

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE
RECURSOS NATURAIS



JONATHAN BATISTA PEIXOTO

DISSERTAÇÃO

**ESTUDO DE MATERIAIS À BASE DE ASFALTOS DILUÍDOS,
RESÍDUOS DE CALÇADOS E MATERIAIS PÉTREOS PARA
AQUISIÇÃO DE INSUMOS PARA CONFECÇÃO DE
CALÇADAS DE RUA**

CAMPINA GRANDE / PB

2019

JONATHAN BATISTA PEIXOTO

DISSERTAÇÃO

ESTUDO DE MATERIAIS À BASE DE ASFALTOS DILUÍDOS, RESÍDUOS DE CALÇADOS E MATERIAIS PÉTREOS PARA AQUISIÇÃO DE INSUMOS PARA CONFECÇÃO DE CALÇADAS DE RUA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

CAMPINA GRANDE / PB

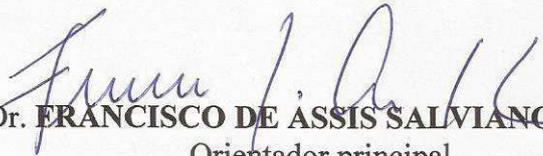
2019

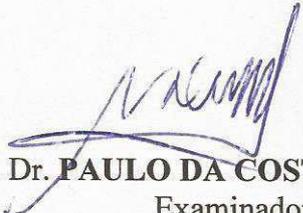
JONATHAN BATISTA PEIXOTO

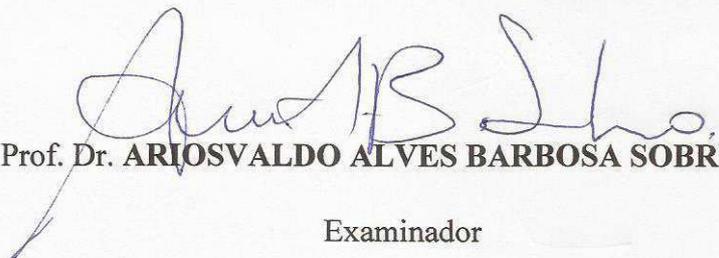
“ESTUDO DE MATERIAIS À BASE DE ASFALTOS DILUÍDOS, RESÍDUOS DE CALÇADOS E MATERIAIS PÉTREOS PARA AQUISIÇÃO DE ÍNSUMOS PARA CONFECCÃO DE CALÇADOS DE RUA.”

APROVADO(A) EM: 30/08/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUZA**
Orientador principal


Prof. Dr. **PAULO DA COSTA MÉDEIROS**
Examinador


Prof. Dr. **ARIOSVALDO ALVES BARBOSA SOBRINHO**
Examinador

P379e

Peixoto, Jonathan Batista.

Estudo de materiais à base de asfaltos diluídos, resíduos de calçados e materiais pétreos para aquisição de insumos para confecção de calçadas de rua / Jonathan Batista Peixoto. - Campina Grande, 2019.

116 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa.

Referências.

1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Resíduos Poliméricos. 4. Acessibilidade Urbana. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Título.

CDU 625.8(043)

Dedico esta Dissertação à minha filha Natália e esposa Polyana, cujos incentivos e paciência foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, por sua presença constante, por minha vida e pelas oportunidades a mim oferecidas.

Agradeço ao professor Francisco de Assis Salviano de Sousa, por sua orientação, paciência, indicações e prazerosas conversas.

Agradeço à professora Maria de Fátima Martins, por sua orientação, correções e paciência.

Ao professor Ariosvaldo Alves Barbosa Sobrinho, meu grande mentor acadêmico, presente desde o início, sempre disposto a ajudar, incentivar, com um grande número de referências, mesmo que de última hora.

Ao professor Paulo da Costa Medeiros, cujas observações foram fundamentais para a melhoria do trabalho.

À minha esposa e filha, sempre tão pacientes e incentivadoras, motivos de orgulho e amor.

Gratidão eterna aos meus pais e irmãos, que em devido momento também incentivaram e mantiveram a base familiar tão importante.

Aos professores do programa, pela transmissão de conhecimento, pela dedicação, carinho e paciência expedidos.

Aos funcionários do programa, pela dedicação, eficiência, carinho e atenção dispensados.

Resumo

Entre tantos problemas sociais enfrentados no Brasil, um é pouco abordado pela imprensa em geral, por políticos, ou até mesmo pela comunidade científica: a questão das calçadas. Por se tratar de um elemento fundamental para a locomoção dos cidadãos pelas cidades, esse deveria, sim, receber maior atenção por parte de todos, incluindo projetistas, gestores, e pesquisadores científicos. Impossível discutir sustentabilidade nas grandes cidades brasileiras sem abordar a questão das calçadas. O presente trabalho, em sua revisão bibliográfica, inicia ao trazer uma perspectiva histórica das calçadas, ao citar as primeiras iniciativas construtivas da Paris do século XIX. A Legislação Brasileira a respeito é tratada a seguir. O estudo de Indicadores de Qualidade para calçadas é mencionado. Em Resultados e discussão, são apresentados e discutidos os resultados encontrados, através de Análise Granulométrica, Térmica, Espectroscópica, Viscosidade, Física, Reológica e Mecânica. Um estudo de caso chegou a ser elaborado e apresentado, para o município de Queimadas/PB. Na Conclusão, o estudo apontou ser possível utilizar resíduos da indústria de calçados em pavimentação asfáltica para calçadas, desde que aplicado sob algumas condições apontadas pela pesquisa. Ao final, são sugeridas algumas iniciativas para novos trabalhos acadêmicos na área.

Palavras-chave: asfalto, pavimentação, resíduos poliméricos, acessibilidade urbana, reaproveitamento.

Abstract

Among the many social problems faced in Brazil, one is little touched by the press in general, by politicians, or even by the scientific community: the question of sidewalks. Because it is a key element for the locomotion of citizens in cities, it should receive more attention from all, including designers, managers, and scientific researchers. Impossible to approach sustainability in large Brazilian cities without addressing the sidewalks issue. The present work, in its bibliographical review, begins by bringing a historical perspective of the sidewalks, by approaching the first constructive initiatives in Paris of XIX century. The Brazilian Legislation in this respect is addressed. The study of Quality Indicators for sidewalks is mentioned. In Results and Discussion, the results are presented and discussed through Granulometric, Thermal, Spectroscopic, Viscosity, Physics, Rheological and Mechanical Analysis. A case study was elaborated and presented for the city of Queimadas/PB. In Conclusion, the study points out that it is possible to use footwear industry residues in asphalt pavement for sidewalks, since it is applied under some conditions indicated by the research. In the end, some initiatives are suggested for new academic works in the area.

Keywords: asphalt, pavement, polymeric waste, urban accessibility, reuse.

Sumário

1.	Introdução e objetivos geral e específicos	001
1.1.	Objetivo Geral	003
1.2.	Objetivos Específicos	003
2.	Revisão Bibliográfica	006
2.1.	Uma perspectiva histórica das calçadas	006
2.2.	Legislação brasileira e a realidade das calçadas do Brasil	009
2.3.	Indicadores de qualidade para calçadas	013
2.4.	A busca pela sustentabilidade	015
3.	Material e métodos	019
3.1.	Material	019
3.1.1.	Considerações	019
3.1.2.	Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP)	020
3.1.3.	Agregado Graúdo	021
3.1.4.	Agregado Miúdo	021
3.1.5.	Cal hidratada (filer)	021
3.1.6.	Rochas Ornamentais Silicatadas (filer do Granito RRS)	021
3.1.7.	Reagentes e Solventes	022
3.1.8.	Equipamentos Utilizados	022
3.2.	Métodos	023
3.2.1.	Caracterizações Térmica, Espectroscópica, Física, Viscosidade, Reológica e Mecânica	026
3.2.2.	Especificações das Caracterizações Térmica, Espectroscópica, Física, Viscosimétrica, Reológica e Mecânica do CAP Modificado	026
3.2.2.1.	Análise Termogravimétrica (TG)	027
3.2.2.2.	Análise Térmica Calorimetria Exploratória Diferencial - (DSC)	027
3.2.2.3.	Análise Termodiferencial (ATD)	028
3.2.2.4.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	028
3.2.2.5.	EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva)	029
3.2.2.6.	Análise Espectrométrica no Infravermelho (FTIR)	029
3.2.2.7.	Ensaio de BROOKFIELD (NBR 15184/2007)	029
3.2.2.8.	Ensaio do Ponto de Amolecimento (DNIT ME 131/2010)	031

3.2.2.9.	Ensaio de Penetração (DNER - ME 155/2010)	031
3.2.2.10.	Índice de Susceptibilidade Térmica (IST)	031
3.2.2.11.	Ponto de Fulgor (NBR 11341)	032
3.2.2.12.	Caracterização Mecânica (Estabilidade MARSHALL - ME-043/95)	032
3.2.2.13.	Ensaio de Absorção D'Água	033
4.	Resultados e Discussão	035
4.1.	Amostras CAP PURO, RCA, RRS, CAPM1, CAPM2 e CAPM3	035
4.1.1.	Análise Granulométrica, Térmica, Espectroscópica, Viscosidade, Física, Reológica e Mecânica	035
4.1.1.1.	Análise Granulométrica (RCA e RRS)	035
4.1.1.2.	Análise Termogravimétrica (TG) do RCA, filer de RRS e CAP PURO	037
4.1.1.3.	Análise Calorimetria Exploratória Diferencial do RCA, filer de RRS, CAP PURO	039
4.1.1.4.	Análise Termodiferencial (ATD) do RCA, filer de RRS, CAP PURO041	
4.1.1.5.	Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura do RCA, CAP PURO	043
4.1.1.6.	EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) do RCA, filer de RRS, CAP PURO	044
4.1.1.7.	Análise Termogravimétrica (TG) do CAPM1, CAPM2, CAPM3	046
4.1.1.8.	Análise Térmica Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3	051
4.1.1.9.	Análise Termodiferencial (ATD) do CAPM1, CAPM2, CAPM3	055
4.1.1.10.	Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3	060
4.1.1.11.	EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3	065
4.1.1.12.	Análise Espectrométrica no Infravermelho (FTIR) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3	070
4.1.1.13.	Ensaio de Viscosidade BROOKFIELD do CAPM1, CAPM2, CAPM3	076
4.1.1.14.	Ensaio de Amolecimento do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3	078
4.1.1.15.	Ensaio de Penetração do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3	079

4.1.1.16.	Índice de Susceptibilidade Térmica do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3	080
4.1.1.17.	Determinação do Ponto de Fulgor do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3	081
4.1.1.18.	Ensaio de Absorção D'água do CAPM1, CAPM2, CAPM3	082
5.	Estudo de caso – Indicadores de qualidade das calçadas do município de Queimadas – PB	085
5.1.	Introdução	085
5.2.	Indicadores de qualidade das calçadas	085
5.3.	Material e métodos	085
5.4.	Caracterização e legislação do município de Queimadas – PB	086
5.5.	Qualidade das calçadas no município de Queimadas – PB	087
5.6.	Conclusão de estudo de caso	095
6.	Conclusão, considerações finais e sugestões	097
6.1.	Conclusão	097
6.2.	Considerações finais	098
6.3.	Sugestões	099
7.	Referências	102

Lista de Figuras

Figura 3.1	Resíduo polímero RCA	019
Figura 3.2	Resíduo RCA – predominância do polímero SBR	019
Figura 3.3	Amostra do polímero RCA	020
Figura 3.4	Amostra de CAP 50/70	020
Figura 3.5	Amostra do filer de rocha (RSS)	020
Figura 3.6	Viscosímetro BROOKFIELD RVDV-II	023
Figura 3.7	Equipamento DSC-60 SHIMADZU	023
Figura 3.8	Equipamento DSR Advanced RHEOMETER AR 2000	023
Figura 3.9	Estufa RTFOT DESPATCH	023
Figura 3.10	Pórtico de ruptura	023
Figura 3.11	Banho maria	023
Figura 3.12	Fluxograma das etapas para obtenção do asfalto modificado por polímero resíduo da indústria	023
Figura 3.13	Fluxograma das Análises e Caracterizações	026
Figura 3.14	Esquema do funcionamento do aparelho <i>Brookfield</i>	030
Figura 4.1	Granulometria do resíduo RCA e RRS	036
Figura 4.2	TG do Resíduo Mineralógico RSS	038
Figura 4.3	TG do CAP PURO	038
Figura 4.4	TG do Resíduo Polimérico RCA	039
Figura 4.5	DSC - Resíduo polimérico RCA em atmosfera de N ₂	040
Figura 4.6	DSC - CAP PURO em atmosfera de N ₂	040
Figura 4.7	DSC - RRS em atmosfera de N ₂	041
Figura 4.8	ATD- RCA	042
Figura 4.9	ATD - CAP PURO	042
Figura 4.10	ATD - RRS tipo Granito	043
Figura 4.11	MEV - RCA a 500X	044
Figura 4.12	MEV - RCA a 3000X	044
Figura 4.13	MEV - CAP PURO a 500X	044
Figura 4.14	MEV- CAP PURO a 3000X	044
Figura 4.15	MEV - RCA a 500X	045
Figura 4.16	EDS do RCA	045

Figura 4.17	MEV - Rocha Silicatada (RRS)	046
Figura 4.18	EDS - Rocha Silicatada (RRS)	046
Figura 4.19	MEV - CAP PURO	046
Figura 4.20	EDS - CAP PURO	046
Figura 4.21	TG CAPM1 - CAP Modificado com RCA	047
Figura 4.22	TG CAPM2 – CAP Modificado com RCA	049
Figura 4.23	TG do CAPM3 - CAP Modificado com RCA e filerde rocha silicatada (RRS)	051
Figura 4.24	DSC CAPM1 em atmosfera de N2	052
Figura 4.25	DSC CAPM2 em atmosfera de N2	054
Figura 4.26	DSC CAPM3 em atmosfera de N2	055
Figura 4.27	ATD- CAPM1 - Modificado a 5% RCA	056
Figura 4.28	ATD- CAPM1 – Modificado a 15% RCA	056
Figura 4.29	ATD - CAPM1 - Modificado a 25% RCA	057
Figura 4.30	ATD - CAPM2 Modificado a 5% RCA	057
Figura 4.31	ATD - CAPM2 Modificado a 15% RCA	057
Figura 4.32	ATD - CAPM2 Modificado a 25% RCA	058
Figura 4.33	ATD - CAPM3 Modificado a 5% RCA	059
Figura 4.34	ATD - CAPM3 Modificado a 15% RCA	059
Figura 4.35	ATD - CAPM3 Modificado a 25% RCA	060
Figura 4.36	MEV - CAPM1 a 5% RCA (500x)	061
Figura 4.37	MEV - CAPM1 a 15% RCA (500x)	061
Figura 4.38	MEV - CAPM1 a 25% RCA (500x)	061
Figura 4.39	MEV-CAPM1 a 5% RCA (1000x)	061
Figura 4.40	MEV-CAPM1 a 15% RCA (1000x)	061
Figura 4.41	MEV - CAPM1 a 25% RCA (1000x)	061
Figura 4.42	MEV - CAPM1 a 5% RCA (3000x)	061
Figura 4.43	MEV -CAPM1 a 15% RCA (3000x)	061
Figura 4.44	MEV - CAPM1 a 25% RCA (3000x)	061
Figura 4.45	MEV - CAPM2 a 5% RCA (500x)	063
Figura 4.46	MEV - CAPM2a 15% RCA (500x)	063
Figura 4.47	CAPM2 a 25% RCA (500x)	063
Figura 4.48	MEV - CAPM2 a 5% RCA (1000x)	063
Figura 4.49	MEV - CAPM2 a 15% RCA (1000x)	063

Figura 4.50	MEV - CAPM2 a 25% RCA (1000x)	063
Figura 4.51	MEV - CAPM2 a 5% RCA (3000x)	063
Figura 4.52	MEV - CAPM2 a 15% RCA (3000x)	063
Figura 4.53	MEV - CAPM2 a 25% RCA (3000x)	063
Figura 4.54	MEV - CAPM1 a 5% RCA	065
Figura 4.55	EDS - CAPM1 a 5% RCA	065
Figura 4.56	MEV - CAPM1 a 15% RCA	065
Figura 4.57	EDS - CAPM1 a 15% RCA	065
Figura 4.58	MEV - CAPM1 a 25% RCA	066
Figura 4.59	EDS - CAPM1 a 25% RCA	066
Figura 4.60	MEV - CAPM2 a 5% RCA	067
Figura 4.61	EDS - CAPM2 a 5% RCA	067
Figura 4.62	MEV - CAPM2 a 15% RCA	067
Figura 4.63	EDS - CAPM2 a 15% RCA	067
Figura 4.64	MEV - CAPM2 a 25% RCA	068
Figura 4.65	EDS - CAPM2 a 25% RCA	068
Figura 4.66	MEV - CAPM3 a 5% RCA	069
Figura 4.67	EDS - CAPM3 a 5% RCA	069
Figura 4.68	MEV - CAPM3 a 15% RCA	069
Figura 4.69	EDS - CAPM3 a 15% RCA	069
Figura 4.70	MEV - CAPM3 a 25% RCA	070
Figura 4.71	EDS - CAPM3 a 25% RCA	070
Figura 4.72	CAPM1 – FTIR CAP Modificado, CAP PURO, RCA	071
Figura 4.73	CAPM2 - FTIR CAP Modificado, CAP PURO, RCA	074
Figura 4.74	CAPM3 - FTIR CAP Modificado, CAP PURO, RCA, RRS	075
Figura 4.75	Variação da viscosidade em função da temperatura	077
Figura 4.76	Ponto de Amolecimento	078
Figura 4.77	Determinação da Penetração em décimo de milímetro	080
Figura 4.78	Determinação do Ponto de Fulgor do CAP PURO, CAPM1 e CAPM3	082
Figura 4.79	Absorção d'água corpo de prova	082
Figura 4.80	Absorção d'água corpo de prova	082
Figura 4.81	Absorção de água em (%) das amostras modificadas	083
Figura 5.1	Calçadas no município de Queimadas/PB	088

Figura 5.2	Calçadas no município de Queimadas/PB	088
Figura 5.3	Calçadas no município de Queimadas/PB	088
Figura 5.4	Calçadas no município de Queimadas/PB	089
Figura 5.5	Calçadas no município de Queimadas/PB	089
Figura 5.6	Calçadas no município de Queimadas/PB	090
Figura 5.7	Calçadas no município de Queimadas/PB	090
Figura 5.8	Calçadas no município de Queimadas/PB	091
Figura 5.9	Calçadas no município de Queimadas/PB	091
Figura 5.10	Calçadas no município de Queimadas/PB	091
Figura 5.11	Calçadas no município de Queimadas/PB	092
Figura 5.12	Calçadas no município de Queimadas/PB	092
Figura 5.13	Calçadas no município de Queimadas/PB	093
Figura 5.14	Calçadas no município de Queimadas/PB	093
Figura 5.15	Calçadas no município de Queimadas/PB	094
Figura 5.16	Calçadas no município de Queimadas/PB	094
Figura 5.17	Calçadas no município de Queimadas/PB	095

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Características do CAP 50/70	020
Tabela 3.2	Composição química do resíduo de granito	021
Tabela 3.3	Equipamentos utilizados na pesquisa	022
Tabela 3.4	Composições dos ligantes modificados na pesquisa	024
Tabela 3.5	Comportamento do CAP sob determinadas condições de temperatura	030
Tabela 3.6	Ensaio Marshall - valores limites	033
Tabela 4.1	Eventos ocorridos na degradação do RRS e do CAP PURO	037
Tabela 4.2	Eventos ocorridos na degradação do RCA (SBRr, EVAr)	038
Tabela 4.3	Eventos ocorridos na degradação do CAPM1	047
Tabela 4.4	Eventos ocorridos na degradação do CAPM2	048
Tabela 4.5	Eventos ocorridos na degradação do CAPM3	050
Tabela 4.6	Bandas de espectrais, utilizadas na verificação de envelhecimento oxidativo do EVA	071
Tabela 4.7	Bandas de carbonila e sulfóxidos utilizados na verificação do envelhecimento oxidativo do ligante asfáltico	072
Tabela 4.8	Atribuições das bandas apresentadas nos espectros FTIR do CAP	073
Tabela 4.9	Viscosidade das amostras	076
Tabela 4.10	Ponto de amolecimento do CAP PURO e Modificado	078
Tabela 4.11	Ponto de Penetração do CAP PURO e Modificado	079
Tabela 4.12	IST dos compostos CAP PURO, CAPM1, CAPM2, CAPM3	081
Tabela 4.13	Determinação do ponto de fulgor do CAP PURO, CAPM1, CAPM2, CAPM3	081
Tabela 4.14	Absorção D'água de 06 corpos de prova do CAP Modificado e PURO	083
Tabela 5.1	Indicadores de qualidade utilizados no estudo de caso	086

Lista de Abreviaturas e Siglas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
RCA	Resíduos poliméricos industriais do segmento calçadista
SBR	Borracha de butadieno estireno
EVA	Etileno acetato de vinila
CREA-GO	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura do estado de Goiás
ADEMI-GO	Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Goiás
HCM	Highway Capacity Manual
FAP	Fator de Ambiente para Pedestres
IQC	Índice de Qualidade das Calçadas
ONG	Organização Não Governamental
UAEMa	Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
LEP	Laboratório de Engenharia dos Pavimentos e Geotécnica
LMP	Laboratório de Mecânicas de Pavimentos
ATECEL	Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
ANP	Agência Nacional de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
RRS	Rocha silicatada
PBO	Peróxido de benzoíla
MDG	Compatibilizante Metacrilato de Glicidíla
RTFOT	Fenômeno do Envelhecimento do Ligante Asfáltico
RPM	Rotações por minuto
CAPM1	CAP modificado 1
CAPM2	CAP modificado 2
CAPM3	CAP modificado 3
TG	Termogravimetria
DSC	Análise Térmica
DTA	Análise Térmica Diferencial
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura

EDS	Análise de Energia Dispersiva
IFTR	Infravermelho
SBRr	Borracha de butadieno estireno residuário
EVAr	Etileno acetato de vinila residuário
GEPIS	Grupo de Estudos e Pesquisas em Indicadores de Sustentabilidade

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

1. Introdução e objetivos geral e específicos

Entre tantos problemas sociais enfrentados no Brasil, um é pouco abordado pela imprensa em geral, por políticos, ou até mesmo pela comunidade científica: a questão das calçadas. Por se tratar de um elemento fundamental para a locomoção dos cidadãos pelas cidades, este deveria, sim, receber maior atenção por parte de todos, incluindo projetistas, gestores, e pesquisadores científicos. Impossível abordar sustentabilidade nas grandes cidades brasileiras sem abordar a questão das calçadas.

Segundo dados recentes do IBGE (2014), no Brasil, cerca de 30 % das viagens cotidianas são realizadas a pé, principalmente em função do alto custo do transporte público. No final de abril de 2012, após um trabalho intenso de colaboradores em 12 capitais brasileiras, a campanha Calçadas do Brasil (2012) foi lançada publicamente, com ampla repercussão na mídia, com a participação do público na avaliação desse tipo de infraestrutura em suas cidades, ruas e bairros.

As vias calçadistas funcionam como um “sensor” da qualidade de urbanização de uma cidade. Alguns autores chegam a afirmar que se pode medir o nível de civilização de um povo pela qualidade das calçadas de suas cidades (Calçadas do Brasil, 2012). E há, ainda, aqueles que atribuem às calçadas um indicativo de desenvolvimento humano, mais eficiente do que o próprio IDH.

A calçada passa a ter significado quando utilizada, e aspectos abstratos como segurança e contato entre as pessoas são observados. Quanto maior o número de interações entre indivíduos, maior o número de encontros, constituindo um ciclo virtuoso, onde a confiança é estabelecida, aumentando a percepção de segurança. Cuidar das calçadas também é cuidar da segurança pública.

A experiência prática indica que as calçadas devem ser suficientemente largas e, sempre que possível, protegidas por arborização para conforto de quem anda sob o sol. E bem iluminadas, para quem caminha à noite. Outros itens a não serem esquecidos são bancos e jardins. Sempre que houver

espaço, os bancos e outros equipamentos são um sinal de gentileza urbana precioso, que se contrapõe à correria do dia a dia.

O Guia prático para a construção de Calçadas, da Associação Brasileira de Cimento Portland e o Manual da calçada sustentável, da Prefeitura de Goiânia, são exemplos de instrumentos preciosos para orientação quando da construção das calçadas, e serão abordados como referência.

Considerando os dados levantados por pesquisas recentes no Brasil e seus resultados negativos em grandes cidades avaliadas, a equipe do Mobilize Brasil defende a idéia de que todas as calçadas sejam planejadas, construídas e mantidas pelas prefeituras e suas equipes de engenheiros e arquitetos, que teriam a melhor condição de projetar e contratar serviços para mantê-las em boas condições. As grandes cidades mundiais, que apresentam bons sistemas de calçadas, como Nova York, Barcelona, Paris ou Berlim, mantêm a conservação dessas faixas sob estrito controle das prefeituras (Calçadas do Brasil, 2012).

A triste realidade das cidades brasileiras na atualidade tem levado a sociedade, inclusive o meio acadêmico, a considerar os problemas relativos às condições atuais das calçadas, e procurar por soluções para reduzir tais problemas, de maneira sustentável.

Na busca pela padronização, é importante dar ao poder público e ao público geral, maiores opções de insumos materiais e técnicas alternativas, para a confecção de calçadas.

O aproveitamento dos resíduos produzidos pela indústria calçadista, para produção de materiais asfálticos, para aplicação em calçadas de rua, tem se configurado como uma alternativa potencial para os pesquisadores no âmbito da inovação tecnológica. Este trabalho aprofundou os conhecimentos desenvolvidos na confecção desses materiais, a partir de pesquisas, análises, ensaios físicos e mecânicos, referências e resultados anteriores que indicam a viabilidade técnica no aproveitamento e na aplicação como material de construção ambientalmente correto e não convencional, que venham a resultar na redução do impacto ambiental, na redução gradativa das áreas de depósito

de resíduos, na redução de custos e consumo de energia e na melhoria da qualidade de vida da população.

De acordo com Pollaco *et al.* (2005), o polímero ou seus resíduos, quando adicionado ao ligante asfáltico, pode melhorar as suas propriedades e permitir a construção de estradas, vias e calçadas seguras, reduzindo também, os custos com manutenção e acréscimo da resistência a deformações permanentes.

Neste trabalho de Dissertação, foram realizados estudos teóricos e práticos do uso de resíduos poliméricos provenientes da indústria calçadista, como modificadores das propriedades térmica, mecânica e reológica dos Cimentos Asfálticos do Petróleo (CAP), com vista à aplicação em revestimentos de calçadas públicas, reduzindo assim, o impacto ambiental e melhorando a resistência das calçadas às deformações e trincas provenientes do envelhecimento oxidativo.

1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a realização de estudos teóricos e práticos (experimentais), que visem a melhoria das calçadas de rua, utilizando resíduos poliméricos industriais do segmento calçadista (RCA), promovendo qualidade de vida urbana e redução do impacto ambiental.

1.2. Objetivos Específicos

- Fomentar a modificação estrutural do *CAP* utilizando resíduos poliméricos industriais (*SBR/EVA*) para alteração de asfaltos oriundos do petróleo brasileiro;
- Sistematizar a utilização desses resíduos para variação de asfaltos oriundos do petróleo brasileiro;
- Caracterizar as misturas asfálticas obtidas a partir dos resíduos poliméricos, utilizando *CAP*, polímero residuário, aditivos, agentes compatibilizantes;

- Desenvolver estudos para transformação dos rejeitos industriais (coleta, moagem, homogeneidade e análise) em materiais capazes de serem incorporados ao *CAP*;

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Revisão bibliográfica

2.1. Uma perspectiva histórica das calçadas

Segundo Landau (1992), um século após a morte do Barão Haussmann, na França do século XIX, o debate sobre o espaço público aparece em Paris, sob a pressão de uma tripla observação. A primeira, a respeito dos êmbolos circulatórios da cidade, os congestionamentos e as suas consequências em termos de desenvolvimento humano, social e financeiro. Em seguida, a da complexidade crescente dos diferentes campos profissionais nas vias públicas e, correspondentemente, a perda de elementos de cada doutrina em uma sinergia comum. Finalmente, a dos excessos sobre a superfície das estradas, causadas pela necessidade de administrar os conflitos de curta duração induzidas pela sua utilização (em detrimento da sua versatilidade, da sua durabilidade, do seu estatuto público).

Paris ocupa na história da mudança urbana um lugar muito privilegiado. Sabe-se da importância do trabalho realizado no âmbito do Segundo Império e do destino da cidade mais bonita do mundo que Haussmann prometeu. "Capital do Império, Cidade de todos os franceses." Higiene e saúde, após os terríveis surtos de cólera, febre tifóide (foram 7.000 mortes devido à febre tifóide entre 1872 e 1877) e tuberculose, eram preocupações centrais de elites técnicas e líderes da administração. Os problemas de abastecimento de água e saneamento da cidade estavam entre as mais urgentes. Odores malcheirosos eram onipresentes. A aspiração pelo conforto e o bem-estar, impulsionado por novos estratos sociais urbanos, demandavam soluções para os problemas de distribuição de energia: aquecimento, eletricidade, telefone. A questão dos deslocamentos dos pedestres, veículos e transportes, continuavam a ser um problema assombroso para a vida cotidiana e para a ascensão da economia (Landau, 1992).

As necessidades causaram o surgimento de novas técnicas que ajudaram a moldar, naquele século, uma nova visão das vias urbanas. Em essência, estas obras eram projetadas pelo corpo de engenheiros de estradas e pontes no âmbito do Ministério do Interior e das Obras Públicas e do seu destacamento nos serviços da cidade. O ensino na Escola Politécnica e da Escola de Pontes e Estradas, onde a importância dos cursos em ciências aplicadas era contrabalançada com a abstração de estudar ciências puras (matemática ou física), ajudando a formar engenheiros

com gosto pela pesquisa, assim como pela experimentação. Aplicada ao território da capital e os imensos desafios que enfrentava, esse treinamento ajudou a fornecer soluções técnicas excepcionais e serviços de alta qualidade com uma política de interesse geral. Esta é provavelmente uma tradição especificamente francesa, que deu preferência ao serviço público com grandes corpos de engenheiros formados em escolas providas pelo Estado. O papel de projetistas de estradas e pontes, engenheiros colaboradores e trabalhadores de campo, foi muito importante (Landau, 1992).

Ao final do século XVIII, não havia calçadas em Paris. Em algumas ruas o espaço para pedestres era limitado por um terminal chamado "garra", que servia também para os cavaleiros. Um escrito de Charles IX de 29 de novembro de 1564 ordenou a demolição das garras, que impediam o tráfego. Os pedestres foram, portanto, forçados a se moverem no meio dos veículos e cavalos, arriscando serem, a qualquer momento, apertados ou esmagados contra uma fachada. As esquinas eram os locais mais perigosos (Landau, 1992).

A criação da seção transversal para estradas pavimentadas e calçadas acompanhou o progresso das discussões sobre as questões de saneamento. A primeira rua calçada em Paris foi a Odeon, em 1781, para permitir a permanência prolongada na frente das janelas de lojas de luxo. Anteriormente, comerciantes ficavam ricos ao cobrar taxas a quem pudesse pagar para permanecer sob arquibancadas de madeira na frente de suas lojas durante o inverno. A questão das calçadas foi abordada pelo prefeito Frochot em 1805. Em 1811, o Conde de la Borde, diretor de estradas e pontes do Sena, defendeu fortemente as calçadas, estas em pedra com 10 cm de espessura. A lei de 07 de junho de 1845 estabeleceu um sistema de calçadas, que, em seguida, juntamente com a pavimentação das estradas, passou a regular o estabelecimento de calçadas em toda a França (Landau, 1992).

Entre 1793 e 1845, o financiamento e desenvolvimento técnico das calçadas foram temas de debates. Já durante a Revolução, o corpo municipal exigiu a construção ou ampliação de várias ruas (Rua Lepelletier em 1786, a rua Port-Mahon em frente ao Hotel Richelieu em 1743, entre outras). A construção das calçadas era de responsabilidade dos proprietários. As primeiras calçadas eram pequenas, não passavam de pequenos terminais semicirculares para proteção aos choques. Uma

patente, datada de 08 de abril de 1786, autorizou a construção da rua Lepelletier. Foi o primeiro ato público que, ao autorizar uma construção de calçada, exigiu que esta fosse com bordas de pedra. O uso do granito ou lajes de pedra em alturas acima da pavimentação betuminosa foi implementado com sucesso pela primeira vez em 1835, na ponte Royal (Landau, 1992).

Entre 1831 e 1839, foi estabelecido um acordo entre poder público e donos de lojas sobre as larguras das estradas e calçadas da cidade. Isto foi particularmente interessante, porque se abordou, provavelmente pela primeira vez, a questão da largura das calçadas em relação à largura das estradas de Paris. Também diferenciou as ruas iniciadas sob o antigo regime, cujas larguras eram de oito, dez ou doze metros. Determinou que ruas com larguras superiores a 20 metros (rua Royale, rua de La Paix, rua Tronchet, etc.) passassem a ter calçadas com quatro metros de largura, de modo a se plantar árvores sem desvantagens para as fachadas das lojas. O decreto de 15 de abril de 1846 fixou as regras para a construção de calçadas em Paris e seus projetos, dependendo da largura das ruas. Ao final da década de 1930, qualquer derrogação destas regras estaria sujeita a uma ordem da prefeitura (Landau, 1992).

Conforme Ehrenfeucht e Loukaitou-Sideris (2007), nos Estados Unidos, no final do século XX, os observadores urbanos presumiam compreender a importância dos espaços públicos. As cidades exigiam, assim como seus moradores. Os teóricos urbanos argumentam que tais espaços são fundamentais para o sistema democrático e a vida urbana.

Alguns lamentam, enquanto outros procuram novas formas de interação pública. Uma preocupação a respeito da privatização da vida urbana e do espaço levou estudiosos como Michael Sorkin a demandarem "uma urbanidade mais autêntica", com espaços públicos mais autênticos (Ehrenfeucht e Loukaitou-Sideris, 2007).

Don Mitchell argumenta que o que torna um espaço público não é, muitas vezes, a sua desapropriação planejada. Em vez disso, um espaço é tornado público quando um grupo de pessoas invade um determinado espaço e o torna público. Quando se trata de coisa pública, diferentes grupos com interesses conflitantes e visões diferenciadas interagem entre si. As crescentes pesquisas sobre a história do espaço público demonstram que a ideia de um espaço público livre de conflitos é um

mito. Os espaços públicos já foram terrenos particulares, sob competição, e cuja utilização fora motivo de conflitos (Ehrenfeucht e Loukaitou-Sideris, 2007).

Com o decorrer do tempo, cada país utilizou de sua cultura para determinar os parâmetros norteadores relativos à construção, dimensionamento, utilização, entre tantos outros fatores, dos espaços públicos.

Por exemplo, segundo o Sidewalk Design, Construction, And Maintenance, os municípios canadenses gastam US\$ 12 bilhões a US\$ 15 bilhões anuais em infraestrutura. E estes consideram tais valores insuficientes. A infraestrutura existente está envelhecendo enquanto a demanda cresce cada vez mais. Consideram que precisam melhorar para responder a padrões mais elevados de segurança, saúde e proteção ambiental, bem como o crescimento populacional. Apontam como solução mudar a maneira como planejam, projetam e gerenciam infraestrutura. Somente ao fazê-lo, os municípios poderiam atender novas demandas dentro de uma estrutura fiscalmente responsável e ambientalmente sustentável, preservando a qualidade de vida.

2.2. Legislação brasileira e a realidade das calçadas do Brasil

O Brasil vem passando por um processo de urbanização acelerado nas últimas décadas, causado por conjunturas econômicas diversas. O homem do campo vê-se compelido a migrar para as cidades ao buscar melhores condições de vida, causando o inchaço e crescimento não planejado e desordenado dos ambientes urbanos. Dentre tantos outros problemas causados por esta realidade, aponta-se aqui a questão das calçadas.

