

DESENVOLVIMENTO DE APARATO PARA MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM PASTAS DE CONCRETO

DEVELOPMENT OF APPARATUS FOR THE MEASUREMENT OF ELECTRICAL RESISTIVITY IN CONCRETE PASTES

Calado, Carlos; *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco-UPE, carlos.calado@upe.br*

Camões, Aires; *CTAC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho-UMINHO, Portugal, aires@civil.uminho.pt*

Elias, Fabrizio; *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco-UPE, fabrizioelias@protonmail.com*

Dalpane, Tâmara; *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco-UPE, tamaradalpane@gmail.com*

RESUMO

Considerando o potencial das tecnologias eletrônicas, é natural buscar meios onde a Engenharia Civil pode também se beneficiar. O Arduino, plataforma *open-source* para desenvolvimento eletrônico, possui potencial na indústria da construção civil com baixo custo, facilidade de uso e boa confiabilidade, já em utilização por algumas empresas de construção. O monitoramento da evolução da resistividade elétrica em pastas e argamassas de concreto pode contribuir no controle de qualidade. Assim, o desenvolvimento de aparato com Arduino, para medir a evolução da resistividade elétrica do concreto fresco, representa avanço na aplicação de tecnologia em canteiro de obras, inclusive através da correlação entre o tempo de pega e a resistividade elétrica. A pesquisa desenvolveu um aparato usando uma placa Arduino, sensor de corrente não invasivo, sensor de temperatura e umidade ambiente, e relógio para realizar leituras em tempos programados. As informações podem ser visualizadas em uma tela *LCD* assim como são salvas em um cartão *MicroSD* para posterior geração dos gráficos de correlação. O Arduino permite a integração de todos os componentes e programação pelos autores. As leituras são autônomas, cabendo ao operador a produção da argamassa, preenchimento do molde e ligação do aparato na rede elétrica comum, liberando-o para realização de outras tarefas. Ao final do ensaio, deve-se importar os dados do cartão para geração do gráfico evolutivo. Para validação do aparato foram feitos ensaios em composições de pastas de concreto, além de ensaios de Vicat para determinação dos tempos de pega. Os resultados comparativos entre os ensaios de resistividade e tempo de pega foram referenciados conforme as referências bibliográficas.

ABSTRACT

Considering the potential of electronic technologies, it is natural to seek ways in which Civil Engineering can also benefit. Arduino, an open-source platform for electronic development, has potential in the construction industry with low cost, ease of use and good reliability, already in use by some construction companies. Monitoring the evolution of electrical resistivity in concrete pastes and mortars can contribute to quality control. Thus, the development of a device with Arduino to measure the evolution of the electrical resistivity of fresh concrete represents an advance in the application of technology in construction site, including through the correlation between the time of handle and the electrical resistivity. The research developed an apparatus using an Arduino board, non-invasive current sensor, ambient temperature and humidity sensor, and a clock to perform readings at programmed times. The information can be viewed on an *LCD* screen as well as saved on a *MicroSD* card for later generation of correlation charts. The Arduino allows the integration of all components and programming by the authors. The readings are autonomous, so the operator must need only to produce the mortar, fill the mold and connect the apparatus in the common electric network, allowing him to carry out other tasks. At the end of the test, the data must be imported from the card to generate the evolution chart. For the validation of the apparatus, tests were carried out on compositions of concrete pastes, as well as Vicat tests for determination of setting times. The comparative results between the resistivity and draw time trials were consistent with the literature references.

