

# INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE ABSORÇÃO ACÚSTICA DE COMPÓSITOS DE ARGAMASSA COM MATERIAIS RECICLADOS

**Fernanda Flach, Josiane R. Pires, Marco A. S. González, Marlova P. Kulakowski**

Programa de Pos-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-UNISINOS). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos, 950, 93022-000 - São Leopoldo, RS, Brasil.  
fernanda\_flach@hotmail.com.br; josianepires@uol.com.br; mgonzalez@unisinos.br (autor para correspondencia); marlovak@unisinos.br.

## Resumo

Este trabalho apresenta uma investigação da absorção acústica de argamassas produzidas com substituição parcial da areia por resíduos (casca de arroz, compensado resinado e contraforte de calçados), com diferentes teores de substituição da areia (0%, 5%, 10%, 25% e 50%). A análise foi realizada em tubo de impedância de 100 mm de diâmetro, com provetes de 20 mm de espessura, medindo-se coeficientes de absorção no espectro de 200 Hz a 2 kHz e calculando o coeficiente de redução de ruído (NRC). Os resultados demonstraram que alguns compósitos com resíduos apresentaram NRC superiores ao de referência (NRC=0,034), tais como o compósito com 50% de casca de arroz (NRC=0,276) e o compósito com 50% de compensado de madeira (NRC=0,205). Visto que praticamente não há custos, pode-se concluir que se trata de uma alternativa sustentável para melhorar o conforto acústico e reduzir o impacto dos resíduos no meio ambiente.

**Palavras-chave:** acústica, conforto, tubo de impedância, construção civil, resíduos.

## Abstract

This paper presents an investigation about acoustic absorption of mortars with partial replacement of sand by waste (rice husk, plywood' formworks and counter of shoes), with different levels of replacement of sand by waste (0%, 5%, 10%, 25% and 50%). The analysis was performed in impedance tube of 100 mm diameter, with samples of 20 mm, measuring the absorption coefficients in the range 200 Hz to 2 kHz and calculating the Noise Reduction Coefficient (NRC). The results demonstrated that some composite with waste presented NRC above the reference mortar (NRC = 0,034), such as a composite with 50% rice hull (NRC = 0,276) and the composite with 50% of plywood (NRC = 0,205). Since there is virtually no cost may be concluded that it is a sustainable alternative to improve the acoustic comfort and reduce the impact of the waste in the environment.

**Keywords:** acoustics, comfort, impedance tube, civil construction, waste.

**PACS no. 43.55.Ev**

## 1 Introdução

A qualidade de vida do ser humano é adquirida através de condições ambientais de conforto, tais como conforto térmico, acústico e lumínico. O ruído pode influenciar a qualidade de vida, o sono e as relações entre os moradores de um mesmo edifício. A exposição a ruídos excessivos por longos

períodos pode provocar efeitos colaterais, tais como interferência no desempenho de tarefas e problemas de saúde: irritabilidade, hipertensão, dores de cabeça, insônia, estresse [1, 2].

Estudos demonstram que as edificações brasileiras e alguns de seus componentes têm baixo desempenho acústico [3, 4, 5, 6]. As soluções envolvem o aumento de espessura de lajes e paredes ou a inserção de materiais especiais para isolamento e condicionamento acústico. A correção após a construção usualmente é inviável economicamente, e mesmo a ampliação do isolamento na fase de projeto é difícil, em função dos custos dos materiais disponíveis comercialmente [7, 8].

Uma alternativa que vem sendo estudada na construção civil é a geração de novos materiais, unindo materiais tradicionais com resíduos. A região do estudo (Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil) enfrenta dificuldades de disposição de alguns resíduos em especial: casca de arroz, compensado resinado e contraforte de calçados. O Brasil produziu 11,3 milhões de toneladas de arroz no ano de 2010, sendo que a produção mundial foi de 520 milhões de toneladas, sendo que a casca de arroz representa cerca de 20% do grão [9, 10]. As madeiras utilizadas em fôrmas para as estruturas das edificações são 80% descartadas [11]. Além disto, a região é um pólo de produção de calçados, gerando diversos resíduos, tais como EVA (já estudado em aplicações acústicas por [12]) e contraforte [13].

Assim, este trabalho investiga a absorção acústica em compósitos de argamassa com adição de casca de arroz, resíduos de formas de compensado resinado e resíduos de contraforte de calçados. Estes materiais foram comparados a dois materiais convencionais (lã de vidro e espuma acústica). A metodologia para a realização dos estudos em laboratório adotou a medição em tubo de impedância, o qual facilita a análise de diferentes composições.

