

ESTUDO DA VIABILIDADE DA ROTA DE BENEFICIAMENTO DO SAIBRO COMO AGREGADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Alencar Loch Locatelli¹

Guilherme Silva de Souza²

Resumo: A utilização de agregados miúdos de origem das jazidas de saibro na fabricação de argamassas e concretos usinados, em substituição ou incorporação as areias naturais e industriais, é uma alternativa consideravelmente viável para região de estudo. Dentre os principais motivos estão o aumento das restrições ambientais à exploração e à escassez das jazidas de areia natural de boa qualidade e próximas aos grandes centros consumidores, além de padronização dos agregados. Segundo sugere Neville (1997), assegurar-se de que a qualidade de um agregado se manterá constante, muitas vezes pode ser mais importante que se ter um bom agregado. Portanto o presente estudo avaliou a caracterização dos perfis de sondagem, com intuito de conhecer as características físicas da jazida e quantidade de grãos de areia, que servirá para estabelecer um padrão de alimentação para o beneficiamento de saibro, seguido de teste em escala industrial em planta para avaliar a qualidade física e o desempenho em argamassas das areias oriundos do processo. Os materiais foram coletados na jazida estudada e encaminhados para o teste industrial, sendo coletados amostras antes e após ao processo de beneficiamento. Para efeito de avaliação dos resultados essas amostras foram comparadas com uma amostra padrão que é comercialmente utilizada na região e consiste de uma mistura com 50 % pó de pedra (areia artificial) e 50 % areia fina. Também foi preparada uma amostra de saibro em condições de laboratório, tendo como intuito avaliar as características do minério e o potencial do mesmo para utilização como agregado miúdo. Os resultados obtidos dos testes industriais mostraram-se promissores para utilização de areais oriundos de jazida de saibro como agregados miúdos, entretanto para substituir os agregados artificiais usados atualmente, deve-se investir em melhoramento no beneficiamento utilizado. Essas conclusões são baseadas nos resultados dos ensaios do material pós tratamento em comparação com os utilizados e comercializados atualmente. Já a amostra de saibro preparada em laboratório, obteve-se resultados satisfatórios, similares ou melhores quando comparados à amostra dos agregados artificiais, podendo reduzir em até 5% do volume de cimento na fabricação de argamassa. Portanto, o estudo da viabilidade da rota de beneficiamento de uma jazida de saibro como agregado miúdo na construção civil, localizada no município de Pescaria Brava/SC, mostra-se com grande possibilidade técnica, econômica e ambiental, no que tange o aproveitamento de suas potencialidades de mercado, agregando maior valor econômico do minério, tornando-o mais atrativo, bem como aumentando a vida útil da jazida, destinando a mercados importantes em nosso dia a dia.

Palavras-Chave: Saibro. Beneficiamento. Agregados Miúdos. Construção Civil.

¹ Graduando em Engenharia de Minas. E-mail: alencarlocatelli@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: guilherme.souza@satc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os agregados da indústria da construção civil são um dos insumos mais consumidos no mundo. No que tange a mineração, é uma atividade diferenciada dos demais empreendimentos industriais, pela particularidade de ter bem definida geograficamente a jazida mineral.

Conforme cita IBRAM (2014), o setor de agregados caracteriza-se pela demanda por grandes volumes e baixo valor relativo e, em consequência, delimita micromercados em distâncias de até 100 km para brita e até 300 km para areia, com exceção de regiões onde a disponibilidade de reservas é praticamente nula. Assim, a logística de distribuição é de fundamental importância para a operação das empresas, pois seu custo pode variar desde 30% até 70% do preço final ao consumidor. Novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos locais de consumo, encarecendo o preço final dos produtos.

Conforme as últimas previsões, segundo a Associação Nacional das Entidades de Produção de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), a produção de agregados minerais, que já chegou ao patamar de 745 milhões de toneladas em 2013, sofreu uma forte retração, com queda nos últimos seis anos. A previsão para 2019 indica uma produção de 514 milhões de toneladas até o fim do ano, o que mostra que o setor está em rota de retomada (BRIZ, 2019).

Uma forma de mensurar a importância socioeconômica dos agregados é o fato deste representar entre 70% a 80% do volume do concreto, sendo este um material de extrema importância para a humanidade (BAUER, 1979).

O presente estudo, além de procurar por alternativas de produtos que possam substituir ou incorporar os existentes na indústria da construção civil, visa a realização de teste de beneficiamento em escala industrial de saibro, avaliando os resultados da qualidade física da areia obtida desse processo, bem como validação do desempenho para uso em argamassa e concreto, comparando com os utilizados atualmente na região estudada, seguindo as normas técnicas de qualidade para agregados miúdos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com intuito de embasar esta pesquisa, pretende-se decorrer de literaturas de apoio e estudos já realizados, visando elucidar os tópicos da proposta do presente trabalho.

2.1 AGREGADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A relevância do setor de agregados da construção civil para a sociedade é destacada em CETEM (2012), por estar diretamente ligado à qualidade de vida da população, tais como: a construção de moradias, saneamento básico, pavimentação e construção de rodovias, vias públicas, ferrovias, hidrovias, portos, aeroportos, pontes, viadutos etc.

Para IBRAM (2012), o termo “agregado para construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de uso imediato na indústria da construção civil.

Os agregados naturais são produzidos a partir de materiais rochosos consolidados e sedimentares, tais como areia e cascalhos. As rochas consolidadas são submetidas a processos de britagem e moagem, até atingir as especificações granulométricas requeridas pela construção civil (BERTOLINO et al, 2012).

2.1.1 Saibro

Silva & Toledo (2010), caracterizam o saibro como um material incoerente, que se origina do intemperismo incipiente de rochas graníticas, que contém grande quantidade de fragmentos pequenos de feldspatos e quartzo, além de outros minerais encontrados na rocha. Suas jazidas se encontram entre o solo e a rocha matriz ainda não intemperizada.

Para Caputo (1988), os solos são materiais formados pela decomposição de rochas (rocha matriz) que induzidos pelos agentes do intemperismo (chuva, vento, temperatura solar) por intermédio da decomposição mecânica, formam os pedregulhos e as areias e pela decomposição mais avançada, formam os siltes e as argilas.

Oliveira (1989), ainda menciona, o saibro é um material argilo/arenoso ou areia/argilosa. É uma mistura de areia e argila de origem sedimentar, transportado e depositado pela ação de água.

A ABNT NBR 13529/1995 define o saibro como sendo um solo proveniente de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenoso ou silteoso, com baixo teor de argila e de cor variada.

Bastante utilizado na construção civil e manutenção das redes viárias, o saibro, segundo Oliveira (1989), usado diretamente como matéria prima em argamassas de revestimento, é indesejável porque apresenta problemas, principalmente de trincas, retenção de umidade, deslocamento da película de tinta, entre outros.

2.1.2 Agregados Miúdos

Conforme NBR 7211, agregado miúdo é definido como areia de origem natural, ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

Para Guacelli (2010, p. 26):

Na construção civil os agregados miúdos são tradicionalmente utilizados como materiais de enchimento dentro das argamassas e concretos, sendo considerados inertes. No entanto, pesquisas têm demonstrado que os agregados exercem influência significativa em algumas propriedades importantes, tais como: trabalhabilidade, retenção de água, resiliência, aderência, impermeabilidade, dentre outras.

CETEM (2009) comenta que materiais decompostos e mantidos *in situ* (manto de alteração de pedreiras), que não sofreram qualquer tipo de transporte também são areia. O transporte, por sua vez, pode ser fluvial e eólico. Este último traz para os grãos elevado grau de arredondamento. Isto é muito bom porque aumenta a trabalhabilidade da argamassa ou concreto, embora piore a aderência dos grãos à pasta.

2.2 BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO

De acordo com CETEM (2010), tratamento ou beneficiamento de minérios consiste em operações, aplicadas aos bens minerais que visam modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo modificar a identidade química ou física dos minerais.

Ainda segundo CETEM (2010), minério é toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, que podem ser aproveitados economicamente. Esses minerais valiosos, aproveitáveis como bens úteis, são chamados de minerais-minério. O mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado ganga.

As etapas de beneficiamento para obtenção de areia serão referenciadas pelos dos métodos convencionais conhecidos e abordadas no livro do CETEM 2009 - teoria e prática do tratamento de minérios em sua maioria - no que tange a retirada da argila e siltes das frações de areia para comercialização, utilizando para esses processos métodos de classificação e peneiramento a priori. Evidentemente, essas etapas serão importantes para garantir qualidade da areia produzida no caso específico.