E a perspectiva não é nada boa. O poder público, ao ser incitado pela sociedade, sedenta de soluções, ao citar as questões de mobilidade urbana, mostra-se capaz apenas de considerar a infraestrutura urbana resumida somente ao tráfego de veículos e suas consequências. Fala-se em estradas, pontes, viadutos, novas vias, sinalização. E nada de se falar em calçadas.

Hoje, 85% da população brasileira vive em cidades. São 170.000.000 de pessoas vivendo em um espaço de 22.000 km². Através do advento da industrialização da economia nacional promovida por governos anteriores (vide anos 60-70) (Calçadas do Brasil, 2012), principalmente com a instalação do parque

industrial do veículo automotivo nas grandes cidades da região sudeste do país, instaurou-se uma cultura nacional de utilização do automóvel como principal meio de transporte pelos cidadãos. O Brasil apresenta uma das maiores malhas rodoviárias do mundo, injustificável pelo tamanho de suas divisas, e pelas opções proporcionadas pela natureza, seus recursos naturais. Tal malha rodoviária requer altos investimentos em manutenção, elevando a carga sobre a já estratosférica demanda fiscal imposta sobre a população. Triste realidade, onde a nação opta por transportar a riqueza produzida em caminhões sobre estradas.

As calçadas pouco espaço encontram diante deste cenário. Como citado anteriormente, o foco está nas estradas, ruas, os espaços públicos devem prover artérias para a circulação de veículos, não de pessoas, que caminham.

O Código de Trânsito Brasileiro conceitua calçada e passeio e prioriza o pedestre (Calçadas do Brasil, 2012). O Estatuto da Cidade institui a necessidade de se criar parâmetros sustentáveis para o crescimento das cidades com vínculo direto com políticas para a mobilidade a pé (Calçadas do Brasil, 2012). A Lei Federal da Mobilidade Urbana prioriza os modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e prioriza a mobilidade a pé (Calçadas do Brasil, 2012). A Lei Brasileira da Inclusão exige calçadas inclusivas e acessíveis (Calçadas do Brasil, 2012). Mesmo diante destas premissas, a legislação brasileira descentraliza a responsabilidade, ou seja, cada município fica responsável pelas leis que regem suas calçadas.

Segundo o Guia prático para construção de Calçadas, a calçada ideal deve oferecer acessibilidade, ao assegurar a completa mobilidade dos usuários. Largura adequada, atendendo às dimensões mínimas para a faixa livre. Fluidez, ao garantir velocidade constante de deslocamento aos pedestres. Continuidade, ou seja, pavimento sem rupturas, antiderrapante, quase horizontal, com declividade máxima de 3 %, e sem obstáculos.

O Guia recomenda que as calçadas possuam faixa de serviço com, pelo menos, 0,75 m, e faixa livre de 1,20 m. As árvores, postes e lixeiras devem ficar na faixa de serviço. Os rebaixamentos devem estar localizados na direção do fluxo de pedestres. As rampas de garagem devem evitar a faixa livre. As esquinas, sempre desobstruídas. Quanto à inclinação, esta não deve passar de 3 %. Na faixa de serviço e na faixa de acesso, a inclinação pode chegar a 8,33 %.

A Prefeitura Municipal de São Paulo apresenta uma ampla gama de leis e decretos sobre o tema. Determinam largura mínima, dimensiona acessos, detalham esquinas, determinam critérios de instalação, sinalização, vegetação, materiais, especificações, manutenção, desempenho, para cada tipo de pavimento utilizado. Enfim, uma legislação robusta, exemplar, inclusive a nível mundial, e uma referência para os demais municípios brasileiros.

Com a nova legislação, as calçadas passaram a ser divididas em até três faixas (Calçadas do Brasil, 2012). As calçadas com até 2,0 metros de largura são divididas em duas faixas diferenciadas por textura ou cor e as com mais de 2,0 metros, em três faixas: faixa de serviço, faixa livre e faixa de acesso. A faixa de serviço é destinada ao plantio de árvores, rampas de acesso para veículos ou portadores de deficiências, postes, sinalização, bancos, floreiras, telefones, caixa de correio, lixeiras, etc. A faixa livre é destinada exclusivamente para os pedestres. Deve estar livre de quaisquer desníveis, obstáculos físicos, sejam estes temporários ou permanentes, ou vegetação. Deve possuir superfície regular, firme, contínua e antiderrapante, largura mínima de 1,20 m, sem qualquer emenda, reparo ou fissura. Já a faixa de acesso é aquela que se encontra imediatamente próxima ao imóvel ou terreno, onde é prevista a instalação de vegetação, rampas, toldos, propaganda e mobiliário móvel, como mesas de bar, desde que não impeçam o acesso. Trata-se de uma faixa de apoio.

As esquinas são consideradas os pontos principais das calçadas. Portanto, estas precisam estar desobstruídas, para permitir a circulação e a permanência dos pedestres.

A nova Legislação de São Paulo prevê pisos especiais para orientação ao pedestre, especialmente os deficientes visuais, e inclusive chega a determinar critérios de instalação. Por exemplo, rampas para portadores de deficiência devem apresentar largura de 0,25 a 0,50 m, afastadas 0,50 m do término da rampa.

Quanto à vegetação, a Prefeitura tem consciência da importância da presença das árvores, por sua contribuição ao meio ambiente, por seu papel no escoamento das águas, fornecimento de sombra e diminuição da temperatura, proporcionando maior conforto aos usuários. Mas ao observar a Lei nº 10.365/87, ela determina que a dimensão da espécie escolhida deve estar adequada à largura da calçada e veda a aplicação de cimento na base da árvore, para não prejudicar seu desenvolvimento,

sugerindo o plantio de grama ou instalação de grelha. Tudo para permitir um melhor fluxo de pedestres.

As “calçadas verdes” são abordadas. O cidadão deve estar atento à lei 13.646/03 e às seguintes questões: para receber uma faixa de ajardinamento, o passeio deverá ter largura mínima de 2,0 m, e para receber duas faixas de ajardinamento, largura mínima de 2,5 m. As faixas ajardinadas não poderão interferir na faixa livre, que deverá ser contínua e com largura mínima de 1,2 m. Ainda, as faixas ajardinadas não devem possuir arbustos que prejudiquem a visão ou com espinhos que possam atrapalhar o caminho do pedestre. E para facilitar o escoamento das águas em dias chuvosos, as faixas não podem estar muradas.

O município de Goiânia, no estado de Goiás, elaborou o Manual da Calçada Sustentável. Juntamente com o CREA-GO e a ADEMI-GO, a prefeitura tem intenção de orientar a população e empresas privadas da cidade. O manual mostra não somente os critérios técnicos para se executar uma calçada, ao se levar em consideração a acessibilidade, mas, também, a preocupação quanto à arborização e à drenagem urbana.

O manual defende que a calçada sustentável deve “melhorar a utilização do espaço público, atendendo às normas que regulam a construção e manutenção das calçadas de modo a garantir: a acessibilidade, a permeabilidade do solo, a arborização e a implantação de equipamentos e mobiliário urbanos adequados”.

Assim como na cidade de São Paulo, tal manual também divide as calçadas em três faixas distintas de mesmo nome (faixa de serviço, faixa livre e faixa de acesso) com dimensões e diretrizes similares. Mas o Manual da Calçada Sustentável da Prefeitura Municipal de Goiânia-GO é mais detalhista do que a legislação de São Paulo. Considera mais aspectos, como a inclinação longitudinal, limitada a 3 %, por exemplo.

O Manual da Calçada Sustentável de Goiânia-GO também se destaca pelo projeto de arborização apresentado. Prevê a substituição de árvores com fitossanidade comprometida e inadequada por árvores de espécies adequadas, ao identificar, com base no diagnóstico, a ocorrência de espécies indesejadas e definir metodologias para substituição.

O manual determina que a distância mínima entre as árvores e os equipamentos urbanos deve ser de 5,0 m das esquinas, assim como dos semáforos,

2,0 m de distância das bocas-de-lobo e caixas de inspeção, além das entradas de veículos. As árvores devem se distanciar entre 4,0 e 6,0 m dos postes, e entre 7,0 e 10,0 m entre si, dependendo do porte da espécie. E ainda, 0,3 m do meio-fio. Devem ser plantadas na faixa de serviço e ocupar uma área correspondente de 0,60 a 1,0 m de lado, sem orla ou borda em desnível com a calçada adjacente.

A Prefeitura de Goiânia, em seu manual, teve o cuidado adicional de regularizar todo o processo de seleção das mudas, preparo do solo, plantio e poda. Apresentou uma lista com as espécies autorizadas (pequeno, médio e grande porte), assim como as proibidas. Trata-se um trabalho louvável, visto a realidade apresentada em todo o país. Infelizmente, as calçadas brasileiras seguem, em sua grande maioria, ignoradas pelo poder público, e a população segue desorientada, sedenta por este tipo de iniciativa.

É possível perceber o quanto o Estado da Paraíba encontra-se atrasado em relação ao tema. Não existe qualquer Guia ou Manual disponível. Campina Grande, segunda maior cidade do estado, resume-se apenas a determinar a largura mínima de determinadas avenidas em sua Legislação.

2.3. Indicadores de qualidade para calçadas

Para que um cenário venha a ser avaliado como apropriado, ou não, relativamente às calçadas, os seguintes parâmetros qualitativos são considerados indicadores, tais como: irregularidades no piso, largura mínima, degraus que venham a dificultar a circulação, obstáculos, como postes, lixeiras, bancas, existência de rampas de acessibilidade, iluminação, sinalização e paisagismo.

Em abril de 2012, após um trabalho intenso de colaboradores em 12 capitais brasileiras, a campanha “Calçadas do Brasil” apontou que as calçadas brasileiras mereceriam uma nota 3,4 de 10,0, segundo os parâmetros da pesquisa conduzida.

É possível encontrar alguns indicadores desenvolvidos para avaliar a qualidade e nível de serviço das calçadas. Fruin (1971), Pushkarev e Zupan (1975) são detentores de trabalhos pioneiros neste domínio, quando utilizaram a variável densidade (ou seu inverso, no caso, o espaço disponível para pedestres) para expressar o nível de serviço das calçadas.

Ferreira e Sanches (1999) apontaram instrumentos e diversos estudos de diversos autores, mas sem deixar de observar a existência de poucos esforços para a definição de uma metodologia padrão, nos moldes do HCM – Highway Capacity Manual (TRB, 1994), que define uma metodologia para avaliação do nível de serviços das calçadas. Os autores observam que alguns índices têm sido propostos para serem utilizados em modelos de escolha modal, onde a avaliação é sempre feita por técnicos, que consideram diversos fatores que podem contribuir para a qualidade dos espaços para pedestres.

No HCM, a avaliação de desempenho das calçadas é feita através de aspectos quantitativos apenas, sejam eles fluxo, velocidade e densidade. Nota-se que aspectos qualitativos, tão importantes para a percepção dos pedestres quanto ao nível de serviço, não são considerados.

Replogle (1990) chegou a propor um índice do tipo, que foi denominado “Índice de Amabilidade para Pedestres”, utilizado como uma das variáveis em um modelo de escolha modal. O índice é baseado em notas atribuídas a indicadores como: existência de calçadas e abrigos em pontos de ônibus, recuos das edificações e heterogeneidade do uso do solo.

O projeto LUTRAC (Cambridge Systematics, 1993), em seu modelo para planejamento dos sistemas de transporte, avalia a qualidade dos espaços através do FAP (Fator de Ambiente para Pedestres), que por sua vez, se baseia em aspectos como continuidade das calçadas, facilidade de travessia de ruas, características do sistema viário (grelha, cul-de-sac, etc.) e topografia.

Holtzclaw (1994) apresentou o “Índice de Acessibilidade para Pedestres”. Este mede as qualidades de uma zona urbana, ao considerar fatores como continuidade das vias, a existência das próprias calçadas, recuo das edificações, velocidade do tráfego e topografia.

Dixon (1966) utilizou indicadores como existência, continuidade e largura das calçadas, os conflitos de pedestres com veículos, as amenidades existentes nas calçadas, o nível de serviço para veículos na via, o estado de conservação das calçadas e a existência de medidas de moderação de tráfego, para avaliar o nível de serviço, visando estimular e encorajar o uso de modos de transporte não motorizados.

Os autores Braun e Roddin (1978), Hakkert e Pistiner (1988), Khisty (1994) e Sarkar (1995) procuraram definir, de maneira geral, tanto quantitativa, quanto qualitativamente, quais as características que tornam o ambiente agradável para os pedestres.

Mori e Tsukaguchi (1987) descreveram dois métodos diferentes para avaliar a qualidade das calçadas. No primeiro, aplicado em locais onde existe grande fluxo de pedestres, a avaliação é feita ao se considerar o comportamento das pessoas, o grau de congestionamento e a largura das calçadas. No segundo, para locais de baixo fluxo, a avaliação é baseada na opinião dos pedestres, que avaliam, através de entrevistas, as seguintes características: largura total da via e calçada, a largura efetiva da calçada, taxa de obstáculos, taxa de área verde, fluxo de tráfego, fluxo de pedestres e número de veículos estacionados. Através de um processo de análise de regressão, os autores chegaram a uma equação que relaciona as características da calçada à qualidade geral da mesma (Ferreira e Sanches, 1999).

O IQC – Índice de Qualidade das Calçadas (2001), desenvolvido por Ferreira e Sanches e adaptado por Keppe Junior (2007), avalia a qualidade das calçadas e travessias. Consiste em avaliar tecnicamente os espaços com base em indicadores de qualidade, onde uma pontuação correspondente é aplicada a cada variável. O método ainda pondera os indicadores de acordo com a percepção dos usuários, chegando a propor uma avaliação final dos espaços através de um índice de avaliação de nível de serviço e qualidade das calçadas.

Através da avaliação técnica com base em indicadores de qualidade, uma pontuação correspondente a cada variável, e uma ponderação de acordo com a percepção dos usuários, chegar-se-ia a uma avaliação final, um índice (Camilo *et al.*, 2013).

Tal índice poderia vir a se tornar um instrumento para a administração pública, como forma de planejamento e aplicação, para detectar os problemas principais das condições de infraestrutura urbana a serem oferecidas ao usuário final.

2.4.A busca pela sustentabilidade

É importante apontar o crescimento da preocupação, em nível mundial, com os impactos no meio ambiente. A prevenção passou a assumir um papel de maior importância para os assuntos ambientais. As comunidades locais, ONGs e órgãos fiscalizadores, somados a requisitos legais, passaram a pressionar empresas de setores considerados altamente poluidores, como as indústrias químicas, de petróleo, mineração, siderúrgica, celulose, papel, florestal, energia e de transportes.

Foi a resposta desses grupos que determinou os rumos da gestão ambiental. Esta pode ser entendida como a aplicação dos princípios de planejamento e controle na identificação, avaliação, controle, monitoramento e redução dos impactos ambientais a níveis predefinidos, classificando-a como reativa (reação pontual a problemas específicos) ou proativa (gestão ambiental organizada de forma a reduzir riscos, identificar oportunidades e melhorar a imagem).

As primeiras iniciativas ainda apresentavam uma gestão reativa, focada na tecnologia de fim de linha, segregada da gestão empresarial. Modelos mais estruturados surgiram na década de 1970, mas ainda muito focados ao controle ambiental de fim de linha. O setor químico foi pioneiro ao ultrapassar esse conceito, muito influenciado pelo acidente de Bhopal, Índia. Um conjunto de princípios e códigos de práticas passou a ser implantado, juntamente com auto-avaliação anual de desempenho. Trata-se de uma grande inovação para a área, que passou a tratar da prevenção da poluição na fonte, da educação e treinamento ambiental, definição de requisitos sobre fornecedores e prestadores de serviços, preocupação com o comprometimento gerencial, entre outras. Tal processo ficou aquém do esperado no Brasil, levando a grandes mudanças estruturais nos últimos anos.

No Brasil, a massiva maioria das calçadas é construída com argamassa ou concreto, assim como em diversas localidades ao redor do globo. Trata-se de paradigma arraigado, cuja facilidade de instalação e manutenção ainda é o principal objetivo.

Nos dias de hoje, não considerar os impactos ambientais na confecção de calçadas está se tornando, cada vez mais, algo superado. Ainda, não basta passar a considerar impactos ambientais sobre técnicas e materiais considerados tradicionais, mas buscar técnicas e materiais alternativos em busca da sustentabilidade.

Atualmente, o “Ecodesign” tem se apresentado com muita força entre “designers” e projetistas em geral. O objetivo é buscar matérias-primas que sejam

recicláveis ou utilizar materiais que sejam reaproveitáveis, desenvolvendo produtos de forma que as misturas de materiais não inviabilizem reaproveitamentos futuros.

Reaproveitamento implica na utilização do material no estado em que se encontra, enquanto a reciclagem envolve nova industrialização ou transformação do material através de novos processos.

É normal que se associe a idéia de “ecodesign” ao reaproveitamento de materiais e resíduos da fabricação de produtos ou de resíduos sólidos. Ecodesign também abrange a utilização de resíduos e sobras, assim como o reaproveitamento e reciclagem de materiais.

Nehdi *et al* (2017) desenvolveram uma inovação tecnológica para construção de pavimentos e calçadas, ao aplicar diferentes porcentagens de fio de pneu de sucata em misturas de concreto de dois estágios. É este tipo de iniciativa que o meio acadêmico precisa tomar como exemplo, ao se buscar a sustentabilidade também através de tecnologias inovadoras do ponto de vista da gestão ambiental e “ecodesign”.

As exigências de gerenciamentos atuais, e o manejo adequado de resíduos impostos pela legislação e tarifas ambientais, além de trazerem grande preocupação e custos aos empresários, vêm também motivando pesquisas sobre reciclagem e reprocessamento.

Nos dias de hoje, a busca incessante pela sustentabilidade imprime uma urgência inadiável à comunidade acadêmica e científica, responsável pelos avanços técnicos da humanidade. A busca pela sustentabilidade ao referenciar a própria natureza, que em sua mais bela sabedoria, utiliza-se de todos os elementos. Tudo é reutilizado. O homem deve buscar isso. O equilíbrio através da utilização dos rejeitos de uma indústria como insumo de outra. Tecnologia pela responsabilidade. Equilíbrio pela sustentabilidade.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3. Material e métodos

3.1. Material

Os materiais empregados neste trabalho foram preparados no Laboratório de Preparação de Amostras da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UAEMa/UFCG. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização da UAEMa/UFCG. Os estudos dos ligantes modificados foram realizados nos Laboratórios de Mecânica dos Pavimentos e de Ligantes Asfálticos, ambos da Universidade Federal do Ceará. O concreto betuminoso foi preparado com teor de ligante asfáltico modificado com polímero residuário, cal hidratada tipo CH-I, areia, brita, pedrisco e pó de pedra, na ATECEL.

3.1.1. Considerações

O resíduo polimérico, denominado *RCA*, foi fornecido na forma de aparas e posteriormente moído, sendo composto por copolímero elastômero SBR, contendo ainda traços do elastômero polimérico EVA. As suas características estão mostradas nas Figuras 3.1 e 3.2 abaixo:



Figura 3.1. Resíduo polímero RCA.
Fonte: Remy, 2012.

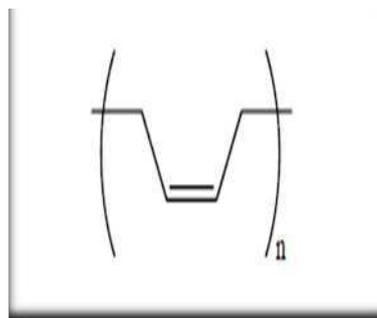


Figura 3.2. Resíduo RCA –
predominância do polímero SBR. Fonte:
Cambuim, 2004.

Os resíduos de calçados *RCA* foram fornecidos pela indústria, na forma de *pellets* e de aparas, que tem como procedência a fábrica São Paulo Alpargatas. O resíduo de rochas a base de silicatos foi procedente da empresa de mineração FUJIGRANITOS, localizada em Campina Grande/PB, decorrente do beneficiamento do granito. Foi utilizado ainda, o ligante asfáltico tipo CAP 50/70, proveniente da

PETROBRÁS/LUBNOR – Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste – Localizado na cidade de Fortaleza/CE, que atende às especificações brasileiras regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 1993), de acordo com as Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 abaixo:



Figura 3.3. Amostra do polímero RCA.
Fonte: Cambuim, 2004



Figura 3.4. Amostra de CAP 50/70.
Fonte: Cambuim, 2004.



Figura 3.5. Amostra do filer de rocha (RRS).
Fonte: Cambuim, 2004.

3.1.2. Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP)

As características do ligante estudado estão mostradas conforme especificadas na Tabela 3.1 abaixo:

Tabela 3.1. Características do CAP 50/70.

ENSAIO	MÉTODO	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO
Penetração (0,1 mm)	D5	50 a 70	63
Ponto de Amolecimento (°C)	D36	46 (min)	48,2
Viscosidade de SayboltFurol 135° C	E102	141 (min)	220
Viscosidade BROOKFIELD 135° C – SP21 20 RPM (cp)	D4402	271 (min)	437
Viscosidade BROOKFIELD 150° C 21 RPM (cp)	D4402	12 (min)	219
Viscosidade BROOKFIELD 177° C – SP21 (cp)	D4402	57 a 285	79
Ductibilidade a 25° C (cm)	D113	60 (min)	>150
Solubilidade no Tricloetileno (% em massa)	D2042	99,5 (min)	99,9
Ponto de Fulgor (°C)	D92	235 (min)	298
Índice de Sustentabilidade Térmica	X018	- 1,5 a -0,7	-1,2
Aquecimento a 177°C	X215	Não espuma	Não espuma

Fonte: LUBNOR, 2012.

O ligante CAP 50/70, utilizado na pesquisa é de grande utilização nas obras de pavimentação de estradas, para confecção de misturas a quente (CBUQ), na região Nordeste.

3.1.3. Agregado Graúdo

Os agregados são classificados quanto ao tamanho para uso em misturas (DNIT 031/2004-ES). Graúdo é o material com dimensões maiores do que 2,0 mm, retido na peneira nº 10 (britas, cascalhos, seixo, entre outros). Os agregados utilizados na confecção do CBUQ foram pedrisco 3/8", brita 19 e brita 25, de origem granítica da pedreira BRITEX, de Campina Grande.

3.1.4. Agregado Miúdo

Agregado miúdo é o material com dimensões maiores que 0,075 mm e menores do que 2,0 mm, retido na peneira Nº 200, mas que passa na de abertura 10 (areia, pó de pedra, etc). Os agregados miúdos utilizados foram areia de campo do tipo quartzosa, da jazida do rio Paraíba, agregado miúdo artificial tipo pó-de-pedra, disponibilizados pela pedreira BRITEX.

3.1.5. Cal hidratada (filer)

O material de preenchimento utilizado foi a cal hidratada CH-I, por apresentar, na distribuição dos grãos, partículas com diâmetros menores do que 40 µm. Proporciona um melhor desempenho das propriedades mecânicas das misturas asfálticas, como aumento da adesividade e melhor desempenho na sensibilidade à água e à suscetibilidade térmica. O filer é o material onde pelo menos 65% das partículas são menores do que 0,075 mm (# 200).

3.1.6. Rochas Ornamentais Silicatadas (filer do Granito RRS)

O granito é um tipo de rocha leucocrática de origem ígnea. Sua composição é ácida com teores de sílica em torno de 72 %, e a sua mineralogia é definida pela predominância de feldspato, potássio, oligoclássico, biotita, acompanhado ou não por hornblenda ou moscovita (FREIRE & MOTTA, 1995). A composição química ocorre de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Composição química do resíduo de granito.

DETERMINAÇÕES	RESÍDUO DO GRANITO (%)
SiO ₂	59,56
AL ₂ O ₃	16,46
K ₂ O	4,16

MgO	2,82
Fe ₂ O ₃	6,58
CaO	6,14
Na ₂ O	2,32
TiO ₂	-
Outros óxidos	1,96

Fonte: FREIRE & MOTTA, 1995.

3.1.7. Reagentes e Solventes

Os principais reagentes, compatibilizantes, aditivos e solventes empregados neste trabalho de dissertação estão descritos a seguir:

- Enxofre – Procedência: VETEC – Química Fina LTDA, grau de pureza: 99,5 %, utilizado como recebido;
- Peróxido de benzoíla – Procedência: VETEC Química Fina , grau de pureza 98 %, utilizado como recebido, sob a fórmula (C₁₂H₁₀O₄);
- Compatibilizante Metacrilato de Glicidíla - Ester de ácido metacrílico, monômero comum, sob a fórmula (C₇H₁₀O₃), com peso molecular 142,15 g/mol, utilizado como recebido;
- Óleo de Silicone (DC 200 Fluid 350 cs) – D'altomare Química Ltda.

3.1.8. Equipamentos Utilizados

A Tabela 3.3 abaixo mostra a relação de equipamentos utilizados:

Tabela 3.3. Equipamentos utilizados na pesquisa.

EQUIPAMENTOS	MODELO
Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	Especificação JEOI JSM – 5610 LV.
Equipamento TGA 50	Shimadzu;
IFTR – 8300	Shimadzu;
Agitador Mecânico	Fisatom 713 D,
Estufa	-
Reator	Especificação tipo KETLE;
Balança de Precisão	Especificação METLER 9200;
Agitador Mecânico	Especificação FISATOM;
Penetração.	Penetrômetro SOLOTEST;
Ponto de Amolecimento	ASTM D36, ISL RB 36;

Fonte: Tese - F. Remy, 2012

Além das vidrarias e aparelhagens comuns aos laboratórios, foram utilizados na pesquisa os equipamentos conforme as Figuras 3.6, 3.7 e 3.8:



3.6. Figura. Viscosímetro *BROOKFIELD*, Especificação: RVDV – II. Fonte: Cambuim, 2004.



Figura 3.7. Equipamento (DSC). Especificação: SHIMADZU, DSC-60 *Differential Scanning Calorimeter*. Fonte: Remy, 2013.



Figura 3.8. Equipamento (DSR). Especificação: *Advanced RHEOMETER AR 2000*. TA INSTRUMENTS. Fonte: Remy, 2013.

Foram utilizadas no envelhecimento RTFOT e ensaios de rompimento dos corpos de prova para análise de *MARSHALL*, os seguintes equipamentos, relacionados a seguir, além das aparelhagens comuns aos laboratórios de pesquisa, conforme Figuras 3.9, 3.10 e 3.11 abaixo:



Figura 3.9. Estufa RTFOT *DESPATCH*. Fonte: Remy, 2013.



Figura 3.10. Pórtico de Ruptura. Fonte: Remy, 2013.



Figura 3.11. Banho Maria. Fonte: Remy, 2013.

3.2. Métodos

O CAP modificado pelo resíduo polimérico *RCA* foi preparado conforme Figura 3.12 abaixo, que mostra todas as etapas de preparação das amostras:

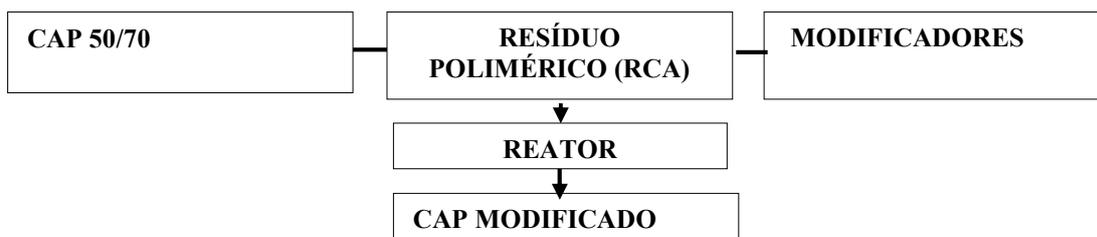


Figura 3.12. Fluxograma das Etapas para obtenção do asfalto modificado por polímero resíduo da indústria. Fonte: Remy, 2012.

Ao ligante asfáltico foram adicionadas diferentes quantidades de RCA, nas proporções de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %, em relação à massa de CAP 50/70. As amostras foram produzidas em laboratório, com agitação de cisalhamento simples e com aquecimento controlado do reator. Inicialmente, o material residuário utilizado foi colocado em estufa a 110°C por 2 horas para a retirada da umidade. Devido à consistência sólida do CAP à temperatura ambiente, o ligante foi aquecido previamente durante 1 hora, até a temperatura de 120 °C, com o intuito de torná-lo fluido para facilitar a incorporação do resíduo.

Posteriormente, foi acrescentado o resíduo polimérico (RCA), deixando permanecer em aquecimento até que a temperatura máxima desejada fosse atingida em torno de 180 °C. Conforme BRASKEM (2010), a temperatura ideal para modificar o CAP com o polímero EVA é de 150 °C. Essa temperatura de mistura não deve exceder 200 °C, para que as características do EVA não sejam prejudicadas. Kalantar *et al.* (2012) sugerem que a temperatura de mistura não ultrapasse os 185 °C.

O tempo de mistura deve ser suficiente para obtenção de uma homogeneidade através da dispersão do resíduo plástico no interior da matriz. Foram preparadas 15 amostras (Tabela 3.4). O resíduo polimérico foi adicionado mediante agitação inicial de 250 RPM, elevando-se em seguida para 350 RPM, para garantir a homogeneidade da mistura.

Tabela 3.4. Composições dos ligantes modificados na pesquisa.

SIGLA	COMPOSIÇÃO	Proporção CAP:Resíduo
1 CAPM1 a 5%	CAP 50/70 + CAP + 5% RCA + 0,2%PBO;	1/00,5
2 CAPM1 a 10%	CAP 50/70 + CAP + 10% RCA + 0,2%PBO;	1/0,1
3 CAPM1 a 15%	CAP 50/70 + CAP + 15% RCA + 0,2%PBO;	1/0,15
4 CAPM1 a 20%	CAP 50/70 + CAP + 20% RCA + 0,2%PBO;	1/0,2
5 CAPM1 a 25%	CAP 50/70 + CAP + 25% RCA + 0,2%PBO;	1/0,25
6 CAPM2 a 5%	CAP 50/70 + CAP + 5% RCA + 0,2%Enxofre + 2%MDG;	1/00,5
7 CAPM2 a 10%	CAP 50/70 + CAP + 10% RCA + 0,2%Enxofre + 2%MDG;	1/0,1
8 CAPM2 a 15%	CAP 50/70 + CAP + 15% RCA + 0,2%Enxofre + 2%MDG;	1/0,15
9 CAPM2 a 20%	CAP 50/70 + CAP + 20% RCA + 0,2%Enxofre + 2%MDG;	1/0,2
10 CAPM2 a 25%	CAP 50/70 + CAP + 25% RCA + 0,2%Enxofre + 2%MDG;	1/0,25
11 CAPM3 a 5%	CAP 50/70 + CAP + 5% RCA + 2%MDG + 2%RRS;	1/00,5
12 CAPM3 a 10%	CAP 50/70 + CAP + 10% RCA + 2%MDG + 2%RRS;	1/0,1
12 CAPM3 a 15%	CAP 50/70 + CAP + 15% RCA + 2%MDG + 2%RRS;	1/0,15
14 CAPM3 a 20%	CAP 50/70 + CAP + 20% RCA + 2%MDG + 2%RRS;	1/0,2
15 CAPM3 a 25%	CAP 50/70 + CAP + 25% RCA + 2%MDG + 2%RRS.	1/0,25

Fonte: Remy, 2012

Para o *CAPM1*, sob agitação de 300 RPM, o equipamento promoveu o alto cisalhamento da mistura, dispersando o resíduo polimérico. Na sequência, foi incorporado o resíduo *RCA* ao ligante, adicionado o aditivo¹ PBO, na temperatura de $170\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, num intervalo de 120 minutos de homogeneização, e para a concretização da mistura, deixou-se o material reagindo mais 60 minutos no reator, numa velocidade de 300 RPM de homogeneização final. Uma vez a dispersão sendo considerada satisfatória, a mistura foi finalizada. O peróxido de benzoíla foi utilizado para gerar radicais livres e melhorar a interação entre o asfalto e os resíduos poliméricos, sendo diluído em tolueno e adicionado ao composto numa temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cambuim (2004) e Lima (2008) realizaram procedimentos semelhantes com asfalto modificado.

Para o *CAPM2*, foi realizado procedimento inicial similar ao *CAPM1*, para fluidez, homogeneização, aquecimento e agitação. Sendo a partir daí incorporado paulatinamente o resíduo *RCA* ao CAP na proporção de 5 % a 25 % do resíduo *RCA*, adicionado o reagente enxofre e o compatibilizante Metacrilato de Glicidíla (MDG), na temperatura de $170\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, no intervalo de 120 minutos de homogeneização. Para a concretização da mistura, o material reagiu mais 60 minutos no reator a 300 RPM de homogeneização final.

Para o *CAPM3*, foi utilizado procedimento similar ao *CAPM1* e *CAPM2*. Ao ligante CAP50/70 foi incorporado o resíduo *RCA*, numa proporção de 5 % a 25 %, sendo adicionado o Metacrilato de Glicidíla (MDG), com acréscimo do filler do RRS, a temperatura de $170\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, numa agitação mecânica com rotação de 300 RPM, durante 120 minutos. Para a concretização e homogeneização da mistura, deixou-se o material cisalhando por 60 minutos no reator a velocidade de 300 RPM. As caracterizações do *CAPM1*, *CAPM2*, *CAPM3*, dos resíduos *RCA* e do CAP puro, ocorreram conforme mostra a Figura 3.13.

¹ Aditivo: substância adicionada em pequena quantidade aos polímeros para promover a alteração ou preservação de uma ou mais propriedades (PETROPOL, 2013).

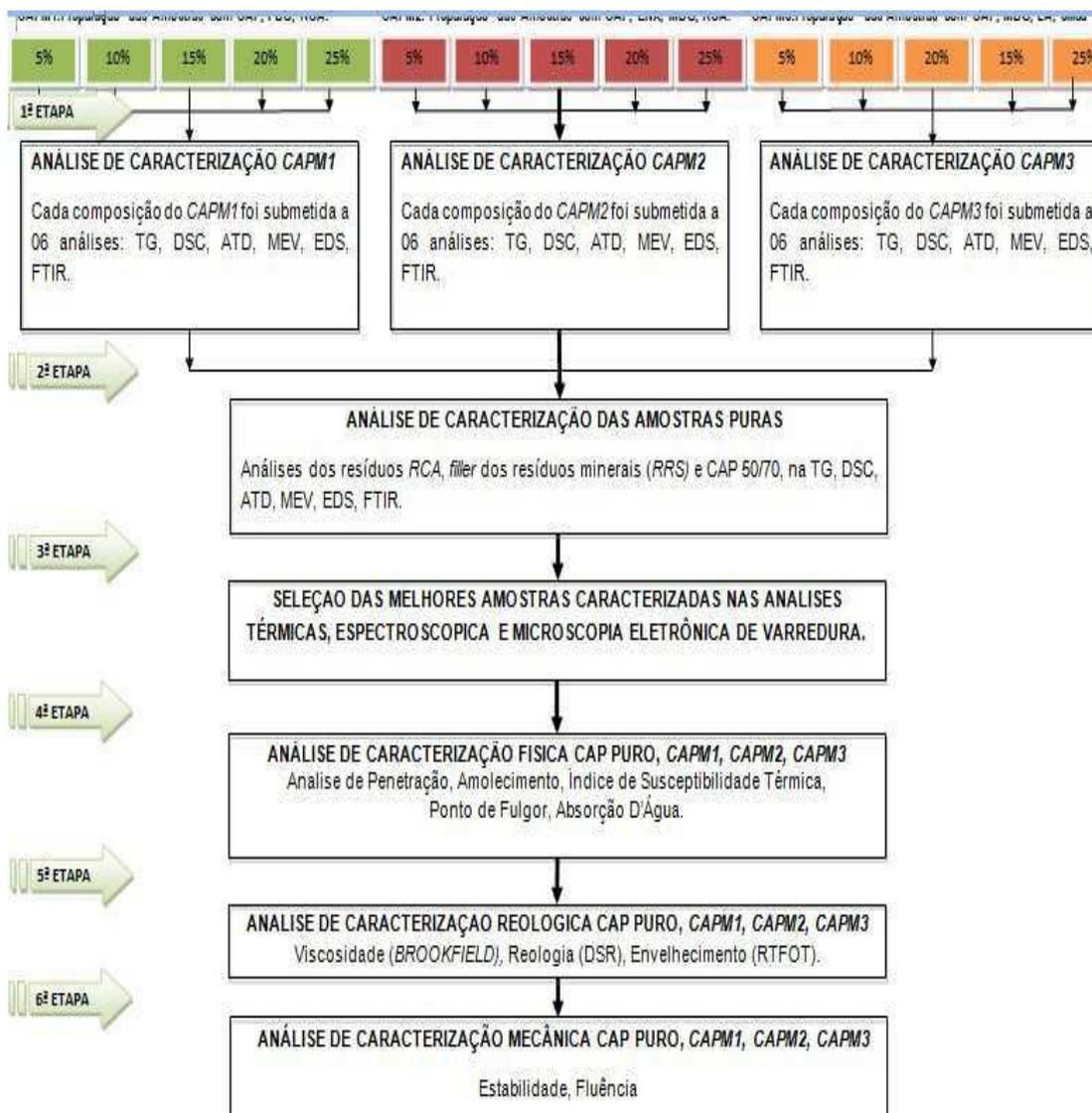


Figura 3.13. Fluxograma das Análises e Caracterizações.

