

Riquezas da Nossa Terra: Desenvolvimento Social Pela Aplicação de Resíduos Industriais de Garimpos na Produção de Concretos

Tuani Zat ^a, Fernanda de Marco ^b, William Widmar Cadore ^c

^a *Graduanda em Engenharia Civil na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus de Frederico Westphalen.*

^b *Graduanda em Engenharia Civil na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus de Frederico Westphalen.*

^c *Professor e mestre da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus de Frederico Westphalen.*

e-mails: tuanizat@hotmail.com, fernanda_demarco@hotmail.com, william@uri.edu.br

Resumo

A região do Médio Alto Uruguai é caracterizada pela presença da extração de pedras preciosas, a forma como as pedras ametistas são retiradas por galerias horizontais, é responsável pela geração de uma grande quantidade de um resíduo composto por um metabasalto com características únicas. O objetivo deste estudo é a viabilização do uso do rejeito da extração de pedras ametistas como substituto do agregado graúdo em concretos, bem como o estudo da sua durabilidade. É nessa seara que o trabalho tem como premissa a utilização na produção de concretos, na qual foram realizadas misturas que viram o melhor desempenho aliado com a durabilidade. Os métodos aplicados compreenderam dois tipos de misturas, com três relações água/aglomerante, uma como com 100% de material convencional e outra com total substituição da brita basáltica pela pedra de origem de resíduo da exploração da pedra ametista. Ensaios de resistência à compressão axial atestam a viabilidade técnica do material para misturas intermediárias com relação a/c próxima de 0,5 a 0,6. Já para a durabilidade, os resultados indicam que as menores profundidades carbonatadas são na ordem de 30 mm, dentro dos aspectos de segurança e durabilidade das normas vigente brasileiras, atestando o potencial de uso do material.

Palavras Chave – *Pedra Ametista, Desenvolvimento Regional, Rejeitos Industriais, Concreto, Durabilidade.*

1. Introdução

A região do Médio Alto Uruguai, principalmente a cidade de Ametista do Sul, se tornou conhecida devido a extração de pedras preciosas por meio da atividade garimpeira. Atualmente toda a região está envolvida com o garimpo. Essa atividade é responsável por parte considerável da economia da região sendo que há previsão de expansão da mesma já que toda a formação geológica local favorece à formação de pedras preciosas.

Os garimpos dessa região são caracterizados pela extração do minério em galerias horizontais abertas na rocha inalterada. Na extração do mineral, surge uma grande quantidade de rejeito composto por duas variedades de rochas que são lançadas há cerca de 70 anos em depósitos localizados nas encostas dos morros, normalmente logo abaixo dos garimpos, ocupando espaços que poderiam gerar renda para a população se utilizados para a agricultura, reflorestamento ou pecuária, por exemplo.

O principal fator que favorece o acúmulo dos resíduos é de que a pedra ametista ainda é explorada na forma de garimpos sem a adoção de novas tecnologias de pesquisa mineral. Isso ocorre por três motivos principais: garimpeiros com baixo grau de instrução e de origem ainda da agricultura, projetos de fomento ao aproveitamento completo dos recursos naturais e pela falta de uma indústria forte de beneficiamento que possa gerar produtos com alto valor agregado. O desenvolvimento de novas tecnologias em relação aos rejeitos de ametista constitui, portanto, um processo de inovação e modernização tecnológica no desenvolvimento da mineração de ametista na região do Alto Uruguai.

A pesquisa emerge da necessidade de buscar alternativas viáveis para a utilização dos rejeitos produzidos pela extração de ametista e da tentativa de melhoria e desenvolvimento desse processo que envolve toda uma região. Devido à sua origem basáltica e quimicamente inerte, acredita-se que uma alternativa viável seria a utilização desse rejeito adicionado ao concreto, em substituição do agregado graúdo, sendo que essa possibilidade viria com o intuito de ajudar a diminuir a grande quantidade de resíduo armazenado em todos os garimpos e também com intuito de aumentar a renda com a venda da pedra britada ou mesmo do concreto já usinado.