Com relação aos métodos de tratamento de minérios que envolvem classificação e peneiramento CETEM (2010), apresentam como objetivo em comum, a separação de certo material em duas ou mais frações, com partículas de tamanhos distintos.

Ainda segundo CETEM (2010), no processamento mineral, o meio fluido mais utilizado é a água. A classificação a úmido é aplicada, normalmente, para partículas com granulometria muito fina, onde o peneiramento não funciona de uma forma eficaz, bem como utilizado no caso para eliminação das impurezas do mineral de minério.

À vista do exposto, compreende-se que as operações de beneficiamento de minério empregadas visam separar as partículas, individualizar, lavar, remover a cobertura de pulverulentos (argilas, siltes, matérias orgânicas e impurezas), desagregar as partículas mais frágeis e separar os tamanhos desejados.

2.2.1 Lavagem e Desagregação

Esta operação é de extrema importância para o estudo específico, pois se trata de cava a céu aberto de saibro. Segundo CETEM (2009), a operação de desagregação tem pouca importância nas minas operadas por dragagem, mas é essencial nas cavas secas. Segundo o mesmo essa operação tem que ser a primeira etapa de qualquer fluxograma para o caso apresentado.

Um dos equipamentos desta etapa, ainda de acordo com CETEM (2009), trata-se do scrubber, que é um tambor giratório dotado internamente de aletas que elevam o material e o deixam cair.

2.2.2 Peneiramento Rotativo

Segundo Chaves (1996), peneiramento é a operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas as possibilidades de passar ou ficarem retidas. Os produtos chamam-se “oversize” ou retido e “undersize” ou passante. As faixas de peneiramento variam de tamanho que se estende desde maticões de 18” (0,46 m) a talco (130 µm).

Os modelos empregados podem ter várias combinações como: grelhas de barras paralelas, telas de malhas quadradas, retangulares ou malha alongada, telas de fios paralelos, chapas perfuradas, placas fundidas e outras. O peneiramento pode ser realizado por via seca, com sua umidade natural ou via úmida quando o material é alimentado em forma de polpa, bem como podendo receber mais adição de água no processo.

Segundo Chaves (1996), peneiramento rotativo, tipo trommel, trata-se de um cilindro revestido de tela, com seu eixo ligeiramente inclinado em relação a horizontal. A alimentação é feita na extremidade superior, o material vem rodando e descendo, as partículas mais finas que a tela atravessam-na e as mais grosseiras ficam retidas por ela, sendo descarregadas na extremidade inferior.

Segundo CETEM (2012), as principais vantagens dos trommels são sua simplicidade de construção e de operação, seu baixo custo de aquisição e durabilidade.

O mesmo autor ainda ressalta algo importante para o caso específico estudado, que quando a alimentação do peneiramento tem quantidade elevada de finos, é necessário lavá-la sobre a peneira, ou seja, fazer o peneiramento via úmido. Isto é especialmente conveniente quando se desejar fazer operações de classificação em seguida, pois estas operações sempre são realizadas a úmido.

2.2.3 Classificação e Deslamagem

Os materiais indesejáveis no beneficiamento de areia de cava são em grande maioria os argilo-minerais. Esta família de minerais são alumino-silicatos que têm em comum a característica de serem finamente granulados (SOUZA & SANTOS, 1975).

A presença de lama nas areias é considerada nociva para o concreto, em função da sua composição e torna-se necessário sua eliminação. Existe norma técnica brasileira, como a NBR 7211, que estipula o limite de quantidade de material menor que 150 μm entre 10 e 15%, dependendo do tipo de areia (CETEM, 2012).

O emprego do título desse item, deslamagem, tem um significado mais vago que o de classificação, e se refere à eliminação das lamas ou impurezas, indesejáveis para as operações subsequentes ou para a qualidade do produto final (CHAVES, 2002).

Alguns equipamentos são oferecidos ao mercado, como as rodas desaguadoras ou, popularmente conhecidas por rodas d'água, também são bastante empregadas na remoção de micro finos de areias. Este equipamento apresenta a vantagem de baixo consumo de energia por metro cúbico de material processado e constitui-se basicamente de uma roda dotada de caçambas com fundo em forma de peneira e uma caixa de decantação de material. Seu funcionamento inicia-se com a introdução da polpa de areia e água no tanque, onde os sólidos decantam por gravidade.

Na sequência, as caçambas da roda escavam o material acumulado no fundo do tanque. Esta ação agitadora provoca "turbulência" do material, executando a lavagem e promovendo o desprendimento de resíduos, argila e matéria orgânica. Durante a primeira metade da revolução (parte ascendente), a roda desagua o

material pelos furos das telas das caçambas, para então descarregar o material desaguado na bica de saída.

A água contendo os resíduos em suspensão é conduzida ao vertedor, sempre localizado no lado oposto à alimentação, onde transborda para a saída. O desempenho deste equipamento é função do volume de água introduzido, da velocidade de rotação da roda e da abertura da malha da caçamba.

2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA AREIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Apesar de existirem vários Estados que comercializam areia oriunda do processo de beneficiamento de saibro como agregados miúdos para construção civil, poucos são os estudos científicos para determinar a qualidade destas areias.

Para Hagemann (2011), conhecer as propriedades e características de um agregado é de grande importância para definir os usos mais adequados que se pode fazer dele. Grande parte das características de um agregado é determinada por meio de análises, ensaios e experimentos descritos em normas técnicas. No Brasil, a entidade normatizadora de grande parte desses ensaios é a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Segundo CETEM (2009), uma areia para construção civil deve atender diferentes exigências: Distribuição granulométrica adequada; Forma de grãos; Composição mineralógica adequada.

Os materiais danosos podem ser classificados em três grandes categorias segundo Neville (1982): 1) impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento; 2) substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência à pasta de cimento; 3) partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência do concreto ou argamassa.

Mediante esses fatos, serão abordados no Qd. 1 as principais propriedades físicas e índices de qualidade dos agregados miúdos, dos quais em sua grande maioria são avaliados por meio de ensaios previstos em normas técnicas.

Quadro 1: Síntese dos parâmetros de qualidade para agregados.

Ensaio	Propriedades Avaliadas	Norma	Importância
Granulometria	Tamanho e distribuição dos grãos do agregado.	NBR NM 248 (ABNT, 2003) NBR 7181 (ABNT, 2018)	Comparação da distribuição granulométrica do agregado analisado com padrões de normas. Os agregados bem graduados possuem menor número de vazios e menor consumo de aglomerantes. Determinar diâmetro máximo e módulo de finura.
Materiais carbonosos	Substâncias nocivas	ASTM 123	Avaliar se o agregado contém material que inviabilize seu uso, tais como: partículas que podem dar origem a reações químicas expansivas com o cimento, partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento, que enfraquecem a estrutura do material hidratado, partículas com baixa resistência ou com expansões e contrações excessivas, material que interfira na pega e endurecimento do cimento, impurezas que prejudiquem as armaduras do concreto armado.
Material pulverulento	Substâncias nocivas	NM 46 NBR 7219	
Torrões de argila	Substâncias nocivas	NBR 7218	
Impurezas orgânicas	Substâncias nocivas	NBR 7220 NBR 7221	
Massa unitária ou massa específica aparente	Relação entre a massa do material e seu volume aparente (volume dos grãos + volume de vazios entre os grãos)	NM 45 NBR 7251	Avaliar de forma indireta os vazios entre os grãos do agregado, que influenciam o consumo de aglomerantes. Transformar quantidades de material de peso para volume.
Massa específica real ou absoluta	Relação entre a massa do material e seu volume real.	NBR 9776 NBR NM 52 (ABNT, 2009).	Avaliar de forma indireta a compacidade do material e o peso por unidade de volume.
Umidade crítica	Relação entre o peso da água e o peso do material seco	NBR 6467	Ajuste da relação água/cimento em concretos.
Inchamento	Aumento do volume de material na presença de umidade	NBR 6467	Ajuste do volume do agregado miúdo úmido em concretos
Coefficiente de vazios	Indicador da quantidade de vazios entre os grãos de agregados	NM 45	Avaliar os vazios entre os grãos do agregado, que influenciam o consumo de aglomerantes.

