



ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE REVESTIMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO COM UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA SCHEELITA

Dandara Pereira Moura de Assis (*), Jéniffer Paloma da Cruz Leal, Larissa Santana Batista, Luan Gutyerre Medeiros Santos, Raquel Ferreira do Nascimento

* Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), dandarapereira17@gmail.com

RESUMO

A mineração, além de ser uma grande geradora de resíduos, pode acarretar poluição ambiental. Uma alternativa para atenuar esses efeitos são a reutilização desses resíduos em criação de materiais alternativos. A construção civil, que demanda demasiadamente recursos naturais, é um setor que permite a inserção de rejeitos como substituição de insumos. O sentido deste estudo tem como objetivo principal adequar o destino dos resíduos da mineração da scheelita para o uso como agregados em concretos para pavimentos rígidos, como substituição parcial e total do agregado miúdo. As proporções escolhidas para incorporação do resíduo foram de 0%, 50%, 75% e 100%, com um período de cura. Foram realizadas as caracterizações físicas do resíduo da scheelita. Em seguida, foram moldados os corpos de prova e analisadas a trabalhabilidade e a resistência à compressão axial. A incorporação do rejeito causou um decréscimo na resistência do concreto, no entanto, todas as dosagens mantiveram-se dentro do padrão aceitável para serem aplicados no pavimento rígido. Os resultados do comportamento mecânico do concreto com substituição do agregado natural por resíduo de scheelita apresentaram melhor desempenho, com a taxa de 50%, e pior desempenho, com taxa de 75% do agregado de rejeito scheelita.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de mineração, Impactos ambientais, Scheelita, Concreto, Pavimento rígido.

ABSTRACT

The mining, in addition to being a major waste generator, can lead to environmental pollution. An alternative to mitigate these effects is the reuse of these residues in the creation of alternative materials. The civil construction, which demands too much natural resources, is a sector that allows the insertion of tailings as a substitute for inputs. The purpose of this study has as main objective to adapt the destination of scheelite mining residues for use as aggregates in concrete for rigid pavements, as partial and total replacement of aggregates. The proportions chosen for incorporating the residue were 0%, 50%, 75% and 100%, with a curing period. Physical characterizations of the scheelite residue were carried out. Then, the specimens were molded and the workability and resistance to axial compression were analyzed. The incorporation of the tailings caused a decrease in the strength of the concrete, however, all the dosages remained with the acceptable standard to be applied on the rigid pavement. The results of the mechanical behavior of concrete with substitution of the natural aggregate for scheelite residue showed better performance, with a rate of 50%, and worse performance, with a rate of 75% of the aggregate of scheelite tailings.

KEY WORDS: Waste of mining, Environmental impacts, Scheelite, Concrete, Rigid pavement.

INTRODUÇÃO

Em se tratando de sustentabilidade e preservação ambiental, um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela população mundial é a gestão adequada dos resíduos sólidos, em decorrência do aumento da produção e da diminuição de locais de depósitos. O aumento do número de exigências das leis ambientais para com a preservação do meio ambiente é um dos motivos da diminuição de localidades de bota-foras, tornando, dessa forma, cada vez mais difícil de encontrar um local ecologicamente correto para a sua destinação (GERAB, 2014).

Sendo assim, é essencial a inserção de um sistema competente de gestão desses resíduos, objetivando a diminuição dos rejeitos na fonte, a reutilização e o seu beneficiamento, de modo a minorar os impactos ambientais gerados desde a fabricação até a acomodação final dos mesmos.

A mineração vem desenvolvendo importante papel no setor econômico brasileiro, há diversos séculos, apenas alterando o foco no produto extraído. De acordo com dados oficiais do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2018), apenas em 2017, a indústria de mineração brasileira exportou mais de 403 milhões de toneladas de bens minerais, esse valor representou 13% das exportações totais do Brasil, e 30,5% do saldo comercial

uNo propósito de estender a existência desse resíduo, se torna viável integrar no segmento da construção civil, em especial, com substituições percentuais no agregado miúdo, de maneira agir de forma similar ou até exceder os agregados convencionais. Assim, segundo Carlos (2018), o aproveitamento dos resíduos através do desenvolvimento de pesquisas que visam detectar as potencialidades e a viabilidade é encarado hoje como uma atividade complementar, que pode



contribuir para a diversificação do produto, diminuição de custos e danos ambientais, resultando também em uma “nova matéria-prima para ser utilizada em diversos setores industriais”.

