

## Avaliação experimental de tensões geradas num sistema de colagem de cerâmica sob ação de gradientes térmicos

### Evaluation of Stresses in a Tile Fixing System Under Thermal Gradients

L. Silva<sup>a†</sup>, P. Sequeira<sup>a</sup>, A. Flores<sup>b</sup>, N. Viriato<sup>b</sup>, F. Q. Melo<sup>b</sup>, M. A. Vaz<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Saint-Gobain Portugal S.A., Zona Industrial Taboeira, 3800-055, Aveiro, Portugal

<sup>b</sup> INEGI, Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Rua Dr. Roberto Frias, 400, 4200-465 Porto, Portugal

<sup>c</sup> FEUP, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

<sup>†</sup> Autor para correspondência: [luis.silva@saint-gobain.com](mailto:luis.silva@saint-gobain.com)

#### RESUMO

O sucesso da aplicação de cerâmica em fachadas e pavimentos exteriores depende, entre vários fatores, de uma correta relação e compatibilidade mecânica, química e física entre os todos os elementos envolvidos, a saber, o suporte, a cerâmica e as argamassas. Quando exposto a variação térmica, fatores como a dimensão e cor dos cerâmicos, tipologia do suporte e dimensão de junta adotada, assumem especial relevância ao nível das tensões obtidas. Um estudo recentemente publicado avalia as tensões geradas em contexto de aplicação com suportes como: reboco, betão ou um isolante térmico, apresentando exaustivamente resultados de combinações de vários elementos do sistema. Tais elementos parecem adequar-se e comprovar as exigências em contexto real, sublinhando a importância de se caracterizar experimentalmente alguns casos, como método de validação dos resultados obtidos em simulação numérica. O presente trabalho aborda este desafio ao definir e executar uma metodologia experimental que permite obter as tensões em diferentes componentes, por ação de um gradiente térmico sobre um sistema cerâmico colado em condições próximas dos modelos teóricos. Admite-se que a comparação de resultados obtidos permitirá fazer uma reflexão ao grau de aplicabilidade da metodologia teórica desenvolvida e eventuais necessidades de afinação da mesma.

#### ABSTRACT

Tile fixing success in external environments as façade, terraces and balconies depends, among several factors, on a correct mechanical, chemical and physical compatibility among all system elements such as support, tile and used mortars. When exposed to a thermal gradient, factors as tile size and color, support type and joint width, will play a special relevance in the stress field intensity. Recently, one study evaluates the stresses resulted in a context of tiling on several supports as mineral render, concrete and external insulation based on EPS panels, presenting results according to different combinations and proving the common demands in real context application. Also, underlines the need to test few cases as experimental approach to validate numerical one. Present work goes towards such objective, proposing an experimental setup to evaluate stresses in a tile fixing system, according to different combinations close to the theoretical model, submitted to a thermal gradient. Finally, comparing results, is possible to identify potential needs to finetune the theoretical model.

#### Palavras-chave:

Colagem cerâmica,  
Variação térmica,  
Avaliação  
experimental de  
tensões.

#### Keywords:

Tile fixing, thermal  
variation,  
Experimental  
evaluation of  
tensions.

## 1. Introdução

A colagem de cerâmica é uma técnica ancestral e, talvez por isso, tendencialmente subestimada do ponto de vista de requisitos técnicos capazes de assegurar um desempenho durável. Porém, a verdade é que a utilização de cerâmica como elemento de revestimento só se apresenta como uma solução milenar porque se tem conseguido reinventar, sobretudo a nível estético. Com efeito, o sucesso de tal adaptação continua a garantir as vantagens inerentes à utilização de cerâmica, como: durabilidade, resistência ao choque, resistência química e ao fogo, sem perder o potencial de inovação estética. Por tudo isso, quaisquer que sejam as tendências de construção gerais em fachadas e pavimentos, é frequente a necessidade de garantir que estes sejam capazes de receber elementos cerâmicos como revestimento. Por exemplo, os desafios mais recentes, implicam a garantia de compatibilidade de aplicação de cerâmica em contextos com suportes mais flexíveis (menores módulos de elasticidade, como sistemas ETICS - External Thermal Insulation Composite System -, placas de madeira, gesso ou cimento perfilado) e ambientes mais exigentes ao nível de variações térmicas, como é o caso de pavimentos radiantes ou resultando de condições climáticas mais agressivas em ambientes exteriores como fachadas ou terraços. Também, a própria cerâmica no seu caminho de reinvenção, cria desafios adicionais à sua fixação como é o caso de elementos de dimensões substancialmente maiores (superiores a 1x1m), cores mais escuras ou espessuras substancialmente menores como é o caso da lâmina cerâmica [1-3].

Por outro lado, no que respeita às normas e guias de recomendação de fixação por colagem de cerâmica, facilmente se percebe que foram construídas com base em pressupostos que estão ultrapassados, tornando-se em entraves ao desenvolvimento de soluções inovadoras ou, no mínimo, desconsideradas por não justificarem os motivos pelos quais apresentam tais limitações (admite-se que a normalização existente tenha por base estudos técnicos ou experiência acumulada mas nem sempre é uma informação de fácil acesso). Ou então, resultam em documentos que, não obstante serem aplicáveis ao mesmo tipo de necessidade, apresentam perspetivas/abordagens completamente distintas dos requisitos a cumprir. Por exemplo, a comparação entre as colas reativas, classe R, da EN 12004-1, ANSI 118-3 ou ISO 13007-1 e o caso da ISO 14448 (Low modulus adhesives for exterior tile finishing) que é suposto apresentarem desempenhos superiores em aplicação mais difíceis como fachadas, porém apresentando requisitos técnicos diferentes ou até antagónicos [4-10].

Face ao exposto, uma resposta adequada deve contemplar uma análise do princípio de tudo, a saber, o nível de tensões realmente geradas num sistema de colagem. No passado, vários trabalhos foram publicados para diversos contextos, mas, como esperado, dificilmente representam a variedade de situações como diferentes tipologias de suporte, dimensões de cerâmicos, largura de juntas entre cerâmicos, entre outros. Com efeito, é quase impraticável o planeamento e execução de trabalhos experimentais que abordem todas as variáveis possíveis [11-13].