Atualmente o concreto é um material que tem seu processo de produção e utilização amplamente disseminado em todo o mundo, a facilidade de utilização do mesmo em praticamente todas as áreas de construção proporcionou essa popularidade desde a sua descoberta. Segundo [6] o concreto é o material estrutural mais utilizado pelo ser humano, chegando a uma tonelada/ano por pessoa, sendo que, segundo [4] o único material consumido em maior quantidade é a água, o que demonstra a grande possibilidade de o concreto ser um receptor de outros materiais, muitas vezes considerados como lixo de outras indústrias, mas que na verdade abrigam um grande potencial, o que acreditamos que seja o caso do resíduo de pedra ametista, que foi descartado desde o início do garimpo na região.

O presente estudo abordará a análise da resistência de concretos produzidos com resíduo da extração de pedra ametista, comparados com um concreto convencional como um parâmetro de desempenho. Abordará também o ensaio de carbonatação natural como parâmetro que possibilita estimar a durabilidade dos concretos estudados.

1 Objetivos

1.1 Objetivo geral

- Estudar a durabilidade de concretos com substituição do agregado graúdo pelo agregado de origem do resíduo gerado pela extração da pedra ametista.

1.2 Objetivos específicos

- Pesquisar a viabilidade técnica do emprego dos resíduos da mineração da pedra ametista em concretos.
- Analisar o fenômeno da carbonatação natural em concretos expostos à cura ambiental.

2 Metodologia

Foram moldados três tipos de misturas para a produção dos concretos, com três relações água/aglomerante resultando em seis padrões de amostra. Uma foi considerada amostra padrão ou de referência e contou com as relações água/aglomerante de 0,4, 0,5 e 0,6 recebendo uma nomenclatura da seguinte forma: RE4, RE5 e RE6. A outra amostra, a ser comparada, teve a

substituição da brita pela pedra de origem de resíduo da exploração da pedra ametista também nas relações água/aglomerante de 0,4, 0,5 e 0,6 que recebeu a nomenclatura RR4, RR5 e RR6.

Os materiais utilizados na produção dos concretos foram:

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, CPV ARI;
- Areia natural lavada, com $D_{máx} = 4,8$ mm;
- Pedra britada com $D_{máx} = 19$ mm, de rocha diabásica;
- Pedra de origem residual do garimpo britada com $D_{máx} = 19$ mm.

Para a produção dos concretos foi seguida a seguinte ordem de ações: colocar a brita e a água na betoneira, bater por meio minuto, colocar o cimento, bater por dois minutos, colocar a areia e por fim bater por mais 3 minutos. Após a mistura foi realizado ensaio de abatimento de cone (Slump Test).

Para a dosagem dos concretos foram utilizados os traços:

- Traço 1: RE4 – 1:1,377; 2,194; 0,40
- Traço 2: RE5 – 1:1,955; 2,664; 0,50
- Traço 3: RE6 – 1:2,533; 3,133; 0,60
- Traço 4: RR4 – 1:1,377; 2,194; 0,40
- Traço 5: RR5 – 1:1,955; 2,664; 0,50
- Traço 6: RR6 – 1:2,533; 3,133; 0,60

Foram adotadas as idades de 3, 7, 28, 91, 182 e 364 dias para os ensaios de resistência à compressão axial e de 28, 91, 182 e 364 dias para o ensaio de carbonatação natural. Todos corpos de prova ficaram em cura úmida durante 7 dias com o objetivo de controlar o calor de hidratação do cimento, após essa idade, os corpos de prova destinados ao ensaio de carbonatação natural ficaram expostos ao ambiente sendo revolvidos toda semana. Os corpos de prova destinado ao ensaio de resistência a compressão axial permaneceram em cura úmida até a data do ensaio.

O ensaio de resistência a compressão axial foi realizado de acordo com a norma [1], já o ensaio de carbonatação natural, que não possui uma norma específica no Brasil, foi realizado da seguinte forma: corpos de prova submetidos a compressão diametral divididos em duas faces, as mesmas são medidas e identificadas, após é aspergido uma solução de fenolftaleína nas faces internas do corpo de prova. A solução é composta por 30g de álcool etílico absoluto, 70g de água destilada e 1g de fenolftaleína em pó. Após cerca de 20 minutos da aspersão são obtidas imagens de cada face, que são inseridas em softwares da plataforma CAD para leitura da profundidade carbonatada.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 A extração de Pedra Ametista na Região do Médio Alto Uruguai e o Seu Papel Social

Em visitas realizadas aos garimpos, inúmeras conversas debateram sobre quais fatores contribuíram para o desenvolvimento da situação atual, caracterizada por ser uma pequena área do Rio Grande do Sul onde a atividade garimpeira é destaque na economia e no momento passa por dificuldades ambientais, econômicas e sociais mas que busca manter a sua cultura e segurança da maioria dos seus trabalhadores. Abordando um contexto mais histórico sobre o desenvolvimento do garimpo na região podemos responder à alguns desses questionamentos.