1 - INTRODUÇÃO

Em 2012 o planeta havia atingido um nível recorde de emissões de CO₂ na atmosfera, 31,6 giga toneladas, o que representou crescimento de 1,4% em relação a 2011 (O Globo, 2013). Nesse contexto a indústria da construção civil, uma das mais importantes atividades produtivas e econômicas, é também responsável por impactos ambientais a exemplo de extração de matérias primas, geração de resíduos, bem como a fabricação do cimento, dentre outros (Gasques *et al.*, 2014). Assim, é de grande importância para o meio ambiente diminuir o consumo de cimento, tentando encontrar materiais alternativos que o permitam substituir, pelo menos em parte. Neste sentido, várias pesquisas foram entretanto desenvolvidas com o intuito de produzir concretos com reduzido teor de cimento e alto teor de adições minerais, designadamente cinzas volantes de biomassa ou de carvão proveniente de centrais termelétricas (Camões, 2005, Teixeira *et al.*, 2016^a, Teixeira *et al.*, 2016^b) e resíduo do bioetanol celulósico (Calado *et al.*, 2017). Estas misturas têm uma reologia no estado fresco que as distingue das de cimento puro, a elevada viscosidade (Camões, 2002). Este aspecto permite questionar se os ensaios tradicionais para determinação dos tempos de pega, baseados na resistência à penetração de pastas, são, ou não, válidos para pastas de reologia assim tão distinta. Neste sentido, procurou-se avaliar a possibilidade de medição dos tempos de pega, recorrendo à medição da resistividade elétrica de pastas no estado fresco. A ABNT NBR NM 43 (2003) e a ABNT NBR NM 65 (2003) estabelecem procedimentos para realização de ensaios para determinação da pasta de consistência normal e dos tempos de início e fim de pega, respectivamente. A pasta de consistência normal é usada nos ensaios para determinação dos tempos de início e fim de pega com o aparelho de Vicat e deve ser determinada por tentativa e erro, até que uma sonda normalizada penetre (6±1) mm do fundo do molde tronco-cônico. Cada tentativa requer 500g de cimento, com potencial de uso significativo de cimento até a obtenção da pasta correta. Calado *et al.* (2018) mostra que a aplicação de aditivos e adições pode aumentar significativamente o tempo de início e fim de pega das pastas, com composições chegando a atingir 120 horas, aumentando as chances do ensaio ser perdido, por exemplo, endurecendo em momentos onde o operador não podia ensaiar a pasta, ou inviabilizando completamente o ensaio.

Considerando o potencial de desperdício de cimento e tempo nessas condições, a presente pesquisa buscou formas de otimizar a obtenção dos tempos de pega de pastas com diferentes composições a partir do desenvolvimento de um aparato original utilizando a plataforma Arduino. Zongjin (2007) demonstrou a correlação entre a resistividade elétrica e os tempos de pega das pastas de cimento, desenvolvendo um equipamento próprio para tal propósito, utilizando o princípio do transformador em um sensor sem contato com a pasta, permitindo eliminar problemas de contato com os eletrodos. Entretanto, a sua construção foi patenteada e requer um gerador capaz de produzir corrente alternada com frequência de 1000Hz. Calado (2015) também demonstrou a correlação da evolução da resistividade elétrica das pastas com seus tempos de pega, mas utilizando aparato mais simples, com corrente contínua. O autor utilizou corpos de prova cilíndricos com chapas metálicas servindo de eletrodos, em contato direto com a pasta. A escolha do tempo de pega se deu pela literatura disponível, sua importância para o controle de qualidade do concreto e desenvolvimento da obra (Calado, 2015), e pelo maior potencial redutor de desperdícios, mas a evolução da resistividade pode ser relacionada com outras propriedades do cimento, a serem estudadas no futuro. Além da resistividade, a temperatura da pasta e do ambiente também foram monitoradas. Em ambos os trabalhos, a resistividade foi calculada seguindo a lei de Ohm.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Construção do Aparato

2.1.1 - Arduino

A escolha da plataforma Arduino se deu devido a sua facilidade de programação e operação, sua natureza de código aberto e baixo custo de aquisição, aliada a uma ótima performance para aplicações automatizadas. A linguagem utilizada é C e o código deve ser digitado em um ambiente de desenvolvimento próprio que pode ser obtido no site oficial (Arduino, 2018).

A plataforma consiste em uma placa de circuito impresso com um chip Atmega329P como controlador principal, diversos pinos de entrada e saída digital e analógicas, conexão por USB e possibilidade de ser utilizado sem o computador após a programação inicial, podendo ser ligado à rede elétrica comum. Ele é utilizado no mundo todo desde aplicações educativas até projetos comerciais de automação entre outros (Arduino, 2018).

