



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL COMO MODIFICADOR DE LIGANTE CAP 50/70

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Carina L. Silva¹; Lyneker S. Moura^{1,2}; Ana Cecília V. da Nóbrega³ & Arnaldo M. P. Carneiro¹

RESUMO

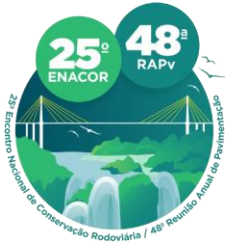
Os modificadores de ligante asfáltico têm sido largamente utilizados no mercado, sua aplicação tem por objetivo de melhorar as propriedades do material. Estes podem facilitar a adequação do ligante a condições específicas do meio, por exemplo, altas ou baixas temperaturas, bem como variações de granulometria ou tipo dos agregados. No Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste de Pernambuco, a partir do tratamento do efluente das lavanderias industriais, é gerado o lodo têxtil. Tal resíduo, após seco e destorroado, possui propriedades de filler e pode ser incorporado como modificador do ligante 50/70 em misturas asfálticas. O lodo têxtil foi incorporado de forma manual, em teores de 2 e 3%, com base na massa total da mistura, o que representa cerca de 36% e 54% do ligante asfáltico, respectivamente. Os ligantes modificados foram caracterizados por ensaios de: penetração (DNIT 155/2010 – ME); ponto de amolecimento (DNIT 131/2010 – ME); viscosidade rotacional cinemática (NBR 15184/2004). Em relação à penetração, ocorreram reduções de cerca de 11% e 31%, para as misturas com incorporação de 2 e 3%, respectivamente. Para o ponto de amolecimento, foi possível observar um pequeno incremento nos resultados obtidos, variando de aproximadamente 4%, para o menor teor de modificador, e 8%, para o maior teor. Finalmente, com relação à viscosidade, ocorreu aumento, sendo os maiores em torno de 37%, para 2% de lodo têxtil, e 59%, para 3% de lodo têxtil, de forma que os valores mais distintos foram observados sob às baixas temperaturas. O aumento na viscosidade ocasionou, também, o ajuste das temperaturas de aquecimento e compactação. Portanto, com base nas análises efetuadas, observou-se que os ligantes modificados por lodo têxtil possuem menor suscetibilidade às mudanças térmicas, melhorando o desempenho do ligante 50/70 a altas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE: Lavanderias industriais; Ligante asfáltico; Materiais alternativos.

ABSTRACT

Asphalt binder modifiers have been widely used in the market; their application aims to improve the properties of the material. These can facilitate the suitability of the binder to specific conditions in the environment, for example, high or low temperatures, as well as variations in granulometry or type of aggregates. In the Local Productive Arrangement of Clothing in the Agreste of Pernambuco, from the treatment of effluent from industrial laundries, textile sludge is generated. Such residue, after dried and crushed, has filler properties and can be incorporated as a 50/70 binder modifier in asphalt mixtures. The textile sludge was incorporated manually, at contents of 2 and 3%, based on the total mass of the mixture, which represents approximately 36% and 54% of the asphalt binder, respectively. The modified binders were characterized by tests of: penetration (DNIT 155/2010 – ME); softening point (DNIT 131/2010 – ME); kinematic rotational viscosity (NBR 15184/2004). Regarding penetration, there were reductions of around 11% and 31%, for mixtures with 2 and 3% incorporation, respectively. For the softening point, it was possible to observe a small increase in the results obtained, varying from approximately 4%, for the lowest modifier content, and 8%, for the highest modifier content. Finally, with regard to viscosity, there was an increase, the highest being around 37%, for 2% textile sludge, and 59%, for 3% textile sludge, so that the most distinct values were observed under low temperatures. The increase in viscosity also caused the adjustment of heating and compaction temperatures. Therefore, based on the performed analyses, it was observed that the binders modified by textile sludge have less susceptibility to thermal changes, improving the performance of the 50/70 binder at high temperatures.