3.2.1. Caracterizações Térmica, Espectroscópica, Física, Viscosidade, Reológica e Mecânica

O procedimento metodológico para a análise do CAP modificado consiste em ensaios de caracterização térmica, espectroscópica, viscosimétrica, reológica e mecânica, conforme procedimentos utilizados em trabalhos científicos realizados recentemente por Remy (2013) e Cambuim (2004), conforme apresentado a seguir.

3.2.2. Especificações das Caracterizações Térmica, Espectroscópica, Física, Viscosimétrica, Reológica e Mecânica do CAP Modificado

As análises usadas na caracterização do ligante asfáltico modificado incluíram a Termogravimetria (TG), Análise Térmica (DSC), Análise Térmica Diferencial (DTA),

Caracterização por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), completada pela análise de Energia Dispersiva (EDS) e IFTR (Infravermelho). Foram utilizadas análises do *BROOKFIELD*, Reológica (DSR), Envelhecimento (RTFOT), ensaios Físicos tipo Ponto de Amolecimento, Penetração, Ponto de Fulgor, Mecânico pelo Método *MARSHALL* e Absorção de água, sendo posteriormente efetivada a interpretação dos resultados.

3.2.2.1. Análise Termogravimétrica (TG)

A TG é utilizada para o estudo e análise da decomposição do resíduo asfáltico puro e modificado. Utilizada como uma ferramenta útil para se estudar separadamente os efeitos decorrentes do envelhecimento simulado, ou seja, pode ser definida como um processo contínuo que mede a variação de massa do material como uma função da temperatura e/ou tempo, devido às transformações químicas como: evaporação, decomposição, oxidação (MOTHE; AZEVEDO, 2002).

O efeito combinado de reações químicas irreversíveis, como a oxidação do asfalto, e fenômenos reversíveis, como a eliminação de frações voláteis, pode ser observado através deste ensaio. Todos os experimentos foram realizados em um sistema SHIMADZU TGA-50, utilizando-se atmosfera inerte com fluxo de 50 ml.min⁻¹, e taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. Aproximadamente 10 mg de amostra aquecida de 25 °C a 400 °C, em diferentes taxas de aquecimento: 5, 10, 20 e 40 °C.min⁻¹.

3.2.2.2. Análise Térmica Calorimetria Exploratória Diferencial - (DSC)

A análise térmica é usada para detectar mudanças físicas ou químicas, acompanhadas de ganho ou perda de calor, com o objetivo de identificar a temperatura de transição vítrea², mudança de fase, pico endotérmico, exotérmico, amorfo³ ou cristalino. Segundo Lima (2008), alguns fatores como: rigidez, flexibilidade da cadeia principal, polaridade, simetria, copolimerização, massa

² Transição vítrea (Tg): Temperatura obtida durante o aquecimento de um material polimérico, onde as cadeias poliméricas da fase amorfa adquirem mobilidade, ou seja, possibilidade de mudança de conformação, (LIMA, 2008).

³ Amorfo: A parte amorfa do material, caracterizada pela desordem das cadeias poliméricas, sendo responsável pela determinação da temperatura de transição vítrea, (LIMA, 2008).

molecular, podem alterar o valor da transição vítrea. Canevarolo (2004) afirma que a polaridade, onde há existência de grupos polares nas macromoléculas poliméricas, tende a aproximar mais fortemente as cadeias entre si, aumentando as forças secundárias.

Portanto, a presença de polaridade aumenta também a transição vítrea. Foram utilizados aproximadamente 10 mg da amostra, na forma original, pesadas em balança tipo Mettler. As curvas foram obtidas no equipamento SHIMADZU, modelo DSC-60, em atmosfera de nitrogênio, com vazão de 500 ml.min⁻¹, em uma faixa de temperatura entre 25 °C e 500 °C, com razão de aquecimento de 10 °C e a quantidade de massa em torno de 10,0 mg.

3.2.2.3. Análise Termodiferencial (ATD)

É uma análise cuja função é estudar a liberação de calor absorvido e liberado, questões de reflexão e estudo das emissões de calor pelo asfalto para fins de detectar a temperatura inicial dos processos térmicos e, qualitativamente, caracterizá-los como endotérmico e exotérmico, reversível ou irreversível. Esta técnica pode ser descrita tomando como base a análise de um programa de aquecimento prolongado, sendo que, ao longo do aquecimento, a temperatura das amostras e referência se mantém iguais, até que ocorra alguma alteração física ou química na amostra.

3.2.2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta análise fornece informações sobre a morfologia da superfície do material, obtendo-se informações do ligante asfáltico quando modificado por *RCA*, relativo à sua homogeneidade ou heterogeneidade, podendo ser observada uma maior ou menor interação entre as fases do sistema. A resolução do MEV está compreendida no intervalo entre 3 nm a 20 nm. As micrografias tem uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial da amostra do CAP Modificado. As propriedades físico-químicas do cimento asfáltico podem ser controladas com o auxílio de alguns métodos que promovem um aumento de até 5000 x.

3.2.2.5. EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva)

O EDS, em paralelo com o MEV, foi utilizado no estudo de caracterização microscópica de materiais. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível determinar quais elementos químicos estão presentes naquela região do MEV, e assim identificar, em instantes, que mineral está sendo observado. O diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos muito reduzidos (<5 µm), permitindo uma análise quase que pontual das amostras estudadas. Em resumo, a microanálise realizada por EDS em um MEV permite a identificação elementar imediata, mesmo que qualitativa, sobre toda ou em pontos escolhidos da imagem. Além da identificação, alguns equipamentos oferecem a possibilidade do mapeamento da distribuição dos elementos químicos, gerando mapas composicionais sobre a imagem.

3.2.2.6. Análise Espectrométrica no Infravermelho (FTIR)

A FTIR é uma ferramenta utilizada no estudo dos grupamentos característicos do ligante asfáltico, destacando os alifáticos, aromáticos e heteroátomos, que fazem parte da composição química do ligante (LAMONTAGNE *et al.*, 2001). Na técnica de espectroscopia, a amostra é irradiada com energia eletromagnética na região do infravermelho do espectro eletromagnético (comprimento de onda de 0,7 a 500 nm). A absorção molecular na região do infravermelho é devida ao movimento rotacional e vibracional das ligações moleculares (PETROPOL, 2013). Esta técnica é útil também para o estudo dos grupamentos que se formam ou se alteram durante um processo de oxidação (PETERSEN *et al.*, 1993). Masson *et al.* (2001) utilizaram a técnica de infravermelho para mostrar que compostos carbonílicos são produtos decorrentes da oxidação de ligantes asfálticos, embora existam controvérsias sobre os grupos funcionais predominantes (cetonas, anidridos, ésteres ou ácidos carboxílicos). As características estruturais são estudadas através dos espectros na região do infravermelho, utilizando-se o espectrômetro infravermelho FTIR-8300 da SHIMADZU.

3.2.2.7. Ensaio de *BROOKFIELD* (NBR 15184/2007)

A viscosidade *BROOKFIELD* do ligante asfáltico é determinada a partir do torque necessário para aplicar uma dada rotação a uma haste, com dimensões padronizadas, imersa em uma amostra de CAP Modificado, na temperatura de ensaio desejada. O conceito de viscosidade é relativo à resistência ao escoamento. As variáveis atreladas à amostra em teste provêm das propriedades reológicas relacionadas com o instrumento, resultando do desempenho do viscosímetro e a geometria da agulha. O *BROOKFIELD* permite medir as propriedades de consistência relacionadas ao bombeamento e à estocagem, obter gráfico de temperatura *versus* viscosidade para mistura asfáltica, por meio de medida do comportamento do fluido a diferentes taxas de cisalhamento⁴, e tensões de cisalhamento, obtidas por rotação de cilindros coaxiais que ficam mergulhados na amostra em teste (ABNT NBR 15184) conforme Figura 3.14.

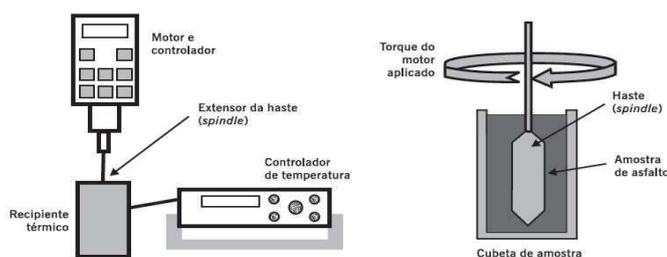


Figura 3.14. Esquema do funcionamento do aparelho *Brookfield* (BERNUCCI *et al.*, 2006).

A Tabela 3.5, mostra o comportamento do CAP sobre determinadas condições de temperatura, variando de 135 °C a 177 °C:

Tabela 3.5. Comportamento do CAP sob determinadas condições de temperatura.

VISCOSIDADE BROOKFIELD	30-45	50-70	85-100	150-200
135 °C SP 21, 20rpm, min.	374	274	214	155
A 150 °C SP 21, min.	203	112	97	81
177 °C SP 21	76-285	57-285	28-114	28-114

Fonte: ABNT NBR 15184; ASTM D 4402/02.

Materiais de elevado peso molecular, como o CAP, SBR e EVA, possuem um comportamento viscoelástico, que se caracterizam por apresentar, ao mesmo tempo, características de materiais sólidos e de materiais líquidos.

⁴ Cisalhamento: força aplicada que causa ou tende a causar deslizamento de duas partes adjacentes do mesmo corpo, em direção paralela ao plano de contato destas duas partes (PETROPOL, 2013).

3.2.2.8. Ensaio do Ponto de Amolecimento (DNIT ME 131/2010)

Os asfaltos amolecem quando submetidos ao aquecimento e não possuem ponto de fusão bem definido. Portanto, o ensaio visa identificar o ponto de amolecimento e é determinado pelo método do Anel e Bola, realizado conforme a norma DNIT ME 131/2010, e consiste em anotar a temperatura na qual uma pequena esfera de 3/8" de diâmetro e cerca de 3,5 g empurra para baixo uma amostra contida num anel de diâmetro de 5/8" e 1/4" de altura, e percorre uma distância de uma polegada.

Assim, a temperatura da água no final do ensaio, quando o material estiver amolecido, traduz a temperatura do ponto de amolecimento (PA). De acordo com Botaro *et al.* (2006), o ensaio de Anel e Bola tem por objetivo medir a consistência da amostra em função da temperatura, podendo ser correlacionada com a dureza. Segundo Silva *et al.* (2004), é neste ensaio que se obtêm a temperatura de referência para aplicação do material, pois o CAP não amolecerá em dias quentes, sendo necessário maior calor para os trabalhos de aplicação, oferecendo maior risco de explosão.

3.2.2.9. Ensaio de Penetração (DNER - ME 155/2010)

O ensaio de determinação da penetração, realizado em conformidade com a norma DNIT-ME 155/2010, mensura a profundidade em décimos de milímetro, que uma agulha padronizada penetra verticalmente durante 5 segundos em uma amostra de cimento asfáltico, numa temperatura de 25 °C. A massa total atuante na agulha é de 100. O grau de dureza do CAP é tanto maior quanto menor for o valor da penetração da agulha na amostra. Valores de penetração abaixo de 15 décímetros de milímetros estão associados a betumes envelhecidos e quebradiços. Os resultados dos ensaios de penetração têm sido utilizados no estudo da reologia dos asfaltos.

3.2.2.10. Índice de Susceptibilidade Térmica (IST)

O IST foi desenvolvido por Pfeiffer Van Doornaal e expressa a variação do asfalto com a temperatura na faixa de serviço em pavimentos, conforme a equação

3.1. A especificação ANP estabelece, para estes parâmetros, como limites inferiores e superiores, respectivamente, os valores de -1,5 e 1,0. Identificam o CAP de uso rodoviário. O valor zero significa susceptibilidade adequada, e valores abaixo de -1,5 indicam CAPs muito susceptíveis, ou seja, que variam muito de consistência com a temperatura. O IST é calculado a partir dos valores de penetração e ponto de amolecimento.

$$\text{I.S.T.} = \frac{[500.(\log \text{Pen}) + 20.(T \text{ } ^\circ\text{C}) - 1951]}{[120 - 50.(\log \text{Pen}) + (T \text{ } ^\circ\text{C})]} \quad (3.1)$$

Pen = Penetração em dm.

T°C = Temperatura média de amolecimento do material.

3.2.2.11. Ponto de Fulgor (NBR 11341)

O CAP tem ponto de fulgor normalmente superior a 230 °C. A sua contaminação com o asfalto diluído diminui sensivelmente a temperatura de inflamação e se reflete também na aptidão à compactação da mistura betuminosa. O ponto de fulgor é considerado a temperatura na qual os vapores originados pelo aquecimento do CAP se inflamam quando em contato com uma chama padronizada. Essa combustão é um indicativo da presença de certos constituintes voláteis indesejáveis no cimento asfáltico.

3.2.2.12. Caracterização Mecânica (Estabilidade MARSHALL - ME-043/95)

Hills (1973) *apud* Amaral (2000) relatam que uma das propriedades mais importantes de uma mistura asfáltica é a sua estabilidade, ou seja, a habilidade desta em resistir à deformação permanente quando sujeita à passagem dos veículos, ou mesmo quando sujeita aos veículos estacionados. Ensaio laboratoriais, como o *Marshall*, idealizados para medir a estabilidade destas misturas, são empíricos em sua essência.

Leal & Castro (2004) descrevem que, apesar do método de estabilidade *MARSHALL* ser contestado, em virtude da dispersão de seus resultados e do confinamento do corpo-de-prova, a estabilidade é um dos parâmetros mais utilizados

para dosagem e controle de qualidade das misturas asfálticas. A carga máxima que provoca o rompimento do corpo de prova é igual ao valor da estabilidade *MARSHALL* (Kgf). A deformação até a ruptura é o valor da fluência em 0,1 mm (décimo de milímetro). A Tabela 3.6 mostra os valores mínimos e intermediários utilizados:

Tabela 3.6. Ensaio Marshall - valores limites.

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAIO	CAMADA DE ROLAMENTO	CAMADA DE LIGAÇÃO (BINDER)
Porcentagem de vazios (%)	DNIT – ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNIT – ME 043	75-82	65-72
Estabilidade mínima (kgf) (75 golpes)	DNIT – ME 043	500	500
Resistência a tração por compressão diametral, mínima, MPA.	DNIT – ME 138	0,65	0,65

Fonte: DNIT-ES 313/97, 1997.

3.2.2.13. Ensaio de Absorção D'Água

O ensaio é realizado de acordo com a NBR-8492 onde os corpos de prova são secos em estufa e pesados. Em seguida, são imersos por 24 horas em água, onde são retirados para nova pesagem e cálculo dos respectivos valores de absorção, conforme Equação 3.2:

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

M_1 = Massa do corpo de prova seco em estufa;

M_2 = Massa do corpo de prova saturado;

A = Absorção de água, em porcentagem.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. Resultados e Discussão

4.1. Amostras *CAP PURO*, *RCA*, *RRS*, *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*

Inicialmente, foram definidos os percentuais dos modificadores *RCA*, *RRS*, aditivos e agentes compatibilizantes, para a incorporação ao *CAP 50/70*, objetivando a verificação da influência das concentrações destes modificadores nas propriedades do ligante asfáltico puro. Foram preparadas cinco amostras, contendo 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %, para cada mistura, denominados *CAPM1* (*CAP 50/70* + *RCA* + *PBO*), mistura *CAPM2* (*CAP 50/70* + *RCA* + *S* + *MDG*) e o *CAPM3* (*CAP 50/70* + *RCA* + *MDG* + *RRS*), totalizando 15 amostras modificadas.

4.1.1. Análise Granulométrica, Térmica, Espectroscópica, Viscosidade, Física, Reológica e Mecânica

No procedimento metodológico para avaliação do *CAP* modificado foram incluídos ensaio de granulometria, caracterização térmica, espectroscópica, reologia, ensaios empíricos e mecânicos, que avaliaram dados da caracterização microestrutural e macroestrutural, através da interpretação e análise dos resultados, para estudo da viabilidade do uso dos resíduos no asfalto. As amostras puras foram caracterizadas com intuito de comparar seus resultados experimentais com os resultados das amostras modificadas. A aplicação dos resíduos poliméricos fundamentou-se, sobretudo, no ligante puro e no rendimento de polímeros virgens, aplicados como modificadores do asfalto.

4.1.1.1. Análise Granulométrica (*RCA* e *RRS*)

Alguns pesquisadores que utilizaram em seus trabalhos modificadores de asfaltos, como a borracha de pneu moída ou de outros polímeros, citam a granulometria como fator que pode influenciar no desempenho das misturas asfálticas. Oda (2001) utilizou a borracha de pneus em duas granulometrias: uma composta de partículas que passam nas peneira 0,425 mm (#40) e ficam retidas na peneira 0,297 mm (#50), e outra faixa composta de partículas que passam na peneira 0,297 mm (#50) e ficam na 0,150 mm (#100). Loureiro (2003) utilizou borracha de pneu com diâmetros entre 0,42 mm e 0,074 mm. Lima (2008) utilizou 75

% de resíduo polimérico de poliéster na faixa granulométrica entre 0,106 mm e 0,425 mm, sendo esta faixa considerada razoável para incorporação de resíduos poliméricos ao asfalto.

Os resíduos poliméricos utilizados nesta pesquisa correspondem às aparas resultantes do processo de corte de matéria prima para fabricação de calçados na indústria, e material residuário de rochas ornamentais. A Figura 4.1, mostra a distribuição granulométrica dos resíduos poliméricos *RCA* e mineralógicos *RRS*, considerados neste trabalho:

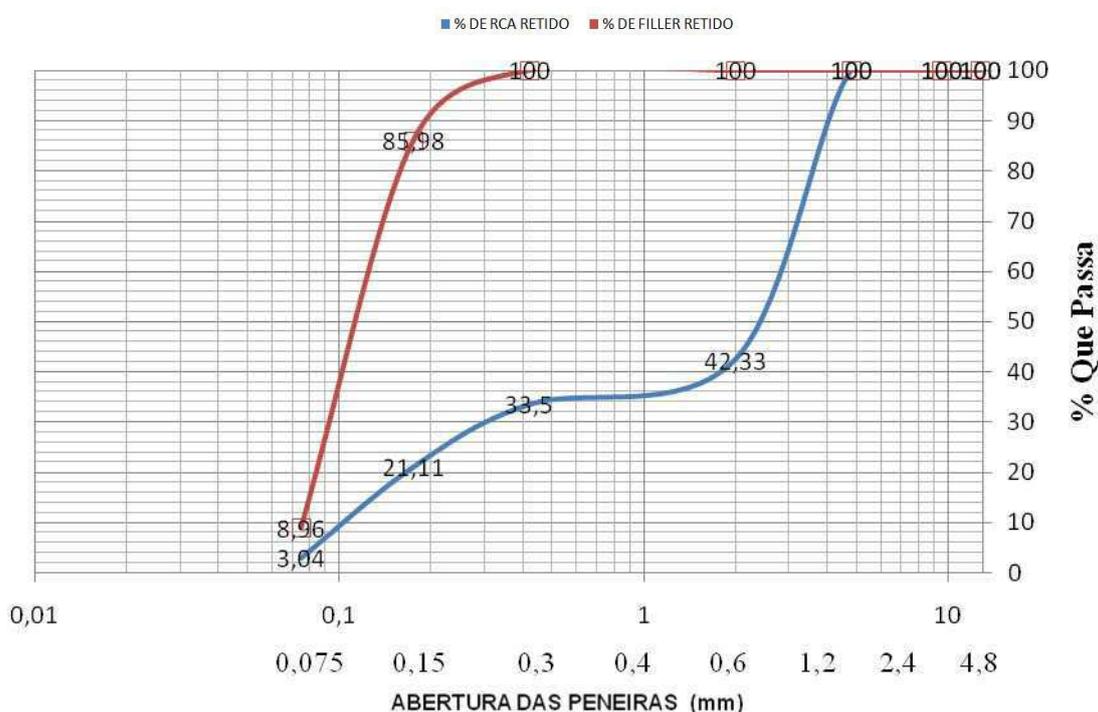


Figura 4.1. Granulometria do resíduo *RCA* e *RRS*.

O resíduo de calçados *RCA* apresentou uma larga faixa granulométrica, com sua grande maioria de material, aproximadamente 96,94 %, entre as malhas 0,075 mm (#200) e 0,6 mm (#30), sendo esta faixa a mais indicada para incorporação de resíduos poliméricos. A peneira com abertura de 0,6 mm (#30ASTM) foi a que apresentou maior quantidade de material retido, com 42,33 %. A que apresentou menor percentual retido foi a peneira com abertura de 0,075 mm (#200).

Os maiores percentuais do resíduo da rocha de silicatos (*RRS*) ficaram retidos na peneira com abertura de 0,045 mm (#350) e 0,15 mm (#100), sendo que 0,15 mm

(#100) correspondem ao total de 85,98 % do material. Uma minoria de 13,01 % do material ficou retido nas peneiras 0,075 mm (#200) e 0,045 mm (#350).

De outra forma, verificou-se que a distribuição das porcentagens de massa do resíduo polimérico *RCA* e do resíduo mineralógico *RRS* retidos e a porcentagem que foi repassada para a peneira posterior, ocorreram da seguinte forma: 85,98 % do *RRS* ficaram retidos na 0,15mm (#100ASMT) e 42,33 % de *RCA* ficaram retidos na 0,6 mm (# 30ASMT).

4.1.1.2. Análise Termogravimétrica (TG) do *RCA*, filer de *RRS* e CAP PURO

Para o *RRS* e o CAP PURO, o desempenho ocorreu conforme a Tabela 4.1, apresentando dois eventos na decomposição do material:

Tabela 4.1. Eventos ocorridos na degradação do *RRS* e do CAP PURO. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

COMPOSIÇÃO	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	PMt
Filer de Rocha Silicatada (<i>RRS</i>)	280,00 a 640,00	0,03	640,00 a 1000,00	2,3	2,33
CAP PURO	167,00 a 364,00	22,37	364,00 a 496,00	42,80	65,17

As Figuras 4.2 e 4.3 mostram o gráfico das curvas termogravimétricas do resíduo *RRS* e do CAP PURO, registradas na faixa entre 25 °C e 1000 °C, em atmosfera inerte de N₂ e velocidade de 10 °C.min⁻¹.

O *RRS* apresenta uma estabilidade térmica até 300 °C, sendo verificada pequena perda de massa, entre 300 °C e 640 °C, correspondente à perda de água livre, adsorvida e compostos voláteis. A perda de massa entre 640 °C e 1000 °C ocorre devido à rocha possuir estabilidade térmica até 1000 °C e elevadíssimo ponto de fusão. Os eventos de perda de massa observados neste intervalo são atribuídos à eliminação e decomposição do carbonato de cálcio (CaCO₃)⁵.

⁵ Carbonato de Cálcio: Carga utilizada em termoplásticos. Presente na natureza na forma de minerais como a calcita (PETROPOL, 2013).

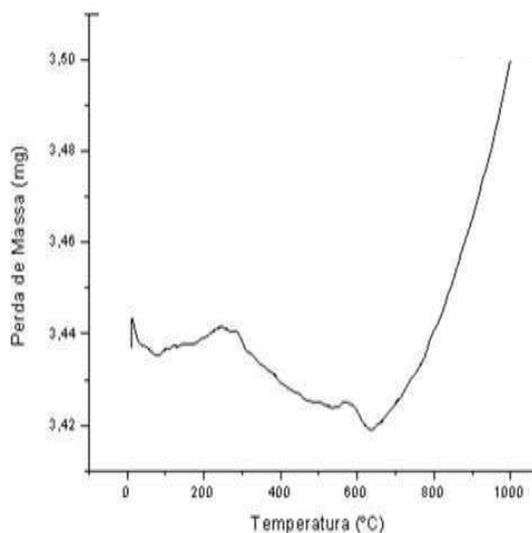


Figura 4.2. TG do Resíduo Mineralógico RRS.

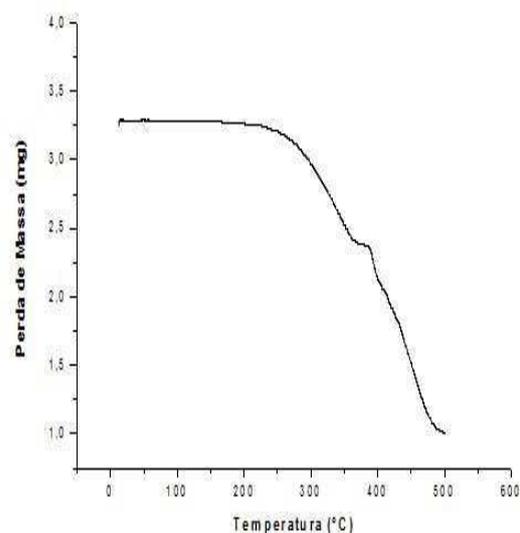


Figura 4.3. TG do CAP PURO.

Para o CAP PURO, o comportamento do material configurou-se conforme a Tabela 4.1, apresentando dois eventos consideráveis na decomposição. A curva mostrou perfil gráfico característico de dois eventos térmicos de decomposição, iniciando em 167 °C, considerando o limite de estabilidade térmica, quando ocorre uma degradação mais acentuada, terminando em 364 °C.

Neste intervalo, ocorreram eventos de perda de massa que são atribuídos à eliminação de água e compostos voláteis, típicos de materiais orgânicos da classe de hidrocarbonetos de alto peso molecular. Conforme Mothé (2009), tal comportamento caracteriza a degradação dos maltenos e asfaltenos. Uma intensa degradação é observada a partir de 310 °C, com um máximo em torno de 350 °C, atribuída à degradação estrutural do ligante. Em 364 °C, ocorre degradação mais acentuada, com craqueamento das moléculas, degradação estrutural e oxidação do ligante.

Para as amostras com resíduo polimérico RCA (SBRr/EVAr,) o desempenho configurou-se conforme a Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Eventos ocorridos na degradação do RCA (SBRr,EVAr). T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

COMPOSIÇÃO	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	PMt
RCA	120,00	7,85	260,00	29,73	451,00	3,92	41,5
a	260,00		451,00		497,00		

Para o resíduo polimérico *RCA*, o comportamento ocorreu de acordo com a termogravimetria (Figura 4.4), registrada na faixa de temperatura entre 25 °C e 500 °C, em atmosfera inerte de N₂, na velocidade de 10 °C.min⁻¹:

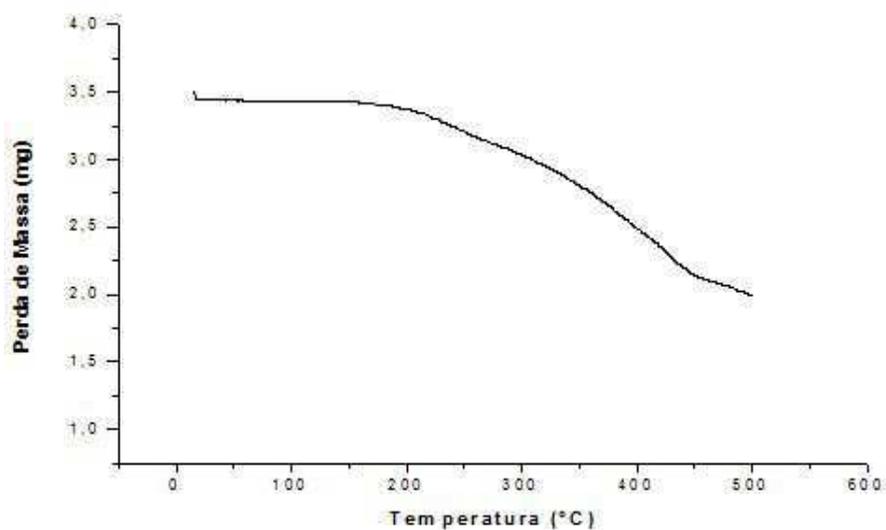


Figura 4.4. TG do Resíduo Polimérico RCA.

A análise termogravimétrica (TG) para o *RCA* mostrou, no perfil, três eventos térmicos de decomposição. Verifica-se que o material apresenta uma estabilidade térmica até aproximadamente 120 °C, quando se inicia uma degradação da cadeia principal, mais acentuada, envolvendo a formação de ácido acético (CH₃COOH), que surge com a deacetilação do EVA (SULTA, SORVIK, 1991), bem como eventos de perda de massa atribuídos à eliminação de água e compostos voláteis. Uma intensa perda de massa é observada a partir de 260 °C, com um máximo em torno de 451 °C, atribuída à degradação da cadeia principal do polímero (ALLEN *et al.*, 2000), com presença de oxigênio, gerando efeito oxidativo e decomposição do carbonato de cálcio.

4.1.1.3. Análise Calorimetria Exploratória Diferencial do *RCA*, filer de *RRS*, *CAP PURO*

As propriedades físico-químicas, temperatura de transição vítrea e degradação foram analisadas com auxílio da DSC. As Figuras 4.5 e 4.6 mostram as transições de fase ocorridas no resíduo *RCA* e *CAP PURO*:

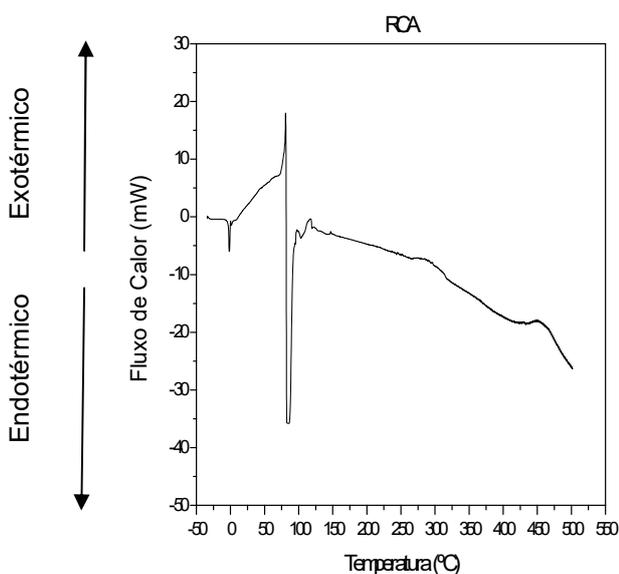


Figura 4.5. DSC - Resíduo polimérico *RCA* em atmosfera de N₂. Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 mL/min.

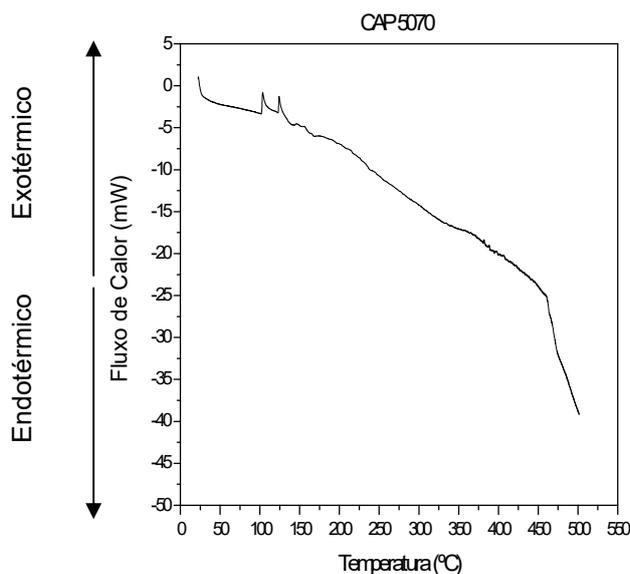


Figura 4.6. DSC - CAP PURO em atmosfera de N₂. Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 mL/min.

Foram observados diversos eventos ou “picos” endotérmicos e exotérmicos durante as etapas de decomposição da amostra. O copolímero residuário SBRr apresentou temperatura de transição vítrea sub-ambiente em torno de -50 °C. Na temperatura de -1 °C, aproximadamente, pôde-se detectar um pico referente à fase amorfa do EVAr. O pico endotérmico que ocorre no intervalo de 80 °C a 120 °C está relacionado à entalpia de 24 J/g, indicando uma fusão de fragmentos do EVAr. Entre 250 °C e 350 °C, ocorre evento referente à vulcanização residual do SBRr, e aproximadamente a 450 °C, um pico referente à decomposição do sistema polimérico. Segundo Bringel, Soares e Soares (2005), a temperatura de transição vítrea e de fusão do EVA são respectivamente, 69 °C e 86°C, apresentando estabilidade térmica até 300 °C.

No desempenho do CAP com relação à transição vítrea (T_g), percebeu-se mudança de fase, de sólida para a viscosa, através da inclinação observada nas retas. Constatou-se a presença de evento a 70 °C, referente à formação de produtos da decomposição. O ligante asfáltico apresentou transição vítrea⁶ em aproximadamente -10 °C. Abaixo disso, o material apresenta-se petrificado.

⁶ Transição Vítrea: A temperatura de transição vítrea, denotada T_g, é definida como a temperatura que separa o comportamento sólido do comportamento líquido em um sólido amorfo como o vidro (CALLISTER JR., 2012).

A partir de 150 °C, o material apresenta um estado de amolecimento, podendo ser possível detectar um evento em 157 °C, seguido de um novo evento a partir dos 450 °C, pertinente à decomposição do material e volatilização de gases, metais pesados e sulfóxidos. A fusão do material é iniciada a 450 °C, sendo necessária uma leitura até 800 °C, para uma percepção mais acentuada do fenômeno. A Figura 4.7 mostra o desempenho do *RRS* com relação à sua temperatura de transição vítrea:

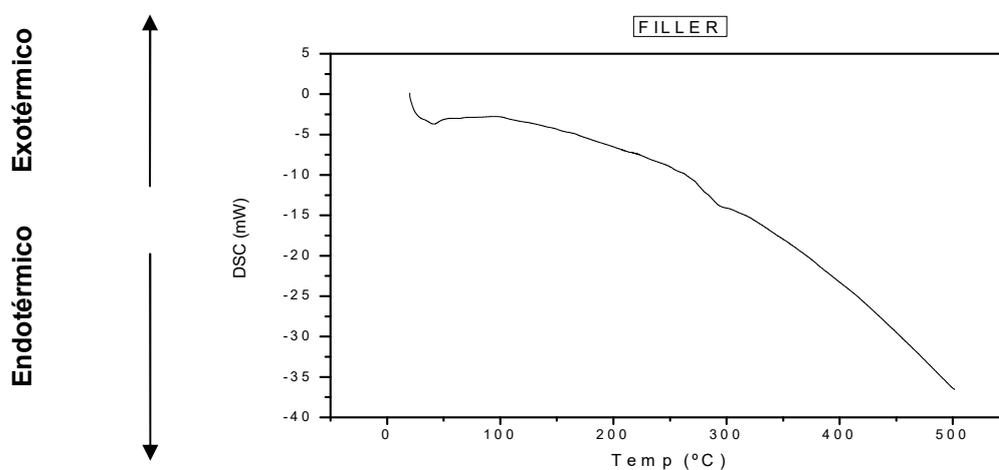


Figura 4.7. DSC - *RRS* em atmosfera de N_2 . Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 mL/min.