2.1.2 - Sensores e componentes

O Arduino utiliza sensores conectados aos seus pinos de entrada e saída para obtenção das informações necessárias aos cálculos com exibição na tela ou gravação em cartão *MicroSD*. Como estes componentes são utilizados nas mais diversas aplicações, existem bibliotecas prontas de código aberto que foram usadas para facilitar tais operações de leitura e escrita, todo o resto do código foi escrito pelos autores. No total, existem 8 componentes conectados ao Arduino (Figura 1). Durante o desenvolvimento o aparato foi montado em uma caixa plástica (Figura 2).

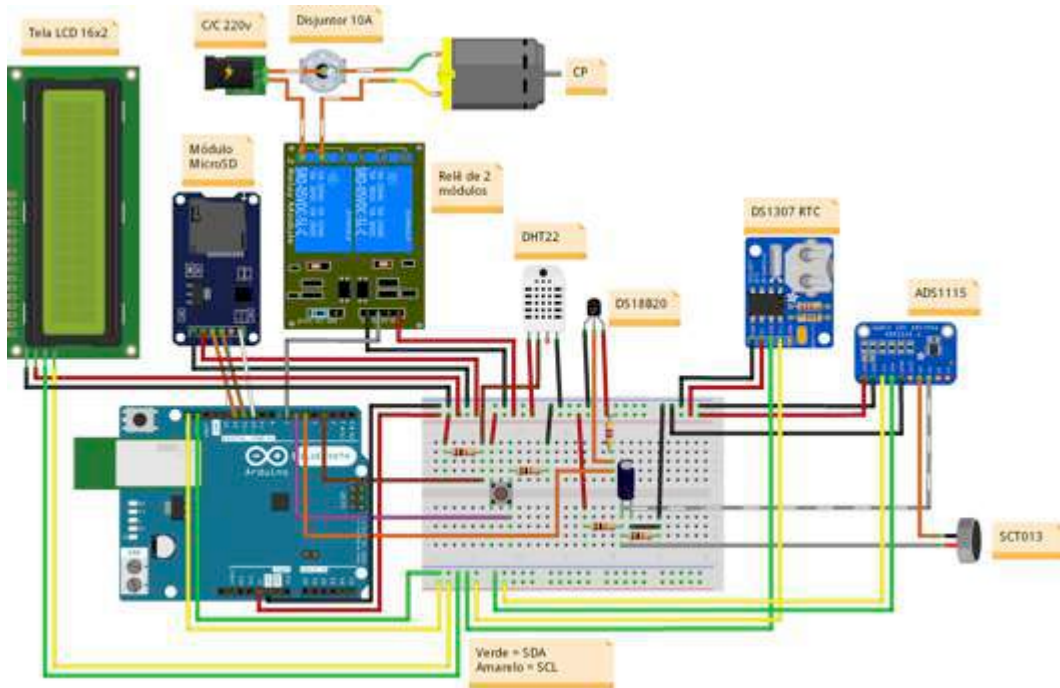


Figura 1 – Esquema eletrônico com a conexão de todos os componentes integrantes ao aparato desenvolvido.

Informações como tempo até a próxima leitura, resultados da leitura em tempo real da temperatura e da umidade ambiente podem ser lidas a qualquer momento na tela LCD. Os tempos são controlados utilizando um relógio em tempo real (DS1307 RTC) e os intervalos entre cada leitura podem ser programados com precisão de segundos.

