

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO EM PROJETOS DE BARRAGENS

Nubia Gomes Barbosa¹, Lucas Corrêa Caetano², Cleber Decarli de Assis³

¹Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <nubia.barbosa@estudante.ifto.edu.br>

²Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. Bolsista do CNPq. e-mail: lucascorreac10@hotmail.com

³Professor do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. e-mail: decassis@ifto.edu.br

Resumo: A indústria siderúrgica durante o processo de fabricação do aço gera co-produtos que são descartados de forma irregular por não dispor de uma destinação ambientalmente adequada. Como alternativa para o aproveitamento desses materiais, são aplicadas atualmente técnicas de beneficiamento cujo objetivo é produzir agregados reciclados para estruturas de concreto. Os agregados reciclados são mais aplicados em obras de pavimentação rodoviária e para a produção do concreto compactado a rolo, no entanto sua aplicação é indicada também para obras de barragens. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados provenientes da atividade de mineração para a produção do concreto compactado a rolo destinado aos projetos de barragens. Desta forma buscou-se identificar as propriedades dos materiais, bem como avaliar o seu desempenho técnico quando submetido aos ensaios laboratoriais. A partir dos resultados levantados observa-se que a aplicação do resíduo de mineração mostrou-se promissora, apontando melhores desempenhos técnicos em relação ao concreto composto apenas por agregados convencionais.

Palavras-chave: Concreto compactado a rolo. Agregado reciclado. Resíduo de mineração. Projeto de barragens.

1 INTRODUÇÃO

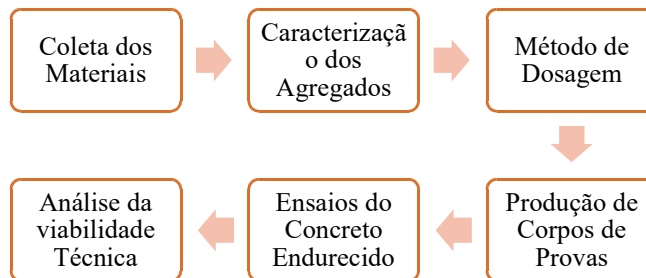
A construção civil é apontada como uma das principais indústrias responsáveis pelo desenvolvimento socioeconômico, entretanto, assume uma considerável parcela referente aos impactos negativos provocados ao meio ambiente, principalmente pelo aspecto da exploração dos recursos naturais. O consumo desses recursos vem aumentando em virtude da utilização dos materiais de construção, voltados à produção de agregados para concreto. As indústrias metalúrgicas e siderúrgicas geram grande quantidade de resíduos durante a produção do aço e das ligas metálicas, impondo a necessidade de alternativas para o gerenciamento ambientalmente adequado desses materiais. A reciclagem dos resíduos para a produção de agregados é indicada para obras de pavimentação asfáltica e para compor o talude de uma barragem, todavia requer desempenho similar aos agregados convencionais, tanto em relação às características físicas como às características mecânicas, as quais são avaliadas por meio de ensaios de caracterização. No projeto de barragem é frequentemente utilizado o concreto compactado a rolo no qual trata-se de um concreto que apresenta na sua composição uma baixa relação a/c e que por meio do processo de compactação mecânica atinge resistência similar aos concretos convencionais, apresentando entretanto como vantagem a rapidez do processo e o menor custo. O objeto de análise desta pesquisa é a utilização da escória de ferroníquel proveniente da atividade de mineração, cuja a finalidade é a substituição parcial do agregado miúdo no concreto compactado a rolo destinado ao projeto de barragem. Diante desse contexto, o trabalho busca

analisar a viabilidade técnica da aplicação do resíduo de mineração na produção do concreto compactado a rolo. Esse estudo será fundamentado através da comparação entre as informações obtidas por meio dos ensaios de caracterização dos agregados reciclados e convencionais, bem como através dos resultados referentes às propriedades físicas e mecânicas do concreto nos estados fresco e endurecido. A pesquisa busca mitigar os impactos ambientais e propor uma alternativa tecnicamente viável, contribuindo para a redução da disposição inadequada desse material.