A amostra do resíduo *RRS* apresenta grande estabilidade térmica até altas temperaturas, não se podendo detectar o ponto de fusão do material. Pode-se perceber um pequeno evento endotérmico da temperatura ambiente até 100 °C, proveniente da umidade absorvida pelo *RRS*. Aproximadamente a 300 °C, observa-se pequeno evento endotérmico, atribuído a segmentos rochosos de baixa estabilidade térmica.

4.1.1.4. Análise Termodiferencial (ATD) do *RCA*, filer de *RRS*, *CAP PURO*

O resíduo polimérico *RCA* e o ligante *CAP PURO*, na análise térmica diferencial ATD, tiveram seu comportamento conforme as Figuras 4.8 e 4.9. A avaliação confirma a degradação térmica provocada pela temperatura na investigação feita pelo método da DSC. A aproximadamente 180 °C, ocorre um pico

endotérmico referente à degradação do acetato de vinila do EVAr, formando o ácido acético. Em 385 °C, observou-se uma variação da capacidade calorífica na forma de ombro, referente à despolimerização de segmentos polibutadiênicos do SBRr, e um pico endotérmico em torno de 450 °C, degradação simultânea do estireno e butadieno (DUTRA, 2004):

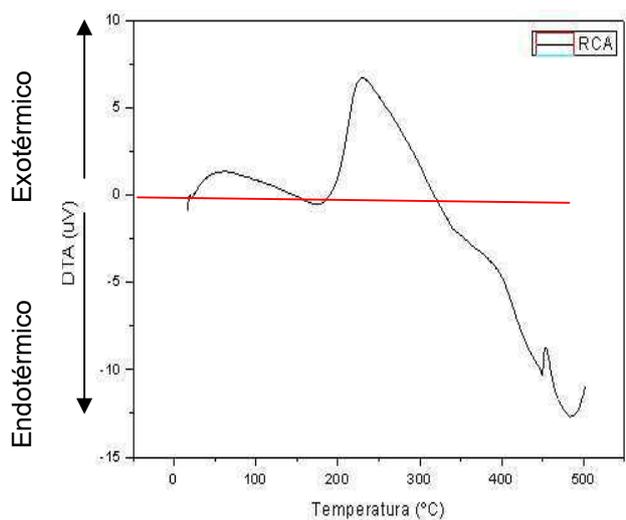


Figura 4.8. ATD- RCA.

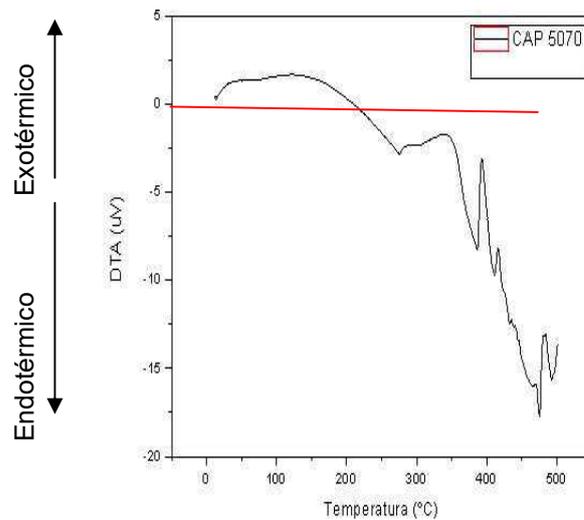


Figura 4.9. ATD - CAP PURO.

Entre 420 °C e 460 °C, existe uma inflexão (mudança de capacidade calorífica), concernente a um evento físico ou químico presente no SBRr. Ocorreu a degradação da parte olefínica do copolímero (C-C e C-H), e a 490 °C refere-se a cargas inorgânicas presentes no composto (ZATTERA, 2005). O ligante CAP apresenta uma gama de componentes químicos de diversos grupos funcionais. Como exemplo os sulfóxidos, hidrocarbonetos, aromáticos, carboníla, etc. Pode-se observar a 276 °C um pico endotérmico correspondente a aromáticos, e a 380 °C, correspondente a maltenos e hidrocarbonetos. Entre 400 °C e 500 °C, ocorrem picos endotérmicos referentes a metais pesados, cargas e sulfóxidos (S=O) presentes na composição do CAP. Para o RRS, na análise térmica diferencial ATD, o comportamento segue conforme a Figura 4.10:

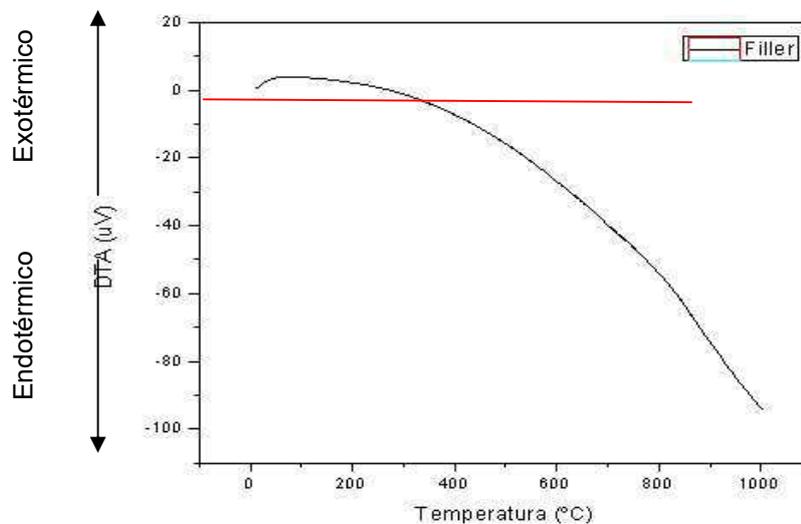


Figura 4.10. ATD - RRS tipo Granito.

O resíduo *RRS* apresenta uma grande banda em formato de inflexão. Entretanto, não se percebe pico endotérmico, nem exotérmico, da lama abrasiva proveniente da rocha silicatada do granito.

4.1.1.5. Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura do RCA, CAP PURO

Na caracterização morfológica das superfícies dos compósitos obtidos em relação às suas propriedades e composição química, foram utilizadas as técnicas de MEV e EDS em conjunto. A análise por MEV fornece informações sobre a morfologia da superfície do material em diferentes ampliações.

Na amostra do resíduo *RCA*, observou-se, conforme as Figuras 4.11 e 4.12, o comportamento da superfície do material na amplitude de 500 vezes a 3000 vezes. Na micrografia do MEV-*RCA*/500x, percebe-se um aglomerado de partículas com geometria irregular sem uniformidade. Com a ampliação, é visível o tamanho, forma das partículas e os vazios pré-existentes. No MEV-*RCA*/3000x, verifica-se os tamanhos de partículas, em torno de 5,2 µm em média:

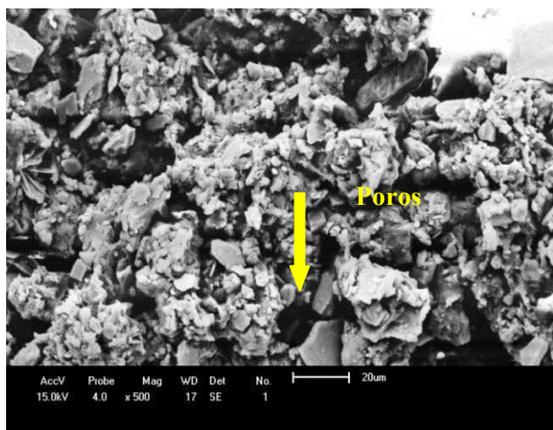


Figura 4.11. MEV - RCA a 500X.

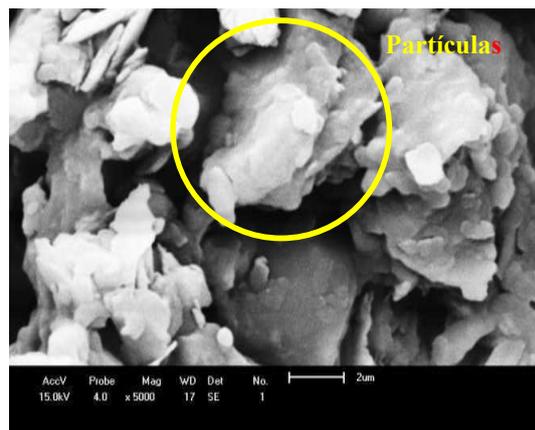


Figura 4.12. MEV - RCA a 3000X.

Para a amostra do CAP PURO, teremos, de acordo com as Figuras 4.13 e 4.14, o comportamento da superfície do material a 500 e 3000 vezes:

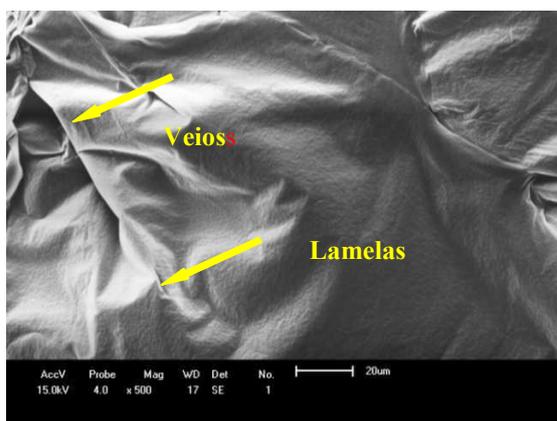


Figura 4.13. MEV - CAP PURO a 500X.

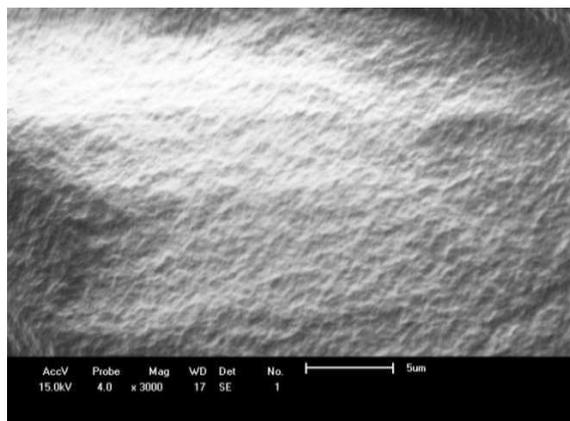


Figura 4.14. MEV- CAP PURO a 3000X.

Na micrografia, observou-se uma homogeneidade bem definida. Nota-se que o CAP PURO apresenta uma superfície lisa, característica deste material.

4.1.1.6. EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) do RCA, filler de RRS, CAP PURO

A análise por EDS permite a rápida obtenção qualitativa da composição química de uma região selecionada (PADILHA; AMBROZIO FILHO, 1985). Foi realizada para avaliação da composição química do RCA, RRS, CAP PURO, através de regiões definidas no MEV, gerando um mapa dos elementos sobre a micrografia obtida com vista à análise comparativa dos elementos químicos. As Figuras 4.15 e 4.16 mostram o comportamento dos picos da amostra:

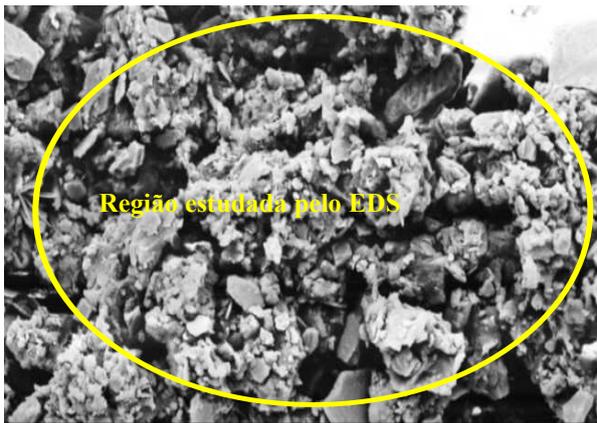


Figura 4.15. MEV - RCA a 500X.

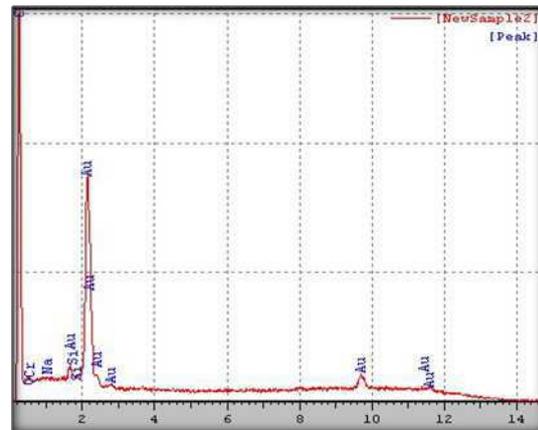


Figura 4.16. EDS do RCA.

Para o *RCA*, por se tratar de uma mistura de resíduo polimérico composto de *SBRr/EVAr*, foi detectado uma grande presença do elemento químico C (79,29 %), pois o polímero apresenta grandes cadeias com base na estrutura em carbonos. As reações de produção destes materiais estão sujeitas a condições de processamento como tempo, temperatura e pressão. Percebe-se a presença do elemento químico O (8,91 %), devido à reação das moléculas do polímero com o meio externo, provocando uma oxidação térmica⁷, além de traços de Au, utilizado para metalizar a amostra no ensaio, por se tratar de uma mistura não condutora. Foi ainda observada a presença de metais Na, semimetais Si e metais pesados Cr na amostra.

Nas amostras das rochas silicatadas RRS (Figuras 4.17 e 4.18), percebe-se os picos com base no MEV. O resíduo *RRS* apresenta uma diversidade de elementos químicos presentes, devido à quantidade de elementos combinados em segmentos rochosos, a exemplo do elemento químico C (8,7 %), elemento químico O (58,62 %) e o semimetal Sí (18,42 %). Este último, de forma a combinar com uma gama de elementos químicos presentes no mesmo, favorecendo a rigidez:

⁷ Oxidação Térmica: Oxidação que ocorre na presença de oxigênio a altas temperaturas (oxipolimerização). HELLIN, 1984.

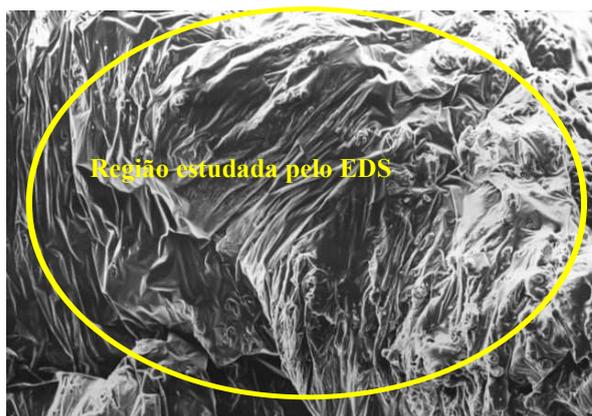


Figura 4.17. MEV - Rocha Silicatada (RRS).

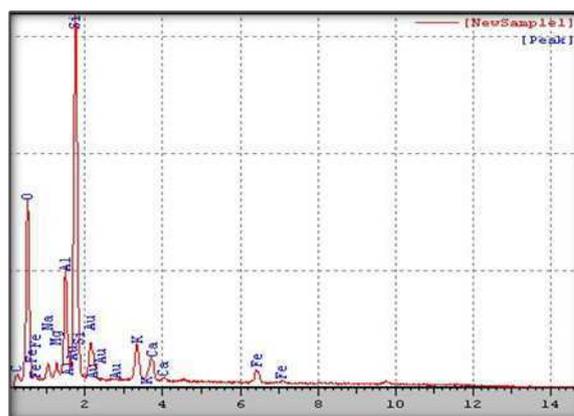


Figura 4.18. EDS - Rocha Silicatada (RRS).

Os elementos químicos Ca, Mg, Na, Al, são atribuídos como importantes na constituição da rocha. Apresenta-se o metal pesado Fe, uma pequena porcentagem de Au, aplicada na metalização das amostras. As Figuras 4.19 e 4.20 mostram o desempenho do CAP PURO:



Figura 4.19. MEV - CAP PURO.

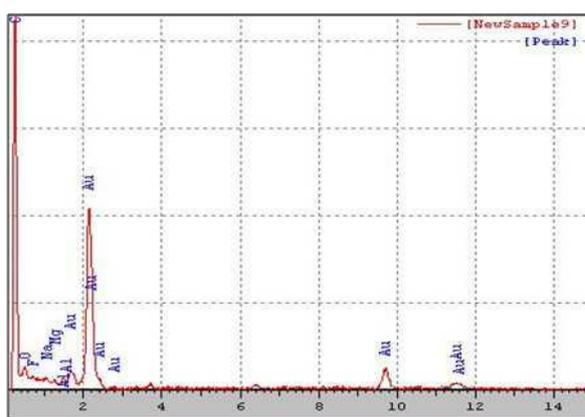


Figura 4.20. EDS - CAP PURO.

O ligante CAP 50/70 apresenta frações como maltenos, asfaltenos e aromáticos, todos a base de C (78,09 %). Entretanto, não se pode deixar de ressaltar a grande quantidade de metais pesados, sulfóxidos, que têm importância no envelhecimento oxidativo do material, devido à quantidade de O (16,97 %). Presentes traços de metais Na, Mg, Al e traços do metal pesado Fe, além de uma pequena porcentagem de Au, que foi utilizado para metalizar a amostra.

4.1.1.7. Análise Termogravimétrica (TG) do CAPM1, CAPM2, CAPM3

A Tabela 4.3 mostra a perda de massa do *CAPM1*, na TG sobre condições de temperatura e carregamento controlado, registradas na temperatura entre 25 °C e 500 °C, atmosfera inerte de N₂ e velocidade de 10 °C.⁻¹, com 10 mg de massa, teor de resíduos RCA de 5 % a 25 % do peso próprio, incorporado no ligante CAP 50/70:

Tabela 4.3. Eventos ocorridos na degradação do *CAPM1*. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T(%)	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	PMt
5	225,80 a 390,99	31,22	390,99 a 500,00	38,91	70,15
10	221,32 a 496,32	71,90	-	-	71,90
15	210,93 a 493,63	72,16	-	-	72,16
20	217,31 a 368,02	31,85	368,02 a 481,43	43,35	75,2
25	219,10 a 382,24	34,80	382,24 a 489,22	43,18	77,9

O desempenho do *CAPM1* na análise da TG é analisado na Figura 4.21:

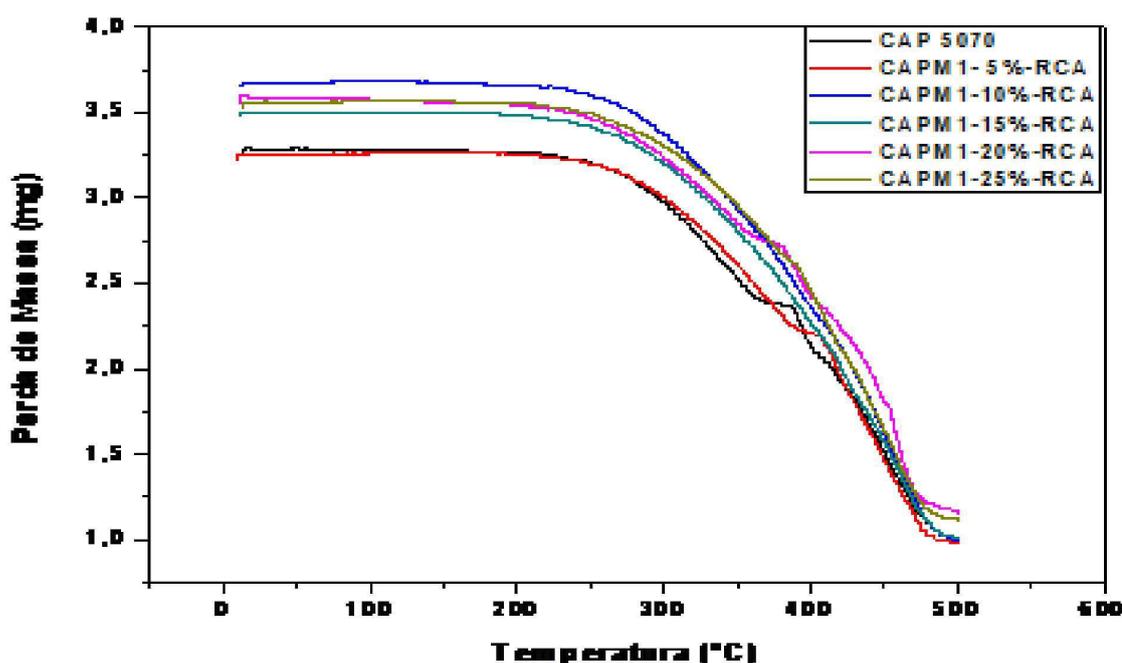


Figura 4.21 - TG *CAPM1* - CAP Modificado com RCA.

A exposição dos ligantes modificados a altas temperaturas e às intempéries propiciam a perda de voláteis e a sua oxidação (CAVALCANTI, 2010). A incorporação de polímeros nas misturas asfálticas indica melhoria nas propriedades físicas dos CAPs, como mostra o estudo realizado por Bringel, Soares e Soares (2005), o qual adicionou EVA proveniente da indústria calçadista em misturas

asfálticas e submeteu o produto resultante à análise termogravimétrica, que indicou melhora na estabilidade térmica até 300 °C. Os vários teores do *CAPM1* apresentaram perda de massa aproximada de 72 %, sendo a menor registrada para o teor de 5 % com 70,5 %, referente à fusão e volatilização de substâncias do ligante asfáltico e dos polímeros residuários.

Efeitos das reações irreversíveis, como a oxidação do asfalto e fenômenos reversíveis, como a eliminação de frações voláteis, foram observados. A amostra *CAPM1* com teor de 5 % apresentou a melhor estabilidade térmica a temperatura de 225,83 °C, tornando-o hábil para aplicação na pavimentação rodoviária. O início da decomposição refere-se à fusão e volatilização de substâncias do ligante CAP 50/70. A partir dos 225,83 °C, relaciona-se à degradação do resíduo polimérico *RCA*, atribuídos à volatilização das moléculas de água e outros compostos. De 390,99 °C a 500 °C, houve a perda do excesso, devido à decomposição do *CAPM1*. Godoi (2011) relata que, na região de temperaturas até 400 °C, observa-se a perda de massa, que pode ser atribuída às frações de maltenos e asfaltenos. A partir de 400 °C, ocorre a perda de frações mais pesadas do asfalto, a perda relativa à água de cristalização. A Tabela 4.4 mostra o desempenho para o *CAPM2*, registrados nas condições de temperatura, atmosfera, velocidade, teores de *RCA* similares ao *CAPM1*.

Tabela 4.4. Eventos ocorridos na degradação do *CAPM2*. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T(%)	t(°C)	PM(%)	t(° C)	PM(%)	t°C	PM	PMt(%)
5	220,2 a 386,8	31,10	386,08 a 493,79	35,6	-	-	66,7
10	198,4 a 425,6	59,70	425,69 a 493,15	17,3	-	-	77,3
15	205,0 a 366,4	27,43	366,48 a 409,65	22,1	409,6 a 92,76	29,3	78,8
20	198,5 a 496,8	77,14	-	-	-	-	79,3
25	197,2 a 492,3	81,90	-	-	-	-	81,9

A Figura 4.22 mostra o desempenho do *CAPM2*, nas composições de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %, do resíduo polimérico *RCA* presente no ligante asfáltico nas análises da termogravimetria, conforme a degradação à temperatura controlada, variando no intervalo compreendido entre 25 °C e 500 °C:

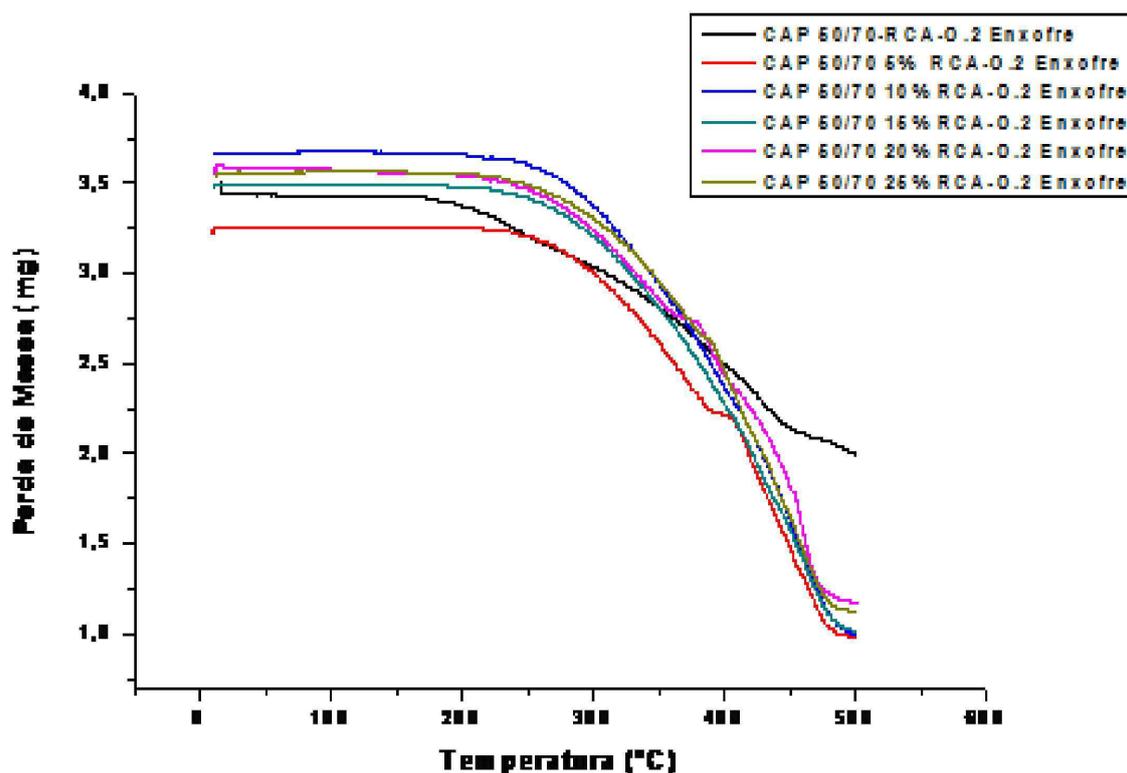


Figura 4.22 - TG CAPM2 – CAP Modificado com RCA.

Hatakeyama e Quinn (1999) afirmam que a variação de massa característica de um material depende das condições experimentais empregadas, fatores como a massa da amostra, volume e estado físico.

O CAPM2 a 5 % de RCA apresenta estabilidade térmica até 220,21 °C, e menor perda de massa total (66,70 %), apresentando melhor desempenho entre os teores entre 5 % e 25 %, tornando-o possível para aplicação na pavimentação. Godoi (2011) afirma que, na primeira região até 100 °C, há uma perda de massa, que pode ser atribuída, principalmente, à evaporação dos compostos voláteis (água e hidrocarbonetos leves e médios). A partir de 220,21 °C, inicia-se a decomposição, devido à fusão e volatilização de substâncias do ligante e degradação do resíduo RCA, pela volatilização de outros compostos no CAPM2.

Kök e Parmir (1995) relatam que, na faixa de temperatura de 100 °C a 400 °C, ocorrem as reações de pirólise, à medida que a temperatura se eleva. Aumenta as reações químicas de craqueamento nas quais as ligações C-C, C-H e C-heteroátomo são quebradas, produzindo radicais livres e reativos que podem continuar o craqueamento ou contribuir para a separação de materiais com baixa relação C-H.

A última sequência de degradação registrada para o *CAPM2* ocorreu entre 386,08 °C até 493,73 °C, e corresponde à perda do excesso, reações químicas de craqueamento, degradação, decorrentes da transformação físico-química em função da temperatura até 500 °C.

No *CAPM3* o comportamento ocorre conforme a Tabela 4.5. As perdas de massa verificadas são decorrentes das transformações químicas sob condições de temperatura, carregamento, atmosfera, velocidade e teores de RCA similares ao *CAPM1* e *CAPM2*.

Tabela 4.5. Eventos ocorridos na degradação do *CAPM3*. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T(%)	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	PMt (%)
5	196,47 a 495,18	65,05	-	-	65,05
10	189,08 a 497,94	69,72	-	-	69,72
15	166,13 a 498,77	70,43	-	-	70,43
20	168,00 a 491,00	75,89	-	-	75,89
25	167,14 a 495,00	76,26	-	-	76,26

A Figura 4.23 mostra o desempenho do compósito *CAPM3* na análise termogravimétrica, possibilitando conhecer a faixa de temperatura em que a amostra se decompõe, o andamento das reações de oxidação e a decomposição.

O *CAPM3* a 5 % de *RCA*, até a temperatura de 196 °C, resiste termicamente, o que o torna hábil para sua aplicação na pavimentação, com menor perda de massa total (65,05 %). Portanto, o melhor desempenho. Apresenta um evento de decomposição entre 196 °C e 495 °C:

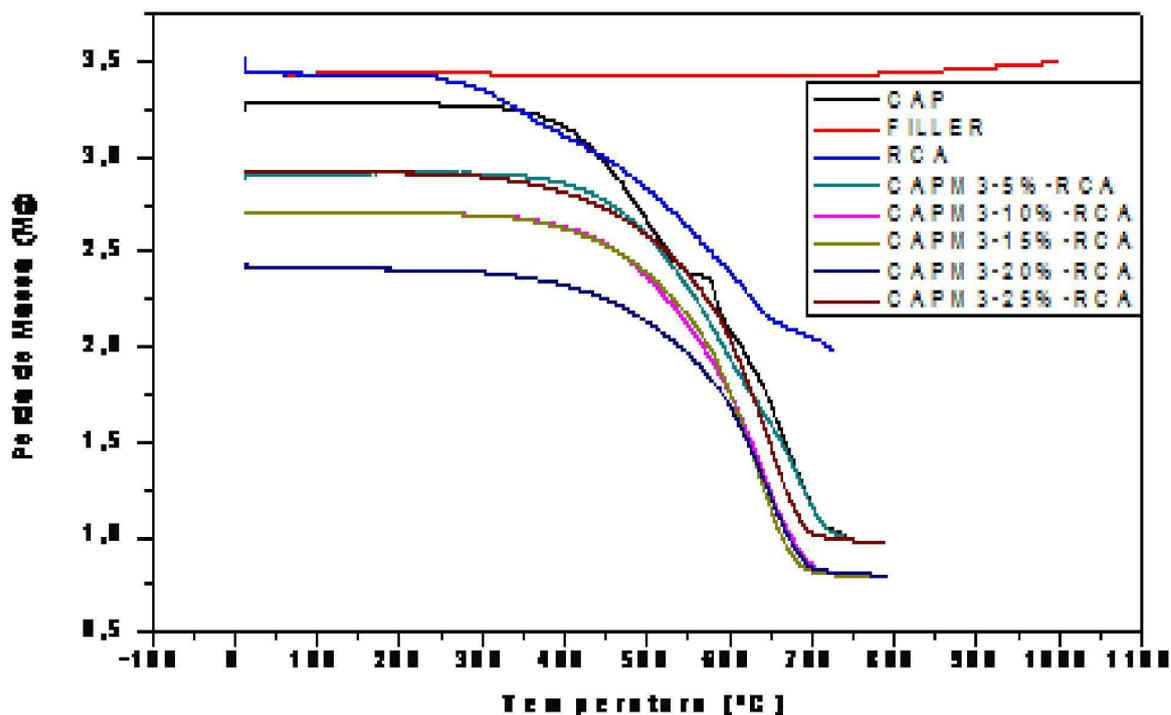


Figura 4.23 - TG do CAPM3 - CAP Modificado com RCA e filler de rocha silicatada (RRS).

A amostra apresentou estabilidade térmica menor do que as demais. Isso se deve às reações químicas do RCA e RRS com o ligante CAP 50/70 e seu agente compatibilizante, o MDG, que proporcionaram uma melhor interação e coesão entre o CAP, RCA e o RRS.

4.1.1.8. Análise Térmica Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3

Na análise da amostra do CAPM1 (Figura 4.24), verificaram-se vários eventos, de acordo com a sua temperatura de transição. Pode-se observar que o pico referente à fusão do resíduo EVAr em 93 °C foi mascarado, devido a reações químicas entre os demais componentes do compósito.

Demais eventos referentes à vulcanização residual do SBRr e decomposição apareceram de forma mais intensa, sendo esperado, uma vez que a quantidade da amostra aumenta sua porcentagem na mistura. O CAPM1 com 5 % de RCA foi o que apresentou um gráfico mais parecido com as curvas das amostras separadamente, supondo-se ser a amostra que mantém as propriedades individuais:

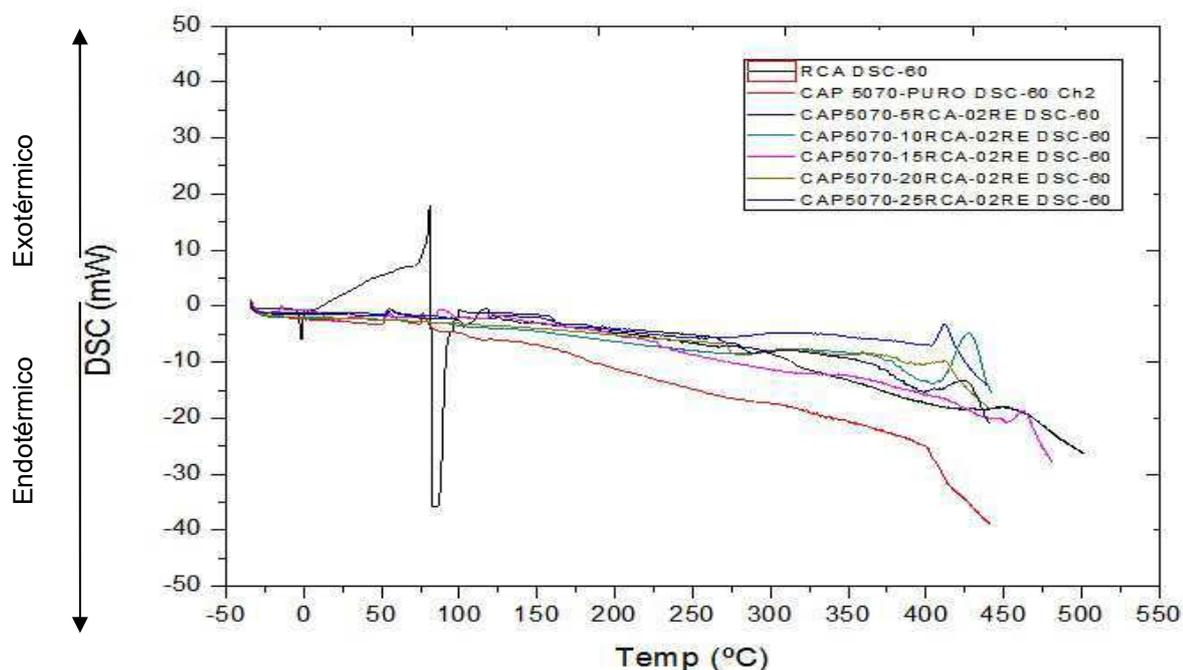


Figura 4.24. DSC CAPM1 em atmosfera de N₂.
Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 ml/min.