A leitura da corrente elétrica que passa através do corpo de prova é feita usando um sensor não-invasivo SCT013-010 que utiliza a relação 10A/1V para transformar a corrente passante em um fio em uma voltagem que pode ser lida pelo Arduino. Devido aos baixos valores de corrente que passam pela pasta, especialmente após o endurecimento, o sensor foi conectado a um conversor analógico-digital ADS115 com 16bit de precisão, o que permite ler correntes na ordem de 0,625mA (aproximadamente $1,26\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ para o corpo de prova usado); em contrapartida, o conversor próprio do Arduino, de 10bit, permite realizar leituras de até 4mA, o que pode atrapalhar leituras em estágios mais avançados do ensaio, com correntes extremamente baixas. O ADS115 pode ainda ser configurado para operar com correntes ainda mais baixas, da ordem de 0,078125mA (aproximadamente $10,05\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ para o corpo de prova usado), mas por questões operacionais do próprio componente, durante a fase de desenvolvimento do aparato, tal precisão foi sacrificada sem detrimento dos resultados dos ensaios, visto que sempre ficaram abaixo dos $100\text{K}\Omega/\text{cm}$.



Figura 2 – Foto do aparato em seu estado final, mostrando o molde do lado esquerdo, o aparato com tela na parte superior e o sensor de temperatura SCT013-010 no centro (azul).

A separação do circuito de corrente alternada para o de corrente contínua foi feita usando um relê de dois módulos controlado pelo Arduino. Um relê é uma chave eletromagnética controlada pelo Arduino e sempre que uma leitura precise ser feita, o relê é acionado, deixando passar corrente através do corpo de prova, CP, e por um disjuntor comum de 10A usado como dispositivo de segurança contra sobrecorrentes. O corpo de prova é moldado dentro de um tubo de PVC com 5,5cm de comprimento e 5cm de diâmetro com eletrodos de alumínio em cada uma de suas pontas. O cálculo da resistividade elétrica foi obtido por Calado (2015):

$$\rho_v = \frac{U}{I} \times \frac{A}{h} \quad [1]$$

Na equação anterior, U é a voltagem que passa pelo CP, no caso, 220V, I é a corrente lida pelo Arduino em Ampères, A é a área do eletrodo em cm² e h, o comprimento do tubo em cm. A resistividade ρ_v é dada então em $\Omega \cdot \text{cm}$.

Imediatamente antes e depois de cada leitura de corrente, são feitas leituras de temperatura do corpo de prova, usando o sensor DS18B20 com precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Devido a presença de corrente elétrica alternada, a fim de isolar os circuitos, esse sensor fica próximo do corpo de prova. Apenas é apresentado a temperatura antes da leitura da resistividade, visto que a diferença entre esta e a temperatura após a leitura é negligenciável, sempre menos de 1°C . No intervalo de cada leitura, são apresentados na tela o tempo até a próxima, quantas leituras já efetuadas, e a temperatura e a umidade do ambiente usando o sensor DHT22.

A cada leitura, são gravados no cartão *MicroSD* o tempo em segundos desde o início do ensaio, a corrente que atravessou o corpo de prova, as temperaturas do corpo de prova e a temperatura e a umidade do ambiente. Esses dados são também apresentados na tela LCD durante a leitura.

2.1.3 - Software para geração dos gráficos

Em conjunto ao aparato, foi desenvolvido um *software* na linguagem *Python* para gerar os gráficos de evolução da resistividade e temperatura. Ao final do ensaio, o operador deve recolher o cartão *MicroSD* e importar o arquivo texto gerado no *software*, escolher que tipo de gráfico deseja gerar e salvar a imagem para análise.

2.1.4 - Ensaios

Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção civil – LMCC da Universidade de Pernambuco. A mistura e moldagem das pastas seguiram as recomendações da NBR 7215 (1996) e a colocação dos aditivos as recomendações dos fabricantes. Após a moldagem da pasta, o molde é conectado ao aparato e este, ligado à rede elétrica. Ao ligar o Arduino, são feitas calibrações no sensor de corrente na tentativa de diminuir o ruído do ambiente, realizando-se leituras enquanto a conexão para o corpo de prova é mantida desligada, essa variação é subtraída nas leituras reais. Após a calibração, já é feita a primeira leitura, com duração aproximada de dois segundos. Cada leitura tem um intervalo de 7,5 minutos. Todos esses tempos podem ser configurados. O aparato continuará a realizar leituras enquanto estiver ligado na rede elétrica.