Foi com base nesta dificuldade que, recentemente, se procedeu a um estudo teórico, já publicado, que avalia, por simulação numérica, as tensões geradas em contexto de aplicação com suportes como: reboco, betão ou um isolante térmico (EPS 100), apresentando exaustivamente resultados de combinações de vários elementos do sistema que parecem adequar-se e comprovar a necessidade de experiências em contexto real. O estudo apresenta a distribuição de tensões geradas por expansão térmica num sistema de colagem de elementos cerâmicos. A quantificação do campo de tais tensões foi efetuada por recurso a modelação por elementos finitos em que a distribuição de tensões de origem térmica se efetua de modo incremental, assumindo um gradiente de temperaturas entre a face exposta e a massa interna do material base, ligação cerâmico/argamassa-cola. O modelo numérico permitiu analisar as tensões de acordo com o critério de von Mises, o que se enquadra no comportamento de cerâmicos na construção. A aplicação do modelo foi realizada considerando duas juntas entre cerâmico de 1 e 6mm e várias dimensões de cerâmico (20x20cm; 30x30cm; 40x40cm; 60x60cm; 90x90cm; 120x120cm; 30x60cm; 30x90cm; 30x120cm). Para as combinações indicadas, fez-se a determinação das tensões normais à superfície (resultado de uma diferença de temperatura entre a superfície do cerâmico e a zona de contacto com a argamassa-cola), das tensões de corte (devidas à dilatação superficial entre o cerâmico e o material de colagem e de base e que podem apresentar gradientes

elevados nos contornos de fronteira) e das tensões de von Mises (obtido a partir da resultante das anteriores e, portanto, alvo específico do estudo). O valor das tensões foi obtido para a superfície do elemento cerâmico, para a interface entre o cerâmico e a argamassa-cola e para a própria argamassa-cola, sendo esta última a única considerada para o trabalho em questão. Finalmente, as tensões foram ainda determinadas relativamente à zona de extremidade do cerâmico e na zona central. Os resultados obtidos apresentam variáveis como a distância entre cerâmicos e a dimensão dos mesmos que condicionam fortemente as tensões resultantes ao nível da argamassa-cola, inclusive com valores acima da própria aderência que as mesmas podem proporcionar. Por isso, é admissível considerar limitações de colagem de elementos cerâmicos em situações de aplicação em exterior, como fachadas e pavimentos, em função da sua dimensão e da relação com a junta de preenchimento. Com efeito, os resultados de simulação numérica apontam para dimensões máximas de 60x60cm coladas com argamassas com aderências entre 1 e 2 N/mm<sup>2</sup>. Finalmente, a publicação também sublinha a importância de caracterizar experimentalmente as tensões, pelo menos para alguns dos casos mencionados, como método de validação dos resultados obtidos na simulação numérica. Aborda também a problemática das tensões ao nível da camada de base no caso de suporte de ETICS, assumindo o seu módulo de Young para os cálculos, com resultados muito superiores à coesão interna do EPS o que leva a questionar se a consideração do módulo não deverá ser antes controlada pelo próprio EPS ou pela conjugação entre ambas [14,15].

Considerando os resultados obtidos por simulação numérica como uma ferramenta de excelência para apreciação de possibilidades de execução de obra, é naturalmente imperativo aferir e validar os resultados obtidos. A metodologia que se considera adequada para o efeito é baseada em ensaios experimentais especificamente equivalentes aos pressupostos do estudo numérico realizado. Esse é o motivo pelo qual se decidiu proceder ao estudo indicado no presente trabalho e apresentado durante o Congresso de Construção 2022, que apresenta um sumário da metodologia experimental realizada para o efeito e os principais resultados obtidos para duas situações à escala semi-laboratorial, um caso com utilização de suporte de reboco e um caso com utilização de um suporte de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) com base em polistireno EPS 100 como material isolante. No final, apresentam-se as tensões resultantes em comparação com os valores obtidos a partir do modelo numérico e faz-se uma análise crítica aos resultados obtidos [16].

## 2. Materiais e métodos

A metodologia experimental adotada consistiu na construção de painéis com áreas aproximadas de 2x2m<sup>2</sup> que apresentam um conjunto de materiais aplicados segundo os esquemas de condições reais relativamente a fachadas expostas a condições ambientais diversas. Na realização dos testes experimentais, a escolha de materiais, dimensão de cerâmicos, distância entre cerâmicos, variação térmica de 30°C e locais de avaliação de temperaturas, deformações e tensões, tiveram em consideração a maior proximidade possível aos pressupostos do modelo teórico previamente trabalhado [14,15].

Considerando o objetivo de avaliação de uma parede com suporte de reboco e outra com ETICS, construíram-se 2 amostras distintas:

*Amostra 1, relativa à situação de suporte em reboco:*

- Alvenaria de bloco BT25 (espessura 25cm) revestida por argamassa de reboco com 1,5cm de espessura (classe CSIII);
- Revestimento:
  - a) Cerâmico do tipo BIa, cor escura ( $\alpha > 0,7$ ), dimensão 60x60cm colado com argamassa-cola, classe C2S, por técnica de colagem dupla (penteado 8x8);
  - b) Junta entre cerâmicos de 6mm, preenchida por argamassa CG2W (cor cinza).

*Amostra 2, relativa à situação de suporte em ETICS*

- Alvenaria de bloco BT25 (espessura 25cm) revestida por argamassa de reboco com 1,5cm de

espessura (classe CSIII), seguida de aplicação de sistema ETICS composto por placas EPS100\_6cm, coladas ao reboco com argamassa de colagem com aderência sobre betão de 1MPa, colagem contínua (penteado 8x8), argamassa de camada de base do tipo CSII + rede fibra de vidro, 160g/m<sup>2</sup>, abertura 4x4mm, numa espessura pelo menos de 5mm;

- Revestimento:

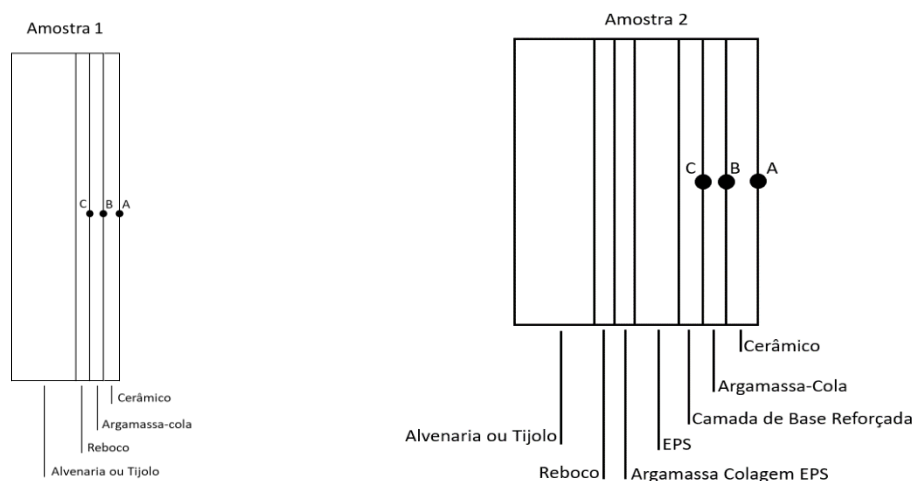
- a) Cerâmico do tipo BIa, cor escura ( $\alpha > 0,7$ ), dimensão 60x60cm colado com argamassa-cola, classe C2S, por técnica de colagem dupla (penteado 8x8);
- b) Junta entre cerâmicos de 6mm, preenchida por argamassa CG2W (cor cinza).