## **2 Revisão bibliográfica**

### **2.1 Análise de materiais utilizando resíduos – estudos anteriores**

A indústria da construção civil é grande absorvedora de resíduos da própria construção e de outras indústrias, por exemplo através da inclusão de resíduos em tijolos, argamassas e betão, gerando construções mais sustentáveis. A substituição de parte dos agregados ou do cimento proporciona a redução da extração de materiais brutos no meio ambiente e a diminuição da energia consumida para produzir os materiais [14].

Os compósitos são materiais constituídos a partir da união de dois ou mais elementos, com o objetivo de criar um material com propriedades superiores às dos seus componentes, isoladamente. Sabe-se que os compósitos que utilizam cimento (tais como argamassa e betão) têm largo emprego na construção civil. Estes compósitos podem receber fibras ou partículas de origem mineral, sintética e de biomassa [15].

Alguns trabalhos examinam a absorção acústica de materiais produzidos a partir da reciclagem ou aproveitamento de materiais de outras áreas, tais como argamassas utilizando diferentes tipos de agregados leves (poliestireno expandido, argila expandida e granulado de cortiça expandida) [16], fibras de cânhamo [17], casca de arroz, palha de arroz e casca de trigo [18], lã de poliéster obtida através da reciclagem de garrafas PET [19], compósitos de casca de arroz e partículas de madeira [20, 21], e betão composto com agregado reciclado de etileno acetato de vinila (EVA) [12].

Estudos de outras áreas investigaram os resíduos propostos, embora sem a análise das propriedades acústicas. Pesquisas apresentaram compósitos com adição de biomassa, incluindo partículas de madeira e casca de arroz [15, 22, 23]. O contraforte de calçado, adicionado a uma matriz de gesso, apresentou resultados de superior ductibilidade, quando comparado à sua pasta matriz, gerando compósitos úteis para a construção civil [13, 24].

## 2.2 Métodos para medição das propriedades acústicas

O coeficiente de absorção sonora real é difícil de ser medido diretamente, porque depende de como o material foi instalado, do ângulo de incidência sonora e das características do recinto. Para medir esse parâmetro acústico dos materiais, existem basicamente três métodos experimentais: câmara reverberante (ASTM C423/ISO 354:1985), método “*in situ*” e tubo de impedância (ASTM C384:2004/ISO 10534-1:1996, ASTM E1050:1998/ISO 10534-2:1998).

O tubo de impedância é constituído de um tubo de seção transversal uniforme onde se forma um padrão de ondas planas estacionárias, em condições adequadas. Em uma extremidade é instalada uma fonte sonora (alto falante), o qual é alimentado por um gerador de sinais. Na outra extremidade, é introduzida uma terminação rígida. Os provetes de teste são colocados em frente a esta terminação. Parte da excitação acústica é absorvida pelo material e outra parte é refletida [8].

Com este equipamento há a possibilidade de testar provetes de tamanho reduzido, calculando a absorção acústica dos materiais a partir da medição do coeficiente de reflexão. Esse cálculo é determinado pelos métodos SWR e da função de transferência. No método SWR (ASTM C384:2004/ISO 10534-1:1996), utiliza-se um sistema de medição analógico, que fornece valores para frequências discretas. É um método preciso, porém requer mais tempo e trabalho do pesquisador [8]. O método da função de transferência possibilita determinar o coeficiente de absorção de materiais com bandas de frequências contínuas. Esse segundo método (ASTM E1050:1998/ISO 10534-2:1998) consiste em excitar o tubo com um ruído branco de banda larga. Em seguida, mede-se a pressão sonora no seu interior, em duas posições diferentes (Figura 1). Os sinais verificados são encaminhados para um analisador digital de espectro de frequência e a função transferência entre eles é calculada. Através dela, determina-se a curva de absorção acústica do material em função da frequência [8, 25, 26, 27].

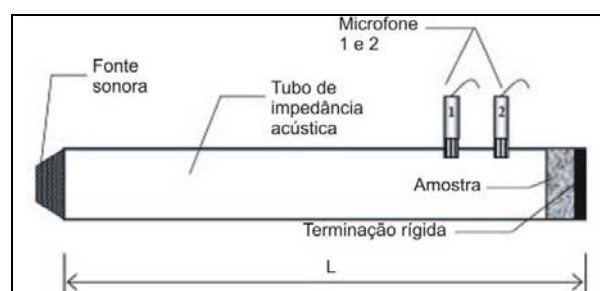


Figura 1: Tubo de impedância acústica [adaptado de 28]

## 3 Materiais e métodos

Dentre as três alternativas expostas, o tubo de impedância foi avaliado como sendo o método de ensaio mais adequado para esta pesquisa, pois, para realização do experimento, se faz necessário apenas um provete de pequena dimensão do material a ser analisado, o que viabiliza testes com uma maior quantidade e variedade de compósitos. O método de pesquisa seguiu as normas ASTM E1050 e ISO 10534-2. A propriedade mensurada foi o coeficiente de reflexão, utilizando um tubo de impedância de 100 mm de diâmetro, sendo calculado o coeficiente de absorção dos provetes estudados. Foram investigados compósitos de argamassa com substituição parcial da areia pelos resíduos, com espessura de 20 mm.