As curvas descrevem as mudanças de propriedades macroscópicas com o tempo ou temperatura do CAP modificado, puro e do resíduo polimérico, a qual pode ser identificada através da mudança de inclinação observada nas retas.

A análise via DSC pode ser empregada em processos que envolvam troca de calor, os quais podem ser endotérmicos ou exotérmicos (BASSETT *et al.*, 1981). Os gráficos do CAPM1 mostram as mudanças de fase, saindo da situação sólida para a viscosa, onde as moléculas começam a ter movimento, em torno de 70 °C, representada pelo declínio das curvas, tornando-se mais resistente pela possibilidade de absorver impactos. Os principais eventos observados foram: transição vítrea do EVA a 69 °C e a fusão do polímero em 86 °C (MARCILLA *et al.*, 2001). Na segunda curva do CAP sem aditivo, foi possível observar uma transição endotérmica entre 30 °C e 40 °C.

Constatou-se a presença de um evento a 75 °C nas amostras do CAPM1, referente à formação de produtos da decomposição do CAP modificado. De acordo com a análise, o CAPM1 possui temperatura de transição vítrea ($T_g = 80$ °C). Pode-se observar que o pico referente à fusão do resíduo EVAr em 69 °C, e SBRr em 102 °C, foi mascarado nas composições do CAP modificado, devido a reações químicas entre os demais componentes. Demais eventos referentes à vulcanização residual

do *SBRr* e decomposição do resíduo *RCA* apareceram de forma mais intensa em algumas composições, devido ao aumento da porcentagem de resíduos na mistura, acima de 5 % de *RCA*.

Como a temperatura de aplicação, execução e espalhamento do ligante asfáltico está entre 135 °C e 170 °C, o *CAPM1* não terá suas propriedades químicas e físicas prejudicadas pela degradação do *RCA*. O ligante puro apresenta uma transição endotérmica entre 30 °C e 50 °C, e ponto de fusão compreendido entre 26 °C e 107 °C (CETESB, 2014). Percebe-se um pico em 103 °C, referente à degradação do material. O perfil das amostras modificadas é similar ao CAP PURO, porém com maior resistência ao amolecimento, devido à presença dos polímeros residuários.

Na análise das amostras do *CAPM2*, verificaram-se vários eventos, de acordo com a variação da temperatura até 500 °C. A análise do *CAPM2* foi realizada com a finalidade de investigar o efeito da temperatura na decomposição do compósito, uma vez que o CAP modificado será submetido a condições agressivas, como agitação a altas temperaturas. Com relação ao resíduo *RCA*, além da degradação por ação do calor, pode ser degradado em virtude da ação fotoquímica ou mecânica. As curvas descrevem as mudanças com o tempo ou temperatura (Figura 4.25).

O *CAPM2* começa a fluir a partir de 70 °C, em decorrência da inclinação das retas. Pode-se observar, também, que o pico referente à fusão do *RCA* (*SBRr/EVAr*), em torno de 93 °C, foi compensado, devido às reações químicas entre os componentes do composto. De acordo com a análise, a amostra possui temperatura de transição vítrea ou faixa de amolecimento⁸ ($T_g = 55$ °C). Assim, a energia térmica fornecida pelo meio ambiente não é suficiente para que as cadeias poliméricas sofram mobilidade molecular, apresentando, desta maneira, um comportamento rígido (ZANIN *et al.*, 2004 *apud* SPIER, 2005).

⁸ Faixa de Amolecimento: faixa de temperatura em que um polímero muda do estado rígido para flexível. Os valores reais dependerão do método do teste (PETROPOL, 2013).

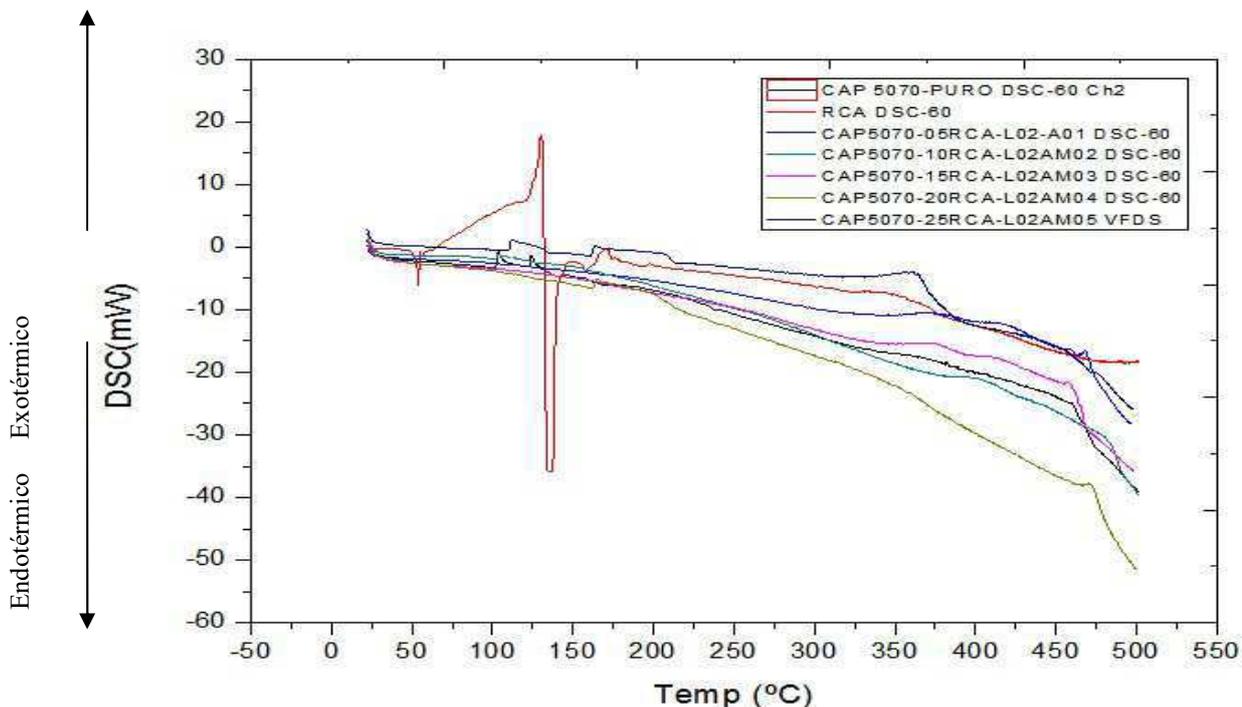


Figura 4.25. DSC CAPM2 em atmosfera de N₂.
Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 mL/min.

Ocorre uma intensificação do amolecimento do CAPM2 a partir de 150 °C, devido ao processo de ruptura das cadeias. Eventos entre 320 °C e 400 °C são observados, supondo as reações químicas diversas do enxofre com o ligante asfáltico e com o resíduo polimérico RCA. Eventos referentes à vulcanização residual, volatilização dos gases, decomposição do RCA e picos de cristalização, apareceram de forma intensa em torno de 450 °C. Como a temperatura de aplicação, execução e espalhamento do ligante asfáltico está entre 135 °C e 170 °C, o CAPM2 não terá suas propriedades químicas e físicas prejudicadas pela degradação do RCA.

O perfil das amostras modificadas é similar ao CAP PURO. Na análise do CAPM3, verificaram-se vários eventos, conforme a variação da temperatura até 500 °C. A presença do resíduo mineralógico RRS teve influência nos resultados obtidos, pois os 2 % deste resíduo reagiram fortemente com os componentes do ligante e o resíduo RCA, conforme a Figura 4.26. O CAPM3 começa a fluir a partir de 70 °C, onde se percebe a inclinação das retas. De acordo com a análise, o CAPM3 possui temperatura de transição vítrea ($T_g = 105$ °C):

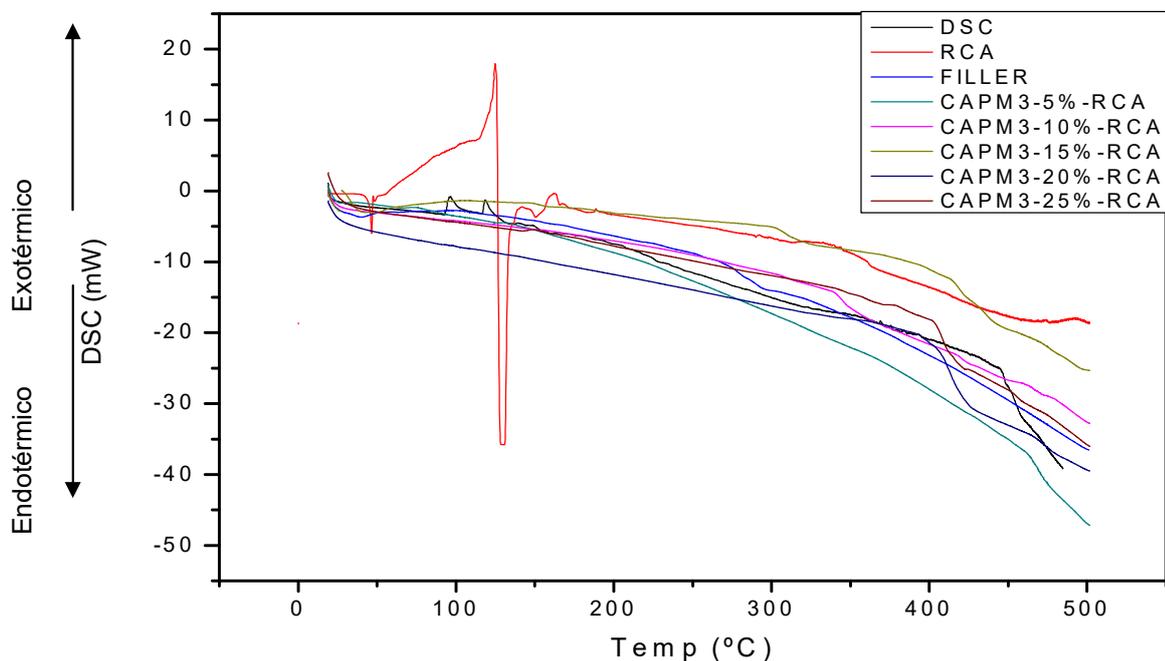


Figura 4.26. DSC *CAPM3* em atmosfera de N_2 .
Fluxo de gás: 50 mL/min. Taxa de aquecimento: 10 mL/min.

Na atribuição da transição vítrea do segmento amorfo dos polímeros *SBRr/EVAr*, e demais eventos observados, verifica-se que as reações químicas que aconteceram com a presença do *RRS* provocaram um mascaramento destes eventos. No geral, pode-se concluir que os gráficos das amostras com as diversas porcentagens do resíduo *RCA* apresentaram um comportamento parecido com o *RRS*, apresentando também, bandas de vulcanização do *SBRr* e pequenos eventos do ligante. Verificou-se ainda vários eventos de perda de compostos voláteis, degradação, oxidação, conforme a variação da temperatura até 500 °C. Porém, a estabilidade do *CAPM3* não foi afetada pela degradação dos polímeros. Como a temperatura de aplicação, execução e espalhamento do ligante asfáltico está entre 135 °C e 170 °C, o *CAPM3* não terá suas propriedades químicas e físicas prejudicadas pela degradação do *RCA*.

4.1.1.9. Análise Termodiferencial (ATD) do *CAPM1*, *CAPM2*, *CAPM3*

Para o *CAPM1* com as composições de 5 % a 25 %, a ATD configurou-se conforme as Figuras 4.27 e 4.28:

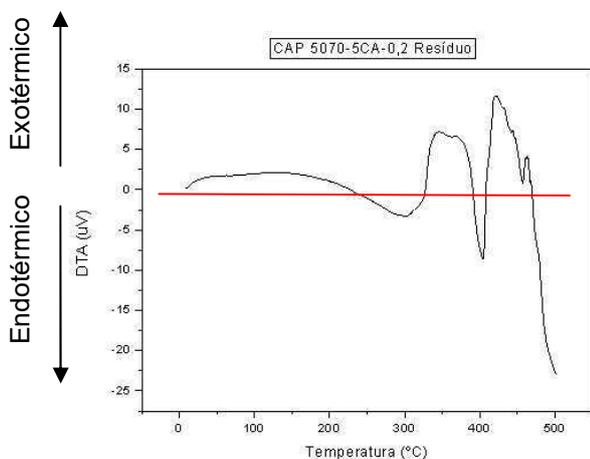


Figura 4.27. ATD- *CAPM1* - Modificado a 5% *RCA*.

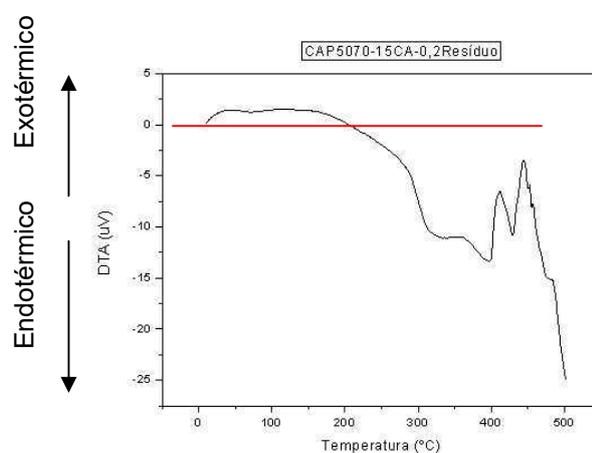


Figura 4.28. ATD- *CAPM1* – Modificado a 15% *RCA*.

A 5 % de *RCA*, nota-se que os picos endotérmicos em 300 °C são referentes a aromáticos presentes no ligante. Picos exotérmicos em 360 °C, referentes a hidrocarbonetos, asfaltenos, maltenos presentes no ligante asfáltico. A parte dos picos endotérmicos referentes a metais pesados e sulfóxidos presentes no *CAP*, entre 400 °C e 500 °C, foram modificadas, perdendo intensidade, assim como substâncias referentes à degradação de butadieno, estireno e parte olefínica do *EVA*r, que corresponde à perda de massa observada na curva da TG durante a decomposição do *CAPM1* a 5 %. Pode-se observar, na ATD, reações sucessivas que ocorreram a 450 °C, que não foram observadas pelas curvas de TG.

Em 15 % de *RCA*, os picos de hidrocarbonetos, aromáticos, degradação do acetato de vinila, formando ácido acético, continuaram presentes, mudando sua forma, podendo-se observar a formação de um pico duplo, devido a reações sucessivas entre 400 °C e 470 °C, atrelado a maior quantidade de resíduo adicionado e reações químicas provocadas pelo *PBO*, além de metais pesados e grupamentos degradados dos polímeros, conforme visto na TG. A Figura 4.29 mostra o ATD do *CAPM1*, na composição de 25 % de resíduos.

Entre 20 % e 25 %, os picos de degradação do *RCA* e sulfóxidos apareceram, de forma diferenciada, associados a reações químicas diversas. Os picos endotérmicos de degradação do acetato de vinila e hidrocarbonetos,

maltenos e aromáticos condensaram-se:

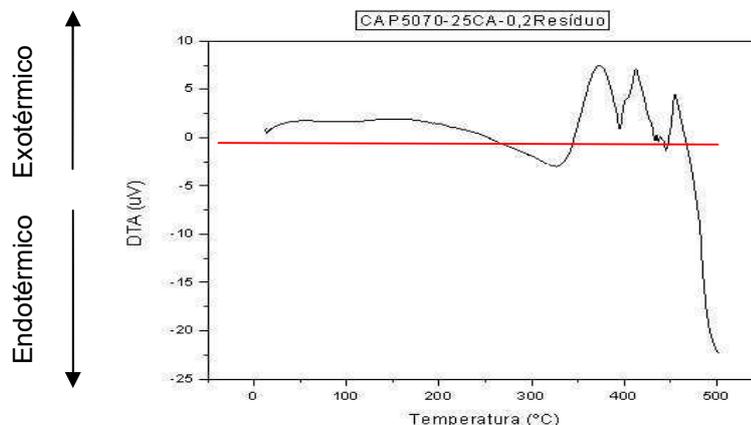


Figura 4.29. ATD - CAPM1 - Modificado a 25% RCA.

Como a concentração do CAP na mistura é maior do que a concentração dos polímeros, os gráficos apresentam comportamento similar com o ligante puro e com adição de maiores quantidades de resíduos. Eventos peculiares sequer podem ser concebidos nas reações internas. Entre 300 °C e 500 °C, ocorrem eventos decorrentes da degradação da amostra, não perceptíveis na análise de TG. O comportamento do CAPM2, de acordo com as Figuras 4.30 e 4.31:

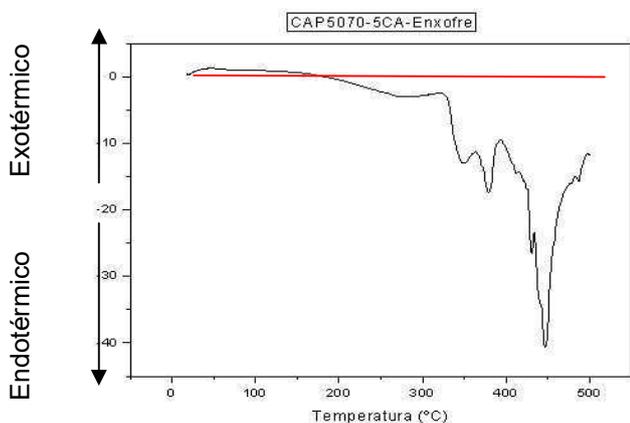


Figura 4.30. ATD - CAPM2 Modificado a 5% RCA.

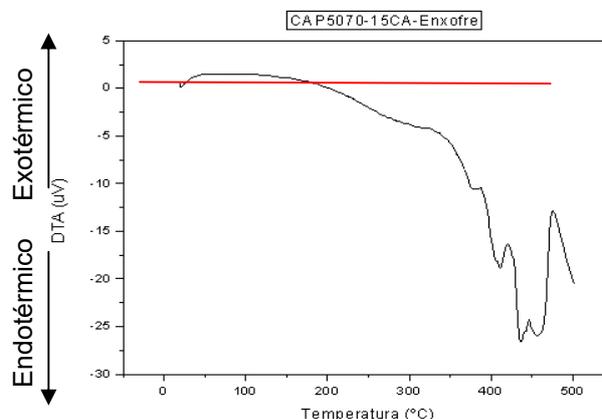


Figura 4.31. ATD - CAPM2 Modificado a 15% RCA.

A 5 % de RCA, pode-se observar um comportamento semelhante ao dos materiais puros (RCA, CAP PURO), apresentando um pico em 270 °C, relativo aos aromáticos. Apenas um pico exotérmico duplo referente a hidrocarbonetos, asfaltenos, entre outros, em 350 °C e 380 °C. Percebe-se a presença de picos

endotérmicos referentes à degradação de elementos contidos nos resíduos SBRr e EVAr, bem como metais pesados e sulfóxidos em 450 °C. Em 15 %, as bandas endotérmicas dos hidrocarbonetos, degradação do acetato de vinila, aromáticos, maltenos, foram aglutinados numa banda única, e apenas a exotérmica em 450 °C referente a degradação de butadieno e estireno, metais pesados e sulfóxidos, foram apresentados, porém de forma transparente, podendo-se associar a presença do enxofre como ativador na reação de formulação do CAP modificado, o qual possivelmente vulcanizou a borracha, provavelmente devido à quantidade de resíduos. Para o *CAPM2* a 25 %, o ATD configurou-se conforme a Figura 4.32:

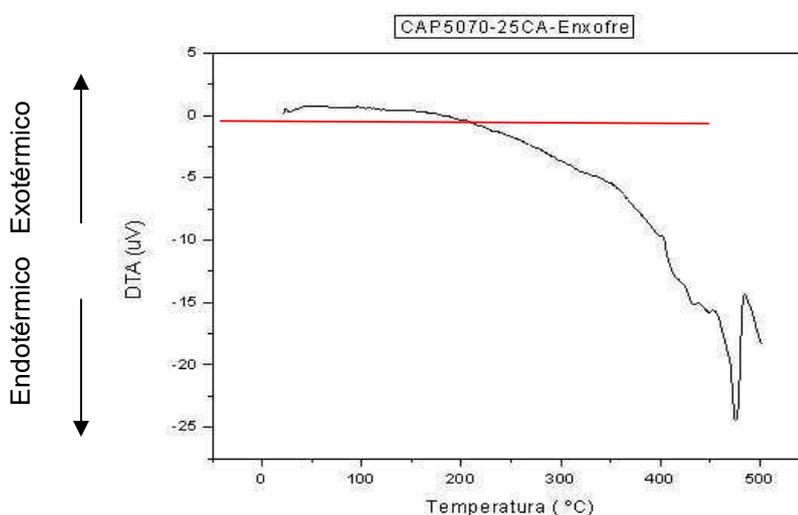


Figura 4.32. ATD - *CAPM2* Modificado a 25% *RCA*.

As curvas do *CAPM2* a 25 % apresentaram picos similares às amostras referentes individuais (*CAP PURO*, *RCA*). Porém, com comportamento diferente com o mesmo, devido à presença do enxofre e com a adição de maiores quantidades de polímeros, incluindo o compatibilizante MDG. Mudanças na amostra, tais como fusão⁹, são então registradas sob a forma de picos nas amostras. As bandas endotérmicas referentes a aromáticos, e exotérmicas referentes a hidrocarbonetos, foram mascaradas. Apenas a endotérmica referente a metais pesados e sulfóxidos apresentou-se em 470 °C.

⁹ “Fusão: Temperatura na qual o sólido começa a se tornar líquido sob a pressão de uma atmosfera” (VOGEL, 1981),

O *CAPM3* teve o comportamento do material, de acordo com as Figuras 4.33 e 4.34. O ligante asfáltico é composto por hidrocarbonetos, aromáticos, metais pesados, maltenos e sulfóxidos, os quais apresentam bandas endotérmicas em determinadas faixas de temperatura.

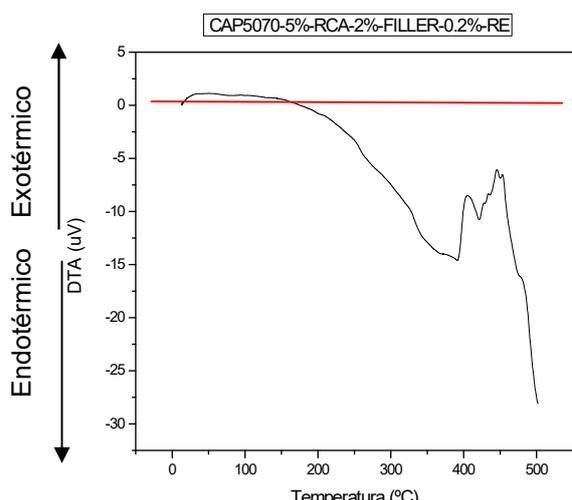


Figura 4.33. ATD - *CAPM3* Modificado a 5% *RCA*.

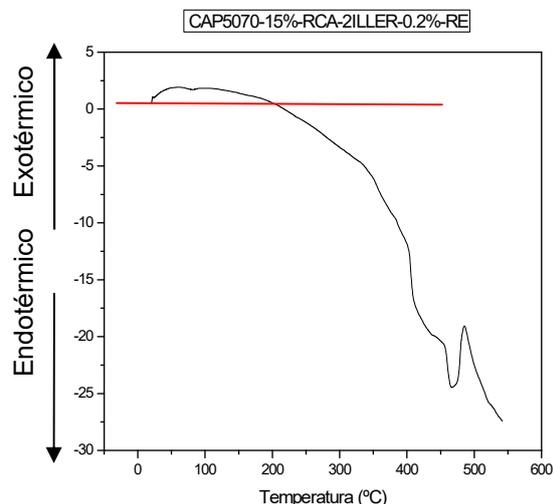


Figura 4.34. ATD - *CAPM3* Modificado a 15% *RCA*.

O *RCA* é composto por *SBRr*, que contém estireno e butadiêno, e o *EVAr*, que contém etileno e acetato de vinila. Portanto, o *CAPM3* apresentou a maioria das faixas de temperaturas concernentes aos elementos do composto formado pelo *CAP*, *RCA* entre 400 °C e 460 °C, como picos referentes aos sulfóxidos, metais pesados e elementos da degradação do *SBRr/EVAr*.

Pode-se inferir que a adição do *RRS* a 2 % e o resíduo *RCA* a 5 %, aparentemente, mantiveram as suas propriedades condensando as bandas. A partir de 10 % de resíduo *RCA* contido, observa-se o início do mascaramento nos picos, que representam determinados elementos dos componentes, podendo-se suspeitar de reações químicas e físicas ocorridas no *CAP* e *RCA* com o resíduo mineralógico *RRS* adicionado na mistura a 25 % de *RCA*. Pode-se ressaltar um grande pico endotérmico iniciando-se em 390 °C e finalizando em 480 °C, variando pouco sua intensidade e faixa de temperatura. Fato este relacionado a reações do *RRS* com o compósito da mistura asfáltica (Figura 4.35). A presença de *RRS* modificou o comportamento do ligante modificado, devido à interação do resíduo mineralógico com o *RCA*, pois o *CAPM3* apresentou alta estabilidade

térmica em consequência do resíduo mineralógico:

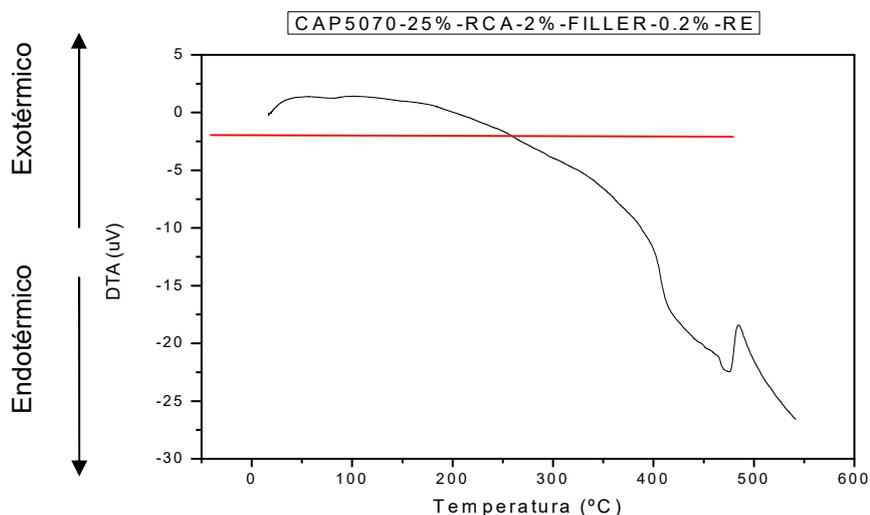


Figura 4.35. ATD - CAPM3 Modificado a 25 % RCA.

Em 25 %, as bandas endotérmicas dos hidrocarbonetos, degradação do acetato de vinila, aromáticos, maltenos, foram aglutinadas numa banda única, e apenas a exotérmica referente a degradação de butadieno e estireno, metais pesados e sulfóxidos, foram apresentados em 480 °C. Porém, de forma transparente, podendo-se associar a presença do enxofre como ativador na reação do CAP modificado, o qual possivelmente vulcanizou a borracha.

4.1.1.10. Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3

Nas Figuras 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43 e 4.44, estão apresentadas as micrografias do CAPM1 modificado a 500x, 1000x e 3000x. Este tipo de imagem é apropriado para análises de superfícies planas e permitem o contraste entre as diversas fases do compósito, pela diferença dos números atômicos. Quanto menos denso o material, mais escura a imagem (ROCHA *et al.*, 2003):

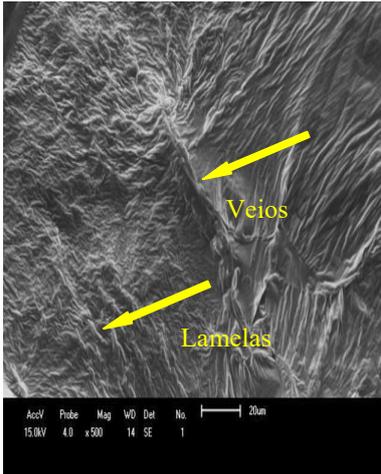


Figura 4.36. MEV - CAPM1 a 5%RCA (500x).

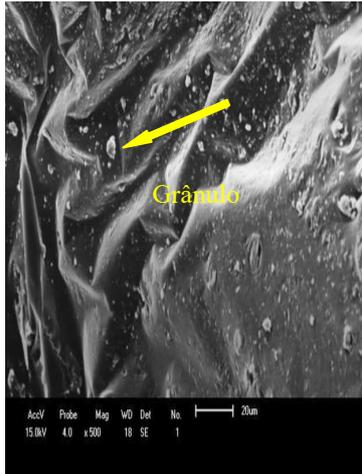


Figura 4.37. MEV - CAPM1 a 15%RCA (500x)

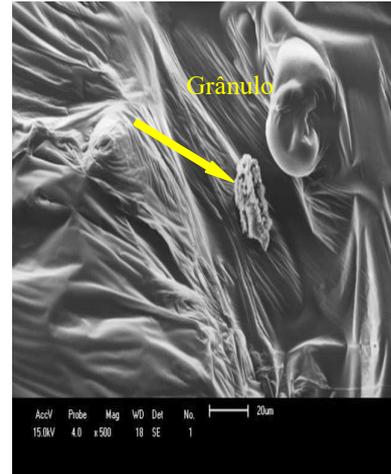


Figura 4.38. MEV - CAPM1 a 25%RCA (500x).

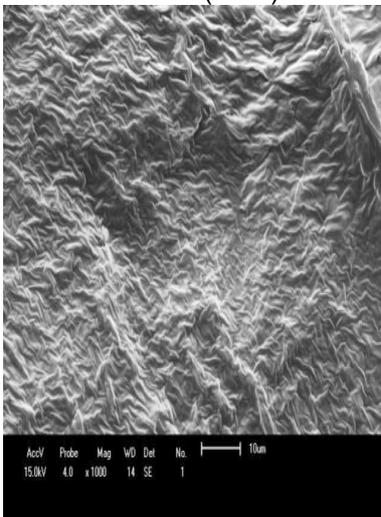


Figura 4.39. MEV-CAPM1 a 5%RCA (1000x).

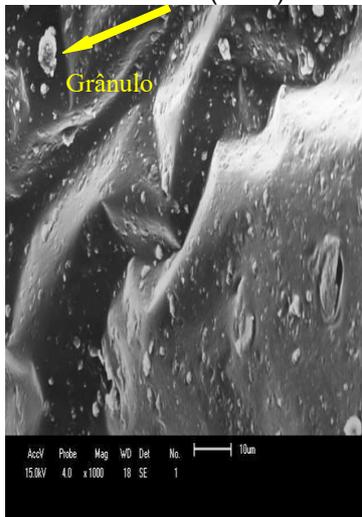


Figura 4.40. MEV-CAPM1 a 15%RCA (1000x).

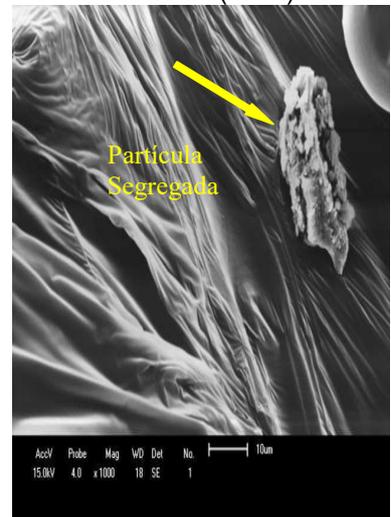


Figura 4.41. MEV - CAPM1 a 25%RCA (1000x).

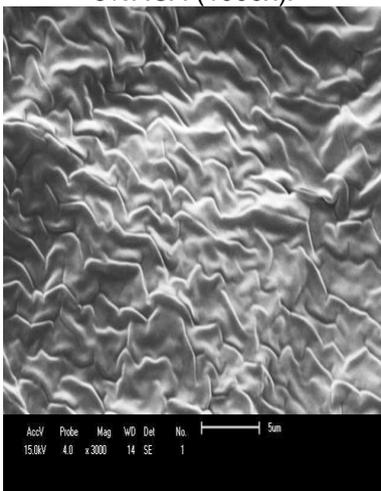


Figura 4.42. MEV - CAPM1 a 5%RCA (3000x).

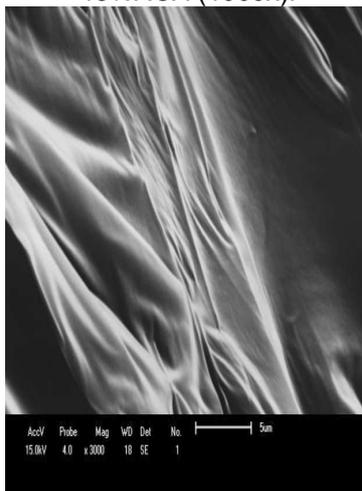


Figura 4.43. MEV -CAPM1 a 15%RCA (3000x).

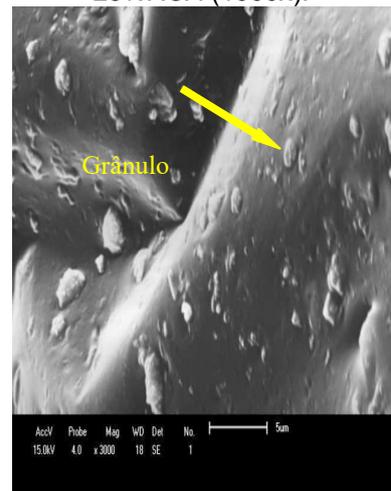


Figura 4.44. MEV - CAPM1 a 25%RCA (3000x).

Na análise realizada na microestrutura do *CAPM1* a 5% RCA (500x), com auxílio do microscópio, pode-se verificar que as partículas do *RCA* interagindo com as do ligante apresentaram-se de forma homogênea. Em princípio, pode-se afirmar que existe boa aderência entre a matriz betuminosa e o resíduo polimérico. A 15 % *RCA* (500x) notabiliza-se a heterogeneidade, bem como a presença de resíduos poliméricos dispersos, devido à baixa solubilidade do resíduo na matriz polimérica. As micrografias mostram que algumas partículas não estão incorporadas à matriz betuminosa. Constata-se que a elevada quantidade de polímeros residuais concentra-se principalmente na superfície do ligante de forma dispersa. Pode-se inferir que a presença de *RCA* em maiores quantidades torna a mistura mais viscosa e a distribuição do resíduo irregular, diminuindo a fluidez do ligante. Percebem-se regiões com alta rugosidade, confirmando a influência do *RCA*, indicando a baixa solubilização, causada pela estrutura molecular deste ligante, que apresenta, predominantemente, anéis aromáticos em sua estrutura, diminuindo a adesão entre a matriz betuminosa e o resíduo polimérico. A 25 % *RCA* (500x), as imagens apresentam um formato rugoso identificado como poros presentes e partículas segregadas.

Nas imagens obtidas na exploração efetuada a 5 % *RCA* (1000x), percebe-se boa interação do resíduo com o ligante, sendo possível perceber a excelente interação do mesmo com o substrato de forma homogeneizada. Entre 15 % e 25 % *RCA* (1000x), apresentam-se partículas segregadas de forma mais nítida, confirmando a inviabilidade da mistura. Nas micrografias do *CAPM1* *RCA* (3000x), notam-se informações consideráveis a respeito da interação entre o ligante e o resíduo polimérico, tais como: homogeneização a 5 % e segregação das partículas a partir de 10 %, a presença de veios e lamelas, devido à mistura de cisalhamento.

As Figuras 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52 e 4.53, mostram as micrografias do *CAPM2* modificado a 500x, 1000x e 3000x. Na ampliação do *CAPM2* 5 % *RCA* (500x), nota-se que as partículas do resíduo interagem com o substrato, de forma homogênea, podendo-se associar a presença do enxofre e do compatibilizante MDG:



Figura 4.45. MEV - CAPM2 a 5%RCA (500x).