A medição de temperaturas foi realizada nos seguintes locais (Figura 1):

- na superfície externa do cerâmico, na zona central, em ambas as amostras (zona A);
- na superfície interna do cerâmico, entre esta e a argamassa-cola (zona B), em ambas as amostras;
- na superfície do reboco, entre esta e a argamassa-cola (zona C), no caso da amostra 1; e na superfície da camada de base reforçada, entre esta e a argamassa-cola, no caso da amostra 2.

Para as tensões, foram avaliadas nos seguintes locais (Figura 1):

- na superfície interna do cerâmico, entre esta e a argamassa-cola (zona B), em ambas as amostras;
- na superfície do reboco, entre esta e argamassa-cola (zona C), no caso da amostra 1; e na superfície da camada de base reforçada, entre esta e a argamassa-cola, no caso da amostra 2.



**Figura 1** – Seção lateral da amostra 1 e amostra 2, com zonas de colocação de termopares (A, B e C) e extensómetros (B e C).

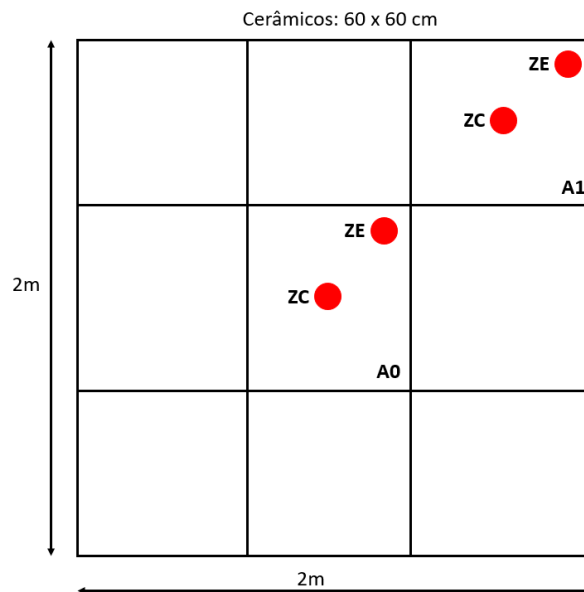
Assumindo o painel de dimensões 2x2m, preenchido com cerâmicos de 60x60cm e juntas de 6mm, as zonas instrumentadas (central e extremidade) são dispostas nas amostras segundo as indicações das Figuras 2 e 3.

Para cada amostra foram utilizados no total 8 rosetas de extensómetros (modelo 1-RY81-3/120 da empresa HBM) e 7 sensores de temperatura (termopares do tipo K). Em cada área, A0 e A1, e de acordo com o apresentado na Figura 2, os cerâmicos foram instrumentados na sua superfície interna com 2 rosetas de extensómetros e 2 termopares e na superfície externa com 2 termopares ambos assinalados a vermelho. . Adicionalmente, colocou-se um termopar extra na face externa do cerâmico da área A0, por forma a controlar a temperatura no interior da estufa. Para melhor compreensão da localização dos sensores em cada cerâmico (Figura 3), a roseta de extensómetros e o termopar colocados no centro dos cerâmicos (C), são referentes à Zona Central (ZC); enquanto a roseta de extensómetros colocada na extremidade do cerâmico, ou seja, num dos cantos, refere-se à Zona Extremidade (ZE). As áreas e as designações também se aplicam ao

reboco, para a amostra 1 e para a camada de base reforçada, no caso da amostra 2.

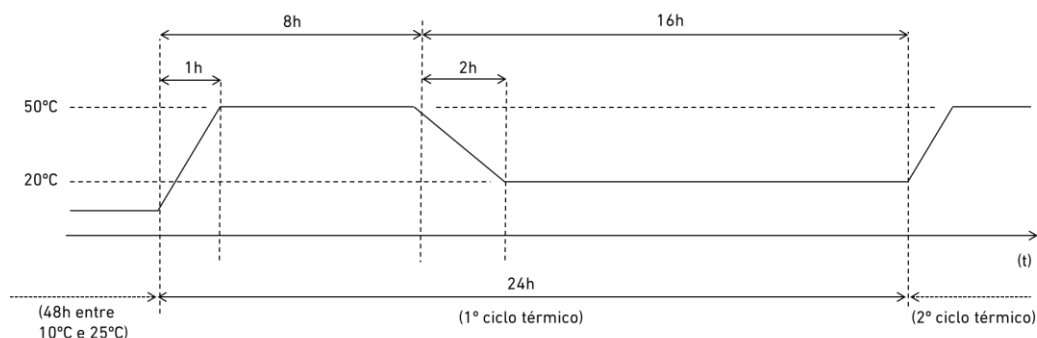


**Figura 2** – Disposição das áreas instrumentadas nas amostras 1 e 2.



**Figura 3** – Áreas e referências para a localização dos sensores: ZC – zona central; ZE – zona extremidade.

Para a aquisição dos sinais foram utilizados os respectivos módulos para extensometria (NI 9235) e temperatura (NI 9213) e o chassis cDAQ NI 9188, da empresa National Instruments. Para o registo dos sinais foi utilizado o programa Labview Signal Express também da empresa National Instruments. Todas as medições foram realizadas a uma frequência de amostragem de 5Hz. Após 48h em condições a temperatura ambiente, os painéis são sujeitos a 5 ciclos térmicos de 24h, com incremento da temperatura durante 1h até aos 50°C, permanecendo a essa temperatura durante as 7h seguintes. Após o total de 8h, a temperatura desce durante 2h até aos 20°C e permanece durante as 14h seguintes à temperatura de 20°C, terminando o ciclo. Apenas a face respetiva ao painel cerâmico é exposta às temperaturas indicadas de forma a promover o gradiente térmico ao longo de toda a seção da amostra. A Figura 4 apresenta a representação esquemática de cada ciclo.



**Figura 4** – Representação esquemática dos ciclos térmicos realizados.

No que respeita à realização do aquecimento, foi construída uma estufa que permite o aquecimento de todos os cerâmicos em simultâneo e que possibilita o arrefecimento posterior. A Figura 5 apresenta os sistemas de aquecimento e arrefecimento utilizados durante a realização dos ciclos. Salienta-se que o aquecimento foi controlado através de um controlador PID com um termopar colocado na face externa do cerâmico central. O arrefecimento, para a temperatura ambiente no ciclo térmico, foi conseguido através de ventiladores ajustados para atingir 20°C no intervalo de tempo de 2h.