2 METODOLOGIA

O programa experimental abrange os ensaios laboratoriais referentes à produção do concreto compactado a rolo produzido com agregados reciclados provenientes da atividade de mineração. O estudo foi realizado nas seguintes etapas: Coleta dos materiais, caracterização dos agregados, dosagem e produção dos corpos de provas, ensaios do concreto no estado endurecido e análise técnica da aplicação do resíduo de mineração no concreto compactado a rolo, conforme mostrado na figura abaixo.

Figura 1: Etapas do estudo



Fonte: Autor (2019)

2.1 Coleta dos materiais

Os resíduos de mineração foram coletados no município de Barro Alto, localizado no interior do estado de Goiás. A escória objeto de estudo desse trabalho foi obtida na etapa de redução da produção do minério de níquel.

2.2 Caracterização dos agregados

Essa etapa teve como intuito identificar as características dos agregados para serem avaliadas nas análises técnicas deste trabalho. Os ensaios realizados foram o de granulometria, massa unitária, massa específica, compactação, índice de vazios e absorção de água.

2.3 Método de dosagem

Os procedimentos de dosagem do concreto compactado a rolo foram fundamentados no método de Recena (2011). Este método consiste em identificar o teor ótimo de água e cimento para posteriormente indicar a relação a/c da mistura.

2.4 Produção dos corpos de provas

A amostra foi composta por 80 corpos de provas destinados à realização dos ensaios para o concreto no estado endurecido. A tabela a seguir indica a quantidade de corpos de provas produzidos, bem como os ensaios a serem realizados para cada traço.

Tabela 1 - Quantidade de corpos de provas para os ensaios do concreto no estado endurecido

| Traço nº | % AM R | Quantidade de Corpos de Prova para os Ensaios do Concreto no Estado Endurecido (un) | | | | | Total de Cps (un) |
|--------------------|--------------|--|--------|---------------------------------|--|--------|-------------------------|
| | | Compressão | Tração | Absorção por Capilaridade | Absorção por Imersão, Índice de vazios e massa específica | Fadiga | |
| 1 | 0% | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 20 |
| 2 | 20% | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 20 |
| 3 | 40% | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 20 |
| 4 | 60% | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 20 |
| Total Geral | | | | | | | 80 |

Fonte: Autor (2019)

2.5 Ensaios do concreto endurecido

Os ensaios do concreto no estado endurecido foram iniciados após o intervalo de 28 dias de cura. Os ensaios realizados foram: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água por imersão de concreto, massa específica, absorção de água por capilaridade, desgaste e índice de vazios.

2.6 Análise da viabilidade técnica

A viabilidade técnica foi determinada através da comparação entre as propriedades identificadas nas etapas de caracterização dos agregados e por meio dos resultados obtidos para o concreto no estado endurecido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Composição dos resíduos coletados

O resíduo de mineração foi obtido através da redução do ferroníquel. Este material possui na sua composição altos teores de sílica, magnésio e ferro e apresenta poucas concentrações de níquel.

A caracterização química do resíduo de mineração de ferroníquel utilizado neste trabalho foi feita por BRANDT (1997), no qual realizou estudos referentes à lixiviação e a solubilização da amostra bruta. Diante dos resultados obtidos é possível inferir a presença de materiais tóxicos/perigosos na sua composição, no entanto esses valores são inferiores aos limites estabelecidos na NBR 10004/2004. Além disso, aponta-se que o material não é passível aos processos de lixiviação e solubilização.

3.2 Caracterização dos agregados

Os resultados obtidos na etapa de caracterização dos agregados estão contidos na tabela abaixo.

Tabela 2: Caracterização dos agregados

| Ensaio | | un | Agregado Convencional | Mineração |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------|
| Granulometria | Módulo de finura | - | 2 | 3,34 |
| | Dimensão máxima | mm | 4,75 | 4,75 |
| Massa Unitária | Estado Solto | g/cm ³ | 1,6 | 1,47 |
| | Estado compactado | g/cm ³ | 1,66 | 1,58 |
| Massa específica | | g/cm ³ | 2,66 | 2,98 |
| Índice de vazios | Estado Solto | % | 40,02 | 50,64 |
| | Estado compactado | % | 37,53 | 46,85 |
| Absorção de água | - | % | 7,6 | 1,3 |
| Compactação | Umidade ótima | % | - | 13,58 |
| | Massa específica | g/cm ³ | - | 1,812 |

Fonte: Autor (2019)

Com base nos resultados mostrados na tabela acima percebe-se que os agregados reciclados apresentam resultados similares aos agregados convencionais.