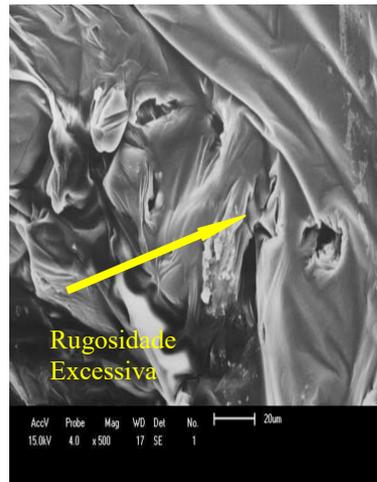


Figura 4.46. MEV - CAPM2 a 15%RCA (500x).

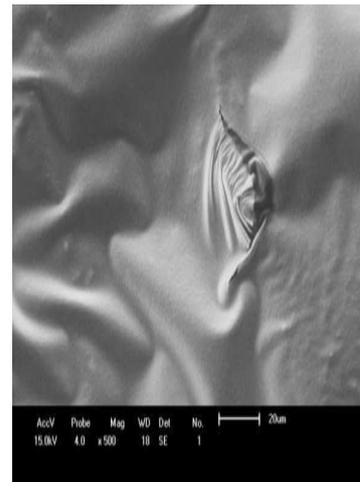


Figura 4.47. CAPM2a 25 % RCA (500x).



Figura 4.48. MEV - CAPM2 a 5%RCA (1000x).

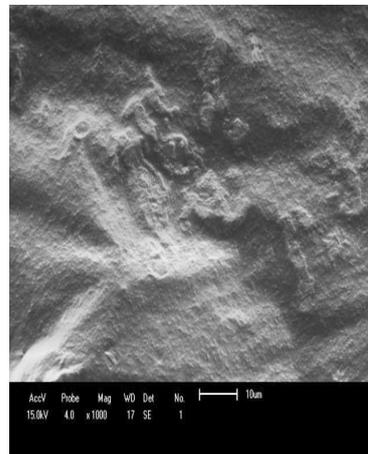


Figura 4.49. MEV - CAPM2 a 15%RCA (1000x)

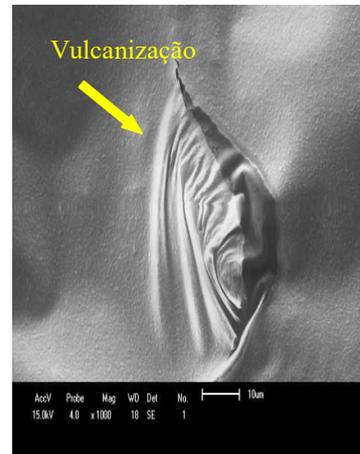


Figura 4.50. MEV - CAPM2 a 25%RCA (1000x)

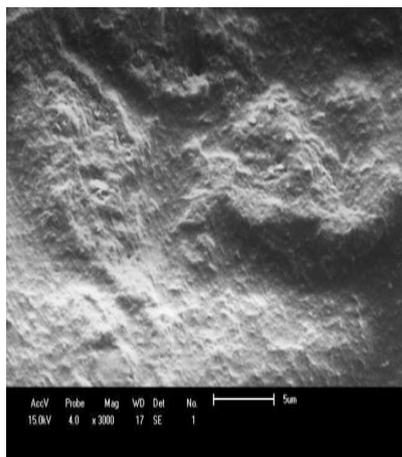


Figura 4.51. MEV - CAPM2 a 5%RCA (3000x).

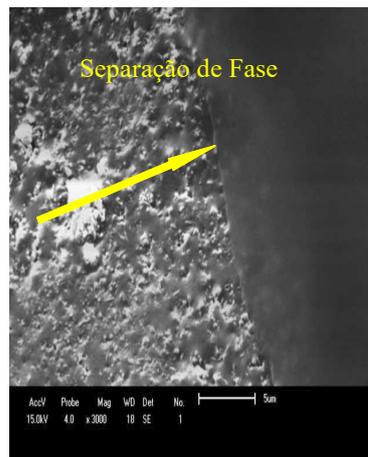


Figura 4.52. MEV - CAPM2 a 15%RCA (3000x).

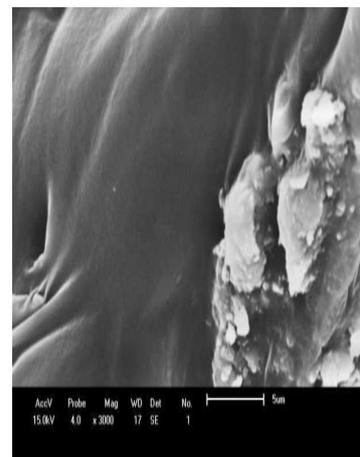


Figura 4.53. MEV - CAPM2 a 25%RCA (3000x).

Fica evidenciado que a matriz betuminosa é alterada pela presença do polímero residuário, e em decorrência da presença do enxofre e do resíduo mineralógico. A 15% RCA (3000x), percebe-se partículas em excesso, influenciando na viscosidade e no comportamento reológico do material e apresentando rugosidade. Em 25 % RCA (3000x), verificou-se rugosidade excessiva, inviabilizando o material, devido à baixa qualidade da mistura, baixa viscosidade, sendo possível perceber-se a variabilidade de granulometria, com partículas integradas com tamanho médio de 5,2 μm e partículas dispersas.

No *CAPM3* a 5 % RCA (500x), percebe-se a excelente interação do resíduo com o resto dos constituintes, e ao evidenciar a ação do resíduo mineralógico, pode-se observar melhor a dispersão das partículas do *RCA* no substrato, formando mistura homogênea e estável. Os teores acima de 10 % RCA comprometeram a microestrutura, conforme pode ser visto nas micrografias, concluindo-se que o teor usado de borracha foi excessivo. No *CAPM3* 15 % RCA (3000x), conclui-se que o teor usado de borracha foi excessivo, tornando inviável a aplicação deste ligante modificado em pavimentação asfáltica, devido à baixa solubilidade do material no ligante asfáltico, rugosidade excessiva e nenhuma fluidez.

É notório observar, a partir da micrografia do *CAPM3* 15 % RCA (500x), partículas sem adesão ao substrato, com tamanho aproximado de 18 micrômetros. Em 15 %, 20 % e 25 % RCA (1000x), a forma tubular dos veios lamelares é perceptível, pequenas partículas de borracha e o resíduo mineral industrial, inviabilizando a aplicação do material como ligante em pavimentação. No MEV do *CAPM3*, observa-se nitidamente o estado da microestrutura e a interação das partículas de borracha com o substrato. Em síntese, devido à função das imagens obtidas na exploração efetuada na microestrutura do asfalto modificado *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, com auxílio da análise microscópica, pode-se aferir que, a 5 % de RCA, é perfeitamente incorporada à matriz betuminosa. A partir desta composição, houve uma heterogeneidade que se intensificou com o incremento de resíduos, devido à baixa solubilização. A presença de enxofre provocou a vulcanização, bem como a presença de peróxidos de benzoíla. A presença do RRS tornou o ligante mais rígido, influenciando na penetração e amolecimento do compósito.

4.1.1.11. EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) dos CAPM1, CAPM2 e CAPM3

O EDS permite uma rápida avaliação qualitativa da composição química da região selecionada (PADILHA; AMBROZIO FILHO, 1985). A análise da região a 5 % RCA, visualizada no MEV, indica os elementos químicos provenientes das fases ligante-polímero, aditivos, compatibilizantes (Figuras 4.54 e 4.55):

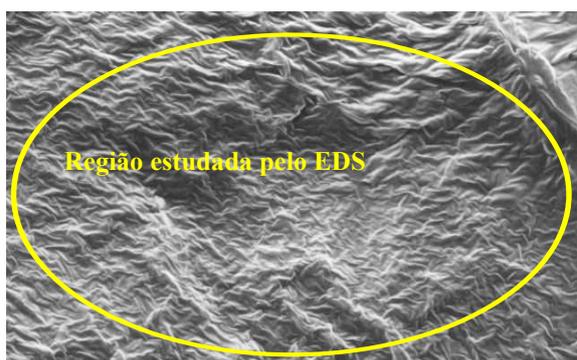


Figura 4.54. MEV - CAPM1 a 5% RCA.

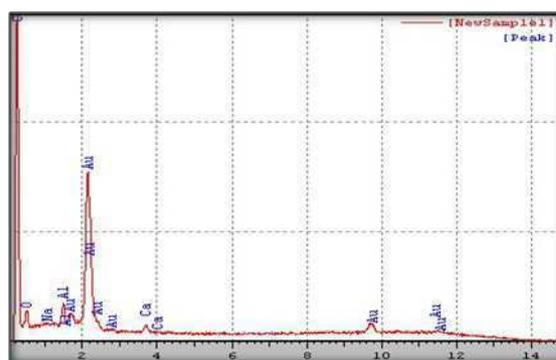


Figura 4.55. EDS - CAPM1 a 5% RCA.

O ligante asfáltico apresenta o elemento químico C (76,67 %) e O (20,61 %) como elementos principais. O RCA é uma mistura polimérica, apresentando o elemento químico carbono C como principal constituinte, além de metais pesados, metais (Na, Al, Ca) e cargas presentes. Conclui-se que a grande quantidade do elemento químico C é devido aos diferentes materiais, a exemplo do CAP, RCA, PBO. Uma pequena porcentagem de elemento químico Au, com a função de metalizar a amostra, por se tratar de uma mistura não condutora. A 15 % foram verificados os seguintes comportamentos (Figuras 4.56 e 4.57):



Figura 4.56. MEV - CAPM1 a 15% RCA.

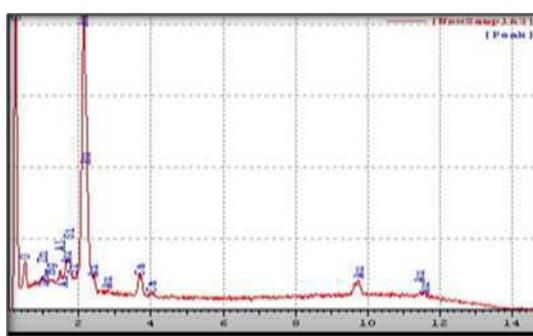


Figura 4.57. EDS - CAPM1 a 15% RCA.

Grande quantidade de C (69,83 %) e O (25,28 %). Os metais Al, Ca, Mg, estavam presentes em todos os compósitos. Constatou-se a presença de metais pesados (Zn) e cargas presentes no ligante asfáltico, no RCA, e no aditivo PBO, em pequenas quantidades, mesmo com o aumento gradativo da quantidade de RCA no sistema. Foi observado o Au, utilizado para metalizar a amostra. Na análise do *CAPM1* a 25 %, percebe-se o seguinte comportamento (Figuras 4.58 e 4.59).



Figura 4.58. MEV - *CAPM1* a 25% RCA.

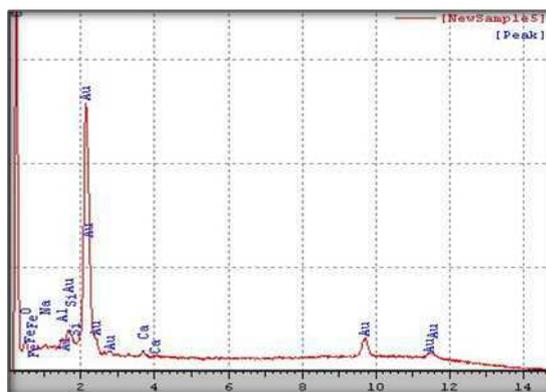


Figura 4.59. EDS - *CAPM1* a 25% RCA.

Um alto teor do elemento químico C (77,22 %) e presença de sulfóxidos, por intermédio do elemento químico O (15,78 %). O Si e o Fe podem ser observados a partir da mistura de 20 % de resíduo de calçados RCA, podendo-se atribuir isto às reações ocorridas com o sistema, devido a uma grande quantidade de substituinte no compósito, que influenciou na reologia do ligante, além de torná-lo muito viscoso. Valendo acrescentar a inserção do elemento químico Au, utilizado para metalizar a amostra na análise de microscopia para avaliação da superfície do compósito.

Na análise da EDS das amostras do *CAPM2* a 5% RCA, verificou-se o comportamento dos picos (Figuras 4.60 e 4.61). A análise pontual por EDS na lacuna do RCA a 5 % indica a incidência de diversos elementos químicos, provavelmente provenientes da fase relacionada à matriz betuminosa:

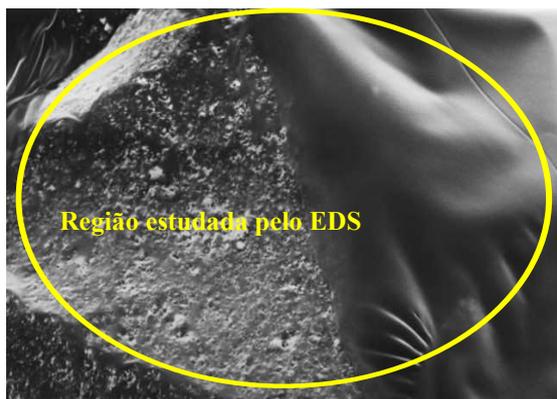


Figura 4.60. MEV - CAPM2 a 5% RCA.

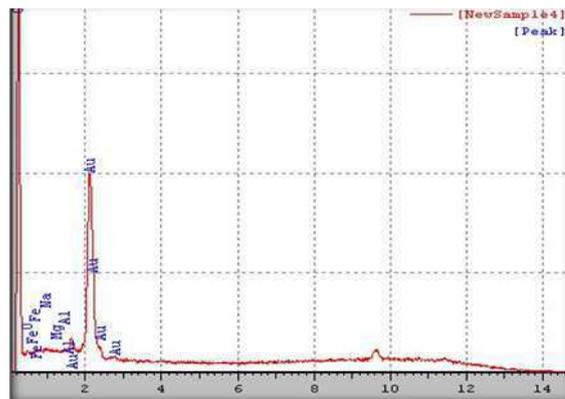


Figura 4.61. EDS - CAPM2 a 5% RCA.

É possível, por intermédio da combinação MEV/EDS para a região destacada, observar o alto teor do elemento químico C (78,82 %) e o elemento químico O (14,84 %), considerados componentes principais na avaliação do ligante modificado. Também é possível observar traços de metais Na, Mg, Al, elementos presentes nos resíduos poliméricos e uma pequena porcentagem do elemento químico Au, utilizado para metalizar a amostra no ensaio. No CAPM2 a 15 %, verificou-se, o seguinte comportamento dos picos (Figuras 4.62 e 4.63):

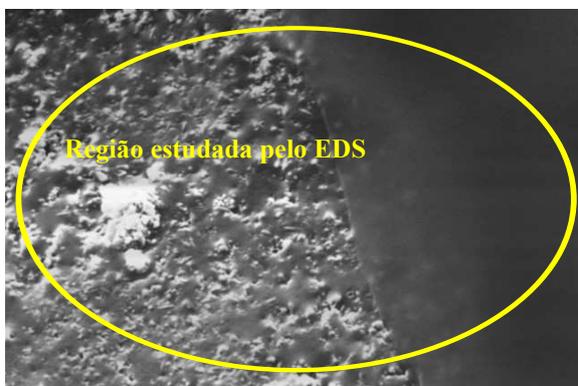


Figura 4.62. MEV – CAPM2 a 15% RCA.

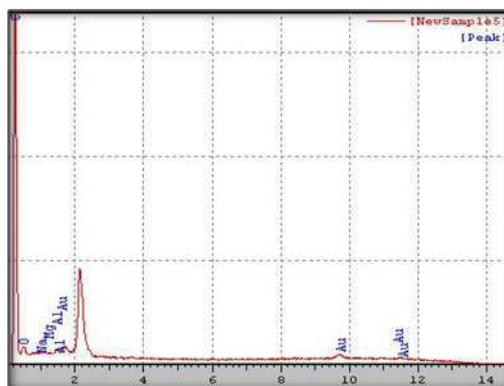


Figura 4.63. EDS - CAPM2 a 15% RCA.

O elemento químico C apresentou alto teor, com uma porcentagem em torno de 81,36 %, e o oxigênio com aproximadamente 17,32 %, elementos estes combinados com outros elementos químicos presentes na mistura, como o compatibilizante metacrilato de glicidila ($C_7H_{10}O_3$), usado como compatibilizante para a síntese do ligante modificado. Os metais diminuíram sua quantidade, podendo-se ressaltar apenas pequenas quantidades dos elementos químicos Al e Mg, além de Au, por se tratar de

uma mistura não condutora, mas importante na análise. Foi observada a presença do metal Na, elemento presente nos resíduos. No EDS das amostras do *CAPM2* a 25 %, verificou-se o comportamento dos seguintes picos (Figuras 4.64 e 4.65):



Figura 4.64. MEV - *CAPM2* a 25% RCA.

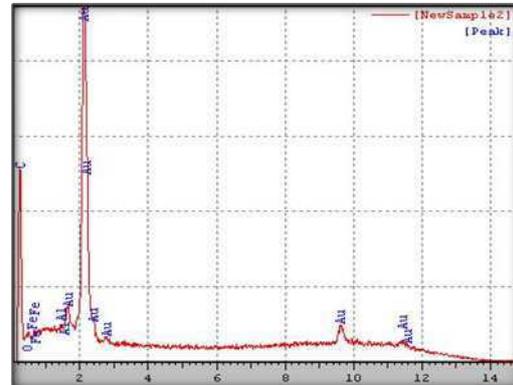


Figura 4.65. EDS - *CAPM2* a 25% RCA.

Na amostra, a porcentagem de elemento químico Fe (8,5 %) apresentou-se um tanto alto em relação aos demais metais e cargas, além do elemento químico oxigênio O (21,10 %), que na presença do elemento químico enxofre S, gera os sulfóxidos. Este fato se deve à reação deste elemento químico com os demais constituintes do compósito, além do Au, que foi utilizado para metalizar a amostra no ensaio de MEV/EDS. Também foi observada a presença de O (21,10 %), C (69,35 %), e o elemento químico Al, presentes no resíduo.

Os teores de carbono no *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, se apresentaram semelhantes, fato já esperado, uma vez que utilizam os principais constituintes.

No *CAPM3* a 5% RCA, verificou-se o comportamento dos picos conforme as Figura 4.66 e 4.67:

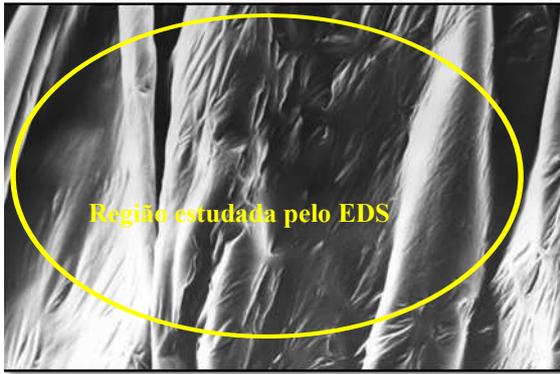


Figura 4.66. MEV - CAPM3
a 5 %RCA.

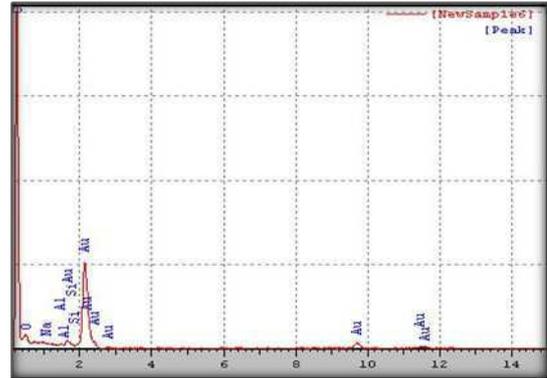


Figura 4.67. EDS - CAPM3
a 5 %RCA.

No CAPM3 a 5 %, a porcentagem do elemento químico C foi de 83,03 %, e 15,8 % de O. Verificou-se traços de metais (Na, Al) e cargas, que na presença do S geram os sulfóxidos. Apresenta também o semimetal Si, presente no RRS, além de uma pequena porcentagem de Au, que foi utilizado para metalizar a amostra no ensaio de MEV/EDS, por se tratar de uma mistura não condutora. As Figuras 4.68 e 4.69 mostra o comportamento dos picos:

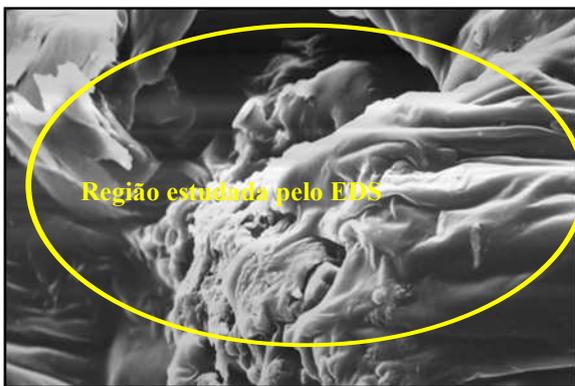


Figura 4.68. MEV - CAPM3 a 15%RCA.

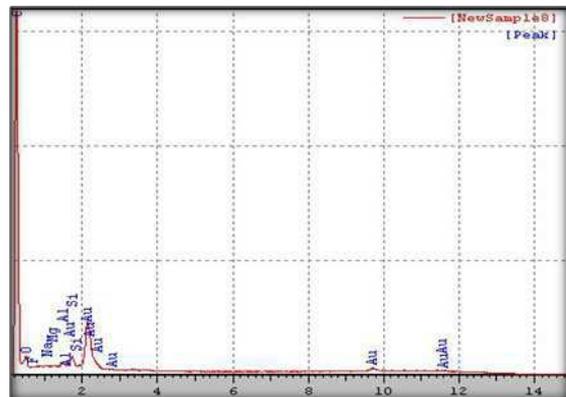


Figura 4.69. EDS - CAPM3 a 15%RCA.

Percebe-se a presença de metais (Al, Mg e Na), metal pesado Fe e o semimetal Si, elementos atribuídos à diversidade de constituintes contidos no resíduo do granito, no resíduo polimérico RCA e no ligante asfáltico. Percebe-se alto teor do elemento químico C, em torno de 80,16 %, e do elemento químico O, com 16,50 %, além de uma pequena porcentagem de ouro, Au, que foi utilizado para metalizar a amostra.

Ressalta-se a presença do agente metacrilato de glicidila ($C_7H_{10}O_3$), usado como aditivo para a síntese do ligante modificado, que contribuiu para o incremento dos elementos químicos C, H e O, na análise da EDS do *CAPM3*. O comportamento dos picos do *CAPM3* a 25 % RCA, conforme abaixo (Figuras 4.70 e 4.71):

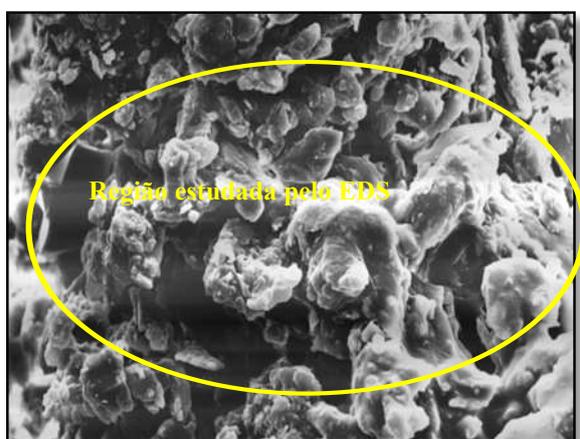


Figura 4.70. MEV - *CAPM3* a 25% RCA.

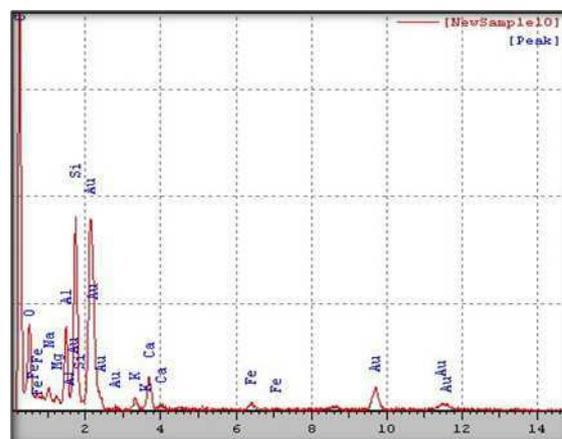


Figura 4.71. EDS - *CAPM3* a 25% RCA.

Nas amostras de *CAPM3* contendo 25 % de resíduo polimérico RCA, pode-se perceber reações entre os elementos presentes no compósito, de forma a surgir novos elementos como os metais Ca, K, presença do metal pesado Fe, e o Si (4 %), além de uma pequena porcentagem de Au, que foi utilizado para metalizar a amostra, por se tratar de uma mistura não condutora.

Também foi observada a presença do elemento químico C (64,93 %). No *CAPM3*, o teor de oxigênio teve um aumento em sua porcentagem chegando a constituir 25 %, valor também atingido no *CAPM1*, atribuído a reações químicas com o reagente.

4.1.1.12. Análise Espectrométrica no Infravermelho (FTIR) dos *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*

Na análise via FTIR das amostras do *CAP PURO*, *RCA* e *CAPM1*, foram verificadas as seguintes vibrações e comportamentos das amostras na caracterização estrutural, conforme observado nos espectros a seguir, na Figura 4.72:

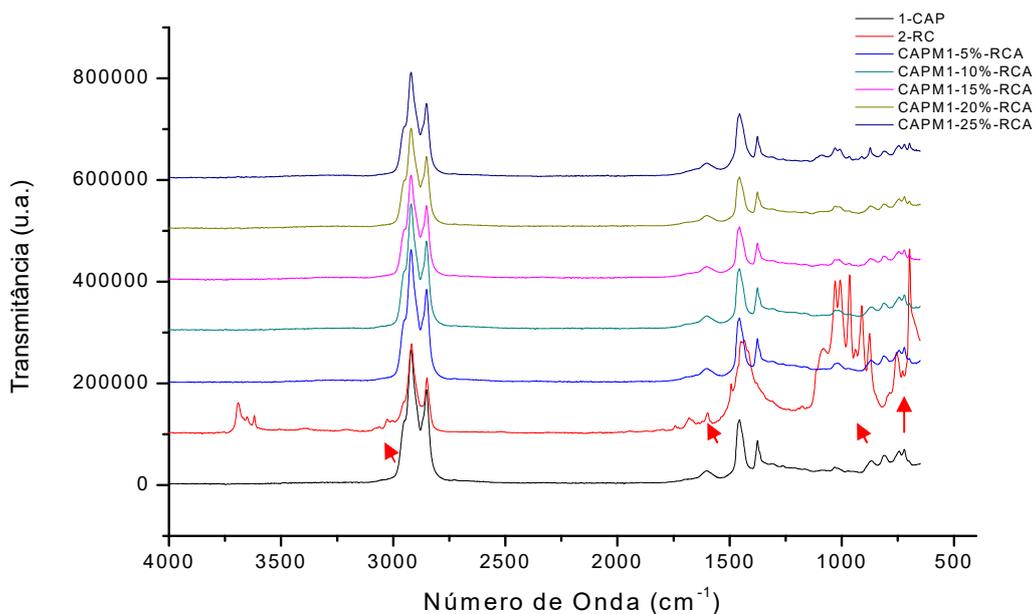


Figura 4.72. *CAPM1* – FTIR CAP Modificado, CAP PURO, *RCA*.

No polímero residual SBRr, um comprimento de onda importante refere-se ao δ C-H (substituição aromática) de 699 cm^{-1} , e linha de base para esta banda de 680 cm^{-1} a 740 cm^{-1} (DUTRA, 2004). Para o EVAr residual, a banda característica que surge em 1.738 cm^{-1} é devida ao estiramento da carboníla, C=O da unidade de acetato de viníla presente no copolímero, comprovando a existência deste comonômero. Observa-se uma intensa banda a 1.234 cm^{-1} (ν C-O), característica dos grupos acetatos. Segundo Xue *et al*, (1997), a banda de 1.633 cm^{-1} pode ser atribuída à ligação tipo estiramento C=C, entre 1.590 cm^{-1} – 1.670 cm^{-1} . Ressalta-se alguns comprimentos de onda característicos ao EVAr em diversos comprimentos de ondas, presentes no FTIR, referindo-se a diferentes grupos funcionais na Tabela 4.6 abaixo:

Tabela 4.6. Bandas de espectrais, utilizadas na verificação de envelhecimento oxidativo do EVA.

Grupo Funcional	Comprimento de onda λ (cm^{-1})
δ C-H(-CH=C-)	1050

CH=C	1500
-OH	3000

Fonte: YANG (2011).

Foram observadas, a partir da análise dos espectros, as seguintes bandas características para o CAP PURO, CAP modificado e RCA a seguir: as bandas em 2.920 cm^{-1} e 2.848 cm^{-1} , relativas à presença de estiramentos C-H; as bandas em 1.635 cm^{-1} e 1.753 cm^{-1} , relativas à formação de carbonilas; em 1.604 cm^{-1} , relativas ao estiramento C=C de estruturas aromáticas; em 1.457 cm^{-1} e 1.379 cm^{-1} , relativas às deformações CH₂ e CH₃ de estruturas alifáticas; 1.031 cm^{-1} , decorrentes da presença de grupamentos sulfóxidos; 871 cm^{-1} e 879 cm^{-1} , caracterizada pela deformação de C-H de estruturas aromáticas substituídas.

Bandas espectrais em 911 cm^{-1} , 964 cm^{-1} e 995 cm^{-1} , surgem de insaturações (vinil e trans wag CH). Os dados apresentados confirmam a estrutura do RCA, sendo que, cada material apresenta uma banda característica concernente à sua estrutura. Para o ligante asfáltico CAP50/70, alguns comprimentos de ondas característicos como carbonilas (C=O), bandas estruturais sulfóxidos (S=O) e aromáticos, por exemplo, podem ser elencados, entre outros (Tabela 4.7):

Tabela 4.7. Bandas de carbonila e sulfóxidos utilizados na verificação do envelhecimento oxidativo do ligante asfáltico.

Grupo Funcional	Comprimento de onda λ (cm^{-1})
Aromáticos	800
Carbonila	1700
H ₂ O	3000
S=O	1020

Fonte: SILVEIRA (2007) e LIMA (2008).

Observa-se fato importante nestes espectros de FTIR: o ligante asfáltico apresenta vibrações em mesmo comprimento de onda que o EVAr, bem como o SBRr contido no resíduo RCA. Entretanto, vibra em comprimento de onda um pouco diferenciado. As principais absorções dos grupos presentes no ligante asfáltico são semelhantes às de outros ligantes asfálticos apresentados na literatura (MASSON *et al.*, 2001; LAMONTAGNE *et al.*, 2001, OUYANG *et al.*, 2006).

Comparativamente, pode-se observar que as amostras do CAPM1 apresentam os mesmos comprimentos de ondas que as amostras de referência, que são o ligante asfáltico e o RCA. Assim, conclui-se que em todas as composições,

ambos os materiais estão presentes. Pode-se aferir, também, que os comprimentos de onda concernentes ao SBR foram suavizados na mistura asfáltica, associados a reações físico-químicas ocorridas no composto. Quanto ao envelhecimento oxidativo, do grupo sulfóxido (S=O), que vibram no comprimento de onda de aproximadamente 1.020 cm^{-1} , pode-se ressaltar que este pico apresentou aproximadamente a mesma intensidade que no ligante asfáltico puro, significando que a adição do reagente e o *RCA* não favoreceram o envelhecimento oxidativo. A região de interesse neste estudo foi a de 2.500 cm^{-1} a 3.500 cm^{-1} , visto que será utilizado no estudo do CAP modificado por *RCA*. As atribuições das bandas de absorção mais importantes do ligante asfáltico estão mostradas na Tabela 4.8 abaixo:

Tabela 4.8. Atribuições das bandas apresentadas nos espectros FTIR do CAP

PRINCIPAIS BANDAS DO LIGANTE ASFÁLTICO	NÚMERO DE ONDA (cm^{-1})
δt (CH ₂) _{n>4}	722
δ C-H em aromáticos substituídos	746,814 e 874
V S=O	1030
V SO ₂	1310
δ SIM (CH ₃)	1376
δ ass (CH ₂ , CH ₃)	1460
V C=C	1600
V C=O	1700
V C-H (CH ₂)	2860
V C-H (CH ₃)	2920
V O-H	3450

Fonte: Masson et al., 2001; Lamontagne et al., 2001, Ouyang et al., 2006.

Em síntese, a análise espectrométrica do CAP foi realizada apenas como uma ferramenta na identificação dos principais grupos constituintes do CAP, amplamente discutidos na literatura. Foram observadas as bandas representativas dos grupos alifáticos, aromáticos e a presença de heteroátomos, condizentes com a composição esperada para o ligante asfáltico.

A avaliação espectroscópica por FTIR mostrou que a adição do *RCA* retarda o processo oxidativo do CAP. A análise da FTIR das amostras do *CAPM2* ocorreu conforme a Figura 4.73:

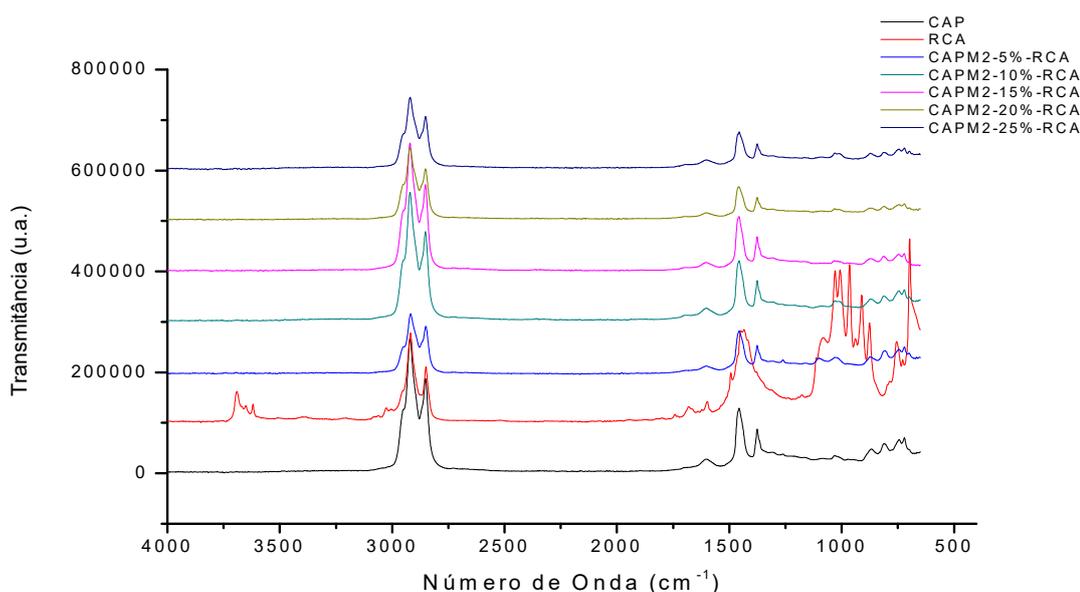


Figura 4.73. CAPM2 - FTIR CAP Modificado, CAP PURO, RCA

A espectroscopia FTIR mostrou um aumento dos grupamentos carbonilas (C=O) e sulfóxidos (S=O), decorrente da oxidação do CAP, por ocasião do envelhecimento. A presença do RCA, entretanto, reduziu o processo de oxidação deste asfalto. A avaliação espectroscópica por FTIR mostrou que a adição do RCA retarda o processo oxidativo do CAP. Assim, como no *CAPM1*, na mistura *CAPM2*, para o SBRr, um comprimento de onda importante refere-se ao δ C-H (substituição aromática) de 699 cm^{-1} , e linha de base para esta banda de 680 cm^{-1} a 740 cm^{-1} (DUTRA, 2004).