**Figura 5** – Sistemas de aquecimento (esquerda) e arrefecimento (centro e direita) utilizados para as duas amostras.

### 3. Resultados e Discussão

Para o cálculo das tensões, foi necessário conhecer as propriedades mecânicas de cada um dos componentes. Por conseguinte, para ambas as amostras foram consideradas as propriedades mecânicas que se apresentam na Tabela 1 e os pressupostos utilizados no estudo teórico [14,15].

**Tabela 1** - Propriedades mecânicas dos materiais [14,15]

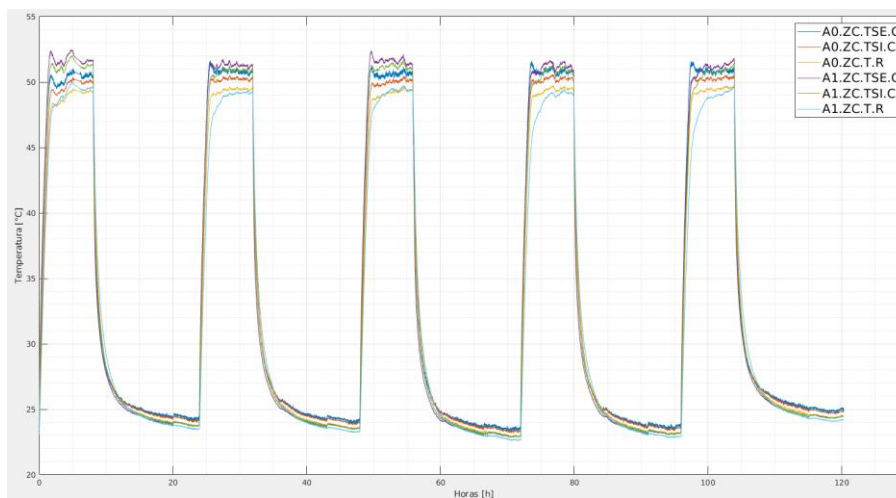
Material	Módulo de Young [GPa]	Coefficiente de Poisson	Espessura média aplicada [mm]
Cerâmico - C	32	0,2	10
Reboco- R	8	0,2	15
Argamassa-Cola - Adesivo	8	0,2	6
Camada de Base Reforçada - CBR*	8	0,2	6

\*valor sem reforço da malha de fibra de vidro (160g/m<sup>2</sup>, abertura 4x4mm e tratamento antialcalino)

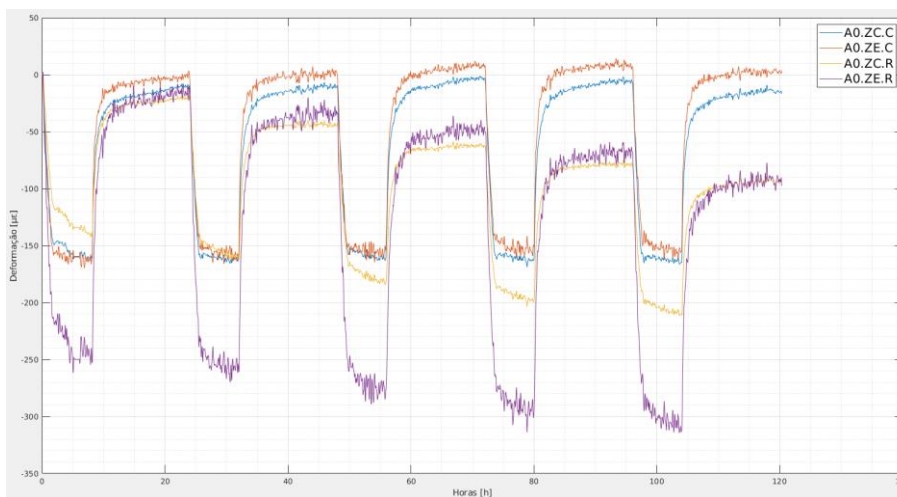
As Figuras 6 a 15 apresentam os resultados das temperaturas, deformações e tensões para a parede normal (com reboco) e parede de sistema ETICS (com EPS100 de 6cm), para os vários ciclos realizados, evidenciando as tendências em fases de aquecimento e arrefecimento. A determinação das tensões obtidas na argamassa-cola, foi realizada a partir das deformações

medidas experimentalmente nos cerâmicos (superfície interna), assumindo que são equivalentes e aplicando o módulo de Young e coeficiente de Poisson respetivos à argamassa-cola indicado na Tabela 1. De notar que, para a situação relativa às tensões na zona da camada de base reforçada (CBR), admitindo que o modelo teórico assume discutivelmente o módulo da camada de base isolada, a partir de um ensaio de flexão a 3 pontos, determinou-se experimentalmente o módulo de Young do conjunto EPS 100 (60mm) com camada de base reforçada numa espessura de 6mm, cujo resultado foi de 25MPa (contra os 8GPa da argamassa), próximo do valor do próprio EPS 100 (50MPa), pelo que se decidiu assumir este valor referenciado para o cálculo das tensões (50 MPa).

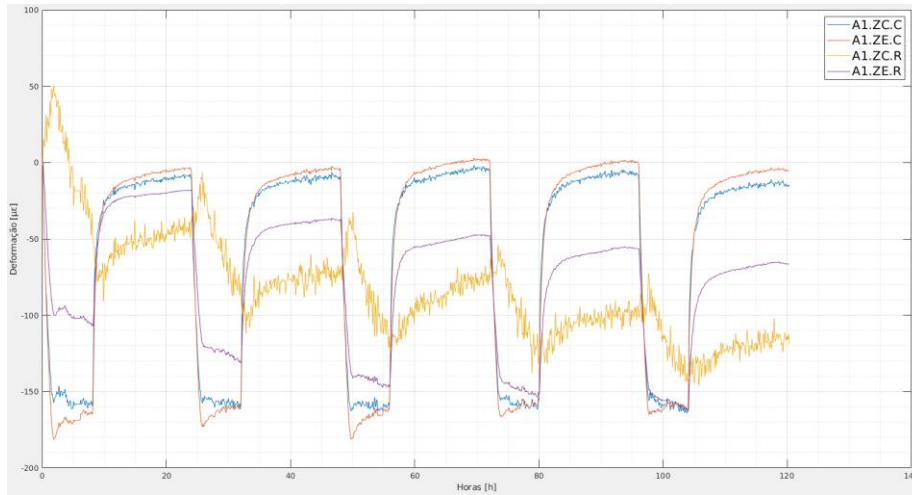
Para cada ensaio, foi sempre realizado o ajuste de zero a todas as rosetas de extensómetros. Posteriormente, os sinais das tensões foram filtrados utilizando-se um filtro passa baixo Butterworth de 3ª ordem, com uma frequência de corte de 0,001Hz. Os valores de tensão são apresentados em MPa e as temperaturas em °C.



