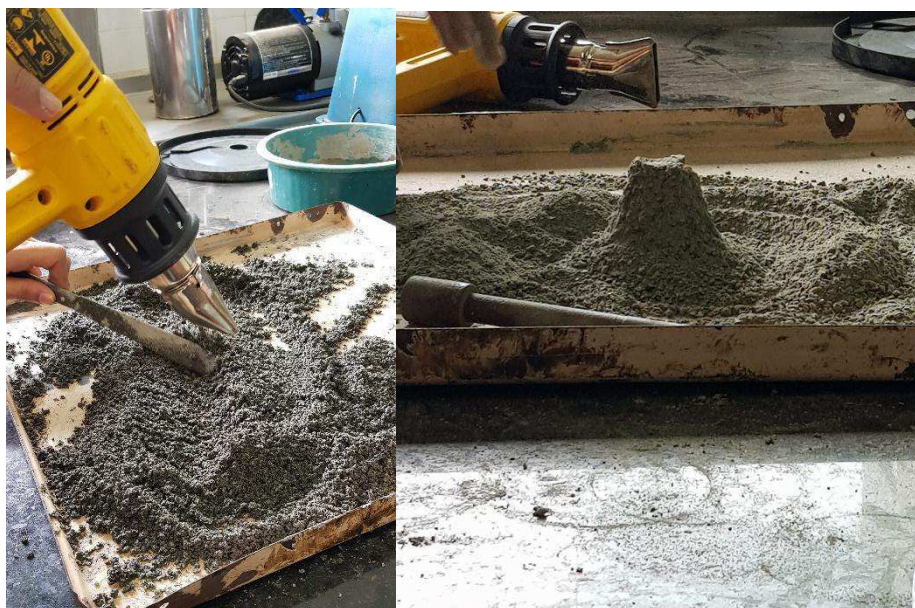


3.2.1.2 Massa específica e absorção

Os ensaios de massa específica e absorção foram realizados a partir das normas ABNT NM 52 (agregado miúdo) e ABNT NM 53 (agregado graúdo).

Para o ensaio do agregado miúdo (pó de pedra) separou-se três amostras de 500 g, sendo uma delas para o ensaio de absorção. O processo de preparação da amostra também seguiu a norma ABNT NM 52 no qual uma amostra de 2 kg (passante na peneira 4,8 mm e retida na peneira 0,074 mm) foi imersa em água por 24 horas e logo após o agregado foi submetido a uma secagem mas preservando o seu estado saturado mas com a superfície seca, para isso fez-se testes com a amostra através de um molde de tronco de cone dando 25 golpes nela e verificando se com a retirada do molde a amostra permanecia com o formato do molde ou se a estrutura desmoronava, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Secagem da amostra do pó de pedra



Assim que o agregado estivesse na sua condição de saturado com a superfície seca, colocou-se uma amostra de 500 g no picnômetro, de forma que determinasse a massa do picnômetro + amostra. Logo após, inseriu-se água destilada no conjunto, de maneira que água cobrisse a amostra no picnômetro. A partir disso o conjunto foi imerso em água durante ± 1 hora, e depois completou-se o picnômetro com água e pesou-se.

Para os agregados graúdos foram separadas amostras de 2000g para a brita 9mm e 3000g para a brita 19mm, seguindo a norma ABNT NBR NM 53. As amostras foram lavadas e colocadas em estufa por um período de 4 horas a 110°C. Em seguida, resfriou-se as amostras à temperatura ambiente e imergiu em água por ± 24 horas, ao passar do tempo a amostra foi seca superficialmente de forma que ela ficasse saturada com a superfície seca e pesou-se. Logo após, ela foi imersa em água num recipiente no qual pesou-se de forma submersa. Novamente o material foi colocado na estufa por 4 horas e pesou-se.

A tabela 4 apresenta os valores das massas específicas reais e aparente e a absorção dos agregados (brita 19mm, brita 9,5mm e pó de pedra). Os resultados encontrados são típicos para os agregados de origem granítica utilizados na região.

Tabela 4 - Valores das massas específicas reais e aparentes e absorção

Agregado	Massa específica real (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção (%)
Brita 19mm	2,72	2,7	0,35
Brita 9,5mm	2,64	2,57	1,96
Pó de pedra	2,45	2,44	0,16

3.2.2 Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo

Para a caracterização do CAP foram utilizados os seguintes ensaios com auxílio das normas como mostra a tabela 5.

Tabela 5 - Ensaios de caracterização do CAP

Ensaios	Normas
Viscosidade Rotacional	NBR 15 184/2007
Ponto de Amolecimento	DNIT ME 131/2010
Penetração	DNIT ME 155/2010

3.2.2.1 Viscosidade Rotacional

Executou-se o ensaio de viscosidade rotacional seguindo a NBR 15 184/07, no qual tem como objetivo determinar a viscosidade através do torque necessário para a rotação de spindle imersa na amostra de aproximadamente 8 gramas de ligante, considerando as temperaturas de 130, 150 e 177°C e as velocidades de 20,50 e 10rpm, respectivamente. Utilizou-se o equipamento viscosímetro Brookfield modelo DVII, que possui um controlador de temperatura THERMOSEL acoplado, conforme a figura 9.