A colonização da região se deu quando agricultores em busca de solos melhores para o cultivo se deslocaram até a região noroeste do Rio Grande do Sul, por volta de 1940, e logo encontraram pedras ametistas e ágatas sob as raízes de árvores, perto dos rios e nas áreas preparadas para plantio. A curiosidade despertou os agricultores, que sem experiência nenhuma em mineração passaram a cavar buracos no solo em busca dos geodos de pedra preciosa.

A atividade rendeu alguns frutos e pouco a pouco perceberam que os geodos estavam sempre à uma mesma profundidade, muitos que antes eram agricultores passaram a se dedicar à busca por pedras preciosas. Em 1970 empresas especializadas em garimpo passaram a se instalar na região com o objetivo de mecanizar a retirada e explorar áreas maiores da região. A forma de extração se desenvolveu e passou de simples buracos para a abertura de grandes galerias horizontais nas encostas dos morros.

A forma como a colonização e desenvolvimento da mineração se deu influenciou na formação da cultura local, que é desenvolvida a partir da atividade garimpeira, envolvendo desde mudança de profissão de muitas pessoas que deixaram a agricultura para apostar no garimpo até aqueles que beneficiam e comercializam as pedras. Artesãos se dedicam a transformar a pedra ametista em arte, uma breve visita ao comércio local é suficiente para encontrar uma infinidade de artefatos que são construídos a partir da mesma, apesar disso, ainda é mais lucrativo a exportação da pedra ainda bruta. É notável o contraste com muitas cidades vizinhas onde a agricultura ou comércio são a atividade principal.

A gestão dos garimpos é realizada pela Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai Ltda (COOGAMAI) que possui uma área de abrangência de 15.313 hectares, inseridos nos limites municipais de Ametista do Sul, Planalto, Cristal do Sul, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Iraí, Trindade do Sul e Gramados Loureiro, sendo que os mesmos estão em ordem decrescente de produção.

A presente pesquisa delimita-se justamente nesta área, que abrange os cerca de 500 garimpos, 200 em atividade, que são responsáveis pela produção do resíduo industrial do garimpo da pedra ametista, aqui objeto de estudo. Essa forma de extração gera atualmente, segundo a COOGAMAI, 42.600 m³ de resíduos ao mês na região de abrangência da cooperativa, sendo 25.500 m³ ao mês somente na cidade de Ametista do Sul.

Considerando a influência da atividade na economia, Ametista do Sul é uma das cidades mais dependentes, tendo cerca de 75% da sua economia resultante do garimpo. Apesar de menos expressivo as demais cidades também são bastante impactadas quando as vendas de pedras preciosas não vão bem, por exemplo.

Com a perfuração das galerias passou a ser produzida uma grande quantidade de resíduo provinda das detonações realizadas, como esse resíduo precisava ser retirado de dentro das galerias para facilitar a extração das pedras preciosas, passou a ser depositado na encosta dos próprios morros como podemos observar na Figura 1.

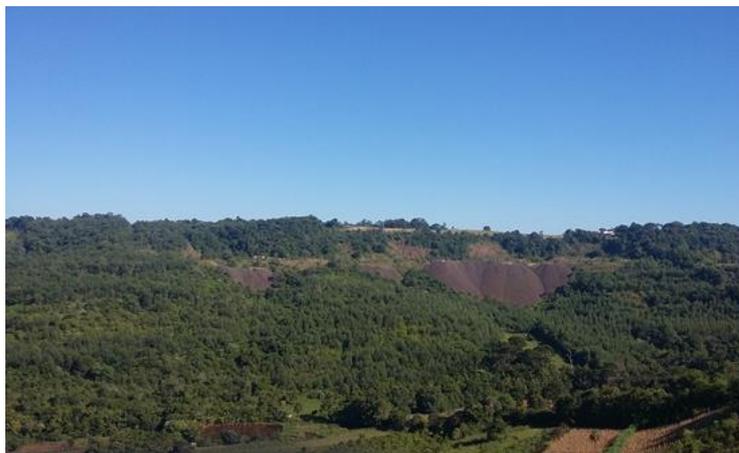


Fig 1 – Disposição de resíduos nas encostas.