Os resíduos selecionados foram: compensado resinado, casca de arroz e contraforte termoplástico impregnado (não tecido) de calçados, com diferentes teores de substituição da areia, medidos em

volume: 0% (compósito de referência), 5%, 10%, 25% e 50%. O comportamento destes compósitos foi investigado e comparado com o de materiais tradicionais (lã de vidro e espuma acústica).

### 3.1 Preparação dos resíduos

Os resíduos de compensado de madeira e de contraforte de calçado foram previamente limpos e depois foram moídos em moinho de facas. As partículas foram então trituradas. As Figuras 2 e 3 ilustram o procedimento. O esforço e o tempo de preparação foram mínimos.



Figura 2: Resíduo das placas de compensado resinado: placas cortadas (esq) e após a trituração (dir).



Figura 3: Resíduo de contraforte termoplástico: resíduo recebido (esq) e após a trituração (dir).

A preparação do resíduo de casca de arroz constou em verificar e segregar as partículas estranhas manualmente, através da seleção prévia, retirando impurezas como restos de pedriscos, palhas, entre outros (Figura 4). Igualmente, a preparação dos resíduos não envolveu complexidade ou tempo significativos.



Figura 4: Casca de arroz: resíduo recebido (esq) e após a operação de limpeza (dir).

### 3.2 Produção de argamassa

Para produção das argamassas, uma seleção prévia dos materiais foi realizada através de peneiramento, utilizando a peneira de 4,8mm de abertura. Isso possibilitou a segregação dos materiais, garantindo que partículas superiores a esta dimensão fossem descartadas, gerando, assim, agregados miúdos que podem proporcionar misturas com maior trabalhabilidade e maior homogeneidade. Partículas passantes pela peneira com abertura de 4,8mm são consideradas uma fração de agregados miúdos, segundo a norma ABNT-NBR 7211:2009 e são recomendadas para a utilização em argamassas.

Os CPs foram produzidos com argamassa de cimento CP-IV e areia média, com substituição de parte da areia pelo material em teste, considerando os teores de substituição em volume. Para cada uma destas combinações foram moldados os corpos de prova, que foram curados de forma convencional, sendo secos em estufa e armazenados em ambiente de umidade controlada.

O traço da argamassa que foi utilizado constitui-se de 1:4 (cimento: areia) em volume, com substituição da areia por resíduos também em volume. O Índice de Consistência padrão segue a ABNT-NBR 13276:2005, sendo fixado em  $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ , para a argamassa de referência. Dosagens experimentais com diferentes teores de cimento, agregados e água foram aplicadas nas distintas argamassas produzidas, até alcançarem o Índice de Consistência adequado. Para a realização das argamassas, manteve-se controlada a temperatura ( $T = 20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ) e a umidade relativa ( $UR = 70\% \pm 10\%$ ) em sala climatizada.

### 3.3 Moldagem e produção dos CPs

Os CPs foram moldados de forma escalonada no tempo, com um resíduo diferente a cada semana, ficando prontos para a análise com um intervalo de tempo na mesma proporção, permitindo a análise de elementos com a mesma idade de cura. Foram utilizados moldes de PVC. O fundo da forma é plano, obtido através de uma lâmina de vidro. Foi utilizado desmoldante a base de óleo (Figura 5). Para não interferir na análise de absorção das ondas sonoras não foram colocadas formas superiores, obtendo-se uma superfície mais próxima à da eventual aplicação em obra.



Figura 5: Moldagem dos CPs: Moldes de PVC utilizados para a confecção dos CPs (esq) e CPs recém-moldados, observando-se a lamina de vidro utilizada como base (dir).

Os CPs de argamassa tiveram um tempo de cura de 28 dias, sendo que durante as primeiras  $48 \text{ h} \pm 24 \text{ h}$  permaneceram nos moldes, na sala climatizada, seguindo a norma ABNT-NBR 13276:2005. Após esse período, os CPs foram desmoldados e armazenados em recipientes com água e cal, ainda na sala climatizada, onde continuaram até sua cura total. Os poros influenciam no comportamento acústico, portanto há importância da cura dos CPs e do teor de água. Após esse período, os CPs foram retirados da água e ficaram armazenados na sala climatizada até estabilizarem a umidade e alcançarem constância de massa, adotando-se como parâmetro a variação abaixo de 1% entre medições, sendo então considerados secos e com uma conformação adequada para os testes. Todos foram pesados e medidos, calculando-se a densidade (em  $\text{kg/m}^3$ ).