Paralelamente, para fins de comparação, foi realizado o ensaio para determinação do tempo de pega utilizando o aparelho de Vicat, sendo feita uma medição para cada leitura do aparato. O ensaio consiste na medição da penetração de uma agulha na pasta moldada em um molde tronco-cônico. O tempo de início de pega é dado quando a penetração é de 4 ± 1 mm do fundo do molde; já para o tempo de fim de pega, a penetração deve ser de 0,5mm do topo da pasta. O operador anota cada um desses tempos e os compara com o gráfico gerado pelo aparato para cálculo das correlações.

2.1.5 - Componentes e composições

O cimento utilizado foi o CPV-ARI para as composições C1 (Quadro 1) e o CPIII-32 RS para as composições C2 (Quadro 2), ambos comprados em armazéns da cidade brasileira do Recife, sendo utilizados frequentemente nas obras da região da pesquisa. A água de amassamento foi obtida da rede de abastecimento público. Quando necessário, foram utilizados aditivos plastificante e superplastificante. Todos os constituintes foram escolhidos com objetivo de se aproximar o máximo possível daqueles utilizados em obras e laboratórios da cidade do Recife.

Cada composição foi subdividida em quatro, nomeadamente Cimento+Água (C+A), C+A+Plastificante (C+A+P), C+A+Superplastificante (C+A+SP) e C+A+P+SP, onde a relação água/cimento utilizada para C1 foi de 0,5 e para C2 0,3, devido a velocidade no endurecimento do cimento tipo CPV-ARI.

As composições ensaiadas são apresentadas nos Quadros 1 e 2 a seguir.

Quadro 1 – Composições C1 utilizadas nos ensaios

Componente	C1	C1+P	C1+SP	C1+P+SP
Cimento CPV-ARI	500g	500g	500g	500g
Relação A/C	0,5	0,3	0,3	0,3
Plastificante	-	4,6g	-	4,6g
Superplastificante	-	-	5,5g	5,5g

Quadro 2 – Composições C2 utilizadas nos ensaios

Componente	C2	C2+P	C2+SP	C2+P+SP
Cimento CPIII-32 RS	500g	500g	500g	500g
Relação A/C	0,5	0,3	0,3	0,3
Plastificante	-	4,6g	-	4,6g
Superplastificante	-	-	5,5g	5,5g

3 - Resultados

Em todos os gráficos produzidos, o lado esquerdo tem a escala da resistividade em $k\Omega \cdot m$ (representada pela linha verde), e na direita, a escala de temperaturas em $^{\circ}C$ (linha azul para temperatura do CP e laranja para a ambiente). As linhas verticais ciano e vermelha representam os tempos de pega de acordo com o ensaio de Vicat.

Na Figura 3 pode ser visto o gráfico gerado para a composição C1 sem aditivos. O tempo de início de pega foi de uma hora e trinta minutos e o de fim de pega de três horas, quando o ensaio foi encerrado. O início do ensaio, apresentou acréscimo significativo da temperatura do corpo de prova devido ao calor de hidratação, chegando a um pico de $31^{\circ}C$. Quando a temperatura começou a baixar, notou-se um aumento mais acentuado da resistividade elétrica, indicando que a fase mais significativa da hidratação do cimento já havia ocorrido.

Na Figura 4, é mostrada a evolução da resistividade da composição C1 com plastificante. Pode-se perceber o pico de resistividade inicial em aproximadamente 9 horas e 30 minutos de ensaios, com uma queda, estabilização e posterior subida gradual após o período de dormência, comportamento coerente com Calado (2015) e Zongjin (2007).