Fonte: Adaptado de Hagemann (2011)

Outros testes que serão realizados e apresentados são o teste do azul de metileno, que determina a quantidade de uma solução constituída de água e azul de metileno que determinados micro finos podem adsorver, o que dá uma indicação da sua superfície específica. Segundo estudos realizados por Santamarina et al. (2002),

o teste do azul de metileno é uma técnica simples e confiável na determinação da área específica de solos, inclusive de argilo-minerais.

O método é baseado na habilidade destas argilas em trocar cátions e então absorver o azul de metileno. O valor final do azul de metileno pode depender de algumas características de agregado como mineralogia e tamanho das partículas.

Outros métodos de avaliação importante a fim de determinar as propriedades dos agregados miúdos e sua influência no comportamento e desempenho em argamassa, são realizados em estado fresco e endurecido.

Segundo Helene (2005), as propriedades do estado endurecido são normalmente exigidas pelo projeto da estrutura, enquanto as propriedades do estado fresco são determinadas pelas características da peça a ser concretada (geometria, taxa de armadura, etc.) e pelos equipamentos e técnicas construtivas que serão utilizadas (transporte, lançamento e adensamento).

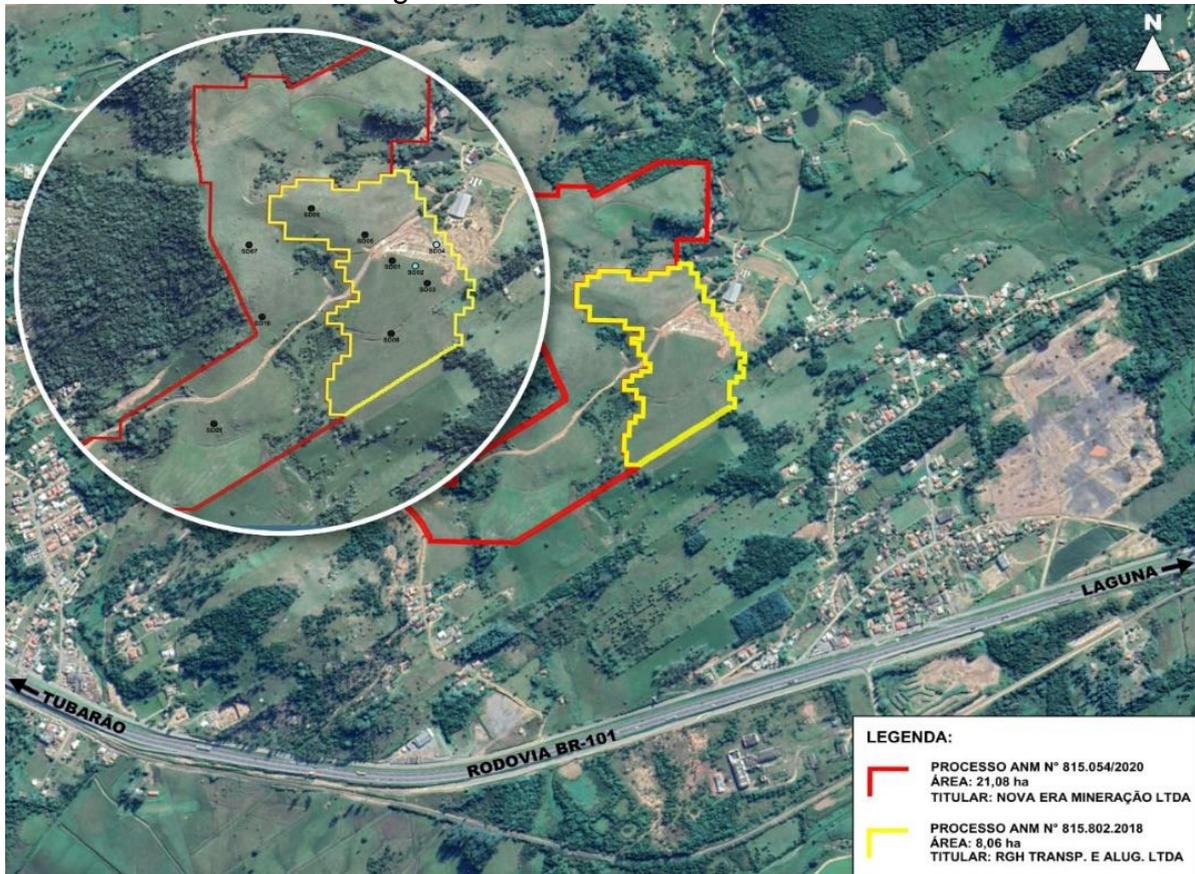
Para o segundo teste, a determinação da consistência ou fluidez das argamassas é dada mediante a realização do ensaio de consistência em mesa conhecida como (Flow Table test), onde é determinado o diâmetro médio de espalhamento imediatamente após a remoção do molde de tronco cônico, e após 5 e 10 golpes na mesa de espalhamento. O método realizado para os testes das amostras de saibro foi seguido o proposto por Weidmann (2008) – Flow 0, Flow 5 e Flow 10, que modifica o ensaio proposto pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

A falta de um melhor controle tecnológico, dá-se a uma interpretação equivocada de que o agregado é considerado inerte e não afeta as propriedades do concreto. Entretanto, a considerável influência que os agregados podem exercer na resistência, trabalhabilidade e durabilidade, demonstram a importância que exercem, merecendo uma maior atenção na sua seleção (METHA & MONTEIRO, 2008).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A área de estudo encontra-se no município de Pescaria Brava/SC, a partir do município de Tubarão, em direção a Florianópolis, no Km 322 da BR-101, toma-se uma estrada municipal de acesso à localidade de Taquaruçu. A distância entre a Rodovia Federal e a área é de aproximadamente 1,2 km, como apresentado na Fig.1.

Figura 1: Localização da área correspondente à extração do minério do estudo e detalhe da malha de sondagem.



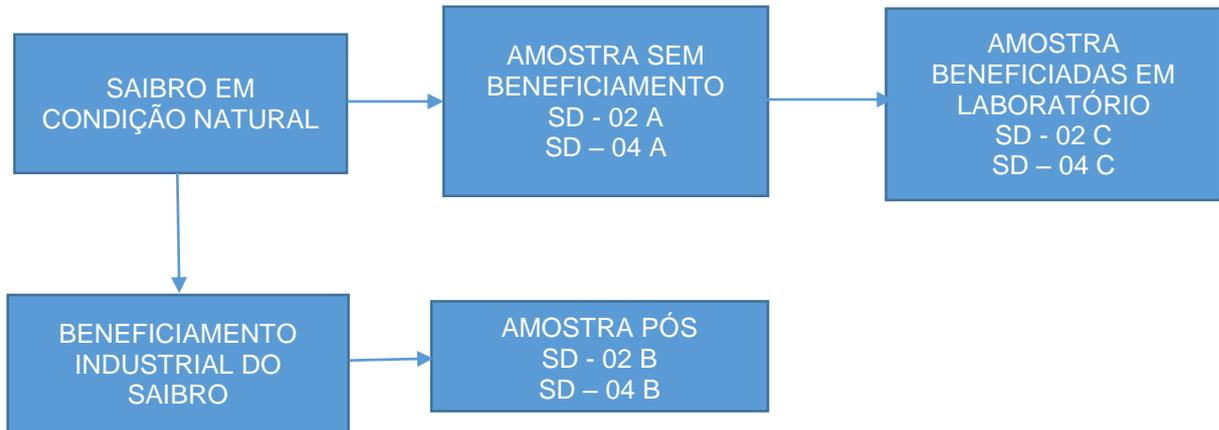
Fonte: Do autor (2020).

Os procedimentos realizados para avaliação da viabilidade do beneficiamento de saibro como agregado miúdo na indústria da construção civil, foram executados baseando-se em um estudo preliminar realizado pela empresa Plane.com Engenharia e Consultoria, em meados de Janeiro de 2019, e teve como objetivo a avaliação da distribuição granulométrica dos perfis da jazida de saibro, com intuito de atestar a viabilidade da porcentagem de grãos de areia com potencial para aproveitamento como agregados miúdos.

Com base nestes dados foi proposta a execução do procedimento de beneficiamento do saibro em escala industrial, objeto deste estudo e posterior caracterização e avaliação do material obtido. Na Fig. 2, podemos observar de forma resumida a origem das amostras coletadas, para posterior análise e comparação. Os

procedimentos de coleta de cada uma delas serão apresentado e detalhado no corpo do texto.