Todas os provetes de argamassa foram produzidas com similar esforço e tempo de preparação, independente do teor de resíduos adicionado. Pode-se concluir que não há diferenças significativas no preparo da argamassa comum e com resíduos.

### 3.4 Investigação dos efeitos na absorção acústica através do tubo de impedância

Foram estudadas as frequências na faixa de 200 Hz a 2000 Hz, obtendo-se, assim, os índices de absorção sonora dos corpos de prova analisados. Na medição, cabe ressaltar que foi tomado cuidado para a exata colocação do corpo-de-prova no tubo, observando a não existência de folgas e o posicionamento em ângulo normal ao alinhamento do tubo.

## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Coeficientes de absorção

Apresentam-se inicialmente os coeficientes de redução de ruído (NRC), para uma visão geral dos resultados. Os valores de NRC são apresentados na Tabela 1. A configuração de referência alcançou um NRC de 0,0343. Cabe ressaltar que esta configuração estava dentro do esperado, pois existem estudos que verificaram que o reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos apresentou um índice de 0,0375 de coeficientes de redução de ruído [28]. A seguir, são comparados os resultados de coeficientes de absorção sonora encontrados, adotando como base de comparação os compósitos com a mesma dosagem de resíduos.

Tabela 1: Coeficiente de redução de ruído (NRC)

Resíduo	Compósitos com resíduos					Materiais Convencionais	
	Teor					Lã de Vidro - Isover	Espuma Acústica - Sonex
	0% (ref.)	5%	10%	25%	50%		
Casca de Arroz		0,0546	0,0863	0,1014	0,2757		
Compensado	0,0343	0,0813	0,0478	0,1773	0,2052	0,6600	0,3600
Contraforte		0,0561	0,0723	0,0864	0,0523		

#### 4.1.1 Comparação entre as configurações com dosagem de 5%

Na Figura 7, o gráfico demonstra os resultados do ensaio de absorção acústica encontrados para os CPs com dosagem de 5% para os diferentes resíduos, nas frequências testadas. Examinando os dados entre si, pode-se observar que os valores foram bastante aproximados entre os CPs com casca de arroz e os obtidos com contraforte. Nos dois elementos, o maior valor de coeficiente de absorção aconteceu na frequência de 2000 Hz, com 0,10 de absorção sonora. Quando se utilizou o resíduo de compensado resinado, encontrou-se valores de coeficientes de absorção maiores que os anteriores, em praticamente todas as frequências mensuradas. Nos NRCs calculados (Tabela 1) pode-se evidenciar o maior valor de NRC para o compensado resinado (NRC=0,0813) e a similaridade dos valores encontrados para a casca de arroz (NRC=0,0546) e para o contraforte (NRC=0,0561), todos acima do compósito de referência (NRC=0,0343).

Contudo, para os três resíduos o  $\alpha$  praticamente não superou o nível de 0,10. Aparentemente a dosagem de 5% de adição de resíduo nos compósitos influenciou pouco na absorção acústica, se



aproximando a valores encontrados com o compósito de referência. Os materiais convencionais apresentaram clara superioridade quando comparados aos compósitos de 5% de resíduo.

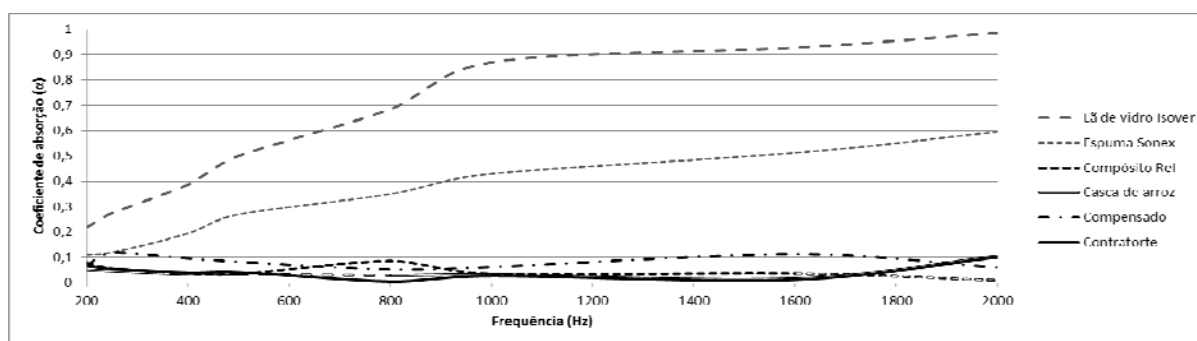


Figura 7: Coeficientes de absorção sonora - CPs com 5% de resíduos e materiais convencionais