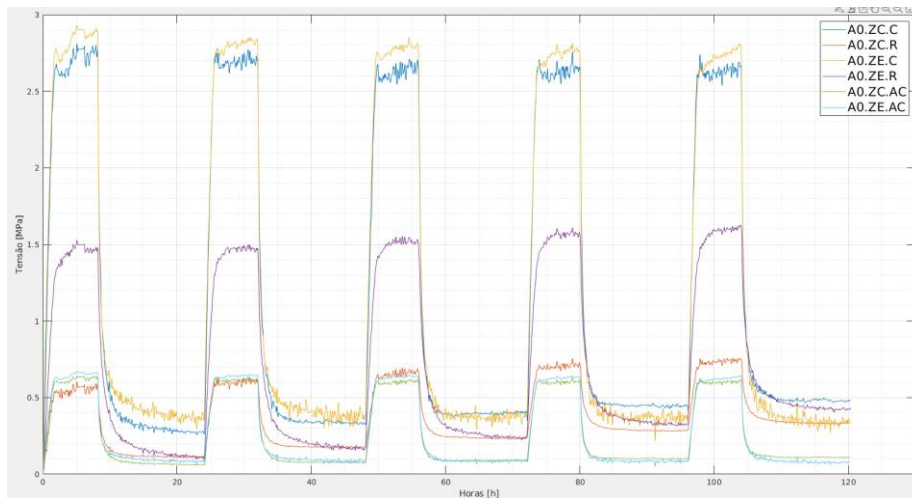
**Figura 6** - Evolução das temperaturas no cerâmico (C), reboco (R) e argamassa-cola (AC), amostra 1, áreas A0 e A1, para 5 dias de ensaio.



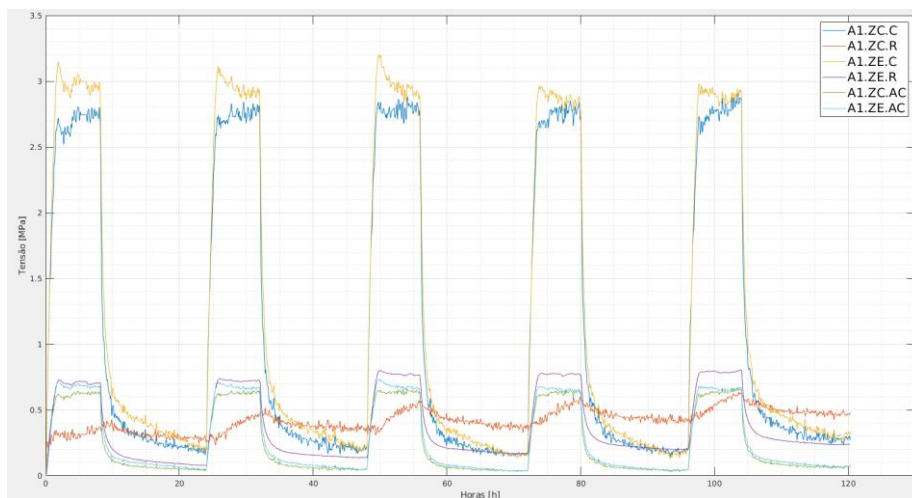
**Figura 7** - Evolução das deformações no cerâmico (C) e reboco (R), amostra 1, área A0, para 5 dias de ensaio.



**Figura 8** - Evolução das deformações no cerâmico (C) e reboco (R), amostra 1, área A1, para 5 dias de ensaio.

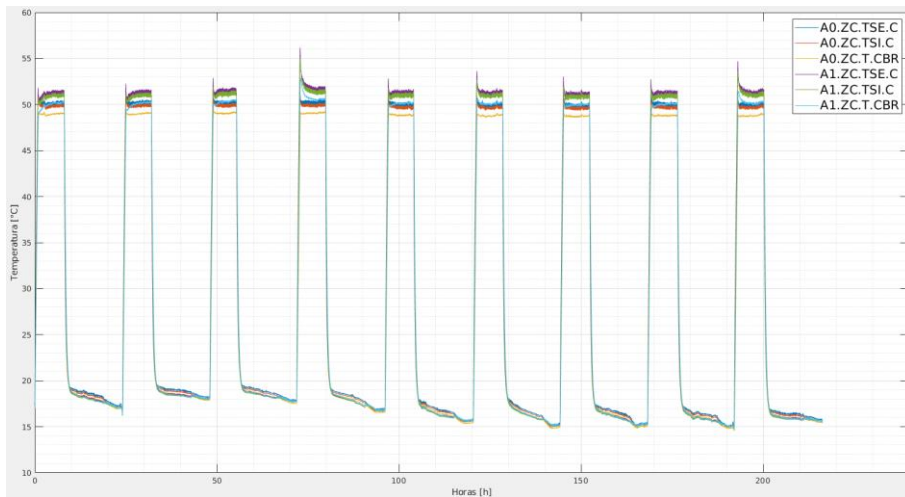


**Figura 9** – Evolução das tensões equivalentes no cerâmico (C), reboco (R) e argamassa-cola (AC), amostra 1, área A0, para 5 dias de ensaio.

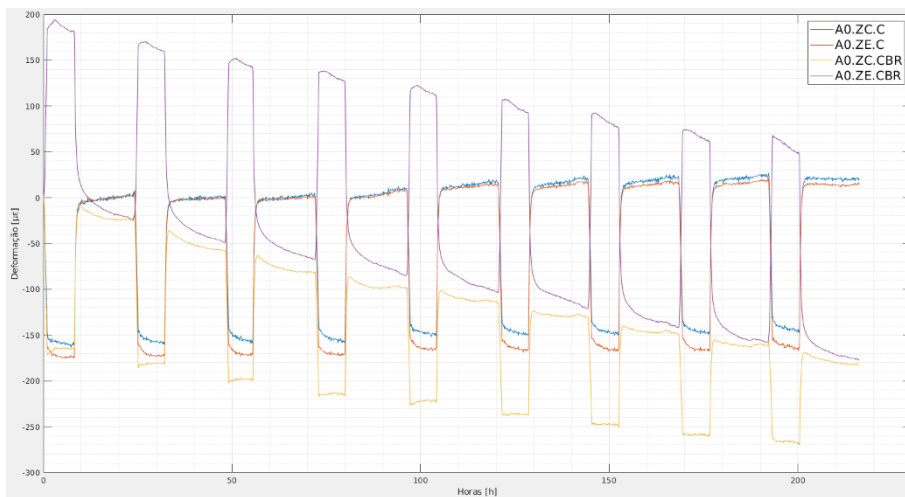


**Figura 10** – Evolução das tensões equivalentes no cerâmico (C), reboco (R) e argamassa-cola (AC), amostra 1, área A1, para 5 dias de ensaio.