KEY WORDS: Industrial laundries; Asphalt binder; Alternative materials.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, carina.lessa@ufpe.br, arnaldo.carneiro@ufpe.br

² Coordenação de Engenharia Civil - Universidade Federal do Maranhão, lyneker.moura@ufma.br.

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ana.cecilia.nobrega@ufrn.br

INTRODUÇÃO

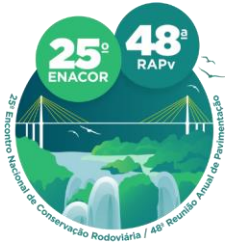
Os modificadores de ligante asfáltico são utilizados para melhorar as propriedades da matriz, de acordo com as características da via e local de implantação, pois, há limitações na alteração dos fatores internos, como tipo de agregado e ligante (HAMEDÍ *et al.*, 2021). É comum a utilização de materiais que melhoram as propriedades em altas temperaturas, devido ao aumento da viscosidade e, conseqüentemente, redução da penetração (TAAMNEH; AL-OMARI; AL-KHREISAT, 2021; XIE *et al.*, 2017).

São diversos os materiais utilizados como modificadores, como é possível analisar na literatura: materiais poliméricos (HAMEDÍ *et al.*, 2021); resíduo de bateria seca (TAAMNEH; AL-OMARI; AL-KHREISAT, 2021); lignina (XIE *et al.*, 2017); lodos de estação de tratamento de água e esgoto (MARTINEZ, 2014); resíduo de feltro asfáltico (HU *et al.*, 2019); resíduo PET (LENG *et al.*, 2018); cinzas volantes (ANWAR PARVEZ *et al.*, 2014).

No Agreste pernambucano, está situado um dos principais polos têxteis do Brasil, responsável pelo segundo maior volume de produção nacional. Os principais membros do APL (Arranjo Produtivo Local) de Confecções do Agreste são os municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. No ciclo produtivo das peças têxteis, as lavanderias industriais possuem um papel essencial, tendo em vista que nelas são realizados os processos de lavagem, amaciagem, tingimento, descoloração e outros processos de modificação (COMETTI *et al.*, 2016).

As lavanderias são responsáveis pela geração de um efluente que contém em torno de 90% dos produtos químicos utilizados no processo produtivo. O efluente têxtil possui composição química variada devido à variabilidade das etapas de fabricação e materiais empregados (SOUTO, 2017). Em decorrência dos danos ocasionados pelo descarte de tal líquido residual nos corpos hídricos, a Agência Estadual do meio ambiente de Pernambuco tornou obrigatório seu tratamento. Na realização do tratamento físico-químico desse efluente, é gerado o lodo têxtil, material semissólido. Mesmo que esses procedimentos reduzam os impactos negativos nos recursos hídricos, a deposição do lodo nos aterros sanitários leva à contaminação do solo, dessa forma, é proposta a incorporação do material residual no revestimento asfáltico.

A utilização do lodo têxtil na fabricação de materiais de construção alternativos já foi realizada por diversos autores (HEREK 2012; ZANONI 2013; ZHAN e POON, 2015; AQUINO 2015; VELUMANI *et al.*, 2016; ANWAR *et al.*, 2018; HOSSAIN *et al.*, 2018; FERREIRA, 2018; ZHAN *et al.*, 2019; GOYAL *et al.*, 2019). As misturas asfálticas também já foram utilizadas como matriz de imobilização para uma série de resíduos industriais (CHOI *et al.*, 2019; WOSZUK *et al.*, 2019; JAMSHIDI *et al.*, 2018; PUTRA JAYA *et al.*, 2018; JITSANIGAM *et al.*, 2018; AL-HDABI, 2016; PASANDÍN *et al.*, 2015; MODARRES *et al.*, 2015; BARRA *et al.*, 2014). Tais autores



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



efetuaram a incorporação do material residual de duas maneiras: seca, diretamente aos agregados; úmida, como modificador do ligante.