#### 4.1.2 Comparação entre as configurações com dosagem de 10%

Na Figura 8, o gráfico apresenta os valores de coeficientes de absorção sonora para a dosagem de 10%. Observa-se que os valores de absorção sonora para a configuração com resíduos de contraforte e com casca de arroz apresentaram resultados aproximados, com coeficientes de absorção sonora entre 0 e 0,10. O resíduo de compensado resinado demonstrou resultado um pouco superior, quando alcançou o pico de coeficiente de absorção de 0,13 em 1600 Hz. Os NRCs apresentados na Tabela 1 demonstram que a casca de arroz apresentou valores superiores ( $NRC=0,0863$ ), seguido do contraforte ( $NRC=0,0723$ ) e, por fim, do compensado resinado ( $NRC=0,0478$ ).

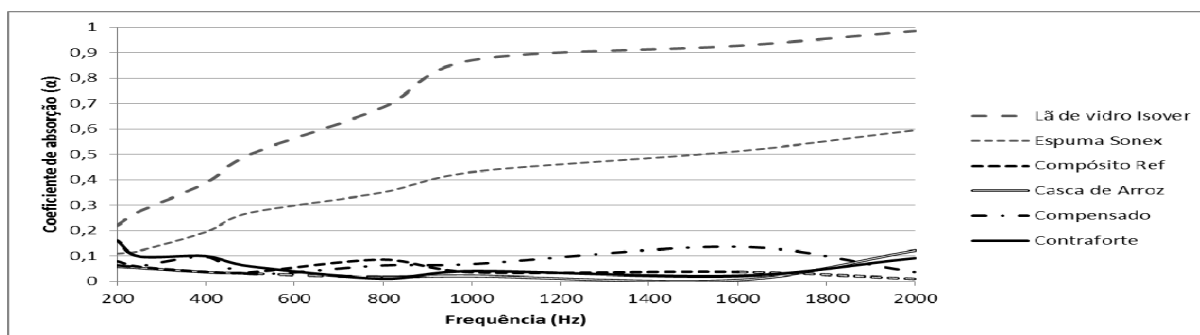


Figura 8: Coeficientes de absorção sonora - CPs com 10% de resíduos e materiais convencionais

#### 4.1.3 Comparação entre as configurações com dosagem de 25%

O gráfico apresentado (Figura 9) evidencia os resultados encontrados nos coeficientes de absorção sonoros com configuração de 25% de resíduos. Verifica-se que os resultados do resíduo de compensado resinado demonstraram resultados mais significativos, porém os outros dois resíduos apresentaram semelhança, com valores ligeiramente acima dos encontrados no CP de referência. A dosagem de 25% representa algum incremento na absorção acústica dos compósitos, atingindo valores próximos a 0,30 (compensado resinado) e 0,20 (casca de arroz) nos coeficientes de absorção acústica. Analisando os NRCs da Tabela 1, observou-se que o compensado resinado ( $NRC=0,1773$ ) apresentou-se em destaque, seguido da casca de arroz ( $NRC=0,1014$ ) e do contraforte ( $NRC=0,0864$ ).

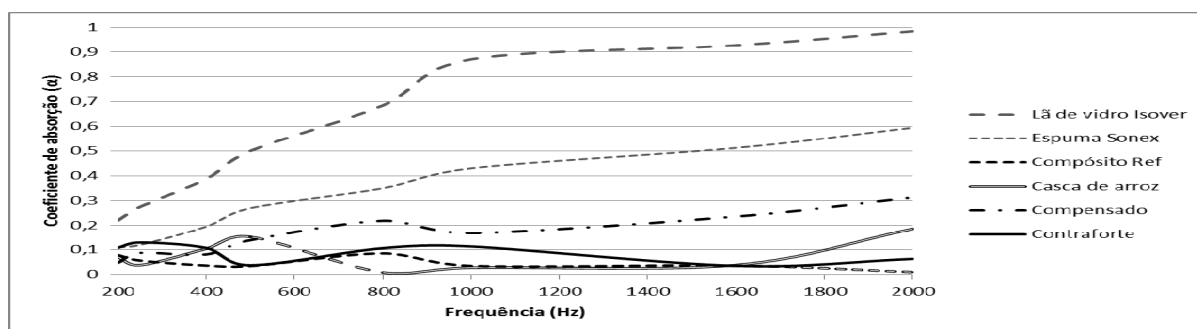


Figura 9: Coeficientes de absorção sonora - CPs com 25% de resíduos e materiais convencionais