Figura 2: Mostra a identificação das amostras que foram ensaiadas.



Fonte: Do autor (2020).

Com intuito de avaliar e qualificar do ponto de vista técnico e econômico, visando sua aplicação na indústria da construção civil, amostras de saibro in natura (pré beneficiamento) e pós beneficiamento foram caracterizadas. As amostras SD 02 A e SD 04 A correspondem ao material em condições naturais. O beneficiamento foi realizado em laboratório resultando nas amostras SD 02 C e SD 04 C e também em planta industrial o que resultou nas amostras SD 02 B e SD 04 B.

Para efeito de investigação da possível aplicação deste saibro na indústria da construção civil, os produtos beneficiados foram aplicados em elementos da construção civil, sendo seu efeito comparado à agregados artificiais que são utilizados nas indústrias de concreto e argamassas da região. Estes agregados artificiais foram chamados de amostra padrão.

A amostra padrão utilizada para comparação foi identificada nos experimentos como LEC, proveniente de uma de mistura de 50% de pó de pedra (rocha granítica), oriunda de britagem (areia industrial) e 50% de areia fina natural, cuja mistura é algo frequentemente usual na fabricação de concreto e foi preparada no laboratório para referidas comparação.

3.2 BENEFICIAMENTO EM ESCALA INDUSTRIAL

Os testes em escala industrial foram realizados na empresa Verde Vale no município de Antônio Carlos/SC, seguindo os seguintes passos:

1. Plano de amostragem;
2. Testes em escala industrial;
3. Análise qualitativa.

3.2.1 Plano de Amostragem

As amostras foram coletadas nas proximidades dos furos SD - 02 e SD - 04, em detalhe verde observados Fig. 1 com profundidade de aproximadamente 6 metros para o primeiro e 15 metros para o segundo, com intuito de aproximar ao máximo possível das características definidas através das distribuições granulométricas obtidas das análises de sondagem como já mencionado.

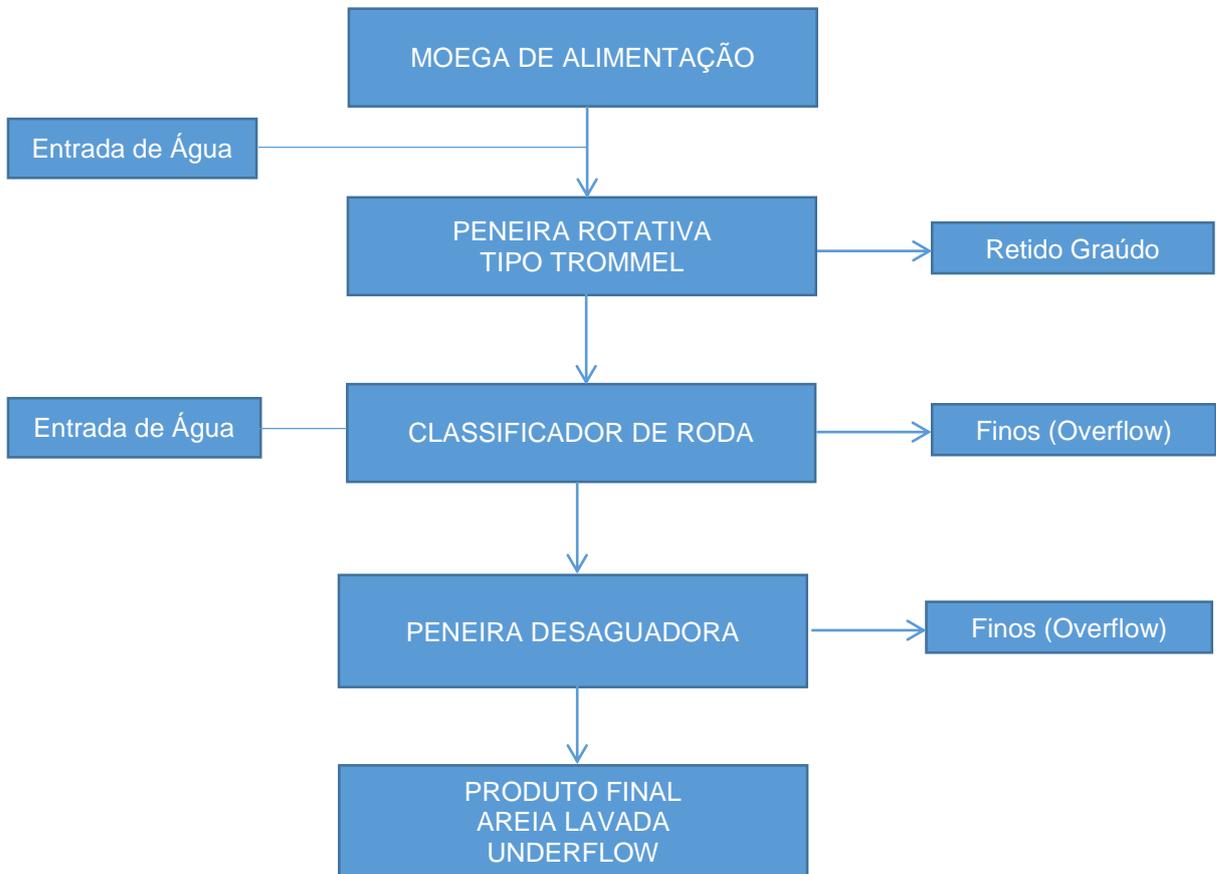
A coleta de cada ponto foi realizada com auxílio de uma escavadeira hidráulica da marca Komatsu - PC 200, sendo carregados em caminhões basculantes até completar as cargas com aproximadamente 8 (oito) metros cúbicos em cada caminhão, sendo os mesmos enlonados e transportados até o local de realização dos testes industriais na planta de beneficiamento de saibro.

3.2.2 Testes em Escala Industrial

Os testes em escala industrial foram realizados seguindo as etapas da planta de beneficiamento de lavagem de saibro, onde o material da jazida estudado foi testado, sendo representado esquematicamente a seguir na Fig. 3:

A amostra de saibro de cada ponto coletado e carregado nos caminhões foram transportada até o local, e posteriormente basculado na moega de alimentação do sistema de beneficiamento.

Figura 3: Planta de beneficiamento de lavagem de saibro



Fonte: Do autor (2020).

Através de jatos de água o material se desmontava e deslocava por uma calha inclinada até a peneira rotativa tipo trommel em forma de polpa, objetivando a desagregação e lavagem dos grãos de areia contidos na amostra, além de separar as partículas granulométricas em duas porções, descritas no tópico “1” a seguir. O volume de água inserido no sistema foi estimado em torno de 50 a 70% do volume de sólidos para produção da polpa do processo.

O passante do processo seguia para o classificador de roda, onde objetiva a deslamagem do minério e a separação das partículas de areia pelo soerguimento do material graúdo, separando a maior parte do produto final underflow e o overflow, descritos no item “2” abaixo:

1. A separação da primeira porção no trommel tem o intuito de retirar as frações graúdas, acima de 4,78 mm, sendo essas frações objetivo de estudos posteriores;

2. A porção passante do item “1” era direcionada para o classificador de roda. O classificador de roda tem como objetivo separar duas frações de materiais, um denominado de *overflow* de acordo com o fluxograma, nosso rejeito - os finos de argila e silte (impurezas), que seguiram para bacias de decantação - e o segundo denominado *underflow*, areais (agregado miúdo) beneficiado, produto final.

Após essa etapa o material foi deslocado para peneira desaguadora retirando o excesso de água do *underflow*, seguindo para uma correia transportadora para formação das pilhas de produto final. O material beneficiado de origem do teste foi carregamento no próprio caminhão que abasteceu a moega de alimentação do sistema.

Foi coletada uma amostra de cada caminhão após o beneficiamento, sendo essas amostras coletadas em sacos plásticos no mesmo procedimento das relatadas anteriormente ao processo e identificadas como SD – 02B, (material beneficiado), e o SD – 04B, (material beneficiado).

3.2.3 Análise Qualitativa

Após os procedimentos citados as amostras foram encaminhadas para realização de ensaios de qualidade física e validação do desempenho em argamassa, para comparação com os utilizados no mercado da região. Estes testes foram executados no Centro Tecnológico da Universidade UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, no Departamento de Engenharia Civil.

Para efeito de comparação, uma amostra de saibro foi também caracterizada laboratorialmente, sendo preparada de uma alíquota da amostra anterior ao processo de beneficiamento identificado como SD – 02C e SD – 04C, como pode ser observado na Fig. 2.