Moura (2021) observou a presença de imidazolina proveniente de amaciantes em amostra de lodo têxtil oriunda de lavanderia do APL de Confeccões do Agreste, esse material orgânico é utilizado como aditivo rejuvenescedor em misturas asfálticas (JURCZAK; MIECZKOWSKI; BUDZIŃSKI, 2019). Ademais, Moura (2021) também reporta que o concreto asfáltico é uma matriz eficaz para imobilização de resíduos de lodo têxtil, chegando a uma retenção em alguns casos superior a 99%, destacando-se a matéria orgânica, óxidos básicos e metais. O presente trabalho disserta, então, acerca da incorporação de lodo têxtil em concreto asfáltico, atuando como modificador do ligante CAP 50/70.

MATERIAIS E MÉTODOS

Lodo têxtil

O lodo têxtil utilizado foi coletado em uma lavanderia de médio porte no APL de Confeccões do Agreste, localizada no município de Caruaru, Pernambuco. Posterior à coleta do material residual, este foi seco em bandejas submetidas ao ar livre pelo período de 24 horas, seguido de aquecimento em estufa a 100 ± 10 °C pelo mesmo intervalo de tempo, visando a retirada da umidade remanescente. Após a secagem, o lodo têxtil foi inserido em um moinho de bolas de baixa energia Sonnex, tendo sido processados 5 kg de material por batelada durante 30 minutos tendo por objetivo destorroar as partículas aglutinadas. O lodo têxtil teve sua composição química inorgânica obtida por fluorescência de raios-X em espectrômetro Rigaku – Primini (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química dos extratos solubilizados (AUTOR, 2023).

Componente / Percentual (%) *					
CaO	28,18	SO ₃	4,34	MnO	1,63
MgO	20,98	Al ₂ O ₃	3,62	Fe ₂ O ₃	1,44
SiO ₂	14,81	Cl	2,18	Orgânicos **	20,00

* Outros 2,82% | ** Valor obtido pelo TGA/DTG

Os componentes orgânicos do lodo têxtil também foram caracterizados por meio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier via espectrômetro Shimadzu Prestige-21 (Figura 1).

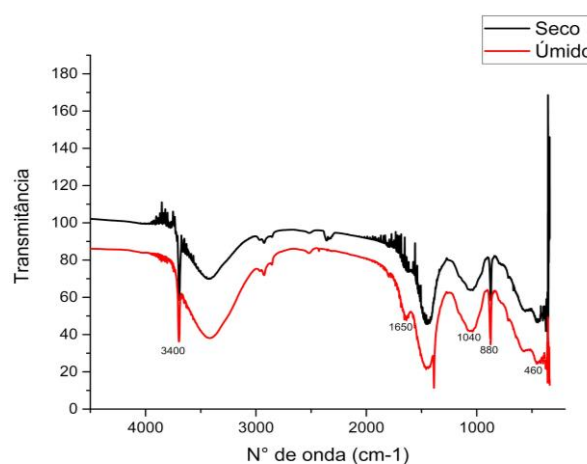
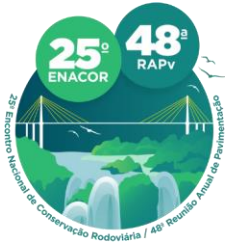


Figura 1. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier do Lodo Têxtil (AUTOR, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Ligante CAP 50/70

O ligante asfáltico de petróleo empregado foi o CAP com viscosidade 50/70, processado na Refinaria Landulpho Alves (RLAM), no estado da Bahia. Essa classe de ligante é a mais utilizada e de maior disponibilidade nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. O boletim técnico apresentando a caracterização do ligante utilizado pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização do ligante CAP 50/70 (AUTOR, 2023).

Ensaio	Método (ASTM)	Resultado	Unidade
Penetração	D 5	50	0,1 mm
Ponto de amolecimento	D36	50,2	°C
Viscosidade rotacional 135 GCSP21	D 4402	366	Cp
Viscosidade rotacional 150 GCSP21	D 4402	186	Cp
Viscosidade rotacional 177 GCSP21	D 4402	80	Cp

A curva de viscosidade do ligante é apresentada na Figura 2.