#### 4.1.4 Comparação entre as configurações com dosagem de 50%

Estão representados na Figura 10 os valores encontrados para a dosagem de 50%, com diferentes resíduos. Houve um aumento no coeficiente de absorção nas frequências médias, com picos de 0,30 de coeficiente de absorção em 800 Hz, para o compensado resinado, e 0,55 próximo de 1 kHz para a casca de arroz. O contraforte demonstrou resultados inferiores, ficando próximo à configuração de referência. O compensado aproximou-se da espuma acústica nas baixas frequências, e a casca de arroz aproximou-se nas frequências superiores, com  $\alpha=0,58$  a 2 kHz. A comparação dos valores de NRCs dos três compósitos indicou que a casca de arroz (NRC=0,2757) é superior ao compensado resinado (NRC=0,2052) e ao contraforte (NRC=0,0523), quando em dosagem de 50% de resíduo, em termos de absorção acústica.

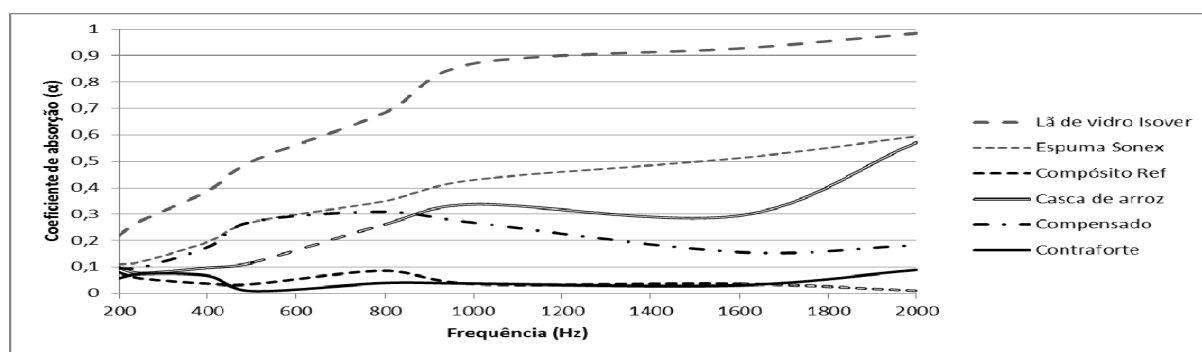


Figura 10: Coeficientes de absorção sonora - CPs com 50% de resíduos e materiais convencionais

## 4.2 Análise Estatística

Não foram encontrados na literatura trabalhos na área de acústica com antecedentes em análise estatística, empregando análise de variância (ANOVA) ou regressão para o exame e modelagem de resultados.

Investigou-se se existe diferença significativa entre as médias observadas (ANOVA) e como estas interagem com o NRC (regressão). Através da técnica de análise de variância (não apresentada em detalhes por questões de espaço), o Tipo de resíduo e a Densidade dos CPs apresentaram diferença de médias com o NRC, com significância de 95%, ou seja, pode-se concluir que estas variáveis exercem influência significativa no comportamento do NRC. Já o teor de resíduo não apresentou interação significativa com o NRC, o que pode ter relação com a interação dos resíduos com a demanda de água.



Através da regressão, foi estudado um modelo estatístico, com o qual pode ser analisado o comportamento conjunto das variáveis independentes em relação ao NRC. Foram considerados o Teor e o Tipo de resíduo empregado e a Densidade dos CPs ( $\text{kg/m}^3$ ). O tipo de resíduo foi codificado como uma variável numérica, variando de 0 a 3. Foi considerada a casca de arroz como sendo o resíduo de melhor desempenho acústico, portanto foi atribuído a ela o valor de 3, seguido do compensado resinado que recebeu o valor 1,5; o contraforte, com o valor 1 e, por fim, o CP de referência, com o valor de zero. Esta escala foi determinada através de simulações. O modelo resultante foi o seguinte (Equação 1):

$$\text{NRC} = 0,34114 - 0,000165 * \text{Densidade} + 0,02936 * \text{Tipo de Resíduo}. \quad (1)$$

O modelo foi investigado de acordo com os procedimentos tradicionais em análise de regressão, com bons resultados. Na análise de variância, o teste F indicou significância superior a 95%. A análise das variáveis, realizada pelo teste t, indicou que o Tipo de resíduo e a Densidade influenciam o NRC, enquanto que o Teor de resíduos não o afeta significativamente, pois esta variável não apresentou a significância mínima de 95% no teste t. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo foi de 0,69542, demonstrando que cerca de 70% das variações do NRC são explicadas pelo modelo proposto. Portanto pode-se concluir que o modelo de regressão é adequado e que a análise estatística confirma e reforça os resultados apresentados. O modelo indica que a densidade afeta o NRC de forma inversamente proporcional.