Hoje contamos com mais de 40 anos de disposição inadequada de rejeito formado por metabasalto, o volume já é imenso e passou a ser prejudicial ambientalmente e economicamente

para toda a região mineradora. Por esse motivo, tanto a COOGAMAI quando empresários locais realizam e apoiam pesquisas que discutem uma finalidade adequada e rentável para esse resíduo. O grande volume de resíduos ocupa áreas que claramente poderiam ser utilizadas em outras atividades, como a agricultura ou pecuária, deixando assim de gerar renda para a população, bem como acabou tomando áreas de mata nativa, prejudicando o meio ambiente e alterando a topografia local.

Além disso, no ano de 2017 aconteceu a publicação de um Termo de Ajuste de Conduta (TAC), a ser administrado pelo Ministério Público, determinando que os garimpos de extração de ametista precisam apresentar uma solução viável para disposição ou utilização dos resíduos produzidos, que como citado acima, somam cerca de 42.600 m³ de material por mês, uma quantidade bastante significativa. Se essa solução não for apresentada em um tempo pré-determinado, as atividades garimpeiras serão impedidas no local. Se essa atitude extrema acontecer, haveria um crush na economia da maioria das cidades citadas, criando quadros extremos de desemprego e baixa renda.

A partir desse momento, muitas forças se concentram na busca por uma utilização viável do resíduo da extração de pedra ametista, sendo que já acontecem pesquisas que buscam a sua utilização na pavimentação, para correção do solo, na produção de artefatos de cimento (paver) e como substituto de agregados graúdo e miúdo em concretos e argamassas.

A questão é que, apesar de ter sido tratado apenas como um rejeito durante todos esses anos, o resíduo de extração de pedra ametista apresenta um grande potencial de utilização, principalmente por tratar-se de um rejeito inerte, e portanto se comportar bem quando inserido em outros materiais como o concreto.

Devido aos inúmeros motivos citados aqui, destacamos a importância de pesquisas que buscam viabilizar a utilização do resíduo e que comprovem isso através de resultados, dando segurança para os garimpeiros se posicionarem diante do Ministério Público contra o fechamento de seus garimpos, mantendo a economia das cidades e evitando a criação de diversos problemas sociais passíveis de surgir a partir do desemprego, como a fome, saúde de má qualidade, baixa escolaridade entre outros.

3.2 Carbonatação Natural em Concretos

O ensaio de carbonatação pode ser definido como um ensaio de avaliação de desempenho de estruturas de concreto, como afirmam [9] ensaios de desempenho são responsáveis por avaliar o comportamento de um concreto que esteja sob a ação de um agente agressor, sendo que esses ensaios permitem a classificação dos concretos de acordo com a sua resistência quando submetidos a uma agressão predeterminada.

A carbonatação provoca no concreto uma diminuição do pH e alteração da porosidade, mudando o volume dos seus poros devido as reações químicas que ocorrem. Desta forma, quando as reações de carbonatação chegam ao nível da armadura provocam a sua corrosão, causando assim efeitos irreversíveis a estrutura de concreto armado.

A deterioração se dá em duas etapas; na primeira fase, chamada de iniciação, o aço é protegido inicialmente pela elevada alcalinidade da solução intersticial existente no interior do concreto, já que se forma sobre ele uma fina camada passiva de óxidos protetores. A carbonatação do concreto, que diminui o pH, e/ou a quantidade suficiente de cloretos podem destruir essa passividade, dando início, assim, à segunda etapa do processo, chamada de propagação da corrosão. A presença de oxigênio e, em especial, da umidade do ambiente controlam a velocidade de corrosão. A propagação da corrosão conduz progressivamente a formação de fissuras e ao destacamento do concreto de cobrimento. [9]

A carbonatação é caracterizada por ser um processo de difusão e conforme o modelo adotado por [11], a profundidade é o produto do coeficiente de carbonatação pela raiz quadrada do tempo, conforme apresentado na Equação 1.

$$e_c = k\sqrt{t} \quad (1)$$

A alteração do pH pode ser verificada em ensaio, com a aspensão de fenolftaleína sobre o concreto, sendo que a coloração adquirida pelo concreto é classificada de acordo com a Figura 2.