Por vezes as patologias apresentadas nos pavimentos são procedentes de algumas deficiências dos materiais constituintes das camadas responsáveis por absorver as tensões impostas pelo tráfego. Dessa forma, os materiais devem apresentar características que confirmam estabilidade e resistência mecânica durante a vida útil do pavimento.

O concreto, principal constituinte do pavimento rígido, tem como principal característica a exigência de resistência à tração na flexão e, apesar das suas inúmeras vantagens, esse tipo de revestimento exige um alto custo inicial, sendo considerado, a curto prazo, uma escolha economicamente desfavorável. O encarecimento da utilização do pavimento rígido se dá em grande parte pela quantidade excessiva de matérias primas utilizadas, evidenciando, portanto, a necessidade de estudos destinados a reduzir a utilização desses materiais.

Em paralelo ao problema dos pavimentos rodoviários, uma das grandes preocupações ambientais do milênio é o volume de resíduos que vem sendo gerado pela humanidade, o que tem atraído olhares científicos do mundo inteiro. Por trás da crescente industrialização e satisfação das necessidades humanas, esse problema soa com um tom ameaçador da qualidade de vida no planeta. No Brasil, essa geração tem assumido um valor quase cinco vezes maior que o crescimento populacional em dez anos (ABRELPE, 2015).

Dada as finalidades para o qual o material é utilizado, o concreto para uso em pavimentação ganha alusiva evidência na atualidade. Isso dado que, em analogia aos pavimentos flexíveis, o pavimento rígido (pavimento de concreto) possui maior capacidade de absorção de carga e melhor distribuição dessas na fundação, além de apresentar menor deformidade. Nesse cenário, o emprego nos concretos para produção de pavimentos rígidos consiste em uma alternativa para utilização desse material, pois oferecerá uma nova finalidade aos resíduos de mineração que virariam rejeitos, colaborando positivamente com o meio ambiente.

OBJETIVOS

A realização deste trabalho tem por finalidade expor as propriedades físicas e mecânicas do resíduo de scheelita, que vem comprovando ter uma expressiva geração de resíduo sólido, bem como perscrutar a exequibilidade para sua viável utilização na pavimentação, colaborando, assim, para a diminuição dos amontoados de rejeitos, se tornando uma alternativa sustentável.

METODOLOGIA

Este estudo inicialmente propôs uma pesquisa bibliográfica, tendo com maior relevância explanar os impactos gerados pela destinação final dos resíduos da mineração da scheelita. Desta forma, o estudo é voltado para a reutilização do minério em traços de concretos para pavimento, como substituição parcial e total do agregado miúdo para fins de pavimentos rígidos. As proporções escolhidas para incorporação do resíduo foram de 0%, 50%, 75% e 100%, com um período de cura de 3, 14 e 28 dias. Foram realizadas as caracterizações físicas de todos os materiais constituintes do concreto, inclusive do resíduo da scheelita. Em seguida, foram moldados os corpos de prova e analisadas a trabalhabilidade e a resistência à compressão axial. Todos os ensaios foram baseados em normas brasileiras da ABNT e DNIT.

A pesquisa desenvolveu-se conforme apresentado abaixo no Figura 1, caracterizando a sequência da metodologia adotada do estudo. Iniciou-se com a coleta e realização dos ensaios de caracterização física dos materiais, sendo sucedida pela escolha do traço e, posteriormente, pela análise mecânica do concreto.