### 4.3 Análise econômica

Uma análise da perspectiva econômica se faz necessária para verificar a viabilidade dos novos compósitos. A Tabela 2 apresenta um levantamento de custos dos materiais convencionais à venda no mercado (lã de vidro e espuma acústica), o custo da argamassa de referência e dos compósitos testados. Para os resíduos incorporados foi considerado um valor relativo gasto com mão de obra e energia elétrica para limpeza, corte, trituração e secagem dos materiais. Considerou-se o teor de 50% de substituição para os três, por ser o limite máximo testado, com resultados mais animadores.

Tabela 2: Levantamento de custos de materiais convencionais e dos compósitos estudados

Material analisado	Custos (em Euros)
Lã de Vidro	274,19/ $\text{m}^3$
Espuma Acústica	453,63/ $\text{m}^3$
Argamassa de referência	115,32/ $\text{m}^3$
Argamassa com resíduo de compensado a 50%	80,40/ $\text{m}^3$
Argamassa com resíduo de casca de arroz a 50%	79,53/ $\text{m}^3$
Argamassa com resíduo de contraforte a 50%	80,30/ $\text{m}^3$

Verifica-se que uma vantagem ao utilizar os compósitos é o menor custo. Evidentemente os materiais com resíduos não competem com os materiais tradicionais, mas podem ser uma opção para uma melhoria em relação às argamassas de revestimento, pois apresentam custos e coeficientes de absorção melhores que a argamassa tradicional, além de redução de custos com a disposição final em aterros de inertes.

## 5 Discussão e conclusões

Nas medições de coeficiente de absorção sonora, todas as configurações com substituição parcial da areia por resíduos (5%, 10%, 25% e 50%) apresentaram valores de absorção acústica superiores aos do compósito de referência, com curvas similares na faixa de frequência observada. Os resultados de NRC indicaram que o compensado resinado se destacou dos demais resíduos, com valores superiores nas configurações de 5% e 25%, sendo que os valores encontrados para o contraforte foram melhores na dosagem de 10% e da casca de arroz na dosagem de 50%.

Analisando o comportamento das configurações com a inclusão de resíduos, observou-se que houve diferença dos coeficientes de redução de ruído em relação à argamassa de referência (NRC=0,0343), especialmente nos compósitos com 50% de resíduos, destacando-se o compósito com casca de arroz (NRC=0,2757), seguido do compensado (NRC=0,2052) e por último do contraforte (NRC=0,0523).

Em relação à análise estatística de regressão, a variável Densidade apresentou-se mais significativa, seguida pela variável Tipo de resíduo. O modelo indica que quanto menor a densidade de massa, maior é o valor do NRC, portanto quanto mais resíduos forem incorporados à argamassa, potencialmente maior será a absorção acústica (nos limites investigados). Nesta análise, o desempenho da casca de arroz chega a ser três vezes superior ao desempenho dos compósitos com contraforte e duas vezes superior quando comparada com o compósito de compensado resinado.

Os resultados demonstraram que os compósitos com adição de resíduos apresentaram coeficientes de absorção superiores aos corpos de prova de referência, ocorrendo deste modo um aumento da capacidade de absorção acústica desses compósitos. Os custos e o trabalho de preparação necessário são pequenos, propiciando até a redução de custos da argamassa. Assim, verificou-se que o presente trabalho alcançou resultados satisfatórios na obtenção de compósitos com diferentes resíduos, com características sustentáveis que os qualificam com um potencial de absorção sonora e com valores aceitáveis quanto ao coeficiente de absorção sonoro, podendo ser uma opção para a utilização na construção civil.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à FAPERGS, pelo apoio financeiro em forma de bolsas de mestrado, de produtividade e de iniciação científica. Agradecem também à UNISINOS, que ofereceu as demais condições para a realização da pesquisa.

## 7 Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 15575-1 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2010.
- [2] Ferraz, R. *Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de múltiplos pavimentos*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- [3] Duarte, E. A. C.; Viveiros, E. B. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. *Ambiente Construído*, Vol.7 (3), jul./set., 2007, pp.159-171.
- [4] Losso, M.; Viveiros, E. B. Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. *Anais do X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, ANTAC, São Paulo, 2004.