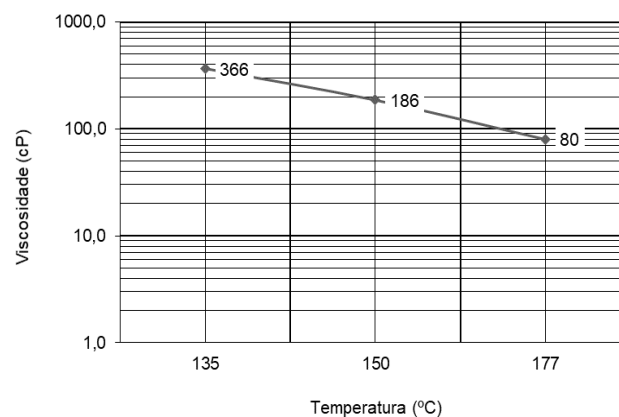


Figura 2. Curva de viscosidade versus temperatura do ligante (AUTOR, 2023).

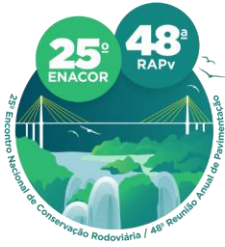
Dessa forma, as temperaturas de aquecimento do ligante foram definidas em 160°C +/- 3°C, tendo como viscosidade equivalente 170 cP +/- 20 cP, e para a compactação, 146°C +/- 2°C, sendo a viscosidade de 280 cP +/- 30 cP.

Incorporação do lodo têxtil

Por meio da dosagem Marshall, foram selecionados os teores de incorporação que levaram a melhor desempenho. O lodo têxtil foi incorporado em teores de 2 e 3% em relação a massa total do concreto asfáltico estudado. Alguns parâmetros da metodologia Marshall podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros volumétricos da metodologia Marshall para 5,5% de CAP (AUTOR, 2023).

Teor lodo têxtil (%)	0,0%	2,0%	3,0%	Especificações DNIT 031/06 - Faixa "C"
Dens. teórica (kg/cm ³)	2.463	2.454	2.449	-
Dens. aparente (kg/cm ³)	2.370	2.378	2.376	-
RBV (%)	77,10	80,50	81,00	75 - 82
Estabilidade min. (kgf)	1.115	822	766	≥ 500
Fluência (mm)	3,85	4,70	4,70	2 - 4,5



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Sendo o teor de ligante 5,5%, as adições representaram cerca de 36% e 54%, respectivamente, em relação à massa total de ligante. A incorporação foi realizada de forma manual até a observação visual de homogeneidade da mistura (Figura 3), tendo o procedimento duração média de 2 minutos.



Figura 3. Incorporação do lodo têxtil no ligante CAP 50/70 (AUTOR, 2023).

Caracterização dos ligantes modificados por lodo têxtil

Posterior à incorporação do lodo têxtil, foram realizados os ensaios de caracterização dos ligantes asfálticos modificados, a fim de compreender as alterações ocasionadas no material (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros analisados nos ligantes modificados com lodo têxtil (AUTOR, 2023).

Parâmetro	Metodologia
Penetração	DNIT 155/2010 - ME
Ponto de amolecimento	DNIT 131/2010 - ME
Viscosidade rotacional cinemática	NBR 15184/2004

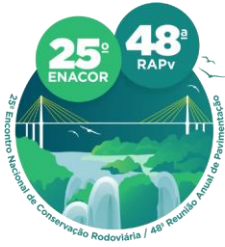
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de caracterização dos ligantes modificados com lodo têxtil podem ser visualizados na Tabela 5, tendo sido o *spindle* 21 para todas as amostras.

Tabela 5. Caracterização dos ligantes modificados com lodo têxtil (AUTOR, 2023).