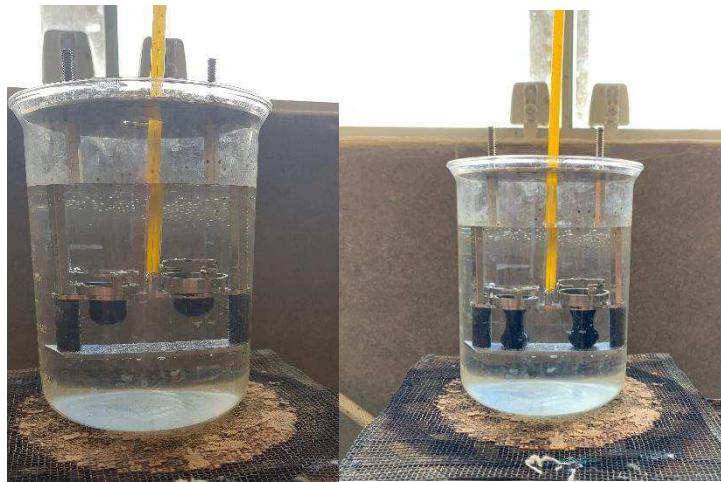
Figura 9 - Equipamento viscosímetro Brookfield



3.2.2.2 Ponto de Amolecimento

Para o ensaio de ponto de amolecimento a norma DNIT ME 131/2010 foi utilizada. O conjunto do equipamento anel, esfera metálica e CAP foram colocados imerso em água num béquer ao qual foi aquecido gradativamente. A temperatura do ponto de amolecimento é definida como a menor temperatura em que a esfera em conjunto com o CAP encosta na parte inferior do conjunto (figura 10).

Figura 10 - Ponto de amolecimento



3.2.2.3 Penetração

O ensaio de penetração foi regido pela norma DNIT ME 155/2010 no qual a penetração determinada pela profundidade, em décimos de milímetros, que a agulha penetra a amostra. A norma supracitada adotada as seguintes condições: tempo de 5 segundos, carga de 100g e temperatura de 25°C. A figura 11 representa o Penetrômetro utilizado no ensaio.

Figura 11- Penetrômetro



3.2.3 Dosagem SUPERPAVE

Para a dosagem SUPERPAVE seguiu os requisitos da mistura asfáltica conforme o fluxograma da figura 12.

Figura 12 - Fluxograma da dosagem SUPERPAVE



(Fonte: BERNUCCI et al., 2008)

A compactação da mistura realizou-se através do Compactador Giratório SUPERPAVE (CGS) como mostra a figura 13.

Figura 13 - Compactador Giratório SUPERPAVE



Inicialmente, a determinação da composição granulométrica foi realizada a partir da granulometria dos agregados (brita 19, brita 9,5, pó de pedra e filer) utilizados nesta pesquisa. Para tanto elaborou-se uma curva de Fuller intermediária (figura 14) compreendendo a faixa C, especificada pelo DNIT, como também as restrições e os pontos de controle. A partir disso pode-se determinar a proporção dos agregados na mistura (tabela 6).

Figura 14 - Curva de Fuller

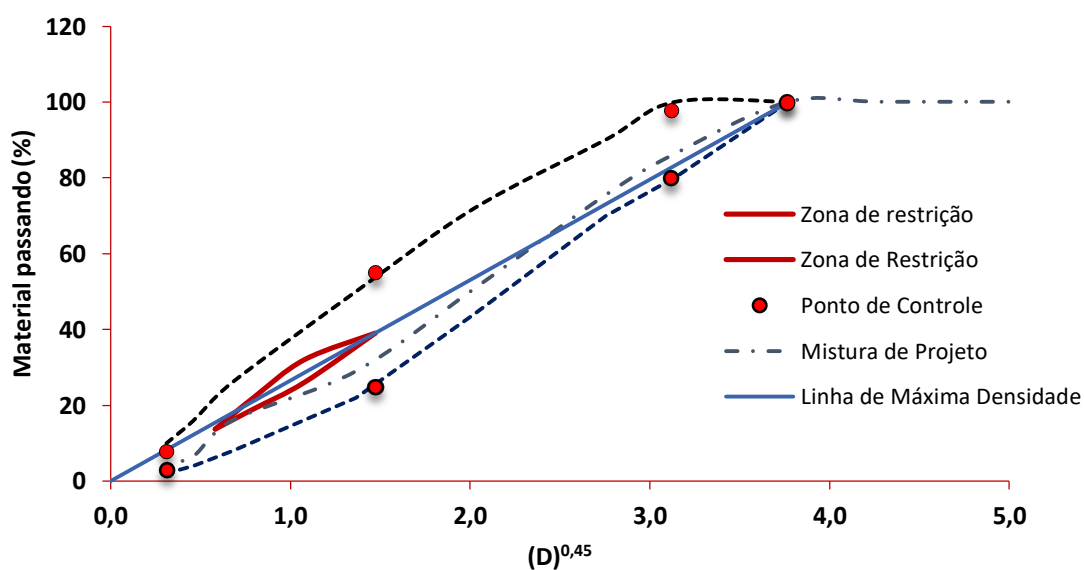


Tabela 6 - Proporção dos agregados na mistura

Brita 19mm	Brita 9,5mm	Pó de pedra	Filer
27%	31%	38%	4%

As temperaturas de usinagem e compactação foram determinadas a partir do ensaio de Viscosidade Rotacional, como indicado na tabela 7.