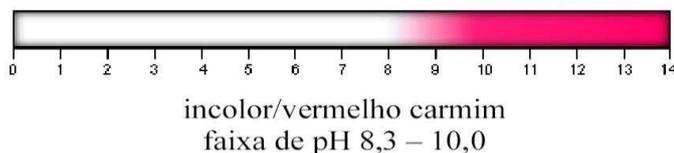


Fig. 2 - Distribuição da coloração de acordo com o pH.
Fonte: [3]

Vários fatores podem favorecer com que a carbonatação aconteça de forma mais ou menos rápida, dentre estes fatores está a concentração de gás carbônico no ambiente, a umidade relativa do ar, a porosidade do concreto, a qualidade e espessura da camada de cobrimento entre outros.

[5] afirma que altera significativamente a concentração de CO₂ ao comparar ambientes abertos e fechados, sendo a taxa de carbonatação de ambientes abertos menores que do fechado devido a constante renovação do ar úmido. Afirma ainda que a taxa de concentração de CO₂ no ar pode variar de 0,03 a 0,05% para atmosferas rurais, de 0,30% para grandes cidades, de 0,10 a 1,20% para tráfego pesado, assim como laboratórios não ventilados e garagens, cujos valores podem chegar até 0,10% e 1,80% respectivamente.

[10], também afirmam que concretos armazenados em ambiente de laboratório, com UR 65% e temperatura de 20°C, apresentam carbonatação com maior velocidade do que os expostos ao ar livre (protegidos da chuva), com redução de aproximadamente 40% da profundidade carbonatada, ou seja, em ambiente laboratorial, as condições são mais adversas.

3.3 Resistência à Compressão Axial

A resistência foi a primeira característica do concreto a ser analisada historicamente, já que a mesma era bastante associada a durabilidade do concreto em épocas onde o conhecimento era mais empírico do que propriamente científico. O ensaio de compressão axial surgiu então para atender a necessidade de medição da resistência do concreto e outros materiais.

Segundo [7] “a resistência de um material é definida como a capacidade de resistir a tensão sem se romper. A resistência é um fator utilizado como parâmetro pelas normas e pela maioria dos projetistas, justamente por estar ligada e dependente de características como a qualidade da microestrutura, a porosidade e a relação água/cimento do concreto, de forma que, em muitas vezes, um concreto com boa resistência também será um concreto de qualidade, no entanto, isso não é um padrão. Há casos onde a resistência da obra é atingida e outras características apresentam desempenho abaixo do esperado para o ambiente e obra em questão.

“Considera-se que a resistência do concreto em uma determinada idade e submetido à cura úmida a uma temperatura especificada depende principalmente apenas de dois fatores: a relação água/cimento e o grau de adensamento.” [8]

A relação entre a resistência do concreto e a relação água/cimento é sempre em proporções inversas, quanto maior a relação água/cimento, menor a resistência do material. Isso deve-se principalmente à influência que este fator tem sobre a porosidade do concreto, sendo que esta também pode ser influenciada pelo método e qualidade de adensamento da peça.

A resistência pode ser influenciada por diversos fatores, tais como descontinuidades, falhas, porosidade e a microfissuração, sendo que a mesma pode ocorrer antes mesmo de o concreto ter forças aplicadas sobre si. No entanto, valores como a quantidade de vazios da mistura são difíceis de serem quantificados, por isso recorre-se a outros fatores, a partir dos quais podemos obter mais facilmente a sua influência sobre a resistência do concreto.

4 Resultados E Discussões

O ensaio de resistência à compressão axial realizado tem o objetivo de demonstrar o comportamento dos concretos com adição de resíduo, funcionando como padrão de desempenho para podermos avaliar limitações de utilização do material. Já o ensaio de Carbonatação permite que seja realizada a previsão de durabilidade do material e compara-la com um concreto de brita natural para determinar se há perdas ou ganhos em termos de vida útil.

5.1 Resistência à compressão axial

A resistência a compressão axial é normalmente considerada o fator mais importante quando se fala em concreto, apesar de existirem muito outros fatores com a mesma relevância, a resistência está diretamente ligada à microestrutura do concreto e portanto influência de forma significativa o seu desempenho e a sua durabilidade. Os resultados obtidos para os traços que são aqui objetos de estudo estão apresentados a seguir.