Ensaio	Especificação Normativa	Sem Lodo Têxtil	2,0% Lodo Têxtil	3,0% Lodo Têxtil	Unidade
Penetração	50 a 70	50,00	44,33	34,67	0,1 mm
Ponto de amolecimento	Mín.: 46	52,50	54,50	56,50	°C
Viscosidade Rotacional 135 GCSP21	Mín.: 274	426,25	586,25	678,75	Cp
Viscosidade Rotacional 150 GCSP21	Mín.: 112	220,50	282,50	332,00	Cp
Viscosidade Rotacional 177 GCSP21	57 a 285	85,50	102,00	119,50	Cp

Apesar do aumento de viscosidade para todas variações de temperatura com o aumento do teor de lodo, todas as misturas asfálticas mantiveram-se dentro das especificações para o CAP 50/70. Por meio das curvas de viscosidade (Figura 4), é possível observar que os ligantes modificados com lodo têxtil são mais distintos do padrão sob baixas temperaturas, à medida que a temperatura aumenta as distinções são reduzidas. As variações máximas entre os ligantes modificados e o padrão são de 37,5% e 59,2%, para os teores de 2,0% e 3,0% de adição de lodo têxtil,



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



respectivamente. Devido ao incremento nas viscosidades, se fez necessário o ajuste das temperaturas de aquecimento do ligante e compactação (Tabela 6).

Tabela 6. Temperaturas de aquecimento e compactação dos ligantes modificados com lodo têxtil (AUTOR, 2023).

Viscosidade / Teor	Sem Lodo têxtil	2,0% Lodo Têxtil	3,0% Lodo Têxtil
Aquecimento 170 Cp	158 ± 3 °C	164 ± 3 °C	167 ± 3 °C
Compactação 280 Cp	145 ± 2 °C	153 ± 2 °C	155 ± 2 °C

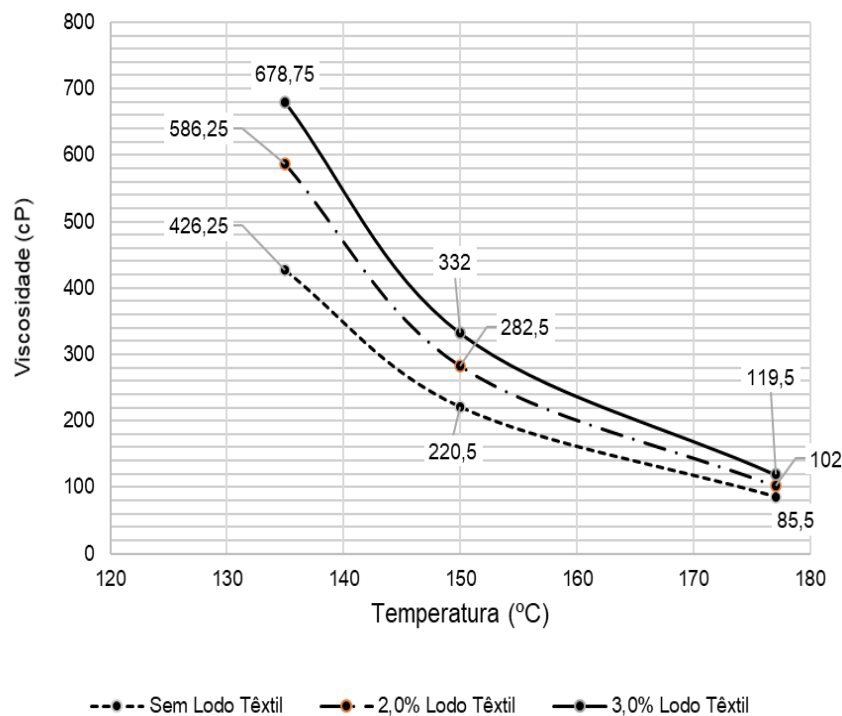
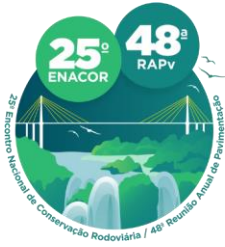


Figura 4. Curvas de viscosidade dos ligantes modificados com lodo têxtil (AUTOR, 2023).