Tabela 7 - Temperaturas de usinagem e compactação

Temperaturas	
Temperatura do Ligante	153 °C
Temperatura dos Agregados	165 °C
Temperatura de Compactação	142 °C

Tendo como base o método da SUPERPAVE, que tem como critério o volume de vazios de 4%, estimou-se um teor inicial para o CAP a fim de moldar corpos de prova em vistas de determinar o teor correto para o ligante. Portanto, estimou um teor de 5,0% e realizando também misturas com teores de $\pm 0,5\%$ e 1,0% em relação aos 5,0%.

A densidade máxima das misturas (Gmm) foi determinada através do Rice Test. Para o cálculo foi necessário uma amostra de aproximadamente 2500g. Primeiramente pesou-se a amostra de cada teor, subsequente o conjunto molde metálico + água. Em seguida, o conjunto molde metálico + mistura + água (figura 15) foi submetido a uma pressão a vácuo no recipiente de 30 mmHg, num intervalo de tempo de 15 min. Após transcorrido o tempo, o conjunto final foi preenchido com água e pesou-se.

Figura 15 - Equipamento Rice Test



Para o cálculo da Gmm, utilizou-se da expressão 1:

$$G_{mm} = \frac{A}{A-(C-B)} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

A = Massa da amostra seca ao ar (g);

B = Massa do recipiente metálico imerso em água (g);

C = Massa do recipiente + amostra imerso em água (g);

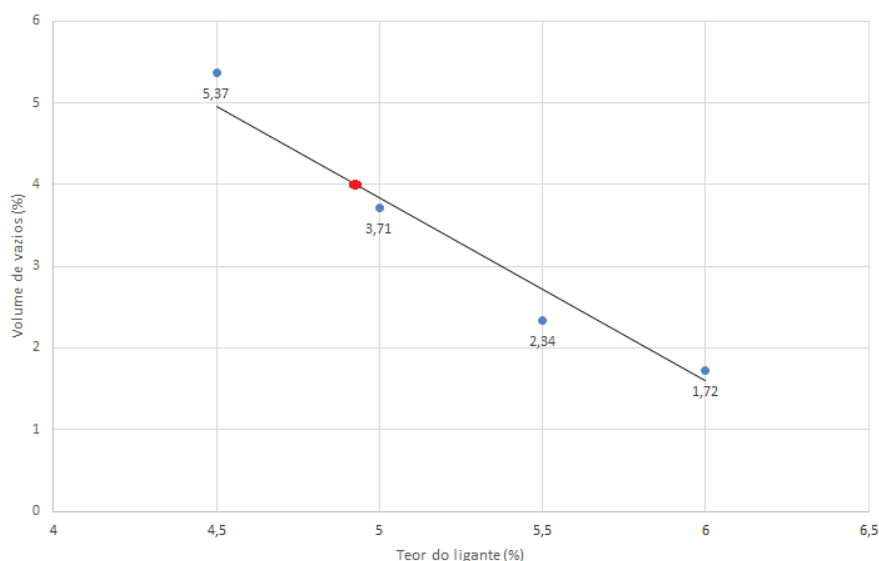
Para a determinação do teor do ligante retirou-se medidas, altura e diâmetro, a partir dos corpos de prova (CP) moldados (4,5%, 5,0%, 5,5% e 6,0%) como também pesou seco e submerso em água cada CP. Desse modo, pôde-se determinar os parâmetros volumétricos apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Valores dos parâmetros

Valores dos parâmetros					
	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	Valores Normalizados
Vv (%)	5,37	3,71	2,34	1,72	4%
VAM (%)	14,63	14,34	14,48	14,81	> 13%
Gmm (%)	94,63	96,29	97,66	98,28	96%
RBV (%)	72,13	72,23	72,99	73,8	65% < RBV < 75%

A partir da tabela 8 pode-se verificar que a porcentagem de CAP na mistura não atendeu a especificação de volume de vazios de 4%, portanto, a partir da reta do teor do ligante versus o volume de vazios (figura 16) pôde-se determinar o teor ótimo da mistura de 4,9%.

Figura 16 - Gráfico volume de vazios versus teor do ligante



3.2.4 Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica foram realizados os ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT), Módulo de Resiliência (MR) e Resistência ao Dano por Umidade Induzida – Lottman Modificado. A tabela 9 indica as normas utilizadas para cada ensaio.

