

## Uso de resíduo de pedra ametista para produção de tijolos de solo-cimento

### (Use of amethyst stone waste for production of soil-cement bricks)

B. K. Kronbauer<sup>1</sup>; B. M. Gonçalves<sup>2</sup>, E. P. Manfroi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ

Servidão Anjo da Guarda, nº 295-D, Bairro Efapi, Chapecó/SC

eng\_eliz@unochapeco.edu.br

#### Resumo

*No processo de extração da pedra ametista em Ametista do Sul (RS) é gerado o resíduo do tipo basalto. Afim de buscar um destino correto para este subproduto, o cimento foi substituído parcialmente por 10, 20, 30% de resíduo na produção de tijolos de solo-cimento. Os tijolos foram submetidos à análise dimensional, resistência à compressão simples e absorção da água. Os resultados mostraram que não houve variação dimensional entre as amostras e que os tijolos com até 30% de resíduo apresentaram redução de apenas 0,25 MPa de resistência à compressão e, aumento de apenas 6,30% da absorção de água em relação aos tijolos de referência. A substituição é viável, entretanto, é necessário melhorar a qualidade do solo para melhorar o produto final. O uso do resíduo na produção de tijolos de solo-cimento além de tornar o material mais sustentável, reduz os custos para as indústrias e para as mineradoras.*

*Palavras chave: tijolo, solo-cimento, resíduo; ametista.*

#### Abstract

*In the process of extraction of the amethyst stone in Ametista do Sul (RS) is generated the waste of the basalt type. In order to find a correct destination for this by-product, the cement was partially replaced by 10, 20, 30% of waste in the production of soil-cement bricks. The bricks were submitted to dimensional analysis, resistance, simple compression and water absorption. The results showed that there was no dimensional variation between the samples and that the bricks with up to 30% of waste presented reduction of only 0,25 MPa of compressive strength and only increase 6,30% of the water absorption in relation to the reference bricks. The substitution is viable, however, it is necessary to improve the quality of the soil to improve the final product. The use of waste in the production of soil-cement bricks in addition to making the material more sustainable, reduces costs for industries and mining companies.*

*Keywords: brick, soil-cement, waste, amethyst.*

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e da construção civil geram impactos ao meio ambiente devido à ação direta ou indireta do homem. Na construção civil são utilizados muitos recursos naturais que na maioria das vezes não são renováveis, sendo necessário desenvolver técnicas sustentáveis, visando à redução dos impactos ambientais [1, 2].

Além disso, existe a necessidade de controlar a quantidade de resíduos gerados pelas indústrias, bem como reutilizar ou reciclar os mesmos para evitar que sejam depositados em aterros industriais. Uma alternativa é o uso destes resíduos para produção de novos materiais de construção sustentáveis.

A utilização dos tijolos de solo-cimento na construção civil vem aumentando nos últimos anos, pois são considerados materiais sustentáveis e econômicos. O uso deste material gera menos impactos ambientais, principalmente por não ser submetido ao processo de queima durante sua produção, não liberando gás carbônico ao ambiente [3, 4].

A sua utilização gera economia de material durante a execução da obra, pois não é realizada a quebra das paredes para instalação das tubulações, como ocorre na alvenaria de vedação convencional. Os tijolos de solo-cimento também são considerados mais econômicos quando comparados com a utilização de outros materiais de construção, pois na maioria das vezes é apenas utilizado verniz para proteção, resultando em tijolos aparentes [5].

Estudos têm sido realizados sobre a utilização do tijolo solo-cimento como uma alternativa sustentável, como por exemplo, uso de resíduos de construção e demolição e resíduos de concreto [6, 7, 8]. Porém, não existem pesquisas sobre uso do resíduo de pedra ametista do tipo basalto em substituição parcial ao cimento para produção de tijolos de solo-cimento.

No Rio Grande do Sul são produzidas cerca de 400 toneladas/mês de pedras ametistas e ágatas. No município de Ametista do Sul (RS) a exploração de ametista ocorreu de modo acelerado nos últimos trinta anos, sem acompanhamento técnico e sem o tratamento dos rejeitos gerados. Estes resíduos são de fragmentos que variam de 25 cm até frações passantes na peneira 200 mm [9, 10].

Diante deste contexto, este estudo teve como objetivo a substituição parcial do cimento por 10, 20 e 30% de resíduo de pedra ametista do tipo basalto para a produção de tijolos solo-cimento, com a finalidade de diminuir impactos causados ao meio ambiente e os custos para mineradoras e produtoras de tijolos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento foram cimento CP V – ARI RS, solo retirado de escavação do município de Chapecó (SC) com granulometria inferior a 0,15 mm, resíduo de pedra ametista tipo basalto e água.