Comportamentos semelhantes no que concerne o aumento de viscosidade e redução de sua variação em relação ao padrão com o aumento de temperatura devido a adição de finos também foram observados por outros autores (MARTINEZ, 2014; HU *et al.*, 2019; LENG *et al.*, 2018; ANWAR PARVEZ *et al.*, 2014). É possível correlacionar a interação do material residual com o ligante à redução da suscetibilidade a mudanças térmicas (ANWAR PARVEZ *et al.*, 2014). É importante ressaltar, também, que a variação de temperatura de aquecimento, em decorrência do incremento na viscosidade, não afetou a adesividade aos agregados (MOURA *et al.*, 2021).

Em relação ao ponto de amolecimento, ocorreram pequenos incrementos de 3,8% e 7,6%, para os teores de incorporação de 2% e 3% de lodo têxtil, respectivamente. Esses incrementos são positivos para as misturas asfálticas, pois ocasionam melhores desempenhos de resistência às deformações permanentes e redução dos afundamentos de trilhas de roda dos pavimentos.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



No que diz respeito à penetração, foram observadas reduções de 11,34% e 30,66%, para os teores de 2,0% e 3,0% de lodo têxtil incorporado, respectivamente. Resultados consonantes foram observados por outros autores que realizaram a incorporação de fíleres ao ligante asfáltico (RODRIGUES, 2019; MARTINEZ, 2017; MARTINEZ, 2014). Esse “enrijecimento” pode ser avaliado de maneira positiva para aplicações em locais com altas temperaturas, porém, é preciso ter atenção à concentração crítica de fíler (BIANCHETTO *et al.*, 2007). Esta é obtida quando o enrijecimento do mastique leva ao aumento da fragilidade da mistura, que promove redução da flexibilidade e coesão. É importante destacar que há uma intensificação de tal comportamento a baixas temperaturas.

A presença de finos pode auxiliar, ainda, na redução do envelhecimento do ligante, devido ao enchimento ocasionado por suas pequenas partículas que dificultam a difusão do oxigênio no interior da matriz asfáltica (BIANCHETTO *et al.*, 2007).

CONCLUSÕES

Por meio das análises realizadas, foi possível observar que os ligantes modificados com lodo têxtil apresentam menor suscetibilidade a mudanças térmicas, sofrendo um aumento na viscosidade com o incremento do teor de lodo têxtil. O ponto de amolecimento foi elevado e a penetração sofreu redução. É uma sugestão para trabalhos futuros a análise da influência do teor de imidazolina presente no lodo têxtil nas aplicações em rejuvenescimento de revestimentos asfálticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de iniciação científica BIC-1184-3.01/20 e à coordenação e aos técnicos do Laboratório de Química (LQ) do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco pelo auxílio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- AL-HDABI, A. Laboratory investigation on the properties of asphalt concrete mixture with Rice Husk Ash as filler. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 544-551, 2016.
- ANWAR, T. B. *et al.* Utilization of textile sludge and public health risk assessment in Bangladesh. **Sustainable Environment Research**, p. 1-6, 2018.
- AQUINO, R. C. Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 1, p. 29–35, 2015.
- BARRA, B. *et al.* Characterization of granite and limestone powders for use as fillers in bituminous mastics dosage. In: **Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, v. 86, p. 995-1002, 2014.
- BIANCHETTO, H. *et al.* Effect of Calcareous Fillers on Bituminous Mix Aging. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, nº 1998, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, p.140-148, 2007.
- CHOI, M. J. *et al.* Performance evaluation of the use of tire-derived fuel fly ash as mineral filler in hot mix asphalt concrete. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, 2019.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



COMETTI, J. *et al.* Diagnóstico ambiental comparativo entre 2014 e 2015 das indústrias têxteis do município de Toritama-PE. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, VII, 2016. Campina Grande/PB, 2016.