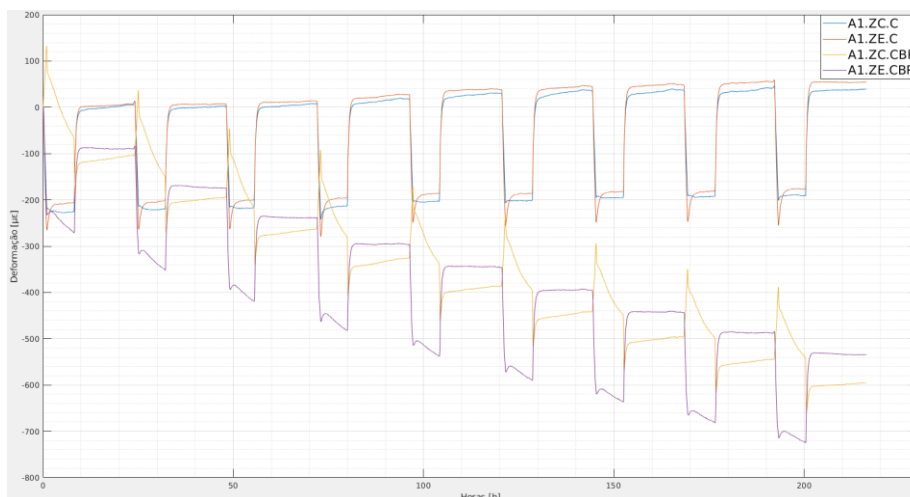




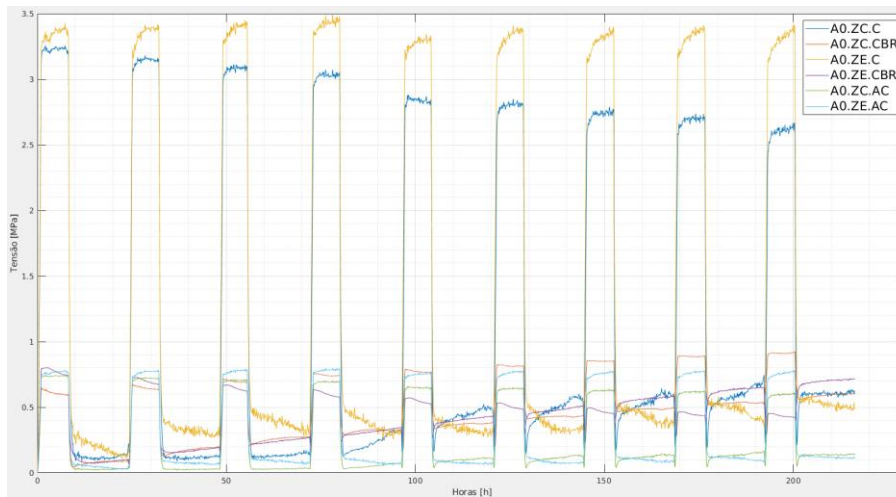
**Figura 11** – Evolução da temperatura no cerâmico (C) e camada de base reforçada (CBR), amostra 2, áreas A0 e A1, para 10 dias de ensaio.



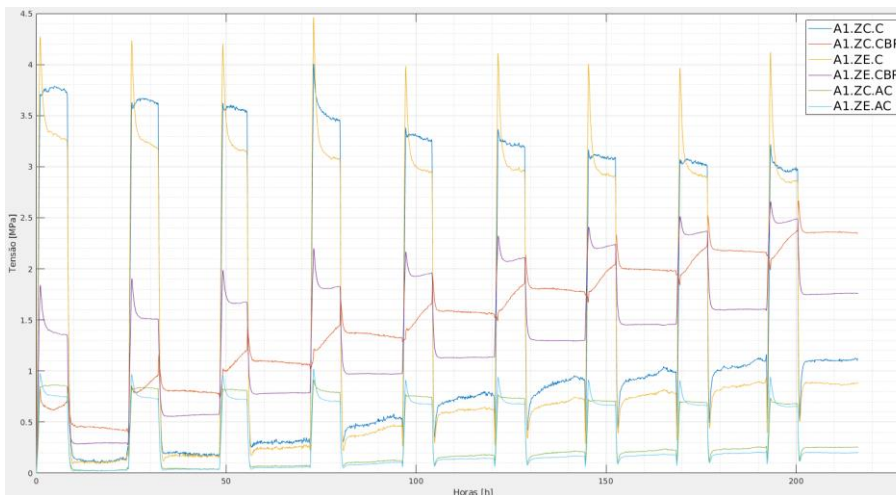
**Figura 12** – Evolução das deformações no cerâmico (C) e camada de base reforçada (CBR), amostra 2, área A0, para 10 dias de ensaio.



**Figura 13** – Evolução das deformações no cerâmico (C) e camada de base reforçada (CBR), amostra 2, área A1, para 10 dias de ensaio.



**Figura 14** – Evolução das tensões equivalentes no cerâmico (C), camada de base reforçada (CBR) e argamassa-cola (AC), amostra 2, área A0, para 10 dias de ensaio.



**Figura 15** – Evolução das tensões equivalentes no cerâmico (C), camada de base reforçada (CBR) e argamassa-cola (AC), amostra 2, área A1, para 10 dias de ensaio.

A **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, relativa à amostra 1, apresenta a comparação das tensões determinadas a partir dos modelos teórico e experimental, indicando, para a maioria dos casos, diferenças insignificantes, inferiores a 10%. Estes resultados sugerem que os pressupostos do modelo teórico são bastante aceitáveis e capazes de refletir com precisão o comportamento do sistema ao nível dos diferentes componentes. Ainda assim, verificou-se um caso para o reboco (zona central do cerâmico) com diferenças de 50% que merece uma análise com mais detalhe de interpretação.

**Tabela 2** - Resultados relativos às tensões obtidas a partir da simulação numérica e da metodologia experimental aplicada, para a amostra 1 (referente ao caso de suporte com reboco).