O resíduo de pedra ametista foi coletado em um britador no município de Planalto (RS). Para a produção dos tijolos, o mesmo foi seco em estufa a  $105 \pm 5$  °C e após a secagem, foi peneirado para obter-se uma granulometria inferior a 0,30 mm (Figura 1).



Figura 1: Resíduo de pedra ametista com granulometria inferior a 0,30 mm.

O ensaio para determinação do limite de liquidez do solo foi realizado de acordo com os procedimentos descritos na NBR 6459 [11], utilizando o equipamento de Casagrande. Para determinação do limite de plasticidade do solo, os ensaios foram realizados conforme a NBR 7180 [12].

A amostra de solo foi preparada conforme a NBR 6457 [13] e realizou-se o ensaio de granulometria seguindo as recomendações da NBR 7181 [14]. Foi realizado somente o ensaio de sedimentação e peneiramento fino, pois o solo era muito fino e não havia material retido na peneira 2 mm. A massa total de amostra seca foi determinada com base nos procedimentos descritos na NBR 7181 [14].

Para determinar a massa específica aparente do resíduo de pedra ametista foram utilizados os procedimentos estabelecidos na NBR NM 52 [15] utilizando-se um Picnômetro. A massa específica aparente foi determinada por meio da equação 8.3 da mesma norma.

A amostra de solo para o ensaio de massa específica aparente foi preparada conforme a NBR NM 248 [16]. Após, foi prosseguido o ensaio conforme a NBR 6458 [17]. A massa específica aparente do solo foi calculada por meio da equação B.3.18 da NBR 6458 [17].

O ensaio de massa unitária do resíduo de pedra ametista no estado solto foi realizado conforme os procedimentos da NBR NM 45 [18] e, a massa unitária foi determinada por meio da equação 9.1.1 da mesma norma.

Produção dos tijolos e avaliação dimensional, resistência à compressão simples e absorção de água

O traço utilizado como referência para produção dos tijolos solo-cimento foi o mesmo da indústria que cedeu o material e equipamentos para fabricação. Para a produção dos tijolos o cimento foi substituído parcialmente em massa por 10, 20 e 30% de resíduo de pedra ametista tipo basalto (Tabela I). A quantidade de água permaneceu constante para todas as misturas.

Tabela I – Tabela de dosagem dos materiais.

<b>Dosagem dos Materiais</b>				
<b>Amostra</b>	<b>Solo (kg)</b>	<b>Cimento (kg)</b>	<b>Resíduo (kg)</b>	<b>Água (kg)</b>
REF	62,8	8,3	-	13,2
10%	62,8	7,5	0,8	13,2
20%	62,8	6,6	1,7	13,2
30%	62,8	5,8	2,5	13,2

A produção dos tijolos de solo-cimento foi realizada em uma indústria de tijolos de solo-cimento localizada no município de Chapecó (SC), utilizando para a produção uma betoneira para mistura dos materiais, uma peneira e prensa hidráulica, ambas manuais.

Para a preparação da amostra referência (REF) foi despejado na betoneira solo e cimento, misturando por cerca de 3 minutos. Nas misturas com 10, 20 e 30% de resíduo, foi colocado o solo e juntamente com o cimento foi colocado o resíduo de pedra ametista.

Em seguida, a mistura foi despejada sobre uma caixa onde foi acrescentada água em toda mistura. Após a homogeneização, a mistura foi levada novamente para a betoneira e misturada por aproximadamente 4 minutos.

Posteriormente, a mistura foi peneirada manualmente com a finalidade de deixar somente o material fino, eliminado os torrões. Após, todo material foi levado à prensa hidráulica manual por cerca de 15 segundos. O processo e os tempos utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento foram os mesmos utilizados na indústria.

Após todo processo de fabricação, os tijolos de solo-cimento foram levados para o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Comunitária da Região de

Chapecó (UNOCHAPECÓ), os quais foram cobertos com lona para evitar a perda de água até idade de 28 dias.

A análise dimensional dos tijolos de solo-cimento foi realizada aos 28 dias de idade, conforme a NBR 8492 [19]. A análise foi realizada em dez tijolos de cada traço, totalizando quarenta tijolos.

O ensaio de resistência à compressão simples também foi realizado aos 28 dias de idade conforme prescritos na NBR 8492 [19]. Para a realização do ensaio foram utilizados 7 tijolos, sendo estes cortados ao meio perpendicularmente a sua maior dimensão. Em seguida, suas faces foram unidas uma sobreposta a outra por meio de uma pasta de cimento possuindo de 2 a 3 mm de espessura, conforme apresentado na Figura 2a.