Essa amostra foi preparada da seguinte forma: o saibro primeiramente foi peneirado no peneirador mecânico até que todo o material retido na peneira 4,8 mm fosse separado do passante. O material passante na 4,8 mm foi lavado na 0,075 mm até que a água saísse limpa. O intuito dessas amostras é conhecer a possibilidade técnica econômica do material oriundo da jazida de saibro em condições preparadas em laboratório, ou seja, avaliar o desempenho dos grãos da jazida e a potencialidade de pureza e resistência desses grãos.

Para isso, foram definidos alguns ensaios necessários para esta investigação a fim de determinar as propriedades dos agregados e sua influência no comportamento da argamassa, fração do concreto. O programa experimental seguiu em duas etapas. Na primeira foram realizados ensaios de determinação de propriedades físicas das areias, e na segunda, foram realizados ensaios em argamassa.

3.2.3.1 Propriedades Físicas

Os ensaios de qualidade das propriedades físicas foram realizados em todas as amostras descritas, de acordo com as especificações técnicas: massa específica, material pulverulento, teor de torrões de argila, equivalente de areia, consumo de azul de metileno e distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação.

Para a caracterização física dos materiais, primeiramente foi realizada a análise granulométrica, a fim de determinar as dimensões dos grãos. Este ensaio foi realizado por dois métodos: por peneiramento, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e por sedimentação, conforme a NBR 7181 (ABNT, 2018). Este último foi realizado para identificar os grãos de dimensões menores que não são possíveis de determinar no peneiramento comum.

O ensaio de equivalente de areia foi realizado conforme NBR 12052 (ABNT, 1992), para distinguir os grãos de areia da argila presente no material.

O valor de determinação da massa específica dos materiais utilizados, foi realizado o ensaio de densidade real, conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Para determinar o índice de reatividade do material com a água, foi determinado o consumo de azul de metileno. Na realização deste ensaio foi seguido o preconizado pela norma AASHTO TP 57-99 e utilizado por Damo (2011).

3.2.3.2 Propriedades na Argamassa

Os ensaios na argamassa foram realizados nas mesmas amostras citadas no item 3.2.3.1, mediante as seguintes etapas: demanda de água (Flow 0, Flow 5 e

Flow 10), densidade em estado seco, consumo de cimento para o mesmo nível de resistência (1 e 7 dias) e indicador de durabilidade absorção de água (7 dias).

Os ensaios em argamassa foram realizados seguindo os propostos por Weidmann (2008), e aprimorados por Medeiros (2018), para avaliação do desempenho de componentes do concreto. Estes ensaios são realizados na fração de argamassa do concreto, neste caso, o traço utilizado foi de 1:2,5:x (aglomerante:agregado:água), com teor de superplastificante de 0,3% em relação à massa de aglomerante. O valor de x foi determinado, no traço referência, para um flow 10 quedas, em torno de 200 a 230 milímetros. O valor de 2,5 para o agregado refere-se à fração unitária média de agregado miúdo usual para concretos bombeáveis, com resistências de 25 a 45 MPa.

A Tab. 1 apresenta os traços utilizados para as diferentes condições de beneficiamentos das areias e da composição utilizada como padrão (areia fina natural + areia de britagem) com os diferentes teores de substituição.

Tabela 1: Traços unitários em volume absoluto das argamassas para todas as areias e seus beneficiamentos aqui apresentados

Teor de substituição	Cimento	Areia fina	Areia média	a/ag	Aditivo
AF 100% AM 0%	1,00	2,5	0,0	0,40	0,30%
AF 80% AM 20%	1,00	2,0	0,5	0,40	0,30%
AF 60% AM 40%	1,00	1,5	1,0	0,40	0,30%
AF40% AM 60%	1,00	1,0	1,5	0,40	0,30%
AF20% AM 80%	1,00	0,5	2,0	0,40	0,30%

Fonte: Do autor, (2020).

Nestes traços, com as diferentes amostras de areia, foram avaliadas propriedades no estado fresco e endurecido. No estado fresco, foi determinada a influência dos agregados na trabalhabilidade e demanda de água, utilizando o método proposto por Weidmann (2008) – Flow 0, Flow 5 e Flow 10, que modifica o ensaio proposto pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Além disso, foi determinada a influência dos agregados estudados no teor de ar incorporado e na densidade real das argamassas. O método para realização destes ensaios é proposto pela NBR 13278 (ABNT, 2005).

No estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial, conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019) e a determinação da capacidade de absorção de água, conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009). Para o primeiro, os ensaios foram realizados no 1º dia e no 7º dia, já no segundo, o ensaio foi realizado no 7º dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes em escala industrial não foram eficientes para efetuar um balanço de massa com intuito de mensurar a recuperação do minério, todavia os resultados da malha de soldagem com avaliação das frações granulométrica realizada na jazida pode nos apontar uma aproximação, sendo 18 % acima de 4,78 mm, 64 % de grãos entre 4,78 mm e 0,150 mm e 18 % abaixo de 0,150 mm, para o furo SD – 02, já o SD – 04, nos apresentou 32 % graúdos, 58 % de agregados miúdos e 10 % finos, sendo os mesmos furos apresentados no procedimento que alimentou os testes industriais.

Com esses resultados e desprezando as ineficiências do processo de beneficiamento podemos aproximar uma recuperação de 25 % de agregados graúdos, 61 % de agregados miúdos e 14 % de finos. Importante ressaltar que não existe rejeito no processo, pois os agregados graúdos são comercializados para indústria cerâmica e os finos após desidratação poderá ser comercializado como aterro para terrenos, nos mostrando a viabilidade independente da porcentagem de recuperação.

4.1 PROPRIEDADE FÍSICA DOS AGREGADOS

Nesse primeiro tópico serão apresentadas as Tab. 2, 3 e 4, onde iremos destacar os resultados obtidos dos ensaios de propriedades físicas de acordo com cada amostra, estabelecendo uma comparação com o valor de referência da composição do material de pó de pedra e areia fina de procedência do LEC.

De acordo com a Tab. 2 a seguir, a grande quantidade de impurezas de argilos minerais nas amostras do material de origem natural da jazida, identificado como SD – 2A e SD – 04A, inviabilizando-as a aplicação direta como agregado miúdo na construção civil. Os resultados dos testes industriais realizados e apresentados

como SD - 02B e SD - 04B, apresentaram uma melhora significativa nos ensaios quando comparados com os resultados em condição natural, entretanto ainda não atingiram uma qualidade satisfatória quando comparado ao resultado das análises da mistura de pó de pedra e areia fina, utilizadas nas usinas de concretagem da região.

Tabela 2: Destaca os ensaios de equivalente de areia, consumo de azul de metileno, material pulverulento e teor de argila em torrões.

Material	Procedência	ID	Equivalente Areia (%)	Azul de Metileno (ml)	Material Pulverulento (%)	Teor de Arg. Torr. (%)
Pó de Pedra	LEC	LEC	93	40	9,3	1,1
Areia Fina			89	0,0	1,6	0,0
Condição natural	Empresa	SD - 02A	38	310	28,2	10,4
Beneficiado		SD - 02B	76	150	2,7	1,1
Beneficiado	LEC	SD - 02C	99	0,0	0,0	0,0
Condição natural	Empresa	SD - 04A	55	305	23,6	11,0
Beneficiado		SD - 04B	90	120	3,7	1,2
Beneficiado	LEC	SD - 04C	99	0,0	0,0	0,0

Fonte: Do autor, 2020.

Embora as porcentagens de materiais pulverulentos apresentarem valores menores nos materiais de origem da jazida de saibro, o material pulverulento dos artificiais não apresentam argilo/mineral como impureza, podendo ser confirmado quando analisado o equivalente de areia, além do volume utilizado de azul de metileno na reação.

Provavelmente as argilas estão envolvendo os grãos de areia das amostras oriundas de saibro, prejudicando a qualidade final dos agregados podendo aumentar o consumo de cimento e absorção de água, evidenciando a necessidade de realizar uma desagregação do material antes da lavagem dos grãos, melhorando a separação das partículas indesejáveis.

As amostras preparadas em condições de laboratório identificadas como SD – 02C e SD – 04C, apresentaram uma melhora em todos os itens avaliados na Tab. 2, no que tange qualidade das areias avaliadas, bem como quando comparados

ao agregado utilizado como padrão, evidenciando a viabilidade técnica do saibro pela técnica de lavagem e classificação dos grãos.