3.3 Dosagem

Após a caracterização dos materiais foi realizada a dosagem do concreto compactado a rolo. Este procedimento foi executado em etapas, adotando-se inicialmente um traço unitário de 1:5 (1 kg de cimento para 5kg de agregados). O procedimento consistiu em produzir corpos de provas variando o teor de água e posteriormente o teor de cimento.

3.4 Produção dos corpos de provas

O traço de referência foi determinado conforme o método de dosagem apresentado anteriormente. A tabela 3 apresenta os traços unitários e os traços em massas utilizadas na produção do concreto.

Tabela 3: Traços dos corpos de provas

| Traço n° | a/c (inicial) | Traços unitários | | | % *AMR | Traços em massa | | |
|----------|---------------|------------------|------|------|--------|-----------------|-----------------|---------------|
| | | m | a | p | | Areia natural | Areia reciclada | Brita natural |
| | | | | | | (kg) | (kg) | (kg) |
| 1 | 0,29 | 3,67 | 1,49 | 2,18 | 0 | 47 | 0 | 69 |
| 2 | 0,29 | 3,67 | 1,49 | 2,18 | 20 | 32,05 | 7,9 | 58,72 |
| 3 | 0,29 | 3,67 | 1,46 | 2,18 | 40 | 25,43 | 16,95 | 63,57 |
| 4 | 0,29 | 3,67 | 1,46 | 2,18 | 60 | 16,95 | 25,43 | 63,57 |

*AMR: Percentual de agregado miúdo reciclado

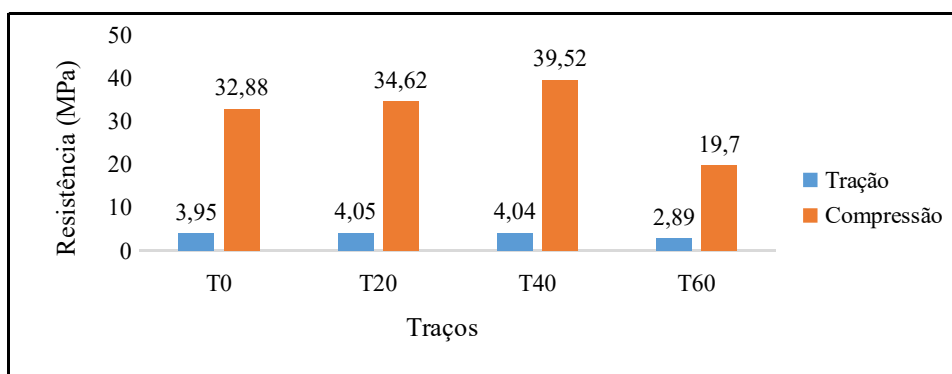
Fonte: Autor (2019)

Na tabela acima estão apresentados os traços unitários da produção do concreto compactado a rolo, em que “a” representa o traço unitário dos agregados miúdos, “p” dos agregados graúdos e “m” o somatório dos traços unitários dos agregados. O traço unitário foi obtido a partir da relação entre a massa dos agregados e a massa de cimento.

3.5 Resistência a tração e compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado conforme as determinações da NBR 5739 (ABNT, 1994) e o de tração através da NBR 7222 (ABNT, 1994). Após a obtenção da resistência média, foi aplicada uma análise estatística cujo objetivo foi obter um intervalo de confiança de 95% dos dados analisados. Para isso foi aplicado a distribuição t de student, e após identificado o intervalo de confiança foi realizada a média entre os valores contidos no intervalo. Os valores determinados após a análise estatística estão mostrados no gráfico 1.