Após, foi realizado o capeamento com pasta com espessura de 3 mm nas duas faces do tijolo, com o objetivo de deixar as faces planas. Após 24 horas da realização do capeamento da última face do tijolo foi realizado o ensaio de resistência à compressão, onde o tijolo foi colocado sobre o centro do prato inferior da prensa. A carga aplicada foi uniforme e de 50N/s conforme a norma NBR 8492 [19] e prosseguiu até a ruptura do tijolo (Figura 2b).

Para obter os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, foi realizado o cálculo por meio da equação 5.2.1 da NBR 8492 [19].

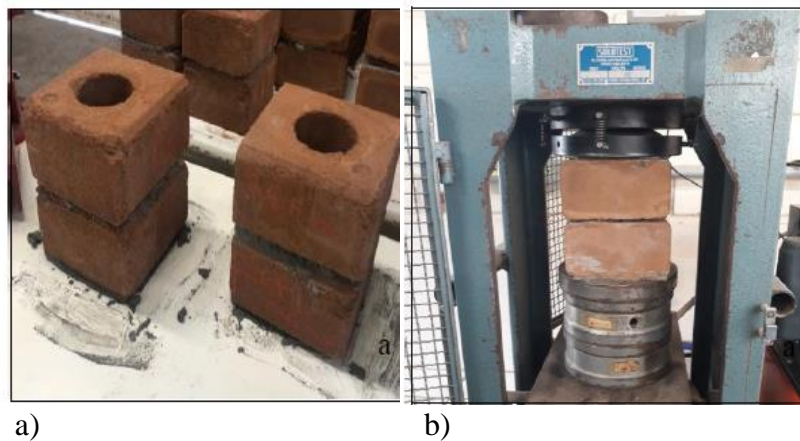


Figura 2: Ensaio de resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento: a) faces do tijolo de solo-cimento sobrepostas unidas com pasta de cimento; b) tijolos de solo-cimento na prensa

Ao completar 28 dias de idade dos tijolos, foram separadas três amostras e colocadas em estufa de temperatura entre 105 °C a 110 °C até constância de massa, sendo este a massa do corpo de prova seco conforme a norma NBR 8492 [19] determina.

Após a constância da massa, os tijolos foram colocados imersos em um tanque com água por 24 horas. Em seguida, os mesmos foram retirados da água e enxugados com um pano úmido, e então pesados, obtendo-se assim a massa saturada.

Para obtenção dos resultados do ensaio de absorção de água, foi realizado o cálculo por meio da equação 5.3.1 da NBR 8492 [19].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos materiais

Os resultados dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade do solo estão apresentados na Tabela II. Com base nos valores da NBR 10833 [20] para o solo utilizado na produção dos tijolos solo-cimento, verificou-se que a média do valor de limite de liquidez do solo e limite de plasticidade são superiores cerca de 5% e 20% em relação aos valores recomendados pela norma, respectivamente.

Tabela II – Limite de liquidez e de plasticidade do solo.

Ensaio	Solo	Valores da NBR 10833 (ABNT, 2012)
LL (%)	49,67	≤ 45
LP (%)	38,38	≤ 18

Por meio da curva granulométrica obtida pelo método de sedimentação, verificou-se que o solo utilizado é um solo fino, pois não teve material retido a partir da peneira 1,2 mm (Tabela III), sendo classificado como solo argiloso pois o material é passante nas peneiras com maiores aberturas, sendo considerado um material muito fino.

Tabela III – Resultado da análise granulometria do solo por meio do método de sedimentação.

Peneiramento Fino		
Peneiras (mm)	Peso Retido (g)	% Retida
1,2	190,42	96,74
0,6	190,46	93,49
0,42	190,86	90,22
0,25	192,2	86,94
0,15	197,767	83,56
0,075	193,76	80,24

O resíduo de pedra ametista e o solo utilizados neste estudo apresentaram massa específica aparente média de 2,55 g/cm<sup>3</sup> e 2,78 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. O resíduo de pedra ametista possui massa específica aparente inferior ao do cimento utilizado (3,02 g/cm<sup>3</sup>), sendo caracterizado como um material mais leve que o cimento.

O resíduo de pedra ametista também apresentou massa unitária média de 1.115,0 Kg/m<sup>3</sup>.

Avaliação dimensional, resistência à compressão simples e absorção de água dos tijolos de solo-cimento

Os valores médios das dimensões dos tijolos de solo-cimento são apresentados na Tabela IV. Verificou-se que não houve mudanças consideráveis nas dimensões dos tijolos, independente do tijolo ser produzido sem ou com a substituição do cimento por até 30% de resíduo. De acordo com a NBR 8491 [21], as amostras avaliadas atenderam as tolerâncias estabelecidas, sendo estas de ± 1 mm para os valores do comprimento, largura e altura.