As amostras de procedência da empresa apresentaram uma porcentagem alta de pedregulhos, tanto na amostra em condição natural quanto beneficiada, já quando analisada quantidade de silte e argila nas mesmas amostras mostraram uma redução significativa entre as mesmas, como observado na Tab. 3.

Tabela 3: Avaliação das frações granulométricas e porcentagem de silte e argila nas amostras testadas.

Material	Procedência	ID	Pedregulho (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
Pó de Pedra	LEC	LEC	2,69	45,09	24,30	12,86	15,00	0,05
Areia Fina			0,00	0,02	1,74	90,80	7,39	0,05
Condição Natural	Empresa	SD - 02A	10,09	35,71	17,78	7,87	24,66	3,88
Beneficiado		SD - 02B	9,15	56,72	24,73	6,31	1,43	1,67
Beneficiado	LEC	SD - 02C	0,00	59,39	31,26	9,35	0,00	0,00
Condição Natural	Empresa	SD - 04A	5,29	32,21	23,97	13,69	22,35	2,48
Beneficiado		SD - 04B	8,80	54,75	25,82	7,11	1,75	1,77
Beneficiado	LEC	SD - 04C	0,00	61,96	29,91	8,13	0,00	0,00

Fonte: Do autor, 2020.

As amostras SD – 02B e SD – 04B, beneficiadas no teste industrial obtiveram um resultado expressivo no que tange a retirada de silte em comparação a amostra padrão de pó de pedra e areia fina, entretanto ainda restou uma quantidade de argila considerável, bem como as frações que obtiveram maior recuperação no teste industrial foram na fração de areia grossa com aproximadamente 55% de recuperado, podendo-se observar pouca quantidade de frações de areia fina, fato este intrínseco do corpo mineral.

Nas amostras beneficiadas em laboratório identificadas como SD – 02C e SD – 04C, podemos observar a mesma deficiência de porcentagens de finos, que comprova as características da jazida, evidenciando a necessidade de uma mistura

de areia fina para atingir melhor graduação das frações, melhorando assim a qualidade do agregado.

Porém nesse caso, todo material de impureza do agregado foi retirado, como pode-se observar nas frações de silte e argila do mesmo. Outro ponto de destaque é a necessidade de ajuste no primeiro corte do peneiramento, pois nos testes industriais cerca de 9% de frações de pedregulhos, ou seja, agregados graúdos estavam presentes nas porções de areias, prejudicando a trabalhabilidade do concreto.

Como podemos observar na Tab. 4 todas as amostras obtiveram uma relação de massa específica aparente, saturada e real com pequenas variações. Estes ensaios servem para ajustes do volume do concreto e argamassa.

Tabela 4: Ensaios de massa específica aparente, massa específica saturada, massa específica real e capacidade de absorção de água.

Material	Procedência	ID	Mas. Esp. Apa. (g/cm ³)	Mas. Esp. SSS. (g/cm ³)	Massa Espec. (g/cm ³)	Absorção (%)
Pó de Pedra	LEC	LEC	2,667	2,664	2,707	0,880
Areia Fina			2,633	2,615	2,661	0,660
Condição natural	Empresa	SD - 02A	2,533	2,498	2,588	1,39
Beneficiado		SD - 02B	2,561	2,553	2,574	0,32
Beneficiado	LEC	SD - 02C	2,651	2,621	2,635	0,11
Condição natural	Empresa	SD - 04A	2,509	2,478	2,557	1,25
Beneficiado		SD - 04B	2,555	2,536	2,585	0,76
Beneficiado	LEC	SD - 04C	2,641	2,619	2,636	0,09

Fonte: Do autor, 2020.

O fato mais relevante nesses resultados foram os de absorção de água, onde podemos observar resultados expressivos nos testes industriais, e ainda mais relevantes nas amostras preparadas no laboratório, pois quanto menor a absorção de água, também será menor o consumo de cimento na pasta.

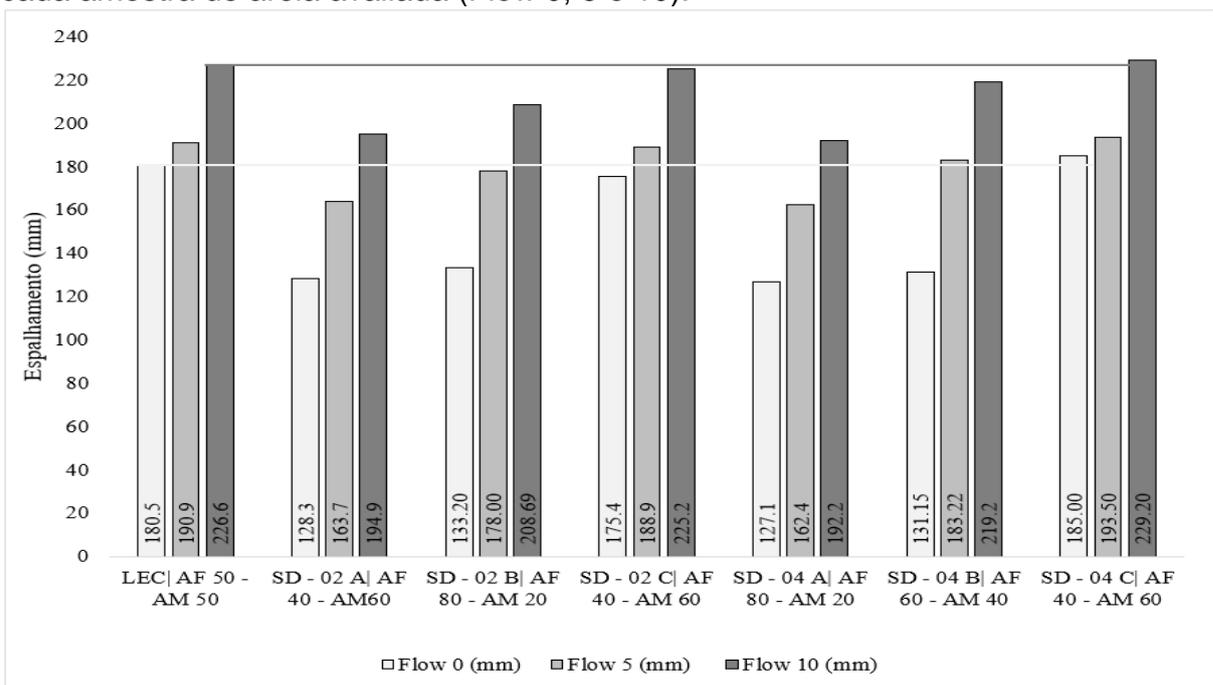
4.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Os resultados dos testes realizados para avaliação do desempenho dos agregados testados na argamassa foram divididos em dois processos: propriedade em estado fresco e propriedade em estado endurecido.

4.2.1 Propriedade em Estado Fresco

Os resultados dos ensaios realizados no estado fresco estão apresentados na Fig. 4, esses resultados são os traços que apresentaram melhor desempenho de cada uma das amostras de areias avaliadas, conforme apresentado no procedimentos experimental. Os resultados de todos os traços realizados e avaliados estão apresentados no apêndice A.

Figura 4: Resultados dos espalhamentos dos traços com melhor desempenho para cada amostra de areia avaliada (Flow 0, 5 e 10).



Fonte: Do autor, 2020.

Através da interpretação dos resultados dos melhores traços apresentados na Fig. 4, é possível destacar que ambas as amostras SD – 02A e 04A, apresentam expressiva influência no espalhamento, tanto estático (Flow 0) quanto dinâmico (Flow 10). Este comportamento pode ser explicado pelo teor de silte e argila detectada e

apresentada nas Tab. 1 e 2, e pelo elevado consumo de azul de metileno, que serve como indicador de reatividade das argilas e siltes na presença de água.

As amostras beneficiadas em escala industrial SD – 02B e 4B apresentaram melhora nesse comportamento em detrimento ao estado natural, contudo, ainda não suficiente para que este material pudesse ser utilizado como componente de concreto e argamassas de forma vantajosa, tanto técnica quanto econômica em comparação com amostra padrão LEC.