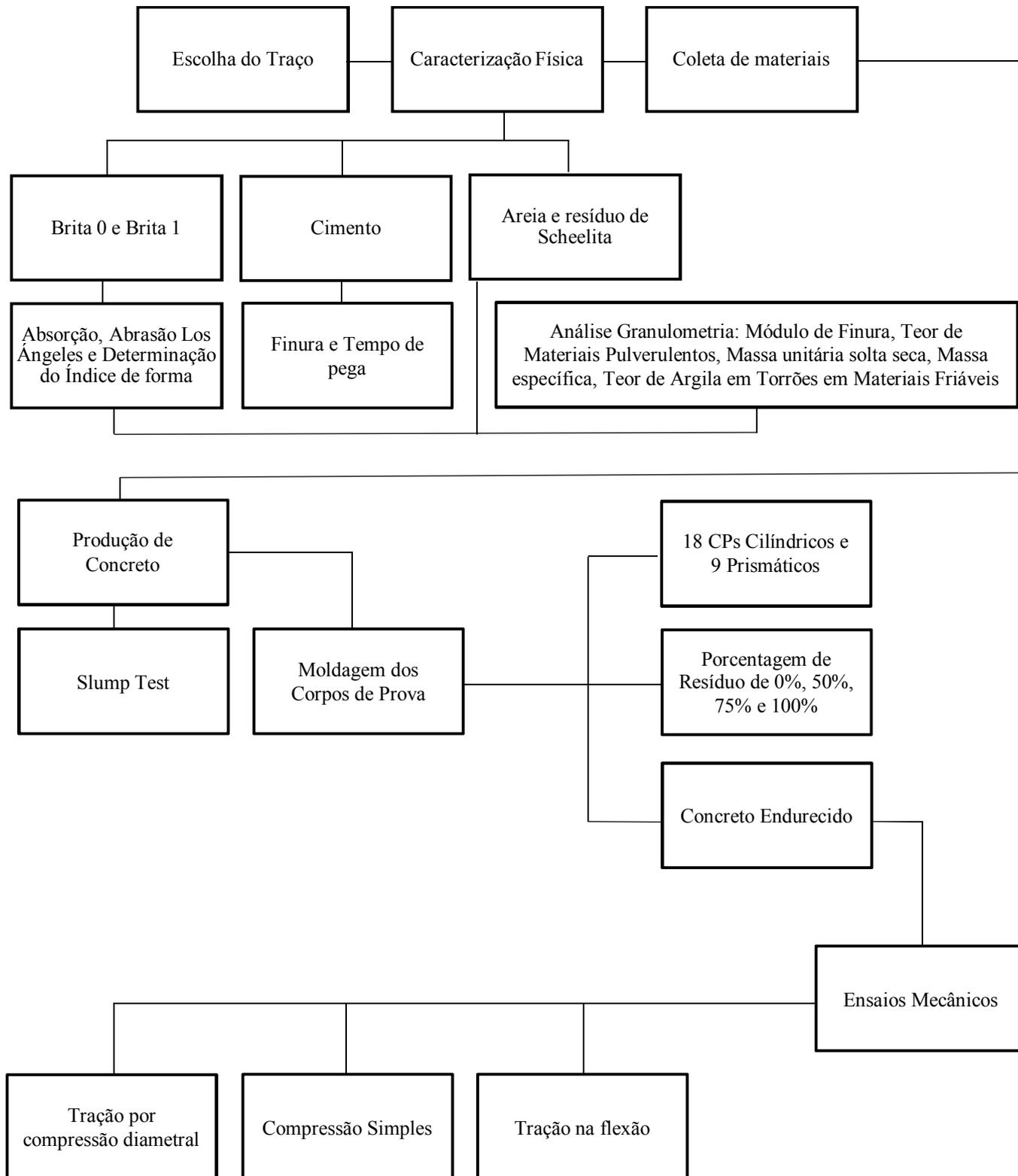


Figura 1: Fluxograma da metodologia da pesquisa. Fonte: Autor do trabalho, 2021.



RESULTADOS

A primeira etapa do estudo explanou a caracterização do resíduo de scheelita, incluindo a caracterização física dos materiais constituintes do concreto, assim como a caracterização do concreto em seu estado fresco, e a análise do comportamento mecânico aos esforços de compressão axial, tração na flexão e tração.

Em estudo, percebe-se uma diferença entre o diâmetro máximo característico da areia e da scheelita, que são respectivamente 4,75mm e 1,18mm, entretanto, de acordo com a NBR 7211:2009, norma que especifica os requisitos exigidos para que os agregados possam ser utilizados na produção de concreto, ambas estão dentro dos limites de granulometria indicados para a zona utilizável.