Tabela 1 – Resultados de resistência à compressão axial.

| Dias | Resistência à compressão axial (MPa) | | | | | |
|------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | R4 | A4 | R5 | A5 | R6 | A6 |
| 3 | 35,64 | 15,94 | 22,20 | 32,57 | 12,44 | 12,36 |
| 7 | 43,38 | 24,30 | 28,50 | 36,70 | 19,68 | 15,52 |
| 28 | 61,56 | 29,08 | 41,50 | 46,19 | 32,27 | 26,20 |
| 91 | 66,37 | 35,89 | 42,30 | 54,24 | 40,20 | 33,90 |
| 182 | 75,56 | 41,51 | 48,76 | 55,40 | 44,86 | 35,10 |
| 364 | 82,11 | 41,92 | 53,31 | 60,93 | 51,20 | 40,70 |

Nos resultados é possível observar que aos vinte e oito dias todos os concretos ultrapassam os 25 MPa, resultados satisfatórios para a utilização dos mesmos como concreto estrutural, já que a [2] estabelece 20 MPa como a resistência mínima para a utilização. Aos 364 dias as resistências mantem o crescimento e ultrapassam os 40 MPa.

Ao compararmos os concretos de referência com os concretos com substituição, podemos observar que os traços com relação a/c 0,4 tivemos resultados 95% maiores para o concreto referência, entre os traços com relação a/c 0,5 houve uma inversão nos resultados, onde o concreto de resíduo apresentou-se 14% mais resistente, e nos traços com relação a/c 0,6 o concreto com rejeito decaiu novamente, estando 25% abaixo do concreto referência.

5.2 Carbonatação Natural

Na cura ambiental em estruturas cobertas, adotado como metodologia deste estudo, tem-se a predominância de fatores ambientais mais controlados, como umidade e variações climáticas, comparado com exposição ao ar livre. Sob estas condições foram obtidos os valores da profundidade carbonatada (e_c) e coeficiente de carbonatação (K_c), apresentados na Tabela 2. Para os traços com relação água cimento 0,4, não foi identificado carbonatação até os 364 dias.

Tabela 2 - Profundidades médias carbonatadas (PC) e Coeficientes de Carbonatação (K_c).

| Traço | R5 | | R6 | | A5 | | A6 | |
|---|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| Consumo de cimento (Kg/m^3) | 404,7 | | 338,9 | | 389,7 | | 326,6 | |
| Dias | e_c (mm) | K_c^* |
| 28 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 91 | 1,25 | 2,49 | 2,13 | 4,27 | 1,84 | 3,68 | 1,8 | 3,61 |
| 182 | 1,28 | 1,81 | 2,43 | 3,44 | 1,88 | 2,66 | 2,02 | 2,85 |
| 364 | 1,34 | 1,34 | 5,39 | 5,39 | 2,24 | 2,24 | 4,09 | 4,09 |

* ($mm/ano^{0,5}$)

As profundidades carbonatadas encontradas seguem um padrão esperado, sendo maiores para traços com relação a/c maiores. Enquanto os traços 0,5 estão entre 1 e 3 mm, os traços 0,6 estão entre 4 e 6 mm de carbonatação já no primeiro ano, sendo que os traços 0,4 ainda não apresentaram sinais de carbonatação demonstrando uma resistência ao processo maior que os demais.

Avaliando os coeficientes de carbonatação dos mesmos, para os traços 0,5 temos um decréscimo, como esperado. Já os traços 0,6 apresentam uma descontinuidade, decrescem e depois voltam a aumentar, fato que pode ser explicado pela sazonalidade, já que a carbonatação é favorecida por valores ideais de umidade, cerca de 65%, e os ensaios dos traços 0,6 na idade de 182 dias foram realizados justamente nos meses mais secos do ano.

Comparando o traço referência com o concreto de resíduo, podemos observar que entre os traços 0,5, o concreto com rejeito possui um K_c 65% maior, e entre os traços 0,6 o K_c do concreto com rejeito apresenta-se 32% menor que o K_c do concreto referência, representando uma menor evolução da carbonatação no mesmo.

A partir dos valores de coeficiente de carbonatação encontrados, para obter um valor mais próximo da durabilidade real do concreto, foi estimada a idade em que os traços chegariam à 30 mm de carbonatação, tendo sido encontrados os valores apresentado na Tabela 3. O valor de 30 mm foi empregado já que, de acordo com com a [2], para a classe de agressividade II, esse seria o cobrimento de armadura necessário, sendo que quando o processo de carbonatação ultrapassasse essa camada, chegaria na armadura causando a despassivação.