Tabela IV – Dimensões médias dos tijolos de solo-cimento.

Tijolo	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)			
	Ref.	10%	20%	30%	Ref.	10%	20%	30%	Ref.	10%	20%	30%
Média	67,97	68,00	67,85	68,46	68,10	68,15	68,24	68,16	68,19	68,22	68,19	68,20
Desvio Padrão	0,38	0,47	0,22	0,50	0,30	0,25	0,34	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29

Os resultados da resistência à compressão média dos tijolos de solo-cimento aos 28 dias de idade são apresentados na Figura 3.

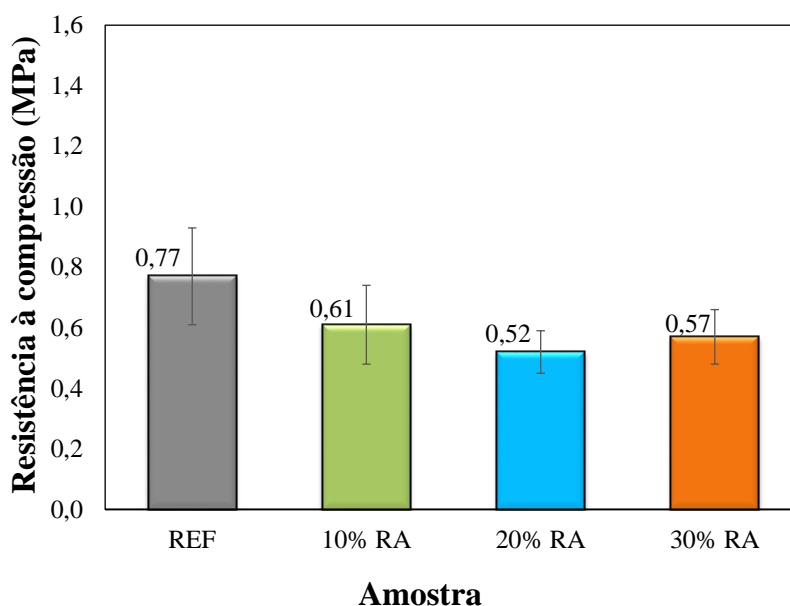


Figura 3 – Resistência à compressão média dos tijolos de solo-cimento.

Os tijolos de solo-cimento não atenderam a resistência mínima de compressão estipulada pela NBR 8491 [21], a qual estabelece que a média dos valores de resistência à compressão não pode ser menor do que 2 MPa. Este fato provavelmente ocorreu devido ao solo utilizado pela indústria produtora de tijolos solo-cimento não apresentar limite de liquidez e plasticidade de acordo com o estabelecido na NBR 10833 [20].

Os valores de resistência à compressão dos tijolos com substituição de cimento por 10, 20 e 30% de resíduo permaneceram praticamente constantes em relação à referência, diminuindo no máximo 0,25 MPa na amostra com 20% de resíduo de pedra ametista.

Os resultados do ensaio de absorção de água médio dos tijolos de solo-cimento são apresentados na Figura 4.

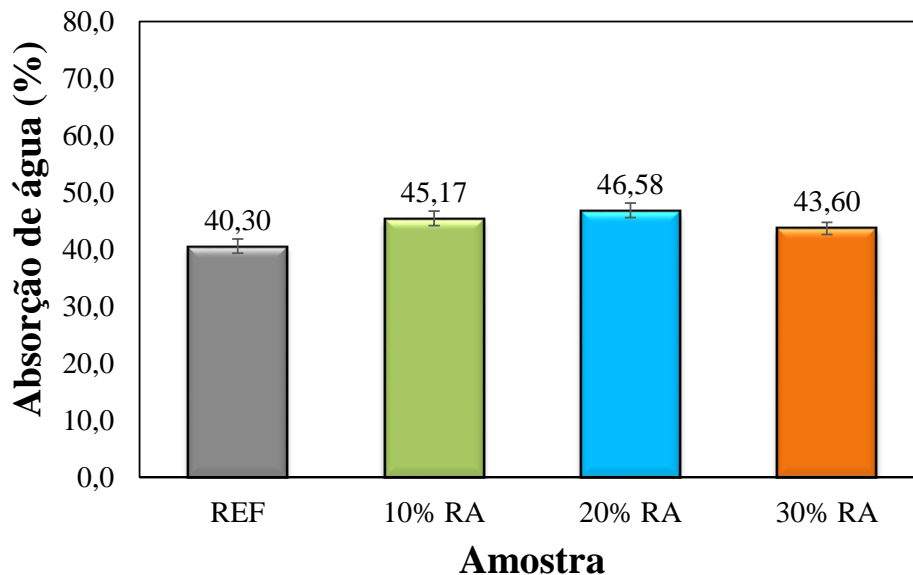


Figura 4 – Absorção de água média dos tijolos de solo-cimento.