Gráfico 1: Resistência a compressão e a tração do concreto compactado a rolo



*Obs: T0 é traço 1, T20 é o traço 2, T40 é o traço 3 e T60 é o traço 4

Fonte: Autor (2019)

Com base no gráfico acima nota-se que a substituição parcial do agregado miúdo

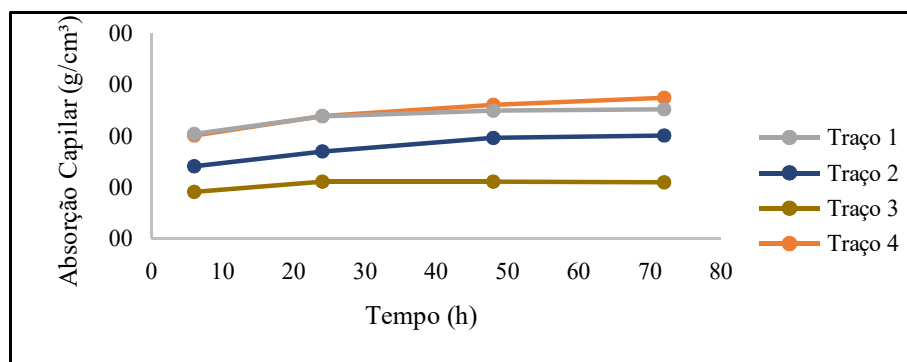
convencional se mostrou favorável ao concreto compactado a rolo no ensaio de compressão axial, exceto para o traço 4. Em relação ao traço 1 houve um aumento de 5,3% para o traço 2 e 20,2% para o traço 3. No entanto, o traço 4 apresentou uma redução de 40% na resistência à compressão axial. Além disso é possível inferir que a substituição de 40% do agregado convencional por agregado de mineração apresentou o melhor desempenho em relação à resistência a compressão axial. Com isso, percebe-se que substituições acima de 60% são desfavoráveis à resistência do concreto.

Percebe-se ainda que nos traços 1, 2 e 3 que a substituição parcial do agregado convencional pelo agregado reciclado não interfere de forma significativa na resistência a tração. Em relação ao traço 1 houve um aumento de apenas 2,5% para o traço 2 e de 2,3% para o traço 3. No entanto, nota-se que houve uma redução significativa na resistência a tração para o traço 4, apresentando uma redução de 26,8% em relação ao traço 1. Diante disso, infere-se que a substituição de 60% de agregado convencional por agregado reciclado da mineração compromete a resistência a tração do concreto.

3.6 Absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade seguiu os procedimentos da NBR 9779 (ABNT, 2012). O ensaio consistiu na aferição da absorção capilar dos corpos de provas nos intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Esses dados estão representados no gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2: Absorção por capilaridade



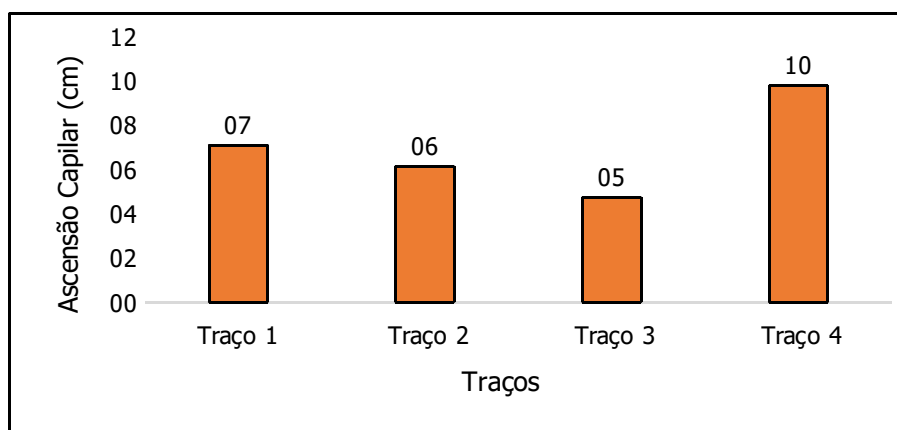
Fonte: Autor (2019)

Nota-se que os traços 1 e 4 indicaram os maiores valores de absorção capilar. Após as 72h o traço 1 apresentou uma absorção capilar de 0,25 g/cm³, enquanto que o traço 4 apontou o valor de 0,27 g/cm³. O traço 2 indicou um resultado intermediário dentre os corpos de provas analisados, com o valor de absorção de 0,20 g/cm³, enquanto que o traço 3 mostrou o menor valor de absorção de 0,11 g/cm³, apresentando assim o resultado mais favorável da análise. É possível inferir ainda que a variação de absorção capilar entre os períodos de 3h e 72h foram de 25% para o traço 1, 42% para o traço 3, 22% para o traço 3 e 35% para o traço 4.