Para o EVAr, a banda característica que aparece em 1.738 cm^{-1} é devida ao estiramento da C=O da unidade de acetato de vinila presente no copolímero, comprovando a existência deste comonômero. Aparece uma intensa banda em 1.234 cm^{-1} (vC-O), característica dos grupos acetatos, confirmando a presença do RCA na mistura.

Em temperaturas superiores a temperaturas de decomposição do *CAPM2*, a oxidação é bastante acelerada, o que é evidenciada pelo estudo da degradação térmica por TG.

Foi observada a existência de espectros semelhantes quando se comparam as composições estudadas ao CAP PURO de referência. Verificou-se que o *CAPM2*

é altamente afetado por fatores como temperatura e oxigênio. As técnicas utilizadas como FTIR, TG e DSC foram concordantes em mostrar este comportamento. A análise individual de cada espectro revelou que a posição dos picos de absorbância, ou bandas de absorção, mostrou boa concordância com os espectros obtidos. A Figura 4.83 mostra o espectro FTIR do compósito *CAPM3*. A região de interesse neste estudo foi a de 650 cm^{-1} a 1.100 cm^{-1} . Na análise da FTIR da amostra do *CAPM3*, *CAP PURO*, *RCA* e *RRS*, verificou-se o seguinte comportamento (Figura 4.74):

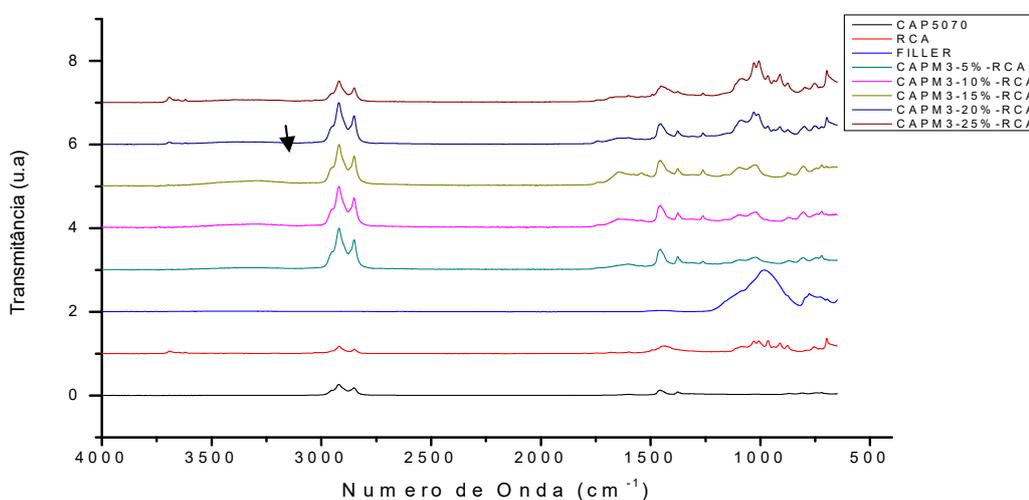


Figura 4.74. *CAPM3* - FTIR *CAP* Modificado, *CAP PURO*, *RCA*, *RRS*.

Eventos relacionados ao ligante asfáltico *CAP PURO*, como a banda de 3.000 cm^{-1} , referente à água, bem como, sulfóxidos e aromáticos, podem ser observados no *CAPM3*. Quanto à banda de água, pode-se notar que, com o aumento da porcentagem de *RCA* no compósito, esta banda perde intensidade em seu pico. A banda do filler do resíduo *RRS*, entre 750 cm^{-1} e 1.200 cm^{-1} , apresentou um comportamento diferente da banda de água do *CAP*, pois à medida que se aumentou o *RCA*, a intensidade deste pico referente a segmentos rochosos aumentou, bem como os eventos relacionados ao *RCA*, como grupos funcionais $\delta\text{C-H}$, $\text{CH}=\text{C}$, $-\text{OH}$, por exemplo. Estes também aumentaram a intensidade.

No *CAPM3*, a FTIR mostrou um aumento dos grupamentos carbonilas e sulfóxidos, decorrentes da oxidação do *CAP*, devido ao envelhecimento. Porém, a

presença do resíduo RCA reduziu o processo de oxidação deste ligante asfáltico. A avaliação por FTIR mostrou que a adição do SBRr retarda o processo oxidativo do CAP. A região de interesse do filler de rochas ornamentais foi de 650 cm^{-1} a 1.100 cm^{-1} . O trabalho de Song *et al.* (2009) identificou uma banda de absorção das amostras em torno de 1.080 cm^{-1} , semelhante às observadas. Referem-se à vibração da ligação Si–O–Si do tetraedro de sílica (SiO_2). O trabalho de Martin *et al.* (2007) identificou a contribuição dos diversos tipos de vibração do tetraedro de sílica (SiO_2) no espectro de absorbância, afirmando que as bandas de absorção com número de ondas em torno de 1.106 cm^{-1} representam o estiramento assimétrico das ligações de Si–O–Si. Finalmente, mostra que bandas em torno de 693 cm^{-1} denotam a deformação das ligações do tetraedro de sílica (SiO_2).

4.1.1.13. Ensaio de Viscosidade *BROOKFIELD* do *CAPM1*, *CAPM2*, *CAPM3*

Realizados os ensaios de caracterização térmica dos materiais constituintes do ligante asfáltico e do CAP modificado, conclui-se que as análises do TG, DSC, MEV, FTIR e relatos na literatura, que misturas acima de 5% de polímeros, tornam-se inviáveis para preparação de misturas asfálticas. Portanto, a etapa subsequente foi o estudo dos ligantes puro e misturas com adição de resíduo polimérico *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3* a 5 % de RCA, onde foram realizadas análises no *BROOKFIELD*, para aplicação em revestimentos asfálticos. A viscosidade foi determinada conforme o ASTM D4402 nas seguintes temperaturas: $135\text{ }^\circ\text{C}$, $150\text{ }^\circ\text{C}$ e $177\text{ }^\circ\text{C}$, a diferentes taxas de cisalhamento, utilizando-se o viscosímetro *BROOKFIELD* modelo DVII+, acoplado a um controlador *THERMOSEL*.

Para o CAP PURO e Modificado com temperaturas pré-determinadas, estão demonstradas as viscosidades medidas na Tabela 4.9:

Tabela 4.9: Viscosidade das amostras.

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	VISCOSIDADE <i>BROOKFIELD</i> (Cp)			
	CAP 50/70	<i>CAPM1</i> (CAP50/70+ PBO+RCA)	<i>CAPM2</i> (CAP50/70+MDG+ ENXOFRE+ RCA)	<i>CAPM3</i> (CAP50/70+Fillers iliculado+MDG+ RCA)
135,0 $^\circ$	395,5	417,50	407,50	2042,5
149,0 $^\circ$	198,0	209,01	191,00	933,0
177,2 $^\circ$	71,5	75,50	65,50	357,0

O desempenho da avaliação no viscosímetro *BROOKFIELD*, para o CAP PURO e Modificado *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, na Figura 4.75:



Figura 4.75. Variação da viscosidade em função da temperatura.

O ligante asfáltico sofreu uma alteração significativa em sua viscosidade, com a adição do polímero residuário *RCA* de acordo com as temperaturas de 135 °C, 149 °C e 177,2 °C, respectivamente. Na temperatura de 135 °C, a viscosidade teve aumento de 5,5 % no *CAPM1*. Relativo ao *CAPM2*, houve um acréscimo de 3 % na viscosidade, e no *CAPM3*, aumento de mais de 400 % da viscosidade, em decorrência da presença do *RCA* e *RRS*.

Na temperatura de 149 °C, obteve-se um acréscimo de 5,5 % no *CAPM1*. Acréscimo de 3,7% na viscosidade do *CAPM2* e acréscimo de mais de 370 % no *CAPM3*. A 177,2 °C, a viscosidade obteve um acréscimo superior a 5 % no *CAPM1*, acréscimo superior a 9 % no *CAPM2* e aumento próximo de 400 % na viscosidade do *CAPM3*. Os resultados mostram que a viscosidade do ligante asfáltico aumentou com o acréscimo do teor de resíduo adicionado, sendo este aumento mais significativo no *CAPM3*. Segundo Alencar *et al.* (2006), a elevação da viscosidade, quando da adição de polímeros termoplásticos ao CAP, é um comportamento esperado.

Para Zanzotto, Stastna e Vancin (2000), a modificação de asfaltos por polímeros, em baixas concentrações, é notória em temperaturas elevadas. Em

temperaturas baixas as propriedades dos asfaltos parecem ser menos influenciadas pelos polímeros modificadores. Como o ensaio de viscosidade é realizado a uma temperatura elevada, os resultados obtidos de viscosidade se destacam, estando, assim, de acordo com a literatura.

4.1.1.14. Ensaio de Amolecimento do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3

Este ensaio foi realizado com equipamento penetrômetro e consiste em se determinar a profundidade, em décimos de milímetros. A média dos resultados configurou-se conforme a Tabela 4.10:

Tabela 4.10. Ponto de amolecimento do CAP PURO e Modificado.

ASFALTO	MÉTODO	UNID	PONTO DE AMOLECIMENTO
CAP 50/70	DNIT 131/2010–ME	°C	46,00
CAPM1	DNIT 131/2010–ME	°C	49,75
CAPM2	DNIT 131/2010–ME	°C	50,00
CAPM3	DNIT 131/2010–ME	°C	50,50

Verificando-se na tabela a média do comportamento do material puro e modificado, percebe-se que no CAP PURO, o ponto de amolecimento foi de 46 °C, observando-se uma oscilação no ponto de amolecimento para o CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3. O resultado da análise, de acordo com a média das misturas asfálticas, encontra-se discriminado conforme a Figura 4.76, onde é perceptível o desempenho e os indicadores:

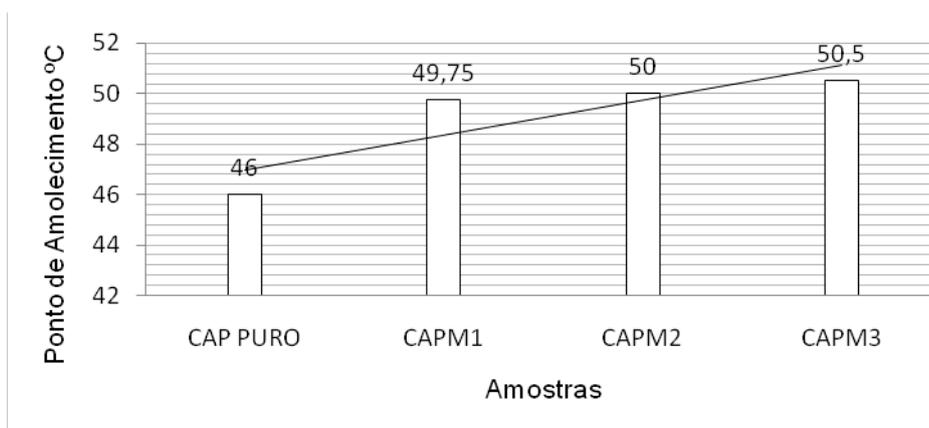


Figura 4.76. Ponto de Amolecimento. Fonte: Remy, 2013.

Houve um aumento do ponto de amolecimento de acordo com a composição dos compósitos *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3* relativo ao *CAP PURO*. Segundo Oda (2000), o aumento do ponto de amolecimento indica um aumento na resistência à deformação permanente das misturas contendo asfalto modificado. De acordo com Botaro *et al.* (2006), devido aos materiais asfálticos serem constituídos de asfaltenos, maltenos e outros elementos, estes apresentam pontos de fusão diferentes. Assim, a mistura desses constituintes eleva a um valor médio do ponto de amolecimento.

O ponto de amolecimento chega a atingir 50,5 °C para o *CAPM3*, talvez devido à presença do RRS. Portanto, observou-se um aumento da viscosidade do ligante asfáltico com a adição do resíduo RCA, havendo elevação do ponto de amolecimento, que representa aumento da resistência ao acúmulo da deformação permanente das misturas modificadas (SANTOS *et al.*, 2008).

4.1.1.15. Ensaio de Penetração do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3

O ensaio de penetração tem como objetivo determinar a consistência para aplicação em pavimentação. O comportamento esperado, de acordo com a literatura, é que a adição de polímeros torne o ligante mais consistente, mais rígido, resultando em valores mais baixos de penetração, proporcionalmente ao teor de polímeros adicionados ao cimento asfáltico (ODA, 2000). Foram realizadas análises de penetração com base na Norma 155/2010 – ME. A média dos resultados está descrita na Tabela 4.11:

Tabela 4.11. Ponto de Penetração do CAP PURO e Modificado.

ASFALTO	MÉTODO	UNID	PENETRAÇÃO (100 G, 5S, 25°C)
CAP 50/70	DNIT ME 155/2010	0,1 mm	50,00
CAPM1	DNIT ME 155/2010	0,1 mm	49,40
CAPM2	DNIT ME 155/2010	0,1 mm	45,50
CAPM3	DNIT ME 155/2010	0,1 mm	45,00

No ensaio o resultado configurou-se conforme a Figura 4.77:

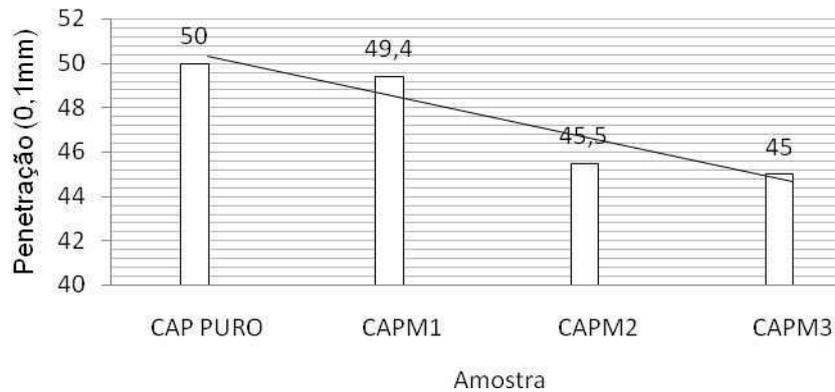


Figura 4.77. Determinação da Penetração em décimo de milímetro.

Com a incorporação do RCA, foi possível perceber a diminuição da penetração e, conseqüentemente, o aumento da consistência do CAP, tornando-o mais duro. No ligante *CAPM3*, a penetração média foi de 45,00 décimos de milímetros, devido à presença do *RRS*, que tornou o ligante mais rígido. Panda e Mazundar (1999) verificaram a diminuição da penetração do ligante modificado com resíduo do EVA frente ao aumento do teor de resíduo na modificação do CAP. De alguma forma, polímeros do tipo elastômeros aumentam a resiliência (elasticidade) e a flexibilidade dos pavimentos, enquanto os plastômeros aumentam a rigidez e a estabilidade da mistura (ALENCAR *et al.*, 2006).

4.1.1.16. Índice de Susceptibilidade Térmica do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3

O IST de Pfeiffer e Van Doormaal, ou Índice de Penetração (IP), pode variar, segundo as especificações brasileiras, entre -1,5 a +1,0, para cimentos asfálticos de petróleo convencionais. A Tabela 4.12 apresenta os valores de IST, calculados a partir dos ensaios de penetração e ponto de amolecimento. O IST correlaciona as variações de temperatura e a consistência das misturas asfálticas. Asfaltos pouco susceptíveis tornam-se duros e quebradiços, em condições de baixas temperaturas. Asfaltos muito susceptíveis modificam sua consistência para pequenas variações de temperatura.

Tabela 4.12. IST dos compostos CAP PURO, CAPM1, CAPM2, CAPM3.

AMOSTRA	PENETRAÇÃO A 25° (dmm)	PONTO DE AMOLECIMENTO (T, °C)	IST
CAP PURO	50,00	46,00	- 2,2
CAPM1	49,40	49,75	- 1,20
CAPM2	45,50	50,00	- 1,40
CAPM3	45,00	50,50	- 1,30

O IST da ordem de -1,5 a + 1,0 identifica o CAP de uso rodoviário. O valor zero significa susceptibilidade adequada, e valores abaixo de -1,5 indicam CAPs muito susceptíveis, variando muito de consistência com a temperatura.

4.1.1.17. Determinação do Ponto de Fulgor do CAP PURO, CAPM1, CAPM2 e CAPM3

A Tabela 4.13 compara o valor encontrado nos ensaios do CAP PURO e CAP Modificado com polímero RCA, de acordo com a NBR 11341:

Tabela 4.13. Determinação do ponto de fulgor do CAP PURO, CAPM1, CAPM2, CAPM3

ASFALTO	MÉTODO	UNID	PONTO DE FULGOR
CAP 50/70	NBR 11341	°C	235
CAPM1	NBR 11341	°C	210
CAPM2	NBR 11341	°C	225
CAPM3	NBR 11341	°C	220

Fonte: Remy, 2013.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela, verificou-se que o ponto de fulgor diminuiu com o acréscimo de resíduos poliméricos adicionados. Isto se deve à presença de constituintes voláteis provenientes do resíduo polimérico, devido ao polímero não ser puro, se tratando de um composto de resíduos, SBRr/EVAr. A presença desses constituintes voláteis foi observada durante ensaios anteriores (TG, DSC). Apesar desta diminuição não ser desejável, não haverá um comprometimento do material obtido, visto que para aplicações em campo, a temperatura de aquecimento está na faixa de 135 °C. Silva (2004) afirma que a determinação do ponto de fulgor está relacionada com a segurança do trabalhador durante o transporte e o manuseio, de modo que a temperatura de trabalho deve se

situar, pelo menos, 20 °C abaixo do ponto de fulgor. A Figura 4.78 mostra o desempenho do ponto de fulgor:

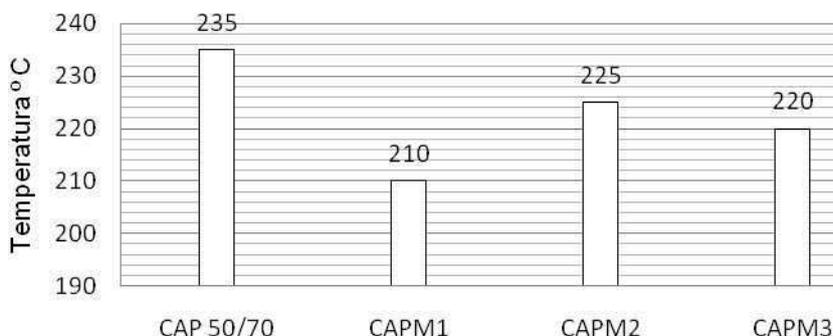


Figura 4.78. Determinação do Ponto de Fulgor do CAP PURO, CAPM1 e CAPM3.

Houve uma queda da temperatura de fulgor, devido ao incremento de componentes com grau de inflamabilidade maior que o CAP PURO, tais como reagentes e compatibilizantes, presença de polímeros tipo borrachas elastoméricas e plastoméricas, que influenciaram na inflamabilidade do material, com cargas, pigmentos e aditivos.

4.1.1.18. Ensaio de Absorção D'água do CAPM1, CAPM2, CAPM3

Foram realizados os ensaios de absorção de água a 24 h nas amostras do CAP modificado, como mostram as Figuras 4.79 e 4.80:



Figura 4.79 - Absorção d'água dos corpos de prova.



Figura 4.80 - Absorção d'água dos corpos de prova.

A Tabela 4.14 mostra as características dos seis corpos de prova da mistura CAPM1, CAPM2, CAPM3 e CAP PURO:

Tabela 4.14 - Absorção D'água de 06 corpos de prova do CAP Modificado e PURO.

Mistura	AA(%) - 01	AA(%) - 02	AA(%) - 03	AA(%) - 04	AA(%) - 05	AA(%) - 06
CAPM1	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
CAPM2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,84
CAPM3	0,62	0,64	0,64	0,63	0,64	0,63
CAP PURO	0,60	0,61	0,54	0,60	0,62	0,60

Autor, 2013.

A Figura 4.81 mostra o comportamento da absorção no CAP PURO, *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, onde é possível perceber que, devido à compactação manual e a presença de resíduos poliméricos, bem como da ação de compatibilizantes e aditivos, houve comportamentos distintos:

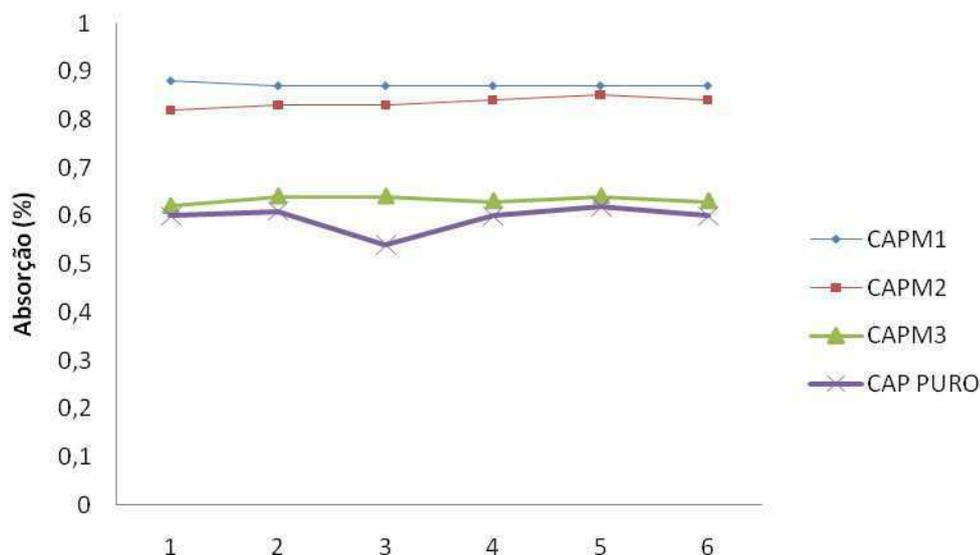


Figura 4.81. Absorção de água em (%) das amostras modificadas.

A análise constatou que o material possui uma baixa absorção de água, não chegando a 1 %, com tendência de estabilização neste patamar. Devido ao fato de possuir, nos seus interstícios, partículas de borracha que interferem na absorção pelos compósitos analisados, houve comportamento distinto, onde o *CAPM1* exibia a maior taxa de absorção, e o *CAPM3* a menor, em decorrência da presença de resíduos mineralógicos que possivelmente “endureceram” a amostra.

CAPÍTULO 5

**ESTUDO DE CASO - INDICADORES DE QUALIDADE
DAS CALÇADAS DO MUNICÍPIO DE QUEIMADAS-
PB**

5. Estudo de caso - Indicadores de qualidade das calçadas do município de Queimadas – PB

5.1. Introdução

O presente estudo teve como finalidade a apresentação de resultados práticos, de natureza qualitativa, não objetivando explicitar numericamente os indicadores abordados. Trata-se de uma pesquisa descritiva, realizada in loco, que descreve as características encontradas em campo, com apresentação de registros fotográficos, sob uma ótica qualitativa dos indicadores utilizados, que a caracteriza como sendo de natureza exploratória, tendo em vista o pequeno quantitativo de estudos em temáticas similares realizados na região.

Abre-se, portanto, espaço para o desenvolvimento de novas pesquisas que venham a aprofundar o tema, sejam pela aplicação de alguns dos indicadores, ou mesmo pelo desenvolvimento de novos indicadores e/ou métodos próprios.

5.2. Indicadores de qualidade das calçadas

Os indicadores de qualidade utilizados foram:

Segurança: uma calçada deve proporcionar a menor possibilidade possível de atropelamento;

Conforto: a calçada deve oferecer o mínimo possível de desnível, ondulações, buracos, depressões;

Largura efetiva: calçada sem obstáculos, como entulho, bancas, mesas de bar;

Seguridade: calçadas devem oferecer segurança aos usuários, através de policiamento, iluminação apropriada eficiente;

Atratividade visual: uma calçada limpa, agradável, até mesmo com a presença de jardins ou vitrines.

5.3. Material e métodos

Quando se considera a iniciativa pública em relação às calçadas e sua (falta) de ações em relação ao tema, o município de Queimadas apresenta uma realidade bastante similar à encontrada no restante do país. Sua atual condição a classifica

como uma boa amostragem das condições das calçadas brasileiras, indicando-a como recorte geográfico da atual pesquisa.

Este trabalho utilizou como referência o IQC – Índice de Qualidade das Calçadas, desenvolvido por FERREIRA e SANCHES (2001), onde as observações no local foram efetivadas levando-se em consideração os indicadores do modelo, conforme quadro a seguir:

Indicadores de qualidade
Segurança
Conforto
Largura efetiva
Seguridade
Atratividade visual

Tabela 5.1: Indicadores de qualidade utilizados. Fonte: Autor (2017)

5.4. Caracterização e legislação do município de Queimadas – PB

O município de Queimadas está localizado no Planalto da Borborema, estado da Paraíba. Coordenadas: 7° 21' 30" de latitude sul e 35° 55' 54" de longitude (NGr). Distante 19 km do centro da cidade de Campina Grande, segundo maior município paraibano e a 133,8 km de distância da cidade de João Pessoa, capital do estado.

O município tem extensão territorial de 400,9 km² e uma população de 38.210 habitantes, segundo dados do IBGE de 2005. Densidade demográfica de 90,78 hab/km².

O município de Queimadas, através da Lei nº 286, de 20 de dezembro de 2011, possui um código de posturas, que dispõe sobre as regras disciplinares das posturas do município em relação ao poder de polícia, de higiene pública, de costumes locais e de funcionamento dos estabelecimentos de natureza industrial, comercial e prestadora de serviços.

Tal lei determina a fiscalização, por parte dos funcionários municipais, das posturas municipais, através de meios de polícia administrativa, assim como vistorias, seja quando do licenciamento ou localização de atividades. A lei orgânica do município de Queimadas não faz qualquer menção às calçadas.

Casos omissos são tratados segundo os princípios gerais das demais leis da legislação urbanística estadual e federal.

As calçadas são abordadas no Capítulo IV - da estética urbana. No Art. 222, está escrito que “proprietários ou responsáveis pelos imóveis localizados, em logradouros públicos, deverão conservar suas calçadas em condições normais que assegurem o livre trânsito de pedestres”. O art. 24 diz: “Toda a extensão do piso das calçadas não poderá sofrer mudanças significativas de nível, devendo ser obrigatoriamente de material antiderrapante”. Ainda, no art. 226, o Município assume o compromisso de instalar rampas com meio-fio rebaixado nos locais com presença de faixa de pedestres no leito da via, assim como pela sinalização adequada, inclusive piso de material de alerta tátil, para o livre acesso por parte de pessoas portadoras de necessidades especiais.

5.5. Qualidade das calçadas no município de Queimadas – PB

Assim como pode ser testemunhado nas demais localidades da região, as calçadas do município de Queimadas apresentam uma realidade distópica, longe da ideal. São muitos os problemas apresentados, como pode ser verificado nos resultados apresentados a seguir.

A análise das calçadas foi realizada a partir dos aspectos da Segurança, Conforto, Largura efetiva, Seguridade e Atratividade visual.

Segurança

De maneira geral, em se tratando de um município de pequeno porte, cujo tráfego de veículos pode ser considerado de baixa densidade, os usuários não correm alto risco de atropelamento.



Figura 5.1. Fonte: Arquivo Gepis (2017)



Figura 5.2. Fonte: Arquivo Gepis (2017)



Figura 5.3. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Conforto

Neste quesito, os problemas surgem de forma mais eloquente, conforme se constata nos registros fotográficos apresentados a seguir. O município de Queimadas não proporciona o mínimo de conforto aos pedestres em suas calçadas.

Podem-se testemunhar quantidades demasiadas de obstáculos, desníveis, sujeira, impossibilitando desta forma, um caminhar confortável.



Figura 5.4. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Na Figura 5.4 apresentada, verifica-se enormes quantidades de rejeitos de materiais de construção depositados no leito da rua, utilizados inadequadamente como sinalização, para o impedimento do tráfego de veículos. Evidencia-se ainda, que a rua foi pavimentada recentemente. Contudo, verifica-se que as calçadas não receberam melhorias. O poder público sequer aproveitou a oportunidade de mobilização para pavimentação da rua para atualizar a condição das calçadas, que apresenta vários problemas, como a falta de acessibilidade, de continuidade, de fluidez, desnivelamento exagerado, constituindo-se em um cenário potencial para a ocorrência de acidentes. Portadores de necessidades especiais teriam grandes dificuldades de locomoção neste local.



Figura 5.5. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Residência construída muito acima do leito da rua, onde o proprietário construiu uma escada para acesso próprio para a sua residência, prejudicando assim o espaço público.



Figura 5.6. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Na Figura 5.6 verificou-se que a área de circulação para pedestres foi comprometida. A inclinação está claramente superior à permitida e a esquina está obstruída.



Figura 5.7. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Na ilustração apresentada na Figura 5.7, apresenta-se uma Unidade Básica de Saúde da Família. Destaca-se uma rampa com inclinação excessiva, de difícil acesso ao aparelho público por idosos e cadeirantes.



Figura 5.8. Fonte: Arquivo Gepis (2017)



Figura 5.9. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Largura efetiva

De forma generalizada, a largura efetiva das calçadas do município de Queimadas, aqui apresentadas, não atenderam aos parâmetros oferecidos por guias ou legislações consultadas, não apresentando o mínimo de largura efetiva para a circulação de seus cidadãos.



Figura 5.10. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Na imagem apresentada na figura 5.10, verifica-se que não houve o devido espaçamento previsto em legislação, para a circulação de pedestres, atentando contra aspectos tais como: continuidade, padronização, fluidez e acessibilidade.



Figura 5.11. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Na Figura 5.11, evidencia-se o descaso de moradores que obstaculizam as calçadas, para abrigarem seus pertences (tijolos), obrigando os usuários a se locomoverem pelo leito da rua, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de acidentes.



Figura 5.12. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Calçada completamente obstruída por edificação, provavelmente para evitar o acesso de águas pluviais. Sem qualquer acessibilidade, fluidez ou continuidade, a calçada sequer apresenta esquina desobstruída ou rebaixamento na direção do fluxo de pedestres. Neste local, o cadeirante não teria oportunidade alguma de utilizar a calçada (Figura 5.12).



Figura 5.13. Fonte: Arquivo Gepis (2017)



Figura 5.14. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Aqui nota-se o total desrespeito à acessibilidade, fluidez e continuidade. O proprietário do imóvel simplesmente construiu sua rampa para acesso veicular à garagem, minando qualquer oportunidade de um cadeirante utilizar a calçada. Tal rampa não evitou a faixa livre.

Seguridade

Assim como pode ser percebido nos demais municípios da região, o policiamento municipal apresentou-se ineficiente, ou seja, a população encontra-se largada à própria sorte quando o assunto é segurança pública. Quanto à iluminação pública, são muitas as áreas com iluminação precária. Mas, por se tratar de um município com pequena área geográfica e baixa densidade populacional, onde normalmente as pessoas se conhecem, pode-se chegar à conclusão de que o tráfego de pedestres pelas calçadas do município, no geral, é seguro.



Figura 5.15. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Atratividade visual

Assim como apontado no indicador conforto, as calçadas do município de Queimadas mostraram-se, em sua grande maioria, desagradáveis visualmente, sujas, sem padronizações, sem presença de árvores ou jardins.



Figura 5.16. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

Nas imagens apresentadas, de forma geral, detecta-se uma completa falta de padronização. Diante de cada unidade residencial, tem-se utilizado materiais diferentes. Poste instalado na faixa livre, impedindo a livre circulação. Também há ausência de qualquer tipo de construção.



Figura 5.17. Fonte: Arquivo Gepis (2017)

5.6. Conclusão de estudo de caso

De forma genérica, as imagens apresentadas revelam uma amostragem da completa desorganização das calçadas no município de Queimadas–PB. Seria improvável, inclusive, encontrar um trecho de calçada dentro dos padrões desejados. Um cenário que se estende pelos demais municípios da região.

Assim como pode ser constatado em tantos outros setores país afora, o problema não se encontra na legislação. Não faltam guias, cartilhas, recomendações. A própria legislação da Prefeitura Municipal de Queimadas prevê que o piso das calçadas não poderá “sofrer mudanças significativas de nível, devendo apresentar material antiderrapante.” Em sua lei, o município assume o compromisso de “instalar rampas com meio-fio rebaixado nos locais com presença de faixa de pedestres nas ruas, assim como sinalização adequada, inclusive piso de material de alerta tátil, para o livre acesso por parte de pessoas portadoras de necessidades especiais.” Nada disso está presente na cidade, não há fiscalização, apesar de estar prevista em legislação.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

6. Conclusão, considerações finais e sugestões

6.1. Conclusão

- A elevação do módulo elástico e a melhoria das propriedades foram verificadas, graças à utilização do Enxofre e do Peróxido de Benzoíla como compatibilizantes do *RCA* com ligante asfáltico;
- O comportamento do CAP modificado foi similar ao do CAP puro, relativamente à degradação com relação ao tempo e à temperatura;
- A presença de polímeros residuários no CAP fornece maior resistência a variações de temperatura, sem que haja uma grande degradação dos seus constituintes. Entretanto, a adição de *RCA* não modificou quimicamente o ligante, conforme EDS, mas elevou a sua consistência, acarretando assim, em melhorias nas propriedades físicas do ligante;
- O aumento no ponto de amolecimento determina maior resistência à deformação permanente das misturas modificadas;
- O principal constituinte do CAP modificado foi o *RCA*, que em 5% no *CAPM1* apresentou melhor estabilidade térmica, comprovando a utilização adequada à mistura com o ligante para aplicação em calçadas e pavimentos em geral;
- As adições do *filer* de *RRS* a 2 % e os 5 % de *RCA* no *CAPM3*, aparentemente, mantiveram as propriedades, apenas unindo as bandas em comum. A partir de 10 % de *RCA*, pode-se observar um mascaramento nos picos onde representaram determinados elementos dos componentes da mistura, podendo-se suspeitar de reações físico-químicas ocorridas no CAP com o *filer* adicionado na mistura;
- Verificou-se que o CAP modificado é altamente afetado por fatores como temperatura e oxigênio. As técnicas utilizadas tais como FTIR, TGA e DSC foram concordantes em mostrar este comportamento. Em temperaturas superiores a temperaturas de decomposição do CAP modificado, a oxidação é bastante acelerada, o que é evidenciado pelo estudo da degradação térmica por TGA;

- Porcentagens acima de 10 % são contra-indicadas, por comprometer as propriedades reológicas e mecânicas do ligante asfáltico;
- A modificação dos CAPs com *RCA* em 5% melhorou as propriedades reológicas, na resistência ao cisalhamento e resposta elástica à deformação;
- Entre os CAPs modificados, o que apresentou melhores resultados foi o *CAPM1*, que além do resíduo *RCA*, possui o aditivo *PBO*, importante para a homogeneização;
- A análise conclusiva realizada por meio do Estudo de Caso da cidade de Queimadas-PB leva a uma profunda reflexão sobre a urgência de realização de investimentos em infraestrutura calçadista, como meio de socialização das cidades brasileiras, com fortes reflexos na melhoria da qualidade de vida dos seus cidadãos;
- Conclusivamente, vislumbrou-se uma necessidade urgente de responsabilização dos municípios, por meio de leis municipais, pela construção de suas calçadas. Como já ocorre em grandes metrópoles mundiais, que são modelos neste quesito.

6.2. Considerações finais

É relevante ressaltar, ao final deste trabalho, que os dados obtidos através das técnicas utilizadas permitem inferir a influência do uso de diferentes aditivos em relação a parâmetros reológicos e/ou propriedades convencionais de ligantes modificados com resíduo polimérico *RCA* (*SBRr/EVAr*). Entretanto, mesmo quando seus resultados individuais indicam um desempenho excelente, como são muitas vezes obtidos em condições específicas para o estudo em questão, os mesmos podem não ser suficientes para permitir a utilização deste ligante em pavimentação.