Tabela 9 - Ensaios caracterização mecânica

Ensaios	Normas
Resistência à Tração	DNIT ME 136/2010
Módulo de Resiliência	NBR 16018/2011
Lottman Modificado	AASHTO T 283/2002

3.2.4.1 Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral

O ensaio de Resistência à Tração foi realizado segundo a norma do DNIT ME 136/2010. Foram utilizados 2 corpos de prova com o filer sendo a cal hidratada (4%), e mais dois corpos de prova com o RPP (4%), a fim de comparar o efeito da substituição do filer, tendo como teor de ligante o teor ótimo determinado a partir da dosagem SUPERPAVE.

O corpo de prova foi colocado em uma superfície cilíndrica tendo como aplicação de forças por dois frisos metálicos de mesmo comprimento do corpo de prova. Em

seguida, foi aplicada uma carga com uma velocidade de deslocamento de $0,8 \pm 0,1$ mm/s até o momento de ruptura em duas partes do corpo de prova, de acordo com um plano vertical diametral. A figura 17 mostra o equipamento utilizado neste ensaio.

Figura 17 - Equipamento para o ensaio de Resistência à Tração



Para o cálculo da resistência à tração utilizou-se a equação 2:

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi D H} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

σ_t = resistência à tração;

F = carga de ruptura;

D = diâmetro do corpo de prova;

H = altura do corpo de prova;

3.2.4.2 Módulo de Resiliência

O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado seguindo à norma NBR 16018/2011, utilizando a prensa UTM-25 (figura 18). O valor de MR é obtido a partir da associação da tensão de tração aplicada e sua deformação devido a esta tensão.

Figura 18 - Prensa UTM - 25



3.2.4.3 Resistência ao Dano por Umidade Induzida – Lottman Modificado

Para o ensaio de Lottman Modificado a norma utilizada foi a AASHTO T 283/200 que tem como objetivo a avaliação dos danos causados nas misturas asfálticas em consequência de submeter os corpos de prova em decorrência da ação de ciclos de gelo-desgelo.

A realização do ensaio foi feita a partir da compactação de 6 corpos de prova com o filer sendo a cal hidratada e mais 6 corpos de provas com o RPP. O número de giros usado no compactador foi de 25 para que o volume de vazios da amostra ficasse por volta de 7%.

Os corpos de prova foram separados em dois grupos: condicionados e não condicionados, no qual cada grupo com 3 corpos de prova de cada filler. Os corpos de prova condicionados foram submetidos em um recipiente a vácuo em uma pressão de 250-650mmHg (figura 19) até uma saturação de 70 a 80%. Após esse período, o CP passou por 5 a 10 min sem vácuo de pressão, depois de decorrido esse tempo o mesmo foi posto em sacos plásticos adicionando 10ml de água destilada e colocados em refrigeração por 16 horas na temperatura de -18°C.

Figura 19 - Recipiente a vácuo



Após o congelamento, os CP's ainda envoltos por sacos plásticos foram submetidos a uma temperatura de 60° C, em torno de 24 horas. Depois de transcorrido esse tempo, os mesmos foram colocados imerso em água a uma temperatura de 25° C em vista de estabilizar a temperatura. Com a estabilização da temperatura, foram retirados dos sacos plásticos e realizada a ruptura para determinação da Resistência à Tração (RTu).

Os CP's não condicionados foram imersos em água a 25° C para também estabilizar a temperatura e em seguida realizou-se a ruptura para determinação da Resistência à Tração (RT).

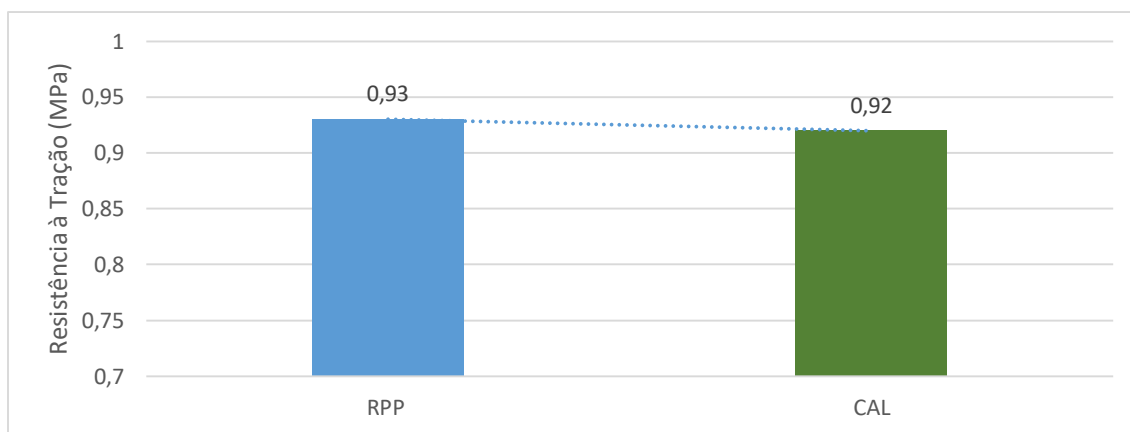
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

4.1.1 Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral

Os resultados do ensaio de Resistência à Tração estão apresentados na figura 20, no qual foram obtidos a partir de uma média de dois corpos de prova. Pode-se observar que os resultados encontrados atendem a norma do DNIT ES 031/2006 que tem como limite mínimo de 0,65 Mpa.