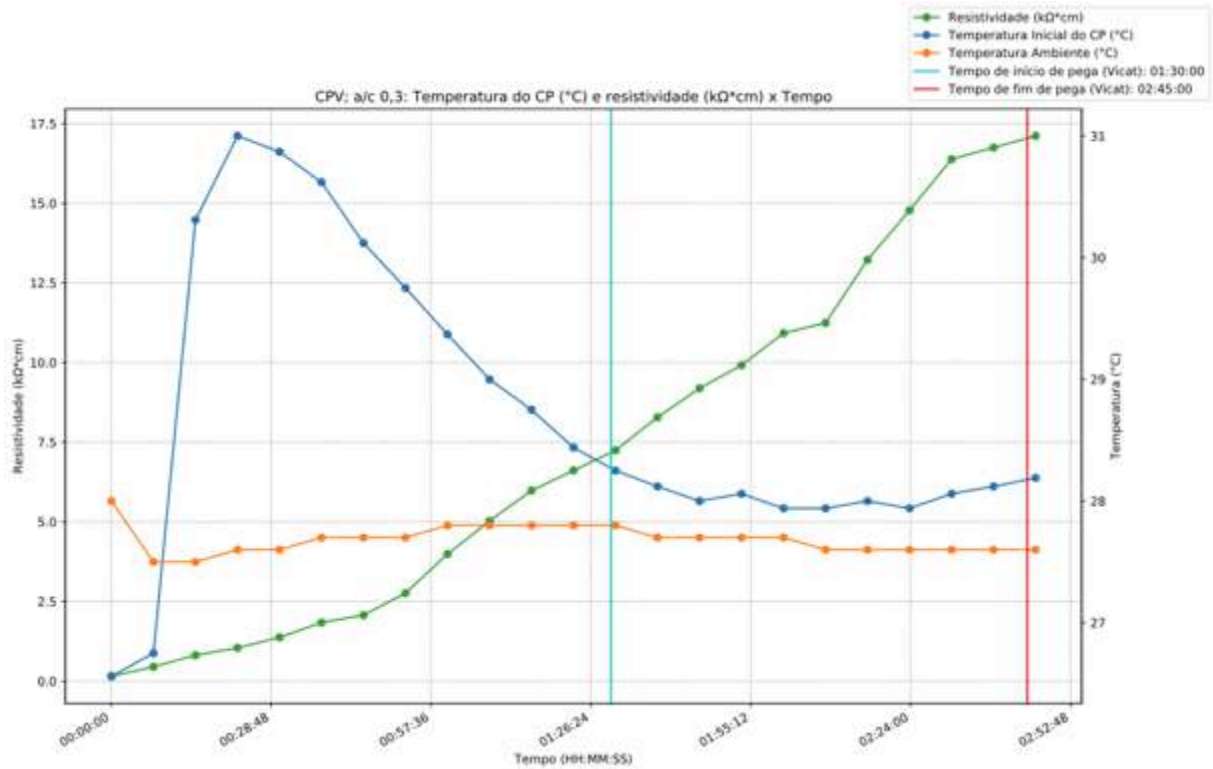


Figura 3 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C1 sem nenhum aditivo, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e do ambiente