FERREIRA, M. N. **Incorporação de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de lavanderia industrial em cerâmica vermelha**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

GOYAL, S. *et al.* Utilization of textile sludge in cement mortar and paste. **Construction and Building Materials**, v. 214, p. 169-177, 2019.

HEREK, L. C. S. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge. **Ceramics International**, v. 38, p. 951-959, 2012.

HAMEDI, G. H. *et al.* Applying asphalt binder modifier in reducing moisture-induced damage of asphalt mixtures. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 25, n. 11, p. 2039–2056, 2021.

HOSSAIN, M. S. *et al.* Reuse of Textile Mill ETP Sludge in Environmental Friendly Bricks – Effect of Gamma Radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 151, p. 77-83, 2018.

HU, Xiaodi *et al.* Exploring the feasibility of using reclaimed paper-based asphalt felt waste as a modifier in asphalt-binders. **Construction and Building Materials**, 2019.

JAMSHIDI, A. *et al.* Comparative study on engineering properties and energy efficiency of asphalt mixes incorporating fly ash and cement. **Construction and Building Materials**, v. 168, p. 295-304, 2018.

JITSANIGAM, P. *et al.* Sustainable utilization of lime kiln dust as active filler in hot mix asphalt with moisture damage resistance. **Sustainable Materials and Technologies**, 2018.

JURCZAK, R.; MIECZKOWSKI, P.; BUDZIŃSKI, B. Potential of using imidazoline in recycled asphalt pavement. **Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, v. 14, n. 4, p. 521–542, 2019.

LENG, Z. *et al.* Laboratory evaluation of electromagnetic density gauges for hot-mix asphalt mixture density measurement. **Construction and Building Materials**, p. 1055-1064, 2018.

MARTINEZ, B. G. J. **Asfaltos e misturas modificadas com materiais alternativos**. 2017. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MARTINEZ, B. G. J. **Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MODARRES, A. *et al.* Effect of coal waste powder in hot mix asphalt compared to conventional fillers: mix mechanical properties and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 262-268, 2015.

MOURA, L. S. *et al.* Evaluation of the adhesiveness of the asphalt binder modified with textile sludge by means of digital image processing. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e12110413975, 2021.

MOURA, L. S. **Utilização de lodo de tratamento têxtil em revestimentos asfálticos: uma análise mecânica, microscópica e ambiental**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG-UFPE/PE, Recife.

PASANDÍN, A. M. R. *et al.* Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with paper industry wastes as filler. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

PUTRA JAYA, R. *et al.* Marshall stability properties of asphalt mixture incorporating black rice husk ash. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 22056-22062, 2018.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



RODRIGUES, A. L. R. **Efeito do tipo e da proporção de fíler no comportamento do mastique asfáltico**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SOUTO, T. J. M. P. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no Agreste pernambucano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE.

TAAMNEH, M. M.; AL-OMARI, A. A.; AL-KHREISAT, B. I. Investigating the potential of using dry battery waste powders (DBWPs) as a modifier for asphalt binders. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 23, n. 2, p. 676–685, 2021.

VELUMANI, P. *et al.* An Innovative Approach to Evaluate the Performance of Sludge-Incorporated Fly Ash Bricks. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, 2016.

WOSZUK, A. *et al.* Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 493-502, 2019.

XIE, S. *et al.* Lignin as Renewable and Superior Asphalt Binder Modifier. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 5, n. 4, p. 2817–2823, 2017.

ZANONI, S. M. **Reutilização de resíduos de indústria têxtil como matéria-prima em cerâmica vermelha**. 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Estágio) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC.

ZHAN, B. *et al.* Recycling hazardous textile effluent sludge in cement-based construction materials: Physicochemical interactions between sludge and cement. **Journal of Hazardous Materials**, 2019.

ZHAN, B.; POON, C. S. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 174-179, 2015.