Figura 20 - Gráfico do resultado de Resistência à Tração



Nota-se que os valores encontrados para as misturas com o filler RPP e com a Cal foram muito próximos, cerca de 1% a diferença entre eles. Scheffer e Steiner (2017) utilizando na mistura um CAP 50/70 encontraram uma diferença de valores cerca 4,5%, sendo o valor para a cal de 2,2 Mpa e para o RPP de 2,10 Mpa. Tem-se que levar em consideração que Scheffer e Steiner (2017) fizeram sua mistura com 2% de filler e para cada filler encontrou um teor ótimo para o ligante (para a cal 4,25% e para o RPP 4%), portanto conclui-se que o RPP e a cal apresentam valores similares para o RT.

Gottardi (2015) estudou a incorporação de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) e escoria moída de aciaria (EMA) como filler em misturas asfálticas a dosagem Marshall. Utilizando vários teores de mistura, pode-se usar como comparativo as mistura de 2% de filler, verificou que o RBRO em relação a cal obteve uma diferença de 2,8% no valor do RT, enquanto o EMA 1,4%. Portanto, a substituição da cal por um

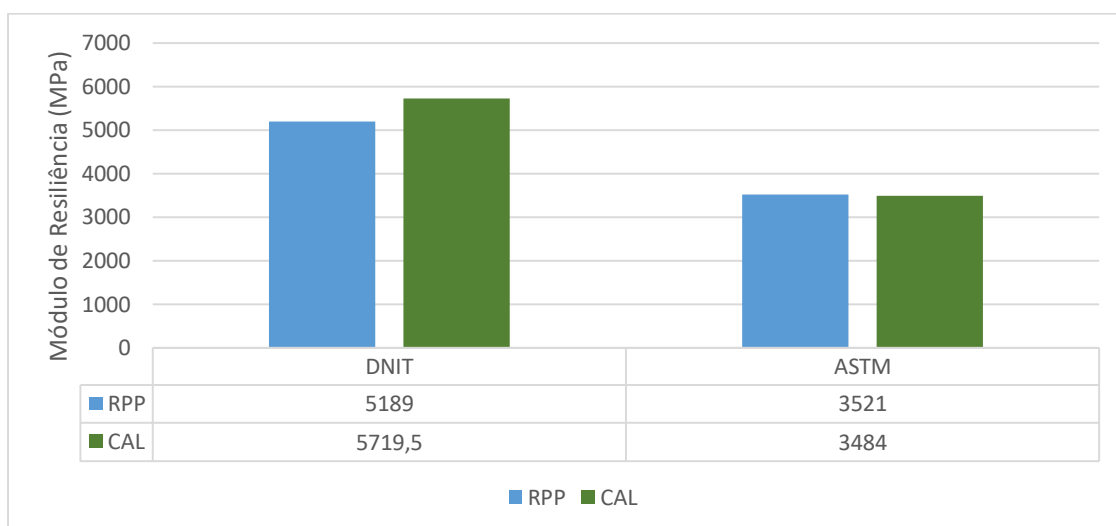
resíduo de industriais não altera a resistência à tração de maneira significativa, se tornando viável sua utilização.

4.1.2 Módulo de Resiliência

A figura 21 apresenta os resultados do ensaio do Módulo de Resiliência para cada filer (cal e RPP). De acordo com Bernucci et al (2008) os valores característicos para as misturas são entre 2000 e 8000 Mpa, nota-se que os valores encontrados nesta pesquisa se enquadram nesse parâmetro.

Os valores determinados pelo DNIT foram relativamente próximos, tendo a cal uma maior resistência, entretanto, para o ASTM obtiveram-se valores muito similares, tendo o RPP um pouco de resistência a mais, sendo assim, a adição do RPP na mistura não interferiu significativamente no valor do módulo.

Figura 21 - Gráfico Resultado do Módulo de Resiliência



Dantas (2019) promoveu um estudo no qual comparou a adição de RBRO com a cal nas misturas asfálticas. O autor estudou quatro tipos de teor no filer (2% de cal; 1% de cal + 1% de RBRO; 1,5% RBRO + 0,5% de cal; 2% de RBRO), utilizando o CAP 50/70. Como resultados, os módulos para o DNIT foram de 5865,72 Mpa, 5798,67 Mpa, 6724,33 Mpa e 6771 Mpa, para cada teor respectivamente. Já para a ASTM de 3411,56 Mpa, 3866 Mpa, 4666,67 Mpa e 4732 Mpa. A partir desses valores percebe-se que a inserção do RBRO na mistura proporcionou um aumento no valor do módulo.