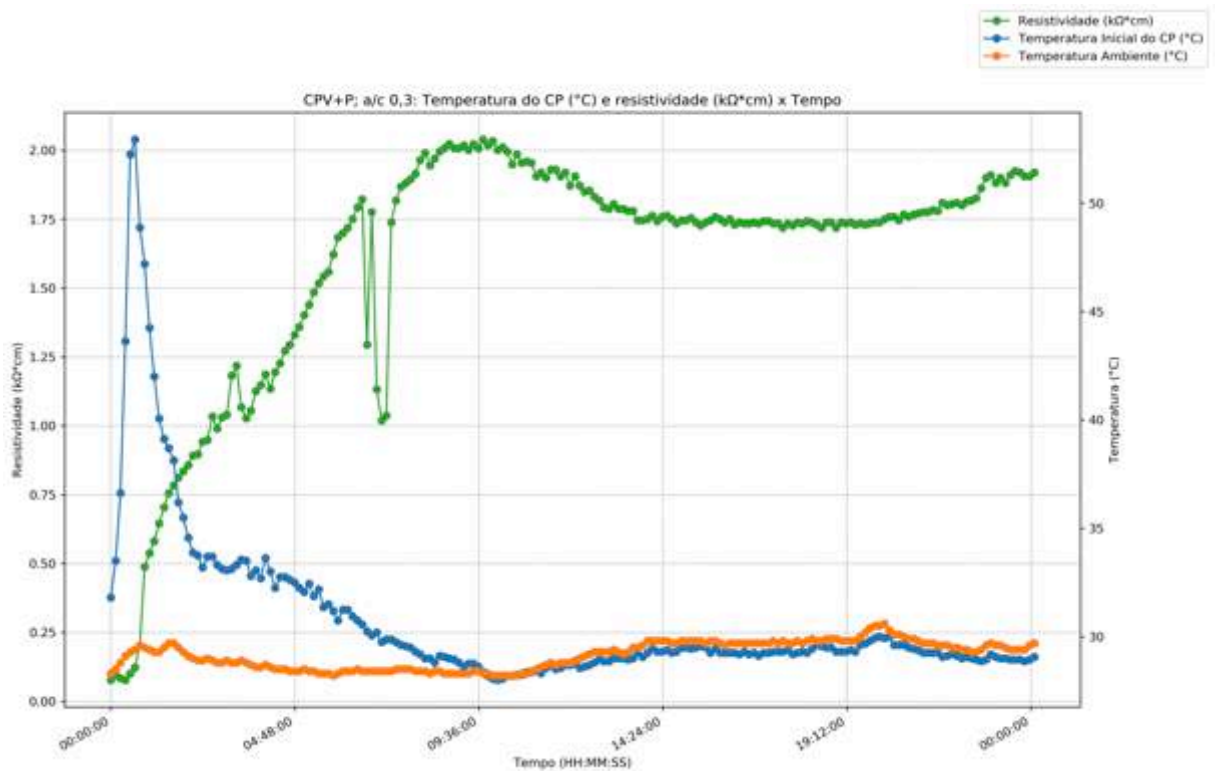


Figura 4 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C1 apenas com plastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e do ambiente

A figura 5 mostra a composição C1 com superplastificante. Mais uma vez nota-se o aumento rápido de resistividade após o final da hidratação do cimento, indicado pela queda da temperatura do corpo de prova. O tempo de início de pega foi de 4 horas.