Os tijolos de solo-cimento não atenderam o valor de absorção de água estipulada pela norma NBR 8491 [21], a qual estabelece que a média dos valores do ensaio de absorção de água não podem ser maiores que 20%.

Os resultados da absorção de água da amostra referência foram menores do que os resultados da absorção de água das amostras com substituição de cimento por resíduo de pedra ametista. Porém, os tijolos de solo-cimento com até 30% de resíduo apresentaram valores de absorção de água médio no máximo 6,3% acima do valor de absorção médio do tijolo de referência.



## CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa mostraram que não houve alteração significativa na análise dimensional dos tijolos de solo-cimento produzidos com substituição de cimento por até 30% de resíduo de pedra ametista. Além disso, foi possível observar que a resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento com até 30% de resíduo apresentaram baixa redução de resistência à compressão e aumento da absorção de água de até 6,30%, isto quando comparados com o tijolo de referência.

Porém, verificou-se que para obtenção de tijolos de solo-cimento que atendam aos requisitos mínimos exigidos nas normas técnicas brasileiras, faz-se necessário melhorar a qualidade do solo para a produção dos mesmos.

Uma das vantagens da produção do tijolo de solo-cimento com resíduo de pedra ametista além da redução dos impactos ambientais é a diminuição do custo do produto final para a indústria fabricante devido à substituição parcial do cimento por resíduo. Em relação às mineradoras de Ametista do Sul (RS) também há benefícios, pois o material que antes seria descartado pode ser comercializado para a fabricação de materiais de construção.

## REFERÊNCIAS

- [1] T. S. Retore, “Comportamento mecânico de agregados de basaltos alterados para pavimentação, rejeitos de garimpo de ametista”. Diss. Mestrado, UFRGS (2005).
- [2] J. P. Reis, “Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos”. Diss. Mestrado, UDESC (2007).
- [3] V. Fiquerola, “Alvenaria de solo-cimento”. *Téchne*, São Paulo, abr. 2004.
- [4] A. C. X. Carvalho, R. A. P. G. Faria J. E. S. Santana, *Anais do IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Salvador, B.A., 2013.
- [5] C. L. S. Pedreira, C. R. R. Dias, D. Torrada, *Anais do Congresso Brasileiro de Extensão Universitária*, Belo Horizonte, M.G., 2004.
- [6] T. Rosário, C. E. N. Torrescasana, “Tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto”. Mono. Graduação, UNOCHAPECÓ (201-).
- [7] A. A. S. Segantini, P. H. Wada, *Acta Scientiarum Technology* 33 (2011) 179.
- [8] L. M. Pinto, “Estudo de tijolo de solo cimento com adição de resíduo de construção civil”. Mono. Graduação, UFSM (2015).
- [9] J. C. Souza, “Industrialização de ametista no Rio Grande do Sul”. 1996. Tese. Doutorado, UFRGS (1996).
- [10] M. Mulinari, “Análise do processo de produção da extração de pedras preciosas visando alternativas rentáveis e ambientalmente eficazes”. Diss. Mestrado, UFSM (2006).
- [11] ABNT NBR 6459, “Determinação do limite de liquidez”, Rio de Janeiro (2016).

- [12] ABNT NBR 7180, “Solo: determinação do limite de plasticidade”, Rio de Janeiro (2016).
- [13] ABNT NBR 6457, “Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”, Rio de Janeiro (2016).
- [14] ABNT BR 7181, “Solo: análise granulométrica”, Rio de Janeiro (2016).
- [15] ABNT NBR NM 52, “Agregado graúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente Rio de Janeiro (2009).
- [16] ABNT NBR NM 248, “Agregados: determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro (2003).
- [17] ABNT NBR 6458, “Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm: determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água”, Rio de Janeiro (2016).
- [18] ABNT NBR NM 45, “Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios”, Rio de Janeiro (2006).
- [19] ABNT NBR 8492, “Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio”, Rio de Janeiro (2012).
- [20] ABNT NBR 10833, “Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento”, Rio de Janeiro (2012).
- [21] ABNT NBR 8491, “Tijolo de solo-cimento: especificação”, Rio de Janeiro (2012).