- [5] Polli, T.; Viveiros, E. B. Quando o preço não faz diferença: a relação entre custo do imóvel e conforto acústico. *Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. ANTAC, Ouro Preto, Brasil, 2007.
- [6] Vianna, N. S.; Roméro, M. A. Procedimentos metodológicos para a avaliação pós-ocupação em conjuntos habitacionais de baixa renda com ênfase no conforto ambiental. *Ambiente Construído*, Vol.2 (3), 2002, pp.71-84.
- [7] Carvalho, R. P. *Acústica Arquitetônica*. Thesaurus, Brasília, 2006.
- [8] Gerges, S. Ruído: *Fundamentos e Controle*. 3ed. NR Editora, Florianópolis, Brasil, 2000.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Brasil.
- [10] Kieling, A. *Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz com pozolanas e material adsorvente*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unisinos, São Leopoldo, Brasil.
- [11] Mosmann, A. S. *Madeira utilizada em formas de estruturas de concreto: Proposta para a racionalização do uso e gestão dos resíduos*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unisinos, São Leopoldo, Brasil.
- [12] Tutikian, B. F.; Nunes, M. F. O.; Leal, L. C.; Marquette, L. Impact sound insulation of lightweight concrete floor with EVA waste. *Building Acoustics*, Vol.19 (2), June 2012, pp.75-88.
- [13] Kazmierczak, C. S.; Kern, A. P.; Santos, I. S. S.; Ramires, M. V. V.; Silva, H. C. Resíduos de contrafortes termoplásticos provenientes da indústria coureiro-calçadista. In: Vanderley Moacir John; Janaide Cavalcante Rocha. (Org.). *Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. Coletânea Habitare - Vol.4, ANTAC, Porto Alegre, Brasil, 2003, pp. 124-175.
- [14] Rocha, J. C; John, V. M. *Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. Coleção Habitare, Vol. 4, ANTAC, Porto Alegre, Brasil, 2003.
- [15] Melo, F. J. F. F. *Caracterização de argamassa modificada por partícula vegetal para nivelamento de contrapiso*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- [16] Branco, F. G.; Godinho, L.; Tavares, J. A. Utilização de argamassas leves na minimização da transmissão de ruídos de impacto em pavimentos. *Anais do 3º Congresso Português de Argamassas de Construção*. APFAC, Lisboa, 2010.
- [17] Ramis, J.; Alba, J.; Del Rey, R.; Escuder, E.; Sanchís, V. J. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de Kenaf, *Materiales de Construcción*, Vol.60 (299), 2010, pp.133-143.
- [18] Sakamoto, S.; Takauchi, Y.; Yanagimoto, K.; Watanabe, S. Study for sound absorbing materials of biomass tubule etc. (Measured Result for Rice Straw, Rice Husks, and Buckwheat Husks). *Journal of Environment and Engineering*, Vol.6 (2), 2011, pp.352-364.
- [19] Del Rey, R.; J., Alba, J.; Ramis, J.; Sanchís, V. J. Nuevos materiales absorbentes acusticos obtenidos a partir de restos de botellas de plastico. *Materiales de Construcción*, Vol. 61 (304), 2011, pp. 547-558.
- [20] Beraldo, A. L.; Tojal, J. H. V. Utilização de argamassa de cimento e casca de arroz em moradias populares. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA*. Foz do Iguaçu, Brasil, 2001.

- [21] Yang, H.-S.; Kim, D.-J.; Kim, H.-J. Rice straw–wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*, Vol.86 (2), 2003, pp. 117–121.
- [22] Silva, G. C.; Latorraca, J. V. F.; Teixeira, D.E.; Bortoletto, G. J. Produção de compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. *Scientia Forestalis*, n.68, 2005, pp.59-67.
- [23] Pauleski, D. T. *Características de compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil.
- [24] Kern, A. P.; Kazmierczak, C. S.; Santos, I. S. S.; Ramires, M. V. V.; Silva, H. C. Gypsum matrix composites with shoe counter scrap - Impact strength behavior. *Proceedings of CIB Symposium on construction & environment - Theory into practice*, PCC-USP/CIB, São Paulo, 2000.
- [25] Chung, J. Y., Blaser, D. A. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I – Theory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.68 (3), 1980, pp. 907-913.
- [26] Chung, J. Y., Blaser, D. A. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II - Experiment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.68 (3), 1980, pp. 914-921.
- [27] Seybert, A, Ross, D. Experimental determination of acoustic properties using a two microphone random-excitation technique. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.61 (5), 1977, pp.1362-1370.
- [28] Bistafa, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.