Portanto, para uso em pavimentação, o ligante modificado deve atender a determinados critérios estabelecidos pelos órgãos responsáveis da região onde pretende ser utilizado. Para atendimento destes critérios, muitas vezes a adequação das propriedades são obtidas pela dosagem de diferentes aditivos. Por exemplo, o uso de enxofre e do peróxido de benzoíla permite melhorar significativamente as características reológicas do ligante modificado com *RCA*. Mas, simultaneamente, ocorre um endurecimento do mesmo, o que dificulta sua aplicação. Esta limitação

torna necessária a adequação dos teores e a escolha adequada dos aditivos, que permitirá o atendimento dos parâmetros necessários para o uso do ligante modificado.

Em suma, a adição de polímeros ao ligante asfáltico modificado com RCA permite a melhora significativa de desempenho pela melhor compatibilização das fases, por afinidade química ou pela formação de ligações químicas entre o asfalto e a matriz polimérica. As propriedades reológicas e convencionais destes ligantes devem ainda atender a requisitos estabelecidos por órgãos que regulamentam este mercado, e para isto, o ajuste das dosagens destes aditivos torna-se importante.

6.3. Sugestões

Independente do Programa em que o pesquisador venha a estar inserido, seria deveras interessante, após tantas abordagens teóricas, vê-se uma aplicação prática do atual estudo, ou seja, a confecção de um trecho devidamente executado com o material aqui manuseado. Acompanhar-se-ia o desempenho do trecho executado, levando-se em consideração parâmetros normativos.

Não se deve deixar de considerar o fato de a execução de pavimentação asfáltica ser complicada em trechos considerados pequenos. A aplicação do CBUQ ainda demanda equipamentos de grande mobilização, como a vibro acabadora. Tais equipamentos não apresentam trabalhabilidade para espaços estreitos, como as calçadas em vias urbanas. Uma solução de execução abre um leque de oportunidades para pesquisas.

Devido ao tempo limitado, este trabalho não chegou a fazer um estudo econômico da solução apresentada, mesmo sendo esta a intenção inicial. Não é capaz de apontar se valeria a pena abandonar os materiais considerados tradicionais por um novo traço de CBUQ, sob o ponto de vista financeiro.

É sabido que os insumos têm seus preços apontados pelo Mercado, conforme variações de oferta e demanda. A elaboração de composições de preços unitários para um novo traço, assim como para traços tradicionais de CBUQ e Concreto Estrutural, quando comparados, poderiam servir de ferramenta para se chegar a decisões econômico-financeiras, abrindo campo para novos trabalhos.

CAPÍTULO 7
REFERÊNCIAS

7. Referências

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR-7207 – Terminologia e classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR – 15184. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional, 2004.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR – 14491. Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade “Saybolt-Furol”, 2000.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), NBR 6293 – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais betuminosos – Determinação da ductilidade. 2001.

ANP. **Resolução ANP nº 19, de 11 jul. 2005**. Brasília: Diário Oficial da União, publicada em 12 jul. 2005, republicada em 13 jul. 2005, retificada em 25 jul. 2005 e 17 mar. 2006. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2006.

ASTM D6114/D6114M –09. Standard Specification for Asphalt - Rubber Binder. American Society for testing and material, 1997.

ASTM D6373-07 e 1-Standard specification for performance graded asphalt binder. American Society for testing and materials. Philadelphia, 2007.

ASTM-D 2170 – Viscosidade cinemática.

AIREY, G. D. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. *Fuel*, 2003. v. 82, p. 1709-1719.

ALENCAR, A. E. V; BRINGEL, R. M; SOARES, J. B; SOARES, S. A. **Efeito da Presença de Aditivos nas Propriedades Reológicas do Ligante Asfáltico Modificado por EVA**. In: 18º Encontro de Asfalto. Rio de Janeiro, 2006.

ALENCAR, A. E. V; BRINGEL, R. M; SOARES, J. B.; SOARES, S. A. **Rheological Behavior of Asphalt Binder Modified with EVA Copolymer and Coconut Fiber**. XI International Macromolecular Colloquium (IMC) & 6th International Symposium on Natural Polymers and Composites, ISNAPOL. Gramado/RS, Brasil, 2007.

ALLEN, N. S; EDGE, M; RODRIGUES, M; LIAUW, C. M; FONTAN, E. (2000) – **Polymer Degradation and Stability**, 68, 2000. p. 363-371.

ALDIGUERI, D. R; SILVEIRA, M. A; SOARES, J. B. **Estudo Comparativo entre Compactação Manual e Automática de Misturas Asfálticas**. In: 33ª Reunião Anual de Pavimentação da ABPv, Florianópolis, v. I, 2001, v. 1. p. 804 -813.

AMARAL, S. C. **Estudos de Misturas Asfálticas Densas com Agregados do Estado do Pará, Utilizando Asfalto Convencional (CAP-40) e Asfalto Modificado com Polímero SBS (Betuflex 65/60)**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ANTOSCZEZEM JÚNIOR, J. A. Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil. In: Boletim Técnico SINICESP. São Paulo, 2012. Edição nº 7.

ASPHALT INSTITUTE. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing – SP-1. 1983. Disponível em: <<http://www.asphaltinstitute.org>> Acesso em: 23 jul. 2013.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAHIA, H. U; ZHAI, H; BONNETTI, K; KOSE, S. Non-Linear Viscoelastic and Fatigue Properties of Asphalt Binders. **Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists**, v. 68, 1999, p. 1-34.

BARNES, H. A; HUTTON, J. F; WALTERS, K. **An Introduction to Rheology**, Elsevier, Amsterdam, 1989.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 1 LTC (Livros Técnicos e Científicos). 2000, V. 15ª Edição.

BASSETT, J; DENNEY, R. C; JEFERY, G. H; MENDHAM, J; **Análise inorgânica quantitativa (VOGEL)**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. 1981.

BERNUCCI, L. L. B; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás & Abeda, 2006. v. 1. 504p.

BRASIL. LEI DOS RESÍDUOS SÓLIDOS Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 08 ago. 2013.

BRASQUÍMICA. **Asfalto Modificado / Polímero**. Brasquímica - Produtos Asfálticos LTDA. (2013). Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/produtos/prg_pro.cfm?cod=5> Acesso em: 14 nov. 2013.

BRASKEM. Copolímero de Etileno-Acetato de Vinila HM728. Folha de dados, revisão 4, 2010.

BRETAS, R. E. S; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de Polímeros Fundidos**. São Carlos: Editora da UFSCar, 2000.

BRINGEL, R. M.; ALENCAR, A. E. V.; LUCENA, M. C. C.; SOARES, J. B.; SOARES, S. A. **Comportamento Reológico do Ligante Asfáltico Modificado por SBS e Diluente Aromático como Compatibilizante**. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. *18º Encontro de Asfalto*, Rio de Janeiro/RJ, 2006. CD-Rom IBP0033_06, p. 27.

BRINGEL, R. M.; SOARES, S. A.; SOARES, J. B. *Propriedades químicas e reológicas de asfalto modificado por copolímero EVA*. III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005.

BRULE, B.; BOURLLOT, F. **Choix Dun Bitume Pour Liant Modifié EVA Revue Generale des Routes et des Aerodromes**. Dossier: Bitumes Modifiés, vol. 711, p. 46-48, 1993.

BRÛLE, B. **Polymer Modified Asphalt Cement in the Road Construction Industry**: Basic Principles, Transportation Research Board. 75 th Annual Meeting. Jan 7-11 (1996).

Calçadas do Brasil, Painéis disponíveis em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=IIE6FatwipA&list=PLRYF3jghhlzNCcJFtoZx-WRrTry5KTEXY>>,
<<https://www.youtube.com/watch?v=C4wZmlErZQM&index=3&list=PLRYF3jghhlzNCcJFtoZx-WRrTry5KTEXY>> e
<<https://www.youtube.com/watch?v=1VnuJYr2CO0&index=4&list=PLRYF3jghhlzNCcJFtoZx-WRrTry5KTEXY>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

CALLISTER JR, W. D. *Ciência Engenharia de Materiais - Uma Introdução - 8ª Ed.* Editora: LTC. 2012.

CAMILO, Juliana C.; DE ANGELIS, Bruno L. D.; LEMOS, Syntia; JUCÁ, Cristiane, **Avaliação da qualidade e nível de serviço das calçadas**, IV Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana / I Encontro Nacional de Tecnologia Urbana, 2013.

CAMBUIM, K. B. **Estudo Sistemático da Utilização da Borracha e de seus Resíduos para Modificação Oriundos de Petróleo Brasileiro**. Dissertação de Pós Graduação, UFPB, Campina Grande, 2004.

CANEVAROLO Jr., S.V. *Ciências dos Polímeros*. São Paulo: Artliber Editora, 2004. 1ª Reimpressão.

CASTRO, A. M. **A Borracha e o Pneu: Reaproveitamento e reciclagem**. Disponível em: <<http://www.econocenter.com.br/reciclagem/borracha.htm>> Acesso em: 20 dez. 2012.

CASTRO, S. R.; BOTARO, V. R. **Modificação de misturas asfálticas**: empregos de polímeros recicláveis e melhoria das condições de pavimentação das estradas de Minas Gerais. Relatório de iniciação científica. DEQUIUFOP, 2004.

CASTRO, L. N. **Reciclagem a Frio "In Situ" com Espuma de Asfalto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

CAVALCANTI, L. S. **Efeito de alguns modificadores de ligante na vida de fadiga e deformação permanente de misturas asfálticas**. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

CETESB. **Asfalto – Resíduo**. 1999. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=ASFA LTO%20-%20RES%CDDUO> Acesso em: 14 dez. 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-RESOLUÇÃO No 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>> Acesso em: 10 dez. 2013.

COSTA, C. A. O desenvolvimento do emprego de asfaltos modificados por polímeros BA região nordeste do Brasil. In: **Anais do 16ª Encontro de Asfalto**, IBP, Rio de Janeiro, CD-Room, IBP00102, 2002.

CURI, D. Aprofundando seu conhecimento sobre polímeros. Colégio Bandeirantes. 2002. Disponível em: <www.colband.com.br/sitenovo/arquivos/baixar.php> Acesso em: 22 dez. 2013.

COLLEPARDI, S. COPPOLA, L; TROLI, R; COLLEPARDI, M. Mechanisms of Actions of Different Superplasticizers for High-Performance Concrete. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE IN HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 2, Gramado, 1999. **Proceedings...** Gramado: ACI, 1999. p. 503-523.

CORTIZO, M. S. *et al.* **Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the aging of modified asphalts**. Polymer degradation and stability, v.86, p.275 – 282, Buenos Aires, Argentina, 2004.

CTB - Ciência e Tecnologia em Borracha. 2011. Disponível em: <<http://www.ctb.com.pt>> Acesso em: 11 maio 2013.

COLLINS, J. H; M. BOULDIN, G; GELLES, R; BERKER, A. Improved Performance of Paving Asphalts by Polymer Modification. **Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists**, v. 60, 1991, p. 43-79.

DNC – DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS. Portaria n. 44, DE 29.9.1997 – DOU 1º.10.1997. Cimento asfáltico de petróleo – quadro de especificação. 1993.

DNER. Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall, Método de Ensaio,

DNER – ME 043/95. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 11p. 1995.

DNER. *Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros*. Relatório final - Ministério dos transportes. Diretoria de desenvolvimento tecnológico. Tomo I, II e III. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1990.

DNER-EM 396. Cimento asfáltico modificado por polímero. Norma rodoviária - Especificação de material. DNER-EM 396/99, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

DNER – ME 043/95. Norma rodoviária. Misturas betuminosas a quente-ensaio Marshall-Método de ensaio. 1995.

DNER – ME 003/99. Norma rodoviária. Material betuminoso - determinação da penetração. Rio de Janeiro, 1999.

DNER – ME 382/99. Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos modificados por polímeros, pelo método do ductilômetro. Rio de Janeiro, 1999.

DNER – ME 006/2000. Norma rodoviária. Emulsões asfálticas - determinação da sedimentação. Rio de Janeiro, 2000.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - Normas Tipo Método de Ensaio (ME); DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003.

DNIT – 2010 155/2010-ME. Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio. 2010.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros – Relatório Final. Ministério dos Transportes. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Tomo I e II. 1998.

DNIT- Norma 131/2010-ME. Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola. Método de ensaio. 2010.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 031 – ES: Pavimentação: Concreto Asfáltico. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT – Norma DNIT 156/2011 – ME. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Emulsão asfáltica – Determinação da carga partícula – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

DUTRA, R. C. L; DINIZ, M. F; RIBEIRO, A. P; LOURENÇO, V. L; CASSU, S; AZEVEDO, M. F. P. Determinação do Teor de NR/SBR em Misturas: Associação de Dados DTG e FT-IR. *Polímeros* (São Carlos. Impresso), v. 14, n.5, p. 334-338, 2004.

EHRENFEUCHT, RENIA; LOUKAITOU-SIDERIS; ANASTASIA, **Constructing the sidewalks: municipal government and the production of public space in Los Angeles, California, 1880 e 1920.** Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Renia_Ehrenfeucht/publication/248584602_Constructing_the_sidewalks_municipal_government_and_the_production_of_public_space_in_Los_Angeles_California_1880-1920/links/53ee820d0cf23733e810d762.pdf. Acesso em: 18 abr. 2017.

EPELBAUM, Michel. **Sistema de gestão ambiental**. In: Vilela Júnior, Alcir & Demajorovic, Jacques. (Org.) **Modelos e ferramentas de gestão ambiental. Desafios e perspectivas para as organizações**. São Paulo, Editora Senac, 2006, p. 115-147.

FAWCETT, A. H; MCNALLY, T; MCNALLY, G. M; ANDREWS, F; CLARKE, J; **Polymer**. 1999. v. 40. p, 210.

FERREIRA, Marcos A. G.; SANCHES, Suely P., **Infra-estrutura para pedestres – A qualidade das calçadas, Universidade Federal de São Carlos** - Departamento de Engenharia Civil, 1999.

FREITAS, R. D. **Efeitos da adição de resíduos de gesso da indústria da construção nas propriedades mecânicas do concreto asfáltico usinado à quente**. 2010.161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2010.

GARLET, G. & GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A da indústria calçadista na construção civil. Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC/USP, São Paulo, 1996;

GARLET, G. *“Aproveitamento de resíduos de E.V.A (EthyleneVinyl Acate) como agregado para concreto leve na construção civil”*. Porto Alegre, 1998. 146p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.

GODOI, L. Estudo do comportamento dos ligantes asfálticos utilizados na imprimação asfáltica relacionados à emissão de VOC's. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais - PIPE. Curitiba, 2011.153f.

GONZALÉZ, O; MUÑOZ, M. E; SANTAMARÍA, A; GARCÍA-MORALES, M; NAVARRO, F. J; PARTAL, P. Rheology and stability of bitumen/EVA blends, **European Polymer Journal**, 2004, p. 2365-2372.

GONZÁLES, G., MIDDEA, A. Efeito de resinas e asfaltenos sobre as Propriedades Superficiais de partículas de Quartzo, Feldspato e Calcita, Comunicação Técnica SECRES-023/87, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, Novembro, 1987.

GOODRICH, J. L., GOODRICH, J.E. e KARY, W.J. Asphalt composition tests: their application and relation to field performance. *Transportation Reserch Record*, vol. 1096, 1986, pp. 146-167.

GOUVEIA, F. P.; BEZERRA, L. M.; FARIAS, M. M. (2013). **Recycled Plasterboard Used as Asphalt Modifier**. Waste Management & Research. (artigo submetido).

GUARÇONI, D. S; SANTANA, H. Asfalto Modificado com Polímero. V.1; Pesquisa IPR / DNER; Rio de Janeiro – RJ, 1990.

Guia prático para a construção de Calçadas, Associação Brasileira de Cimento Portland.

HATAKEYAMA, T; QUINN, F. X. **Thermal analysis fundamentals and applications to polymer science**, 2nd edition, John Wiley, Singapore, 1999.

HELLÍN, L. C; CLAUSELL, M. P. R. Incidencia de la Fritura en la Composición de La Fracción Lipídica de diversos aperitivos de consumo generalizado en nuestro País, **Anal. Bromatol.**, v.36, n.1, p.5 – 31, 1984.

HUNTER, R.N. **Asphalts in road construction**. London: Thomas Telford Ed., 2000.

INSTITUTO DO ASFALTO. Manual do Asfalto. Brasil: MS-4, 2002.

International Institute of Synthetic Rubber Producers - Worldwide Rubber Statistics", Houston, 1999.

INSTITUTO DO PVC E DO MEIO AMBIENTA. Disponível em: <<http://www.institutodopvc.org/publico/>> Acesso em 12 dez. 2013.

JADA, A; SALOU, M. Effects of the asphaltene and resin contents of the bitumens on the water-bitumen interface properties. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2002, pp.185-193.

JUVÊNCIO, E. L. Estudo do efeito da adição de polímeros no comportamento mecânico de misturas betuminosas a frio. 2001. 101 f. Tese (Magister Scientiae) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KOK, M.V; PAMIR, M.R; **Pyrolysis and combustion studies of fossil fuels by thermal analysis methods**. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. N° 35,145-156, Turkey, 1995.

KALANTAR Z.N.; KARIM M.R.; MAHREZ, A. A review of using waste and virgin polymer in pavement. *Construction and Building Materials*, v.33, P.55-62.2012.

LANDAU; BERNARD, **La Fabrication des Rues de Paris au XIX e Siecle - Un Territoire D'Innovation Technique et Politique**. Disponível em: <<http://archivue.pagesperso-orange.fr/textes/rues-paris1.html>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

LAMONTAGNE, J.; DUMAS, P., MOUILLET, V., KISTER, J. Comparison by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of different ageing techniques: application to road bitumens. *Fuel*, v. 80, p. 483-488, 2001.

LAMONTAGNE, J.; DURRIEU, F.; PLANCHE, J. P.; MOUILLET, V.; KISTER, J. (2001) Direct and continuous methodological approach to study the ageing of fossil organic material by infrared microspectrometry imaging: application to polymer modified bitumen, *Analytica Chimica Acta*, p. 241-250.

LAMONTAGNE, J.; Dumas, P.; Mouillet, V.; Kister, J. Comparison by Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy of Different Ageing Techniques: Application to Road Bitumens. *Fuel*, vol. 80, p. 483-488, 2001.

LEAL, C. L. D & CASTRO, P. F. Concreto Asfalto: Utilização de Resíduos como Filer, In: 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2000.

Legislação Prefeitura Municipal de São Paulo, disponível em: <<http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/cartilha-do-programa-passeio-livre.pdf>>, em: <<http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/manual-tecnico-de-arborizacao-urbana.pdf>>, e em: <<http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/mobilidade-acessivel-na-cidade-de-sao-paulo.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

Lei nº 286, Código de posturas, Prefeitura Municipal de Queimadas, 2011.

Lei Orgânica do Município de Queimadas – PB, 1990.

LEITE, L. F. M. Instituto do asfalto. Manual do Asfalto. 4ª ed, 1986.

LEITE, L. M. F., et al. Asphalt Rubber in Brazil: Pavimeent perfomance and laboratory study. In: ASPHALT RUBBER 2003. CONFERENCE – Proceedings, Brazilian ,Brazil, P 229-246, 2003.

LEITE, L. F. M. Misturas Mornas e Reciclagem parecem ser as Tecnologias mais importantes para Garantir a Sustentabilidade. *Revista Asfalto*, NOV/DEZ 2012. p. 15.

LEITE, L. F. M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero**. 1999. 266f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) - Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro - (IMA/UFRJ), Rio de Janeiro, 1999.

LEITE, L. F. M; CAMILLO, M. C. F; DEANE, G. H. W; CINTRA, R. H; VIEIRA, R; ARAÚJO, N; BRANDÃO, L. M.F; CARVALHO J. R. F. Caracterização de cimentos asfálticos através da técnica de HP-GPC. Boletim Técnico da Petrobrás, v, 41: p. 32, Rio de Janeiro (1989).

LEITE, L. F. M. “Curso Básico Intensivo de Pavimentação Urbana – Módulo Básico – Ligantes Asfálticos”. Rio de Janeiro, 2003.

LEWANDOWSKI, L.H., Rubber Chemistry and Technology, v. 67, p.448 (1994).

LIMA, C. K. M. Estudo da incorporação de resíduos industrial polimérico ao CAP. Natal, RN. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. 2008. X; 88 f.

LIMA, C. S. **Caracterização de ligantes asfálticos modificados com borracha de pneu e aditivo**. 2008.159f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia de Transporte) – Universidade Federal do Ceará (UFC), 2008.

LIMA, C. S.; TOMÉ, L. G. A.; SOARES, S.A.; SOARES, J. B.; Análise Térmica do Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado com Borracha. IN: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 29^a, 2006.

LUCENA, M. C. C., SOARES, S. A., SOARES, J. B. Characterization and Thermal Behavior of Polymer – Modified Asphalt. *Materials Research*, v. 7, n. 4, 2004.

LU, X; ISACSSON, U; EKBLAD, J. Rheological properties of SEBS, EVA and EBA polymer modified bitumens. *Materials and Structures*, 1999, V. 32, p. 131-139

LU, X; ISACSSON, U. Modification of road bitumens with termoplastic polymers, *Polymer Testing*, v. 20, p.77-86, 2001.

LUCENA, M.C.C. Caracterização química e reológica de asfaltos modificados por polímeros. TESE (Doutorado) em química Inorgânica – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza CE, 2005. 163 f.: II.

LUCENA, M.C.C., Soares S.A e Soares J.B., Efeito da Adição de SBS nas Propriedades Químicas e Reológicas de Asfalto Otirundo de Petróleo Brasileiro. Anais do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleos & Gás, Rio de Janeiro, p. 160 (2003).

LOUREIRO, T. G. **Estudo da evolução do dano por fadiga em misturas asfálticas**.Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Ceará, 2003.

Manual da calçada sustentável, Prefeitura de Goiânia – GO, 2012.

MANO, E. B. Introdução a polímero. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1985..Polímeros, produção e aplicação. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1991.

MASSON, J. F., PELLETIER, L. e COLLINS, P. Rapid FTIR method for quantification of styrene-butadiene type copolymers in bitumen. **Journal of Applied Polymer Science**., v. 79, p.1034-1041, 2001.

MARCILLA, A.; REYES – LABARTA, J. A.; SEMPERE, F. J. *Polymer*, v. 42, p. 5343-5350, 2001.

MARQUES, G. L. O. E MORAIS, W. M. “Estudos de Deformações Permanentes em Pré-Misturados a Frio Através de Ensaios Estáticos”. Relatório final de pesquisa FAPEMIG PROC. TEC 1415/97, 1999.

MOTTA, J. F; FREIRE. A. S. Potencialidades para o Aproveitamento Econômico do Resíduo de Granito, Rochas de Qualidade, Granitos Mármore e Pedras Ornamentais. EMC Editores Associados Ltda, São Paulo, Edição 123, Julho/Agosto, 1995, pg. 98-108.

MOTTA, L. M. G; TONIAL, I; LEITE, L. F. M; CONSTANTINO, R. S. Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas. Tradução comentada, IBP. 1996.

MOURÃO, F. A. L. Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de pós-graduação de Engenharia da Universidade do Rio de Janeiro, RJ.

MONACO, S. L; LÓPEZ, L; ROJAS, H; GARCIA, D; PREMOVIE, P; BRICENO, H. Organica Geochemistry, v.33, p. 1593 (2002).

MORILHA JUNIOR, A. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas.** 2004. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2004.

MORALES, M. G; PARTAL, P; NAVARRO, F. J. Viscous Properties and Microstructure of Recycled EVA Modified Bitumen. Fuel, vol. 83, p. 31-38, 2004.

MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. **Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecoflex.** IEP, Apostila sobre Asfalto Borracha, Instituto de Engenharia do Paraná, 2003.

MOTHÉ, 2009 MOTHÉ, M. G. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

MOTHE, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise Térmica de Materiais.** Editora, São Paulo, p. 27-130, 2002.

MURGICH, J., RODRIGUES, J. e ARAY, Y. Molecular recognition and molecular mechanics of micelles of some model asphaltenes and resins. Energy and fuels, vol. 10, 1996, pp 68-76.

NAGDI, W; KHAIRI, G; GOMMA, P. Manualledella, TecnicheNuove, p.27-30, 1987.

NAIME, Roberto, ASHTON, Elisa e HUPFFER, H. Maria. **Do design ao ecodesign: pequena história, conceitos e princípios.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. p. 1510-1519, MAR-AGO, 2012.

NASCIMENTO, H. R. C., Reis, R. M. M.; Camada porosa de atrito com utilização de asfalto modificado com polímero: Ipiranga Asfalto S.A., São Paulo-SP, Abril/1999.

NAVARRO, F. J; PARTAL, P; GARCÍA-MORALES, M. MARTÍNEZ-BOZA, F; GALLEGOS, C. **Bitumen modification with a low-molecular-weight reactive isocyanate-terminated**. *Fuel*, v. 86, 2007. p. 2291 – 2299.

NBR-8492 Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.

NEGRÃO, D. P; Estudo de asfaltos Modificados por Polimeros do tipo RET para aplicação em pavimentos/D.P. Negrão.Dissertação (Mestrado) – Escola Politecnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transporte. – São PAULO, 2006. 160 p.

NEGRÃO, D, P; PREUSSLER, E. S; BERNUCCI, L. B; ROPPA, J. C. R. Polímero RET – Estudo de Caso da Via Anhanguera; Congresso de Infraestrutura de Transportes; São Paulo – SP, 2007.

NEHDI, Moncef L., NAJJAR. Manal F., SOLIMAN, Ahmed M., AZABI, Tareq M., **Novel eco-efficient Two-Stage Concrete incorporating high volume recycled content for sustainable pavement construction**. *Construction and Building Materials* 146 (2017) 9–14.

ODA , S. Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação. 2000, 251 p. Tese (Doutorado em transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ODA, S; FERNANDES JR, J. L. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. *Acta Scientiarum (UEM)*, Maringá, PR, v. 23, p. 1589-1597, 2001.

OLIVER-SOLÀ, Oliver, JOSA, Alejandro, RIERADEVALL, Joan e GABARRELL, Xavier. **Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas**. *Int J Life Cycle Assess* (2009) 14:302–312.

OUYANG, C., WANG, S., ZHANG, Y., ZHANG, Y. Improving the aging resistance of styrenebutadieneestyrene tri-block copolymer modified asphalt by addition of antioxidants. **Polymer Degradation and Stability**., v. 91, p. 795-804, 2006.

PANDA, M.; MAZUMDAR, M. Engineering Properties of EVA-Modified Bitumen Binder for Paving Mixes. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 131-137. 1999.

PADILHA, A. F; AMBROZIO FILHO, F. Técnicas de análise microestrutural. São Paulo: Hemus, 1985.

PETERSEN, J. C. *Transportation Research Record* v. 999, p.13. 1984.

PETERSEN, J. C; BRANTHAVER, J. F; ROBERTSON, R. E; HARNBERGER, P; DUVALLE, J; E. K. Effects of Physicochemical Factors on Asphalt Oxidation Kinetics. Transportation Research Record, vol. 1391, p. 1-10.1993.

PETERSEN, J.C. et al. Binder characterization and evaluation National Research Council: Strategic Highway Research Program; Washington - 152 p. 1994.

PINHEIRO. J. H. M. e SOARES J. B., Realização e Acompanhamento de dois trechos experimentais com asfalto- Borracha no Estado do Ceará. Anais do XVIII. Congresso de Pesquisa e Ensino em transportes. Florianópolis (2004).

PINHEIRO, J. R. M.; SOARES, J. B.; Caracterização de misturas asfálticas com borracha produzida pelo processo úmido e seco, XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, (2003).

PINTO, S; Materiais Betuminosos – Conceituação, especificação e utilização; Instituto Militar de Engenharia; Rio de Janeiro – RJ, 2003. (Pinheiro, J. H. M., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará (2004).

PINTO, S. *Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos*. 1991. 478 f. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

PINTO, S; PREUSSLER, E; FARAH, H. Características elásticas de concretos asfálticos com látex. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ASFALTO, 2., 1983, Mar Del Plata, Argentina. *Anais...* 1983.

PINTO, S.; Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos; Tese de Doutorado, UFRJ; Rio de Janeiro – RJ, 1991.

Plano de gerenciamento integrado de resíduos sólidos Queimadas – PB, 2016.

POLLACO, G; STASTNA, J; BIONDI, D; ANTONELLE, F; VLACHOVICOVA, Z.; ZANZOTTO, L.; (2004) Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers, *Journal of Colloid and Interface Science*, p. 1-8.

POLLACO, G; BERLINCIONI, S; BIONDI, D; STASTNA, J; ZANZOTTO, L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers. *European Polymer Journal*, England: v.41, p.2831-2844, 2005.

POLLACO, G; STASTNA, J; BIONDI, D; ANTONELLI, F; ZANZOTTO, L. Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts. **Journal of Colloid and Interface Science**. USA: v.11, p.230-245, 2006.

PUZINAUSKAS, V.P., Filler in Asphalt Mixtures, Research Report No. 69-2 (RR-69-2), Asphalt Institute, Kentucky - U.S.A., 1983.

PREGO, A. S. S. *A memória da pavimentação no Brasil*. Rio de Janeiro: ABPv, 1999.

RAMOS, C. R.; GUARÇONI, D; GUERREIRO, F. *Curso de ligantes asfálticos*. Rio de Janeiro: IBP, 1995.

RAMOS, C. R. *et al*; Asfalto Modificado com Polímero Uma Opção para Melhorias dos Asfaltos Nacionais; 13º Encontro do Asfalto; Rio de Janeiro – RJ, 1996.

REMY, F.; **Modificação Estrutural do Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP) com Resíduos Poliméricos da Indústria Calçadista, para utilização em Pavimentos Flexíveis**. Tese de Doutorado, UFCG, 2013.

RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição. Relação entre a Interação Asfalto/Brita e a Resistência do Pavimento Asfáltico. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química. Tese de Doutorado, 2006.222p.

REIS, R. M. M., SANTO, N. R. E. Tecnologia de ponta para prolongar a vida dos pavimentos asfálticos. 3a ed. São Paulo: Ipiranga Asfalto S.A., 1999. 71p.

ROCHA, J. C; JONH, V. M. Utilização dos resíduos na Construção Habitacional. Editora ANTAC, Porto Alegre RS., (Coleção Habirare) 2003.

RPA - Rubber Pavement Association, Asphalt-rubber / Rubberized asphalt – there is the difference, (1999).

SAMANOS, J. Le role du bitume dans la route, Pétrole et techniques, n° 318, p. 42-47, août/sept, 1985.

SANTANA, H., Considerações sobre os Nebulosos Conceitos e Definições de Filler em Misturas Asfálticas, In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, ABPV, Volume I, Mato Grosso, 1995.

SANTOS E. F.; SILVA, G.M.; FEITOSA, J. P. A.; SOARES, J. B.; Caracterização de borracha de pneu moído e de asfalto modificado oriundo de petróleo brasileiro. Departamento de Química Orgânica e Inorgânica (UFC) e Departamento de Engenharia de Transporte (UFC). 2002.

SANTOS, E. F; SILVA, G.M; FEITOSA, J. P. A; SOARES, J. B; LEITE, L. F. M; Caracterização de cimento asfáltico de petróleo brasileiro modificado por borracha de pneu moído de renovadoras In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 7ª, 2003.

SENÇO, W. In: **Manual de técnicas de pavimentação**. Ed. Pini, São Paulo, Vol.1, p. 1-746, 1997.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice', SETAC, Brussels, 1993.

Sidewalk Design, Construction, And Maintenance, disponível em: <[https://fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Sidewalk Design Constructionand Maintenance EN.pdf](https://fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Sidewalk%20Design%20Constructionand%20Maintenance%20EN.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2017.

SILVA, L. S.; FORTE, M. M. C.; FARCAS, F. D. F.; BARTOLOMEO, P.; Simulação de Envelhecimento UV em ligantes asfálticos, 17º Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, (2004).

SOARES, J. B. Curso de Tecnologia de Pavimentos, Fortaleza – Lubnor, 2000.

SULTAN, B. A; SORVIK, E. Journal of Applied Polymer Science, 43, 1991. p. 1737 - 1761.

SHRP – STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM -HP -GPC and asphalt characterization literature review. SHRP – A / UIR -91 -503. 1991. 130p.

STASTNA, J., ZANZOTTO, L., VANCIN., O.J., Creep compliance of polymer modified asphalt: Asphalt mastic and hot mix asphalt [M]. Annual Meeting. (2003).

SHRP; The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices - SHRP-A-379. Strategic Highway Research Program - National Research Council, Washington, D C, (1994).

SHRP - Strategic Highway Research Program A-410. Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave). The Product of SHRP Asphalt Research Program, National Research Council, Washington DC (1994)

SPECHT, L. P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. 2004. 279 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SPIER, V. C. Caracterização espectroscópica e cromatográfica de copoliésteres biodegradáveis. 2005. 665f. Dissertação (MESTRADO). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, Joinville SC.

SHELL. *The Shell bitumen handbook*. 5. ed. Cambridge, 2003.

SHENOY, A. Prediction of High Temperature Rheological Properties of Aged Asphalts From the Flow Data of the Original Unaged Samples. *Construction and Building Materials*, vol. 16, p. 509–517, 2002.

TALAVERA, R. R; MENESES, V. M. C; MADRID, M. M; Emulsiones Asfálticos, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro, 2001. Secretaria de comunicaciones y Transportes – Instituto Mexicano Del Transporte.

TOMÉ, L. G. A; LIMA, C. S; SOARES, J. B; VALLENTIN, A. E. AI; LUCENA, M. C. C. Influência do Elvaloy na Modificação de Cimentos Asfálticos Oriundos de Petróleos

Brasileiros. In: XIX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife. XIX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005.

TONIAL, I. A. Influencia do Envelhecimento do Revestimento Asfáltico na Vida de Fadiga de Pavimentos. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2001.

TUCHUMANTEL JÚNIOR, O. O uso de fibras de celulose em Pavimentação. Asfalto em Revista Maio/Junho 2012. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. IBP. São Paulo. 2012.

VARMA, R; TAKEICHI, H; Hall, J. E; OZAWA, Y. F, KYU, T. Polymer, v 43, p. 4667 (2002).

VEN, M. V; JENKINS, K. **Rheological characterization of some (Polymer modified) bitumen and bitumen–filler system at compaction and in-service temperatures.** 6th RILEM Symposium PTEBM'03, Zurich. 2003.

VOGEL, A. I. **Química orgânica: análise orgânica qualitativa** . 3. Ed, Rio de Janeiro, Ao Livro técnico AS, 1981. V.1

WHITEOAK, D. Shell Bitumen Handbook. Shell, Inglaterra, 1990.

WEN, G; ZHANG, Y; SUN, K. e FAN, Y. Polymer Testing, v.21, p. 295 (2002).

YEN, T. F. Multiple structural orders of asphaltenes. Asphaltenes and Asphalts, vol.1, Elsevier, Amsterdam, 1994, p. 111-123.

YEN, T.F. – Asphaltene/Resin plus oil interconversion: “ an investigation into colloidal model of asphaltenes” – Proceedings of workshop-The chemical components and structure os asphaltic material – Rome,1991.

YILDIRIM, Y., et al. Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt concrete, Texas Department of Transportation (2007).

YILDIRIM, Y., SOLAIMANIAN, M., KENNEDY, T. W. Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete, *Texas Department of Transportation*, 2000.

XIAOHU E ISACSSON U., Polymer Testing, v. 20 p. 77 2001.

XUE; M. A. MCKINNEY; C. A. Wilkie. *The Thermal Degradation of Polyacrylonitrile.* Polymer Degradation and Stability 58 (1997) 193-202.

ZATTERA. A. J. Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila – EVA. Departamento de Engenharia Química, UCS. ARTIGO TÉCNICO CIENTÍFICO. Polímeros vol.15 n°.1. São Carlos Jan./Mar. 2005.