Tabela 3 - Estimativa de profundidade carbonatada para 30mm.

| Traço | Profundidade Carbonatada em 50 anos (mm) | | | |
|-----------------------------|---|------------|------------|------------|
| | RE5 | RE6 | RR5 | RR6 |
| e_c 91 | 145,2 | 49,4 | 66,5 | 69,1 |
| e_c 182 | 274,7 | 76,1 | 127,2 | 110,8 |
| e_c 364 | 501,2 | 31,0 | 179,4 | 53,8 |

O traço RE6 apresenta resultados abaixo do esperado para uma durabilidade mínima das

estruturas de 50 anos, onde com os resultados de 91 dias ele chegaria aos 30 mm de profundidade aos 49,4 anos, e com os resultados de 364 dias ele chegaria aos 30 mm de profundidade aos 31,0 anos, sendo estes valores muito abaixo do esperado para uma estrutura, tornando praticamente inviável a utilização deste traço.

O Traço RR6, com valores de 364 dias, apresenta uma estimativa de 53,8 anos para atingir a carbonatação máxima, sendo este um valor também preocupante de forma que deve-se ter cuidado na sua utilização como concreto estrutural.

Com um viés extremamente contrário temos os traços RE5 e RR5 que apresentam estimativa com resultados de 364 dias, para chegada aos 30 mm de carbonatação aos 501 e 179 anos, respectivamente. Sendo estes valores extremamente satisfatórios e que contribuem para o aumento da durabilidade dessas estruturas. Podemos observar portanto que a contribuição da relação a/c na durabilidade das estruturas é de extrema relevância, considerando que uma mudança de 0,1 neste fator gera resultados de eficiência contra a penetração de agentes agressores notavelmente diferentes.

5 Considerações Finais

A responsabilidade social da indústria da construção civil é visivelmente muito importante para manter a base da nossa sociedade. Além de ser responsável por impulsionar a economia e pela geração de milhares de empregos em todo o país a construção civil possui a habilidade de absorver resíduos gerados por diversas outras indústrias e que são descartados muitas vezes em locais indevidos ou sem haver a real utilização do seu potencial. O concreto, por exemplo, é um material que costuma aceitar a inserção de novos materiais em sua mistura, mudando suas características claro, mas muitas vezes de forma positiva.

A região Noroeste do Rio Grande do Sul é caracterizada pela extração de pedras preciosas, sendo parte da sua economia a atividade de retirada e comércio principalmente de pedras ametistas. Cidades como Ametista do Sul tem grande parte da sua economia dependente da extração, bem como é responsável pela geração de grandes quantidades do resíduo. A publicação do Termo de Ajuste de Conduta (TAC) pelo Ministério Público obriga os garimpos a apresentarem uma solução para o rejeito, caso contrário terão a atividade interrompida, afeta de forma expressiva cidades como esta, que correm o risco de ter uma possível quebra da economia e aumento no índice de desempregos local.

Tendo em vista esse viés social, econômico e ambiental, torna-se extremamente importante a busca por uma utilização segura do resíduo de pedra ametista, que é o objetivo desta pesquisa. A possibilidade de reutilização de materiais considerados rejeitos fomentou pesquisas científicas durante anos e alimentou um grande mercado de produtos manufaturados. No entanto, começou a se tornar uma preocupação os impactos gerados por estes materiais, de forma que o estudo do mesmo passa a ser importante para a análise da viabilidade de utilização do mesmo.

Os resultados obtidos até então indicam que com os devidos cuidados e conhecimento do material, os concretos produzidos com rejeito de pedra ametista apresentam bom desempenho na substituição do agregado graúdo, de forma que o mesmo tem capacidade e características necessárias para a sua produção e comercialização em escala industrial na região, trazendo inúmeros benefícios da retirada do material de disposição incorreta.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Método de Ensaio. Rio De Janeiro, 2007.

- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio De Janeiro, 2014.
- [3] CASTRO, A. Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Goiás.
- [4] CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 3. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.
- [5] MAZZA, Roger et al. Carbonatação Acelerada De Concretos Com Cinza De Casca De Arroz Sem Moagem. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- [6] MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1. Ed. São Paulo: Pini, 1994.
- [7] MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- [8] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.
- [9] OLLIVIER J. P.; VICHOT A. Durabilidade do Concreto: Bases para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014.
- [10] POSSAN, Edna. Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [11] TUUTI, K. Corrosion steel in concrete, Swedish Cement and Concrete, Stockholm, 1982. 469 p.