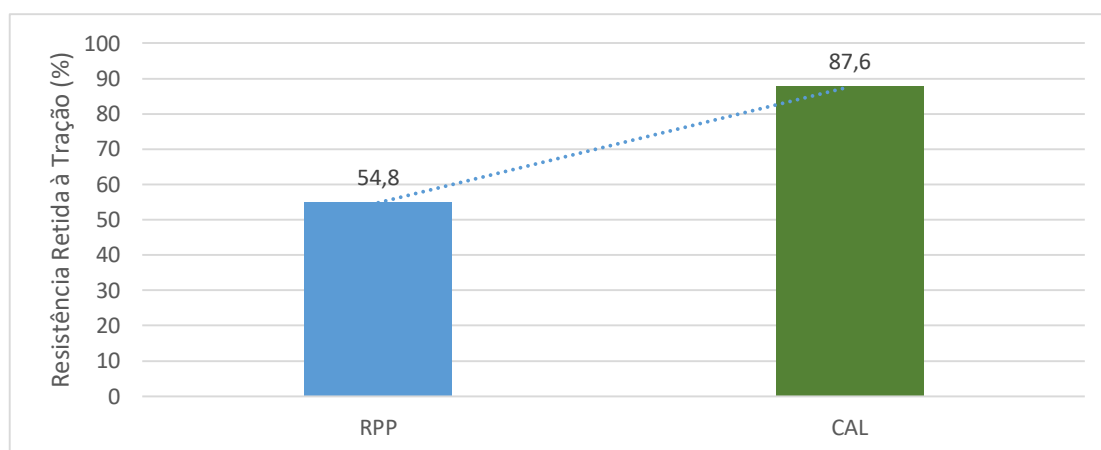
Comparando os valores encontrados por Dantas (2019) e os desta pesquisa conclui-se que a cal apresentou resistências similares tanto para o DNIT quanto para o

ASTM, todavia o RPP quando comparado com o RBRO não obteve o mesmo comportamento, ou seja, não houve aumento do módulo.

4.1.3 Lottman modificado

Os resultados da Resistência Retida à Tração (RRT) está exposto na figura 22, no qual o RRT é a relação da porcentagem entre a Resistência à Tração pelos corpos de prova submetidos ao confinamento (RTU) e a Resistência à Tração dos corpos não confinados.

Figura 22 - Resultado da Relação da Resistência Retida à Tração



Segundo o critério da AASHTO T 283 (1989) a porcentagem de aceitação para o RRT é de 80% enquanto para o DNIT 031/2006 é de 70%. A partir da figura 23 pode-se indicar que a mistura asfáltica com o filler RPP ficou abaixo das porcentagens preconizadas por norma, entretanto a mistura com a cal apresentou ter maior resistência à umidade induzida. De acordo com Gama (2013), a adição da cal hidratada como filler mineral age como agente melhorador de adesividade em misturas asfálticas.

Gottardi (2015) realizou o ensaio de Lottman modificado obtendo resultados para a porcentagem de filler de 2% de 71,6% para a mistura com a cal, 81,3% para a RBRO e 89% para EMA. Enquanto para a porcentagem de 4% de filler o RBRO apresentou uma diminuição do valor para 57,6% enquanto a EMA teve um aumento para 93,4%. Pode-se notar que o RBRO teve um resultado similar ao RPP quando comparados na mesma porcentagem na mistura.

Os resultados para Dantas (2019) neste ensaio apresentaram-se abaixo dos 70%, tendo a amostra composta apenas pela cal com 68,14% o seu RRT, 1% de cal + 1% de RBRO de 67,02% o RRT, 1,5% de RBRO e 0,5% de cal de 66,39 e 2% de RBRO teve 64,11% o

seu RRT. Percebe-se que a medida que a porcentagem do RBRO foi aumentando na mistura o valor de RRT foi diminuindo. Dantas (2019) baseado em outros estudos explicou que a ineficiência da inserção deste material na mistura asfáltica como agente melhorador de adesividade pode se dá devido aos cristais formadores do mármore, que não se comportam da mesma maneira com relação aos compostos da cal hidratada, como também a existência da sílica no composto por causa do granito.

5 CONCLUSÃO

Diante de todas as análises realizadas neste trabalho pode-se concluir que:

- No ensaio de Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral, nota-se que os valores obtidos para o filer a cal e para o RPP foram praticamente os mesmos, possuindo uma diferença de apenas 1%. Demonstrando assim que não houve prejuízo na resistência da mistura com a troca do filer.
- Para o ensaio do Módulo de Resiliência obteve-se valores também próximos, tendo pelo DNIT o valor da cal um pouco maior, e pelo ASTM muito similar sendo o RPP levemente maior.
- O ensaio de Lottman modificado demonstrou uma grande perda na resistência na inserção do RPP em comparação à amostra com a cal. Tendo a amostra com a cal um valor de 87,6% o RRT, acima do valor aceitável tanto para DNIT (70%) quanto para AASHTO (80%), enquanto o RPP um valor de 54,8%.