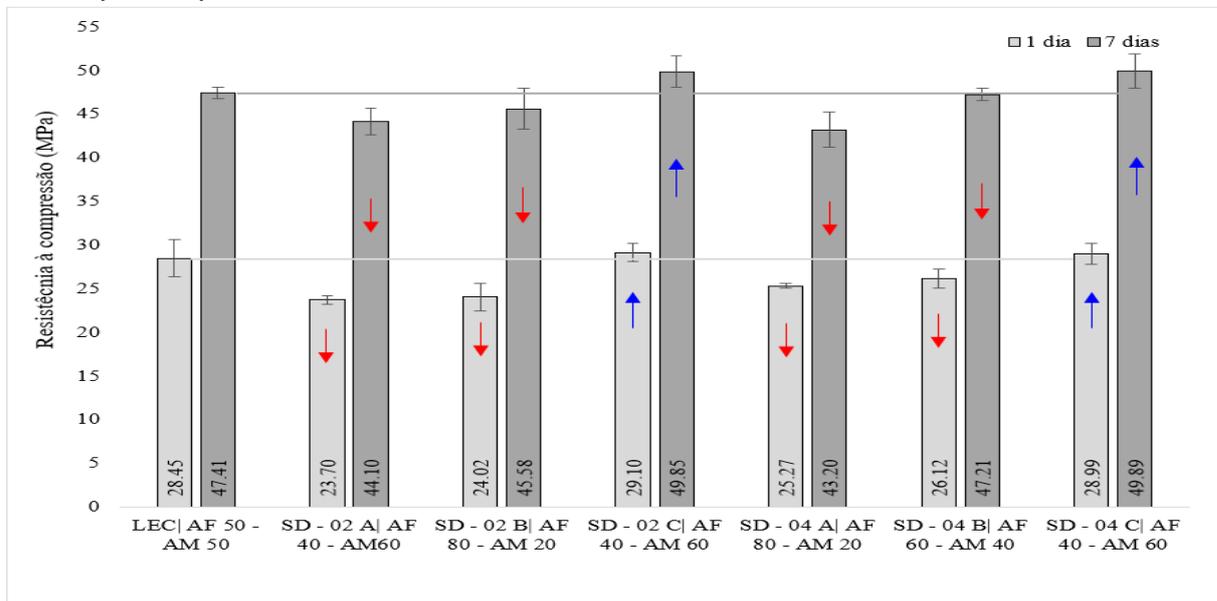
A amostra de destaque foi a preparada no laboratório e identificadas como SD – 02C e 04C, que apresentou rendimento próximo ou maiores, entre as amostras investigadas, em comparação com amostra padrão LEC. Esse resultado permite a este estudo sugerir que existe grande possibilidade de incorporar o material no mercado consumidor, desde que ajustes sejam realizados no processo industrial.

A média do teor de ar investigado nas amostras obtiveram comportamentos semelhantes em todas as amostras avaliadas, com resultados na faixa de 0,065% a 0,09%, como pode-se observar no apêndice A, sendo que a amostra padrão LEC que teve a porcentagem mais baixa de teor de ar.

4.2.2 Propriedades em Estado Endurecido

Na Fig. 5, pode-se observar os resultados da resistência à compressão média obtida de cada amostra ensaiada, realizado no estado endurecido, seguindo com o mesmo método apresentado no estado fresco, ou seja, esses resultados são os melhores traços de desempenho de cada uma das areias avaliadas. Os resultados de todos os traços realizados e avaliados estão apresentados no apêndice 01.

Figura 5: Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos traços com melhor desempenho para cada amostra de areia avaliada.



Fonte: Do autor, 2020.

A Fig. 5 apresenta uma semelhança dos resultados do comportamento do estado endurecido com aquele apresentado no estado a fresco. As amostras em condições naturais, ou seja, aquelas que não receberam nenhum tipo de tratamento, apresentaram os menores resultados comparando com a amostra padrão LEC. As amostras que sofreram os testes industriais, através do beneficiamento do material, os resultados foram maiores que os sem beneficiamento, entretanto, ainda aquém daqueles buscados para garantir um desempenho técnico e econômico satisfatório.

Os resultados que foram significativos e expressivos no ponto de vista técnico e econômico, foram observados nas amostras beneficiadas em laboratório, as SD – 02C e SD – 04C, onde podemos observar resultados apreciáveis, maiores que da amostra padrão LEC, bem como potencial de redução do consumo de cimento para o mesmo nível de resistência.

Considerando o nível de resistência obtido com a amostra padrão LEC, composta de areia de britagem de granito e areia fina natural, usado no comércio da região, com a de interesse do presente estudo, com o uso das amostras SD – 02C e SD – 04C é possível reduzir o consumo de cimento na ordem de 5%, tornando não só atrativo tecnicamente como economicamente.

O resultado do desempenho em argamassa mostrou-se coerente com os de ensaio físicos apresentados na Tab. 1 e 2, e com as referências mostradas nesse estudo. Evidenciando os problemas dos finos de argilas e siltes na composição de argamassas e resistência de concretos, entretanto, o material de origem de saibro lavado em condições ideais nas amostras SD – 02C e SD – 04C apresentaram resultados positivos a otimização dos mesmos no mercado, necessitando apenas de melhorias pontuais como já mencionadas.

Esse resultado nos permite buscar alternativas de melhorias no sistema de beneficiamento, cujo material foi testado industrialmente, com intuito de viabilizar para a indústria da construção civil, no que tange a fabricação de concreto e fabricação de argamassas.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo buscou avaliar a qualidade dos agregados miúdos oriundos de uma jazida de saibro, dentre as motivações do presente estudo estão a valorização técnica, econômica e sócio ambiental do material, potencializando para novos mercados, a falta de artigos científicos ou estudos relacionados à qualidade deste minério como agregado miúdo em escala industrial, bem como a necessidade atual da região estudada.

Apesar do conhecimento do uso de agregados de saibro como areia no mercado regional e nacional, ainda existe certa resistência para uso industrializado, devido as características e impurezas principalmente dos finos de silte e argila, aliado a falta de estudos científicos e qualidade nos sistemas de lavagens dos grãos.

Os resultados obtidos nos ensaios físicos e em argamassa, corroborados pelos ensaios de caracterização, permitiram apontar as seguintes conclusões:

1. Os teores de argila na condição natural apresentam valores que interferem no desempenho no estado fresco e endurecido;
2. Esta argila possui expressiva reatividade com a água, pois os valores de consumo do azul de metileno foram acima de 40 ml;
3. O processo de beneficiamento realizado em escala indústria potencializa o desempenho deste minério como agregado miúdo, contudo, ainda havia certa

quantidade de argila reativa com a água presente no material e frações acima de 4,8 mm, que são indesejáveis para garantir a qualidade de agregados miúdos;

4. Os resultados das análises evidenciaram a necessidade da implantação de um sistema de desagregação do saibro, anteriormente ao processo de lavagem dos grãos.

5. O material preparado em laboratório retirou os grãos maiores que 4,8 mm e as frações menores que 0,075 mm do material, realizando uma melhor retirada de impurezas. Os resultados obtidos com o material SD – 02C e SD -04C em laboratório possibilitam uma redução de 5% no consumo de cimento, considerando um mesmo nível de resistência em relação ao padrão.

Com relação a valorização econômica do material, vale destacar que o material da jazida estudada é comercializado na região e vendido na mina pelo valor de aproximadamente 6,00 reais/m³, já os agregados miúdos de origem natural pelo valor de 40,00 reais/m³, mostrando viabilidade econômica, bem como agregando valor no minério.

Os resultados apresentados dos testes em escala industrial com o material do saibro da jazida da empresa estudada, mostraram-se satisfatórios para uma primeira análise, visto que, com o aprimoramento e melhoramento do processo de lavagem dos grãos semelhantes às frações preparadas em laboratório, estes poderão incorporar ou substituir os existentes, pois apresentam resultados semelhantes e até melhores que aqueles utilizados na indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificações**. Rio de Janeiro, 11p, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 8p, 1995.

BERTOLINO, L. C.; PALERMO, N.; BERTOLINO, A. V. F. A. **Geologia**. Cap. 4, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2012.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

BRIZ, Jéssica. **Mercado de agregados mostra reinvenção diante da crise**. Revista Minérios, 07/11/2019. Disponível em: www.revistaminérios.com.br/mercado-agregados. Acesso em: 20/04/2020.

CAPUTO, HP. **Mecânica dos solos**. Vol. 1, 6ª ed. Rio de Janeiro: livros técnicos e científicos, 1988.