Observa-se que o agregado miúdo com 50% de substituição de areia por resíduo de scheelita permaneceu dentro da zona utilizável de granulometria e, apesar de ser constituída com proporções iguais de areia e rejeito, adquiriu as características da areia, visto que manteve o diâmetro máximo característico de 4,75mm.

Observa-se que, apesar da diferença entre as composições granulométricas da areia e do resíduo da scheelita, o agregado natural exerceu uma maior influência quando foram utilizados combinados.

A areia apresentou uma maior quantidade de material retido nas peneiras de 0,6 mm e 0,3 mm, já o resíduo da scheelita reteve uma maior quantidade de partículas nas peneiras, de 0,3 mm e 0,15 mm. Portanto, o rejeito possui uma maior quantidade de finos que o agregado natural.

Apesar de apresentar maior quantidade de finos que a areia, o resíduo da scheelita é mais pesado, pois sua massa específica é 12,7% maior que a areia, como apresenta a Tabela 1. Este resultado influi diretamente no peso próprio da estrutura, já que a massa específica do agregado tem influência direta com a massa específica do concreto. O módulo de finura do resíduo da scheelita e da areia, como mostrado na Tabela 1, são de 2,77% e 2,55%, respectivamente, e é inversamente proporcional à porcentagem de substituição do agregado, ou seja, conforme aumenta-se a porcentagem de resíduo, menor é o seu módulo de finura.

Tabela 1. Análise Granulométrica da Areia.

Fonte: Autor do Trabalho, 2021.

Amostra	Massa Unitária	Massa Específica Real	Módulo de Finura	Materiais Pulverulento
Areia	1,48 g/cm ³	2,54 g/cm ³	2,77%	3,0%
Scheelita 50%	* g/cm ³	2,69g/cm ³	2,55%	2,2%

A NBR 7211:2009 aborda outros aspectos como, por exemplo, o limite máximo do teor de materiais pulverulentos, que é de 3%. De acordo com os valores apresentados na Tabela 1, tanto a areia quanto a scheelita utilizadas no estudo se enquadram dentro dos limites impostos. Logo, todas as variações de agregado miúdo são adequadas para utilização em concreto.

Quando elevado, o teor de argila em torrões e materiais friáveis podem influenciar negativamente a resistência do concreto, dado que são grãos pouco resistentes. A areia e a scheelita apresentaram respectivamente 0,5% e 2,8% de teor de argila, ambos dentro do limite de 3% estabelecido em norma. Dado que ambos estão de acordo com a norma, o acréscimo de rejeito não deve apresentar uma influência negativa significativa. Essa característica da scheelita eleva o peso próprio da estrutura que utiliza concreto com esse tipo de substituição, fato que influencia diretamente na massa específica do concreto.

Ainda analisando os dados da Tabela 1, é nítida a diferença entre as massas unitárias do agregado natural para o agregado artificial. O valor inferior da areia revela que seus grãos se arranjam de uma melhor forma e conseqüentemente deixa um menor número de vazios. Conforme Bauer (2015), o número de vazios do concreto tem influência direta na resistência à compressão e durabilidade do concreto, portanto, o maior número de vazios deixado pelo agregado composto por 100% de resíduo de scheelita pode causar redução na resistência à compressão e na durabilidade do concreto.

A Tabela 2 expõe também a massa específica e a massa unitária dos agregados graúdos, mostrando que a brita 1 e a brita 0 possuem a mesma influência no peso da estrutura de concreto, e que a brita de maior diâmetro possui um melhor arranjo dos seus grãos quando comparados ao de diâmetro inferior. Pode-se observar que brita 1 e brita 0 possuem diâmetros máximo característicos de 19 mm e 9,5 mm, respectivamente.

Tabela 2. Análise Granulométrica da Brita.

Fonte: Autor do Trabalho, 2021.