Portanto, a princípio o RPP demonstrou resultados satisfatórios na modificação do filer. Nos ensaios de RT e MR, possuiu valores acima dos aceitáveis como também apresentou semelhança em comparação com a cal. Entretanto, para o ensaio do Lottman modificado apresentou valores bem abaixo do recomendável. Esta deficiência poderia ser solucionada utilizando-se um aditivo melhorador de adesividade (dope).

Portanto, como conclusão geral da pesquisa, o RPP apresenta-se como um material com potencial uso na forma de filer em misturas asfálticas. Esta alternativa de destinação final representaria um benefício tanto do ponto de vista ambiental como também poderia agregar valor a um material sem valoração.

REFERÊNCIAS

AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 283. **Standard method of test for resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage.** Washington, D.C., 2002.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 10004. **Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15184. **Materiais betuminosos: determinação da viscosidade em temperatura elevada usando um viscosímetro rotacional.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 16018. **Misturas asfálticas – Determinação da rigidez por compressão diametral sob carga repetida.** Rio de Janeiro, 2011.

ALVES, Moisés Silva. **Estudo das Características e da Viabilidade do Uso de Resíduos Gerados no Polimento de Rochas Graníticas como Adição em Concretos.** Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção Civil) – Escola de Engenharia UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

APAZA, F. R.; GUIMARÃES, C. R.; SOUSA, M. A. da S.; CASTRO, C. D. **Estudo sobre a utilização de Resíduo de Minério de Ferro em microrrevestimento asfáltico. Transportes.** (2016).

ARAÚJO, S. C. J. F. N.; COSTA, C. M. L. **Avaliação do emprego de misturas de solo e resíduo de polimento de porcelanato para pavimentação.** 2015. UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BECK, C. G.; ARAÚJO A. C.; ATAÍDE, G. Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de João Pessoa: Aplicação do Modelo P-E-R. **Qualitas Revista Eletrônica.** João Pessoa, Vol. 8, No 3. (2009).

BERNARDINA, A. M.; FELISBERTO, D. DE S.; (2006). **Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular**. Cerâmica Industrial. Dez, 2006.

BERNUCCI L. B., MOTTA, L. M., CERATTI J. A. P., SOARES J. P. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

BERTOLLO, S. M; JÚNIOR, J. L. F.; SCHALCH, V. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. 2002.

BRASIL. LEI Nº 12305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.

BREITENBACH, S. B.; SANTOS, O. C.; ANDRADE, C. S.; NASCIMENTO, R. M.; MARTINELLI, A. E. (2017). **Adição de Resíduo do Polimento de Porcelanato em argamassas de restauro à base de cal**.

CAETANO, A. L. A.; BARBOSA NETO, M. C.; FULGÊNICO E. B. Gr.; MACEDO, D. A.; FERREIRA, H. S.; DUTRA, R. P.S. 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016, Natal. **Caracterização do Resíduo Provido do Polimento do Porcelanato Submetido ao Processo de Hidrociclonagem**. João Pessoa, 2016.

CASSAGRANDE, M. C.; SARTOR, M. N.; GOMES, V.; DELLA, V. P.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A. P. N. (2008). **Reaproveitamento de Resíduos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico**. Cerâmica Industrial. Jan, 2008.

CHIES, F.; DA SILVA, N. I. W.; ZWONOK, O. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. 2003. Coletânea Habitare – volume 4.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>.

CONCEIÇÃO, Marcellino do Nascimento. (2008). **Avaliação Mecânica e acústica do Pavimento Asfáltico Formado com Resíduos Oriundos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. Química, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

COSTA, A. S. V.; HORN, A. H.; DONAGEMMA, G. K.; SILVA, M. B. **Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas.** (2010). Laboratório de química e fertilidade do solo da Universidade Vale do Rio Doce, Faculdade de Ciências Agrárias. Governador Valadares – MG.

COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SESTAK, D.; KAUFMANN A. V.; ROTTA, S. R. **Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão.** Eng. Agríc. Jaboticabal, v.25, n.2, p 540-548, maio/ago. 2005.

DA SILVA, Sérgio Roberto. **Contribuição ao estudo dos concretos compostos com agregados graúdos de construção e demolição e cinza volante, em diferentes teores de substituição.** 2017. 73 p. Dissertação (Engenharia e Tecnologia dos Materiais) – Potinícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

DANTAS, Tayná Araújo. **Utilização de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como filler em misturas asfálticas.** 2019. Trabalho de conclusão de curso – Centro de Tecnologias e Recursos Naturais – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DE OLIVEIRA, João Carlos. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis.** 2007. 190 p. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 083/98. **Agregados – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 131/2010. **Materiais Asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola.** Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 136/2010. **Pavimentação Asfáltica - Misturas Asfálticas –Determinação da resistência à tração por Compressão Diametral.** Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 155/2010 - **Material asfáltico - determinação da penetração.** Rio de Janeiro, 2010.