CHAVES, Arthur Pinto e colaboradores. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. Vol. 1, 1ª ed. São Paulo: Signus, 235p, 1996.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antônio Eduardo Clark. **Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem**. Vol. 3. São Paulo: Signus, 662p, 2002.

DAMO, Gabriela Ferreira. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland**. Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Civil - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 230p, 2011.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, 166p, 2010.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Materiais de construção civil**. Universidade Aberta do Brasil. Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, 145p, 2011.

HELENE, P.R.L. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2v, 1600p, 2005.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7ª ed. Brasília, DF, 65p, 2012. Disponível em: www.ibram.org.br.
IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **A indústria da mineração**. Brasília, DF, 71p, 2014. Disponível em: www.ibram.org.br.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Manual de agregados para construção civil**. Cap. 6 – Usos e Especificações. 2ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 123p, 2012.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Manual de agregados para construção civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Manual de agregados para construção civil**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2012.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. **Tratamento de minérios**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MEDEIROS, Rennan. **Estudo da influência das características da cinza volante nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido: proposta de método simplificado em argamassa.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, microestrutura, propriedades e materiais.** 3ª Edição. IBRACON. São Paulo, 2008.

NEVILLE, Adam M. Tad. S. G. **Propriedades do concreto.** São Paulo, PINI, 1982.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto.** 2ª Ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, Marilda Barra de. **Verificação de algumas propriedades de argamassa com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos.** Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP, 155p, 1989.

SANTAMARINA, J.C.; KLEIN, K.A.; WANG, Y.H.; PRENCKE, E. **Specific surface: determination and relevance.** Canadian Journal of Civil Engineer, Vol. 39, p. 233-241. 2002.

SILVA, Kerline Maria da TOLEDO, Cristiane Campos. **Diagnóstico de área degradada por extração de saibro.** Vianna Sapiens, Juiz de Fora, v.1, edição especial, Out/2010.

SOUZA, A. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto – SP.** Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, SP: 2012.

SOUZA & SANTOS, P. **Tecnologia de argilas.** São Paulo: Blucher, 1975.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.

APÊNDICE A

A tabela 1^a é o resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados para este programa experimental e discutidos neste relatório.

Continua

Traço	Propriedades no estado fresco							Propriedades no estado endurecido						
	Flow 0	Flow 5	Flow 10	Teor de Ar Méd.	a/c	Água Total	Adição de aditivo	R 1 dia		R 7 dias		Absorção de água 7 dias		
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)		(g)	(g)	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	
LEC	AF 50% AM 50%	180.52	190.90	226.61	0.0647	0.36	320	-	28.45	2.13	47.41	0.61	4.52	1.11
	AF 100% AM 0%	131.66	188.76	223.26	0.0937	0.36	320	-	20.82	2.57	40.64	0.60	6.23	0.99
	AF 0% AM 100%	128.09	158.53	183.95	0.0968	0.36	320	-	22.12	1.53	42.91	0.38	5.64	1.04
	AF 80% AM 20%	132.53	182.80	223.03	0.0948	0.36	320	-	22.63	2.26	44.58	1.86	5.32	0.85
	AF 60% AM 40%	130.24	182.49	215.59	0.0955	0.36	320	-	22.41	2.02	45.68	1.24	4.91	0.75
	AF 40% AM 60%	130.03	181.61	216.36	0.0962	0.36	320	-	22.90	2.63	46.41	2.01	4.82	0.96
	AF 20% AM 80%	130.98	182.35	219.33	0.0966	0.36	320	-	21.10	2.22	41.52	1.47	5.74	0.98
SD - 02 A	AF 0% AM 100%	124.57	142.66	155.35	0.0939	0.36	320	1.2	17.60	2.43	35.26	2.02	7.41	0.59
	AF 80% AM 20%	125.85	152.96	178.48	0.0978	0.36	320	0	18.30	0.46	40.95	0.76	6.26	0.69
	AF 60% AM 40%	124.76	148.43	168.96	0.0963	0.36	320	4	23.39	1.15	38.10	1.21	6.75	1.2
	AF 40% AM 60%	128.26	163.74	194.86	0.0936	0.36	320	6	23.70	0.52	44.10	1.52	5.35	0.78
	AF 20% AM 80%	125.38	149.16	166.02	0.0948	0.36	320	10	18.10	2.05	32.09	2.03	8.14	0.98
SD - 02 B	AF 0% AM 100%	128.21	156.04	177.52	0.1003	0.36	320	-	21.14	1.80	42.30	2.01	5.65	0.69
	AF 80% AM 20%	132.09	182.90	225.56	0.0974	0.36	320	-	19.54	1.85	43.65	1.07	5.46	0.73
	AF 60% AM 40%	130.90	188.67	222.99	0.0984	0.36	320	-	23.75	1.41	44.33	0.62	5.29	0.95
	AF 40% AM 60%	133.20	178.00	208.69	0.0968	0.36	320	-	24.02	1.55	45.58	2.37	4.92	0.93
	AF 20% AM 80%	130.26	172.29	205.16	0.0999	0.36	320	-	23.05	1.37	42.30	1.04	5.67	1.21

Fonte: Do autor, 2020.

Traço	Propriedades no estado fresco							Propriedades no estado endurecido						
	Flow 0	Flow 5	Flow 10	Teor de Ar Méd.	a/c	Água Total	Adição de aditivo	R 1 dia		R 7 dias		Absorção de água 7 dias		
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)		(g)	(g)	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	
SD - 02 C	AF 0% AM 100%	127.71	157.22	183.54	0.0939	0.36	320	12	21.74	1.45	43.48	2.23	5.49	1.12
	AF 80% AM 20%	130.68	163.32	194.92	0.0978	0.36	320	0	22.55	1.93	45.10	1.11	4.89	0.99
	AF 60% AM 40%	129.93	167.84	198.01	0.0969	0.36	320	4	23.96	1.77	47.92	2.44	4.62	0.74
	AF 40% AM 60%	175.40	188.85	225.20	0.0918	0.36	320	6	29.10	1.02	49.85	1.78	4.35	1.11
	AF 20% AM 80%	128.60	161.86	186.81	0.0948	0.36	320	10	21.67	1.76	43.33	1.95	5.88	1.13
SD - 04 A	AF 0% AM 100%	124.47	145.21	160.31	0.0950	0.36	320	100	18.51	0.49	36.64	1.41	7.08	0.99
	AF 80% AM 20%	127.08	162.35	192.16	0.0926	0.36	320	0	25.27	0.27	43.20	2.02	5.56	0.98
	AF 60% AM 40%	126.29	150.61	168.59	0.0978	0.36	320	20	24.98	0.30	42.76	1.45	5.66	0.96
	AF 40% AM 60%	125.37	152.22	175.11	0.0964	0.36	320	50	22.28	1.02	39.85	1.12	6.34	0.97
	AF 20% AM 80%	125.33	146.71	163.24	0.0960	0.36	320	70	20.22	1.65	39.88	1.96	6.63	0.82
SD - 04 B	AF 0% AM 100%	126.23	145.28	166.11	0.0993	0.36	320	-	22.85	0.62	44.33	0.62	5.31	0.71
	AF 80% AM 20%	130.86	172.84	210.64	0.0966	0.36	320	-	22.66	1.74	46.18	1.61	4.87	0.88
	AF 60% AM 40%	129.09	171.66	202.79	0.0976	0.36	320	-	23.98	1.34	40.25	0.75	6.24	0.69
	AF 40% AM 60%	131.15	183.22	219.20	0.0933	0.36	320	-	26.12	1.06	47.21	0.70	4.63	0.87
	AF 20% AM 80%	129.37	167.87	199.23	0.0989	0.36	320	-	23.51	2.21	43.34	3.31	5.32	1.14
SD - 04 C	AF 0% AM 100%	122.84	133.04	145.61	0.0949	0.36	320	-	20.56	1.12	42.90	1.49	5.63	0.87
	AF 80% AM 20%	130.54	179.06	209.13	0.0963	0.36	320	-	24.89	1.45	44.98	1.74	5.15	0.98
	AF 60% AM 40%	130.17	178.69	209.13	0.0969	0.36	320	-	24.93	1.65	48.60	1.36	4.31	1.13
	AF 40% AM 60%	185.00	193.50	229.20	0.0943	0.36	320	-	28.99	1.23	49.89	1.96	4.23	0.75
	AF 20% AM 80%	130.14	170.50	204.94	0.0948	0.36	320	-	20.36	1.78	43.11	1.87	5.58	0.65

Fonte: Do autor, 2020.