Agregado	Massa Unitária	Massa Específica Real	Absorção	Abrasão Los Angeles	Índice de Forma
B1	1,37g/cm ³	2,67g/cm ³	0,3	11,25%	1
B2	1,39g/cm ³	2,67 g/cm ³	0,8	20,25%	1,3



A NBR 5732:1991 determina que para o cimento da classe 32 MPa a finura não deve exceder a 12%. Posto que o resultado do cimento utilizado na pesquisa foi de 2,7%, ele mostra-se adequado para utilização no concreto.

De acordo com a NBR 5732:1991, o tempo de início de pega não deve ser inferior a uma hora, e o de fim não deve exceder o limite de dez horas. Portanto, o tempo de início de pega foi de 1h25min e fim de pega do cimento utilizado foi de 4h18min. Os traços resultantes de acordo com método ACI/ABCP presente no manual de pavimentação de Senço (2001) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Traços.

Fonte: Autor do Trabalho, 2021.

Substituição	Traço
0% (Convencional)	1:1,55:2,02:0,43
50%	1:1,55:2,10:0,43

Como as alterações no cálculo entre as diferentes substituições foram apenas nos parâmetros do agregado miúdo, os quais só interferem na quantidade dos agregados, o consumo de cimento e a relação água/cimento permanecem as mesmas em todas as dosagens, sendo respectivamente 465 kg/m³ e 0,43. Ambos os parâmetros respeitam os limites da norma DNIT 054/2004, dado que a relação água/cimento deve permanecer entre 0,4 e 0,56 e o consumo de cimento mínimo é de 320 kg/m³. Observa-se um elevado consumo de cimento. Isso ocorre devido às características do cimento utilizado, já que a resistência mecânica à compressão aos 28 dias do cimento é de 32 MPa e a resistência do concreto para qual o traço foi calculado foi de 35 MPa.

Foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone no concreto fresco de cada composição trabalhada, a fim de verificar se a consistência do concreto fresco seria adequada com os valores teóricos. De acordo com a norma DNIT 054/2004, o ensaio deve ser realizado para abatimento que seja superior ou igual a dois.

De acordo com a Tabela 4, o ganho de resistência aos três dias de cura não apresentou um padrão, a melhor performance foi do concreto com 50% de resíduo de scheelita. Segundo Senço (2001), a resistência do concreto de pavimento rígido deve atingir 35 MPa. Como apresentado, o único traço que, aos 28 dias, atingiu e superou esse valor, foi o que não possuía substituição do agregado natural. As dosagens com substituição de 50% apresentaram inferior ao limite em 0,8%.

Tabela 4. Resultados do ensaio de compressão simples.

Fonte: Autor do Trabalho, 2021.

Traço	Resistência (Mpa)		
	3 dias	14 dias	28 dias
Concreto Convencional	22,06	30,05	35,76
Scheelita – 50%	25,55	26,52	34,73

Desconsiderados fatores externos, pode-se observar que a substituição parcial do agregado causa alteração no comportamento mecânico do concreto. Tendo em vista que o traço de 50% obteve nesses primeiros 14 dias 76% da sua resistência, a substituição ocasionou em uma perda na velocidade de ganho de resistência.

CONCLUSÕES

A elevada apreensão com o meio ambiente está levantando discussões acerca do tema, tanto no âmbito nacional, quanto no internacional, especialmente sobre o despojo apropriado e a reutilização de diversos tipos de resíduos, dentre eles os industriais. Neste cenário, a geração de resíduos sólidos procedentes da atividade mineradora, à princípio notado como não aproveitável e reiteradamente recebendo destinos inadequados, conseguem ter uma sobrevida nas obras, a partir da sua reutilização como agregados miúdos. A substituição mostrou-se uma opção viável, dado que apresentou baixa perda de resistência, não interferindo no atendimento dos esforços gerados pelo tráfego dos veículos. Além disso, promove a diminuição dos impactos ambientais causados pela extração de matéria prima e geração de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos**. 2015. Disponível em: <http://portalods.com.br/publicacoes/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2015/>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.



4. BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
5. CARLOS, Elione Moura. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento técnico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos**. 2018. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
6. GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 054/2004**: Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Relatório Anual de Atividades: julho 2017 a junho 2018**. Brasília: ibram, 2018.
9. SENÇO, Wiastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.