Metodologia/Zona avaliação/elemento	Zona extremidade do cerâmico		Zona central do cerâmico	
	Adesivo	Reboco	Adesivo	Reboco
Simulação Numérica [14,15]	0,63	1,31	0,61	1,31
Medição experimental	0,66	1,52	0,66	0,65

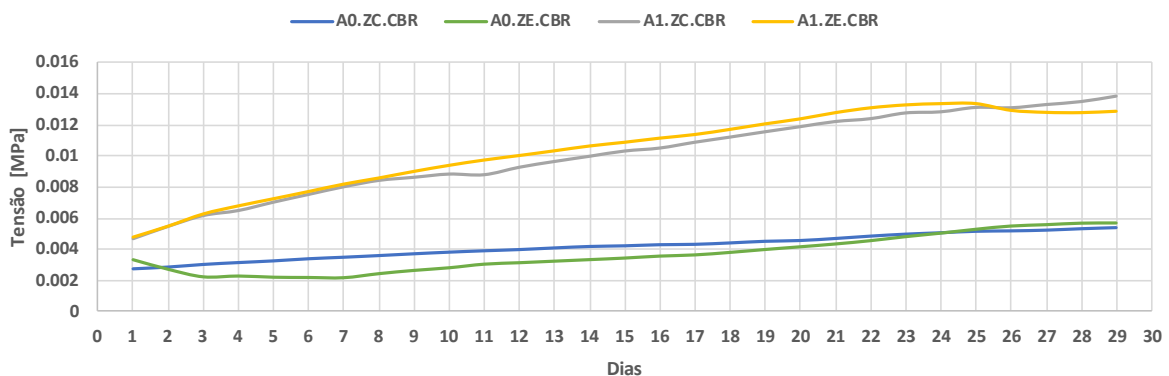
No caso particular da amostra 2 (suporte em EPS 100), os resultados relativos às

deformações (e, conseqüentemente, das tensões) indicam tendências crescentes ou decrescentes, conforme a zona de análise, ao contrário dos resultados da amostra 1 (suporte de reboco) cujos resultados apresentam estabilidade logo a partir dos primeiros ciclos. Uma vez verificada a situação para a amostra 2, foi realizado novo ensaio com duração total de 30 ciclos, ou seja, 30 dias. Da análise dos resultados, e para o caso EPS, verifica-se uma tendência para estabilização apenas a partir do 25º ciclo, conforme refletido na Figura 16 e Figura 17, que apresentam essas tendências de forma mais visível, por apresentarem o valor específico de tensões obtido para cada ciclo, relativamente à argamassa de camada de base e argamassa-cola.

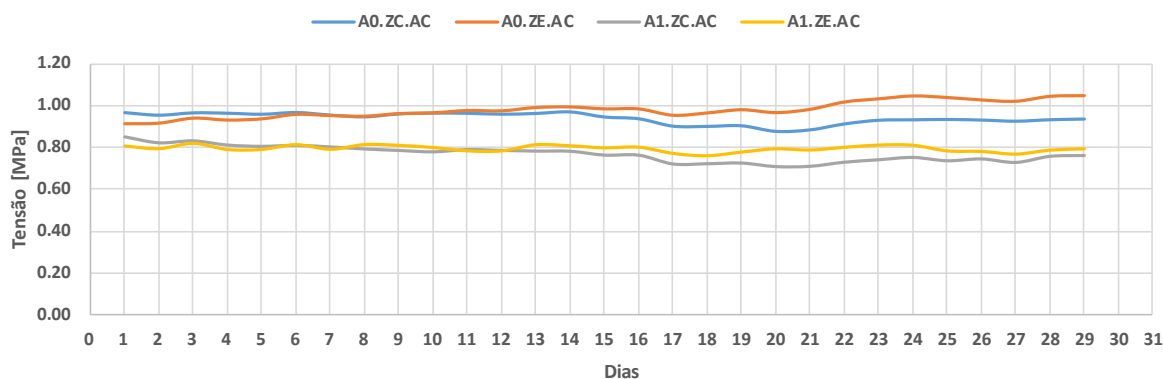
Este comportamento torna a interpretação dos resultados mais complexa, uma vez que levanta questões sobre que valor assumir como melhor indicador do sistema. Por isso, a Tabela 3 apresenta alguns casos com 2 valores experimentais, o primeiro relativo à média dos 30 ciclos e, o segundo, relativo ao valor máximo medido e que corresponde ao valor da fase de estabilização. No final, os 2 valores não são muito diferentes, mas a comparação com os valores das tensões durante os primeiros ciclos, revela diferenças significativas, em casos como a CBR, em mais de 100% (Figura 16).

Finalmente, também é relevante notar que os valores das tensões obtidos para a argamassa de camada de base são significativamente menores que a resistência interna do EPS (superior a 0,15MPa [17]), desde que se assuma o módulo de Young do conjunto EPS 100/Rede de reforço/camada de base, o que pode ajudar a explicar porque não se observam roturas em contexto real e confirmar que é acertado assumir o módulo de Young relativo ao EPS 100 e não à camada de base. Já ao nível das tensões na argamassa-cola, notam-se valores similares ao caso da amostra 1 ou até superiores.

Ainda relativamente à amostra 2, equivalente ao suporte em EPS 100, a comparação de resultados entre a simulação teórica e a determinação experimental revela que os valores experimentais são tendencialmente superiores para o caso da argamassa-cola e na ordem de 0,3MPa. Esta diferença é próxima de 50% face ao valor da simulação, que se poderá considerar aceitável uma vez que se enquadram dentro de um intervalo que classifica uma argamassa-cola dentro de mesma classe de exigência. Ainda assim, é uma diferença considerável que deve merecer uma análise detalhada de interpretação sobre o seu significado, provavelmente ao nível dos pressupostos adotados na simulação numérica. Ao contrário, a comparação de valores obtidos para a argamassa de camada de base reforçada apresenta diferenças menores (entre 20 e 40%), ainda justificando alguma ponderação ao nível desses mesmos pressupostos. Ao nível da simulação teórica, não existem resultados adotando um módulo de Young menor, pelo que não se pode fazer uma comparação nestas condições, ainda que se admita que não será muito díspar em relação às conclusões anteriores.



**Figura 16** – Evolução das tensões equivalentes na camada de base reforçada (CBR), durante o aquecimento de 30 ciclos, para as áreas A0 e A1.



**Figura 17** – Evolução das tensões equivalentes na argamassa-cola (AC), durante o aquecimento de 30 ciclos, para as áreas A0 e A1.

**Tabela 3** - Resultados relativos às tensões obtidas a partir da simulação numérica e da metodologia experimental aplicada, para a amostra 2 (referente ao caso de suporte com sistema ETICS).