Após o intervalo de tempo de 72h os corpos de provas foram submetidos ao ensaio de tração

por compressão diametral, para que pudessem ser aferidas as profundidades de ascensão capilar. Os resultados obtidos estão mostrados no gráfico 3 e esses dados confirmam os resultados apresentados no ensaio de absorção por capilaridade.

Gráfico 3: Ascensão capilar

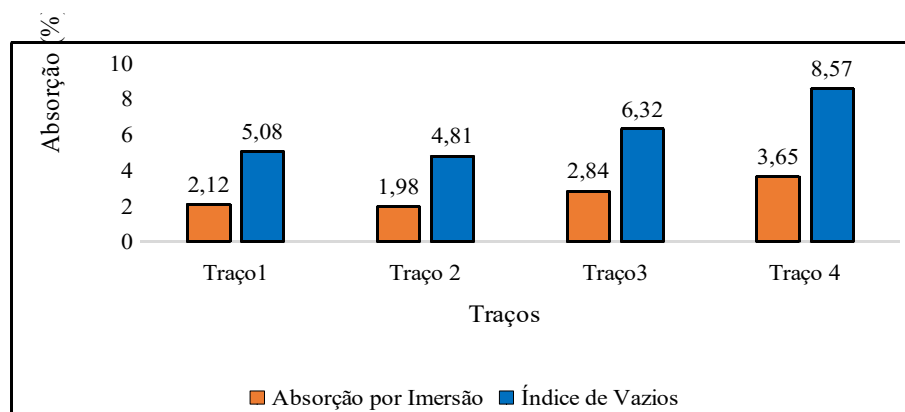


Fonte: Autor (2019)

3.7 Absorção por imersão

O gráfico 4 apresenta os valores obtidos para as taxas de absorção por imersão e índices de vazios, conforme determinado na NBR 9778 (ABNT, 2005).

Gráfico 4: Absorção de água



Fonte: Autor (2019)

É possível observar no gráfico x que os traços 3 e 4 apresentaram maiores valores de absorção por imersão e índice de vazios. Em relação ao traço 1, o traço 3 apontou um aumento de 34% na absorção por imersão e 24% no índice de vazios, enquanto que o traço 4 indicou um aumento de 72% na absorção por imersão e 69% no índice de vazios. Para o traço 2 houve uma redução em relação ao traço 1 de 6% para a absorção por imersão e 5% para o índice de vazios.

3.8 Outros Resultados

Após o período de 28 dias de cura por imersão em água, o traço 4, que contém o teor de 60% de agregados de mineração, apresentou externamente patologias de origem química. Esse fato está possivelmente associado às interações químicas existentes entre o agregado reciclado e os demais materiais constituintes do concreto compactado a rolo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das informações obtidas infere-se que a incorporação de 40% do agregado de mineração promoveu o melhor desempenho para o concreto. Com base nos resultados levantados ele apresentou a maior resistência à compressão axial, menor taxa de absorção por capilaridade, boa resistência à tração por compressão diametral, taxas relativamente baixas para absorção por imersão e índice de vazios.

A substituição de 60% do agregado convencional por agregado reciclado mostrou-se inviável, por indicar reduções significativas na resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e quando submetido à fadiga. Além disso, ele apresentou maiores percentuais de absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios. Contudo, nota-se ainda que o elevado teor de agregado reciclado promoveu também reações químicas que resultaram em patologias no concreto.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios**. Rio de Janeiro. 2006. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente**. Rio de Janeiro. 2009. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone**. Rio de Janeiro. 1998. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016. 9p.