DO NASCIMENTO, Geizimara Nazaré Oliveira. **Resíduos Sólidos Industriais.** 2017. 20 p. Monografia – Coordenadoria do Curso de Química, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei.

DOS SANTOS, A. S.; LEANDRO, E. A. **Estudo da Aplicação de Asfalto Fresado e Resíduo de Rocha Ornamental como Base e Sub-Base de Pavimentos**. 2017. 100 p. Monografia – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiás.

EXAME. **O Brasil é o segundo maior produtor mundial no setor de revestimentos**. (2017). Disponível em <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/brasil-e-o-segundo-maior-produtor-mundial-no-setor-de-revestimentos-shtml/>>.

GOTTARDI, Eduardo Valadares. **Aproveitamento do Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais e de Escória moída de Aciaria como Fíler em Pavimentos de Concreto Asfáltico**. 2015. 134 p. Dissertação – Centro tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Escória de Alto Forno no Brasil**. 2014. Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da USP.

JUCÁ, José Fernando. **Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos**. 2000. Disponível em <https://www.researchgate.net/figure/Figura-23-Aterro-sanitario-de-residuos-solidos-urbanos-Fonte-IPT-2000_fig46_268811770>.

KRAMER, Ilton Roberto. **Utilização de Resíduo de pintura industrial incorporado na pavimentação**. 2016. 66p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

LEITE, Fabiana da Conceição. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. 216 p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, Evelyne Emanuelle Pereira. **Concreto auto adensável produzido com resíduo de polimento do porcelanato – comportamento em relação à corrosão de armaduras**. 2015. 110 p. Dissertação – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

Logística Reversa. Alvo Consultoria e Treinamentos. Disponível em: <<https://www.alvoconsultoria.eco.br/bons-motivos-para-sua-empresa-ter-um-pgrs/logistica-reversa/>>.

MARTIN, Catarina Magnani Moreira Saint. (2008). **Utilização do Rejeito Oriundo do Corte de Rochas Ornamentais como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica**. Engenharia Química, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARQUES, L. N.; MENEZES, R.R.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. **Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica**. Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 2.2. (2007).

NASCIMENTO, Geizimara Nazaré Oliveira. **Resíduos Sólidos Industriais**. 2017. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei.

NETTO, Q. M. P.; REIS, A. C. C.; NETO, B. J. B.; **Estudo da logística reversa de pneus, solução econômico-sustentável a partir da produção de asfalto-borracha**. 2016. Revista científica do centro de estudos em desenvolvimento sustentável da UNDB, número 5 – volume 1 – ago/dez 2016.

Política Nacional do Meio Ambiente – Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente. Agosto 2012.

PNRS e o ciclo de vida dos produtos. EnCiclo soluções sustentáveis. Julho 2016. Disponível em: <<https://blog.enciclo.com.br/pnrs-e-o-ciclo-de-vida-dos-produtos/>>.

REBELO, M. M.; CUNHA, M. V. P. DE O.; CORRÊA, J. A. M. **Hidróxidos duplos lamelares à base de escória de alto forno**. 2012. Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará, Belém.

Resíduos Industriais. NR 25. Portaria nº 227, 24 de maio de 2011.

ROSA, B. P.; PAULA, B. C. L.; COLEONE, E. S. A.; CAMPOS, F.; **Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no município de São Paulo, sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. 2017.

SALES, Rosemary. **Classificação dos Resíduos Sólidos segundo a origem**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Classificacao-dos-residuos-solidos-segundo-a-origem_fig1_325134500>.

SCHEFFER, Carlos Alexandre; STEINER, Luiz Renato. **Influência da adição de resíduo de polimento de porcelanato nas propriedades de misturas asfálticas densas.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Unesc. 2017.

SCREMIN, Lucas Bastianello. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte.** 2007. 152 p. Dissertação – Departamento de Engenharia sanitária e ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, Sérgio Roberto. **Contribuição ao estudo dos concretos compostos com agregados graúdos de construção e demolição e cinza volante, em diferentes teores de substituição.** 2017. 73p. Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. Disponível em <<http://sinir.gov.br/>>.

SOUZA, Ana Maria Santos. (2018). **Reciclagem de resíduo cinza na construção civil.** Centro Universitário Capital – Unicapital.

SOUZA, Paulo Allyson Brilhante Faheina. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato.** 2007. Dissertação – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

STEINER, Luiz Renato. **Efeito do resíduo do polimento do porcelanato como material cimentício suplementar.** 2014. 128p. Dissertação – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Unesc, Criciúma.

Tratamento de resíduos sólidos. Portal resíduos sólidos. Novembro 2013. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos/>>.

VELTEN, R. Z.; SANT’ANA, A. P.; DE LIMA, D. C.; SILVA, C. H. C.; CARVALHO, C. A. B.; COUTO, L. G.; MACHADO, C. C. **Caracterização mecânica de misturas solo-escória de alto-forno granulada moída para aplicações em estradas florestais.** Sociedade de investigações florestais. R. Árvore, Viçosa –MG. v. 30, n.2, p-235-240, 2006.