Metodologia/Zona avaliação/elemento	Zona extremidade do cerâmico			Zona central do cerâmico		
	Adesivo	CBR <sup>(1)</sup>	CBR <sup>(2)</sup>	Adesivo	CBR <sup>(1)</sup>	CBR <sup>(2)</sup>
Simulação Numérica [14,15]	0,61	0,61	n.t	0,61	0,61	n.t
Medição experimental <sup>(3)</sup>	0,98; 1,05	0,43	0,004; 0,01	0,94; 0,97	0,72	0,004; 0,01

<sup>(1)</sup> Módulo de elasticidade (assumido) da camada de base: 8GPa; <sup>(2)</sup> Módulo de elasticidade (assumido) de uma combinação de EPS 100 e camada de base: 50MPa; <sup>(3)</sup> Para os casos onde aparecem 2 valores, o 1º valor corresponde ao valor médio medido e o 2º ao valor máximo

## 5. Conclusões

Este trabalho tem como objetivo principal a determinação experimental de tensões obtidas num sistema de cerâmica colada em suportes de reboco e EPS 100, a partir de uma metodologia experimental que permita obter as deformações exercidas, em diferentes componentes, por ação de um gradiente térmico. Posteriormente, pretende-se que as medições realizadas possam servir de validação ou contribuir para melhorias de um procedimento numérico, teórico, trabalhado anteriormente pelos autores, mas que carece, efetivamente, de prova experimental.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios experimentais indicam valores de tensões equivalentes aos valores teóricos propostos, sobretudo quando o suporte considerado é reboco aplicado sobre uma alvenaria de bloco de betão leve, sugerindo que a elevada rigidez de todo o sistema contribui para uma estabilidade de todos os componentes ao longo de todos os ciclos aplicados e, por isso, os pressupostos adotados no modelo numérico, acabam por se adaptar sem surpresa.

Por outro lado, os resultados também demonstram que para o contexto de aplicação sobre um suporte em EPS 100 (sistema ETICS) existem discrepâncias significativas entre os valores teóricos e experimentais, sendo os últimos tendencialmente superiores em mais de 50%. Na verdade, o comportamento das deformações ao longo dos ciclos não teve a estabilidade que o sistema anterior apresentou. Antes, observou-se uma tendência a um incremento das deformações e tensões durante o aquecimento ao longo do tempo de ensaio, até se atingir uma estabilização após 25 ciclos. Em alguma dessa trajetória, é possível observar valores de tensões similares aos propostos pelo modelo teórico, sugerindo que o mesmo carece de fator de estabilização, provavelmente associado a materiais mais compressíveis como o próprio EPS 100.

## Referências

- [1] Ceramic tile on the forefront of architecture, a 10 Year Retrospective Words: Richard P. Goldberg AIA, CSI, NCARB, Achitect-Professional Consultant International, LLC (PROCON).
- [2] G. Toplicic-Curcic, D. Grdic, N. Ristic, Z. Grdic, Ceramic façade claddings as an element of sustainable development, *Architecture and Civil Engineering*, 13, 3 (2015) 219-231.
- [3] S. Malanho, R. Veiga, Performance of external thermal insulating composite system (ETICS) with finishing ceramic tiles, In: 12th DBMC, Porto, 2011, IV, 1959-1966.
- [4] Revêtements de murs extérieurs en carreaux céramiques ou analogues collés au moyen de mortiers-colles en travaux neufs, *Cahiers des Prescriptions Techniques d'exécution*, CSTB, 2006.
- [5] Revêtements de sols intérieurs et extérieurs en carreaux céramiques ou analogues collés au moyen de mortiers-colles dans les locaux P3 au plus en travaux neufs, *Cahiers des Prescriptions Techniques d'exécution*, CSTB, 2006.
- [6] UNI 11493-1:2016 Piastrellature ceramica a pavimento e a parete - Parte 1: Istruzioni per la progettazione, l'installazione e la manutenzione, 2016.
- [7] EN 12004-1:2017- Adhesives for ceramic tiles - Part 1: Requirements, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking, 2017.
- [8] International Standard ISO 13007-1, Ceramic tiles-Grouts and adhesives- part 1: Terms, definitions and specifications for adhesives, 2010.
- [9] American National Standard Specifications for The Installation of Ceramic Tile (ANSI), Material & Installation Standards, TCNA- Tile Council of North America, Inc., 2013.
- [10] International Standard ISO 14448, Low modulus adhesives for exterior tile finishing, 1st edition, 2016.
- [11] M.Y.L Chew. Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. *Construction and Building Materials* 13(5) (1999) 293-296.
- [12] J. K. Flexiberger, Stresses in the composite system: tile, fixing mortar, base, in *General Conferences*, Vol. II, pág. P.BB-191, Qualicer, Castellon (Spain), 2006.
- [13] M. Abreu, M., Descolamento e fendilhação em revestimentos cerâmicos, 3º Encore, LNEC, Lisboa, 1801-1090, 2003.
- [14] L. Silva, P. Sequeira, F. Melo, C. Lopes, Evaluation of the von mises stress as a function of elastic modulus of the tile adhesive and joint grout mortars, 12th European Adhesion Conference and 4th Luso-Brazilian Conference on Adhesion and Adhesives, IST-University of Lisbon, September 2018.
- [15] L. Silva, P. Sequeira, F. Melo, C. Lopes, The Evaluation of Von Mises Stress Field in Bonded Tiling Ceramics as Function of the Elastic Modulus of the Tile-Adhesive and Joint Grout Mortars, *Proc IMechE Part L: J Materials: Design and Applications* 0(0) (2020) 1–8.
- [16] L. Silva, P. Sequeira, A. Flores, N. Viriato, F. Melo, M. Vaz, Avaliação experimental de tensões geradas num sistema de colagem de cerâmica sob ação de gradientes térmicos, Congresso Construção 2022 dezembro, Guimarães, Portugal, 2022.
- [17] V. Pereira, P. Sequeira, N. Vieira, L. Silva, Fixação de elementos cerâmicos no sistema ETICS. Pormenores que fazem a diferença, 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, Portugal, março 2012.

## ORCID

Luis Miguel Cardoso da Silva	0000-0002-0925-8572 <a href="https://orcid.org/0000-0002-0925-8572">https://orcid.org/0000-0002-0925-8572</a>
Andreia Flores	0000-0003-3293-6519 <a href="https://orcid.org/0000-0003-3293-6519">https://orcid.org/0000-0003-3293-6519</a>
Nuno Viriato	0000-0001-9957-9486 <a href="https://orcid.org/0000-0001-9957-9486">https://orcid.org/0000-0001-9957-9486</a>
Francisco Queiros de Melo	0000-0002-3679-5795

Mário A. P. Vaz

(<https://orcid.org/0000-0002-3679-5795>)

0000-0002-6347-9608

(<https://orcid.org/0000-0002-6347-9608>)