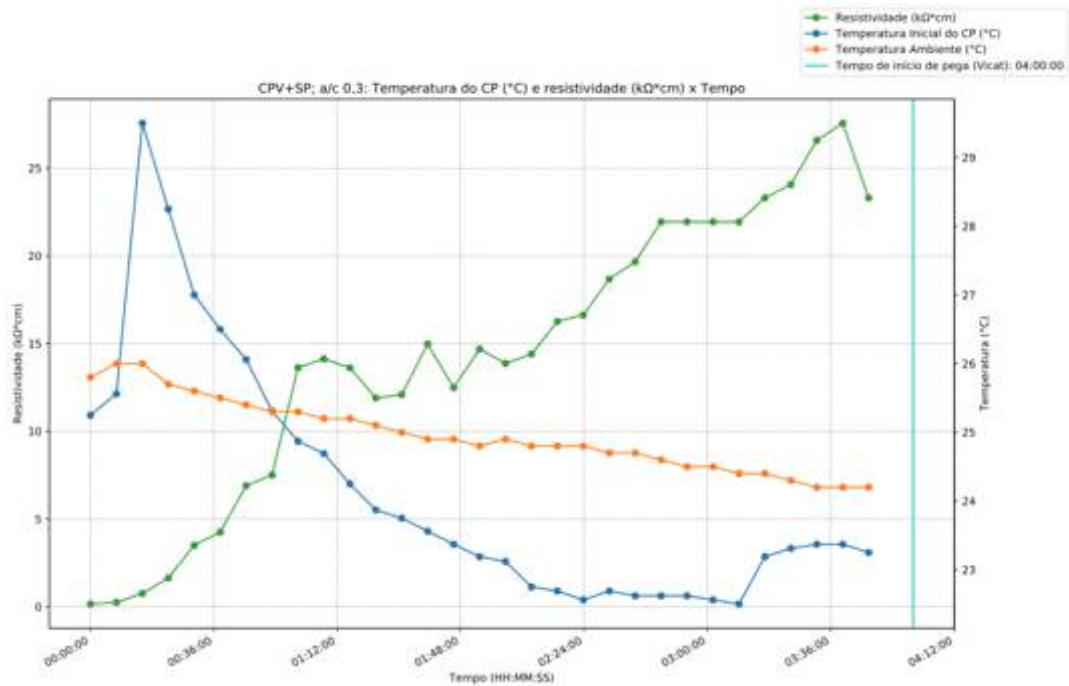


Figura 5 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C1 apenas com superplastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e do ambiente

Já na Figura 6, pode ser visto a composição C1 com plastificante e superplastificante. Esta foi a composição, utilizando o cimento CPV-ARI que mais demorou para entrar em pega. Mesmo assim, o padrão foi mantido e a resistividade tem seu maior crescimento após a queda da temperatura do corpo de prova, com o tempo de início de pega ocorrendo em 6 horas e 30 minutos e o de fim de pega, após 8 horas.

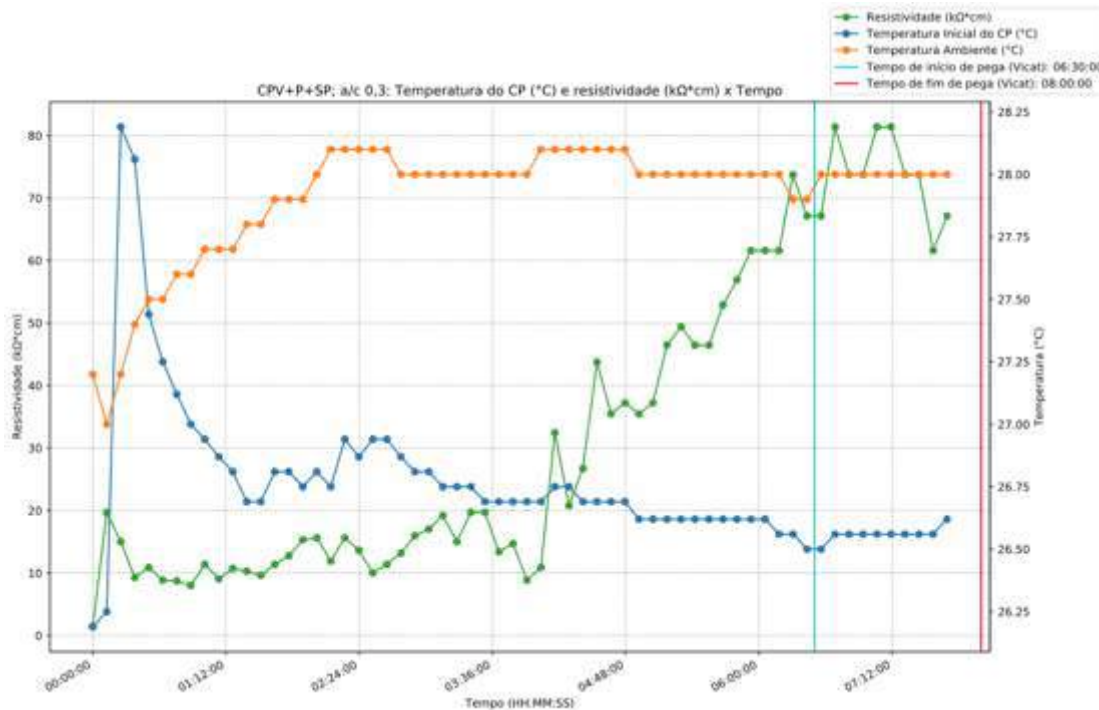


Figura 6 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C1 com plastificante e superplastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e ambiente

A Figura 7 mostra a composição C2 sem a adição de aditivos. O tempo de início de pega foi de 4 horas, aproximadamente 3 horas após o início do crescimento da resistividade elétrica.

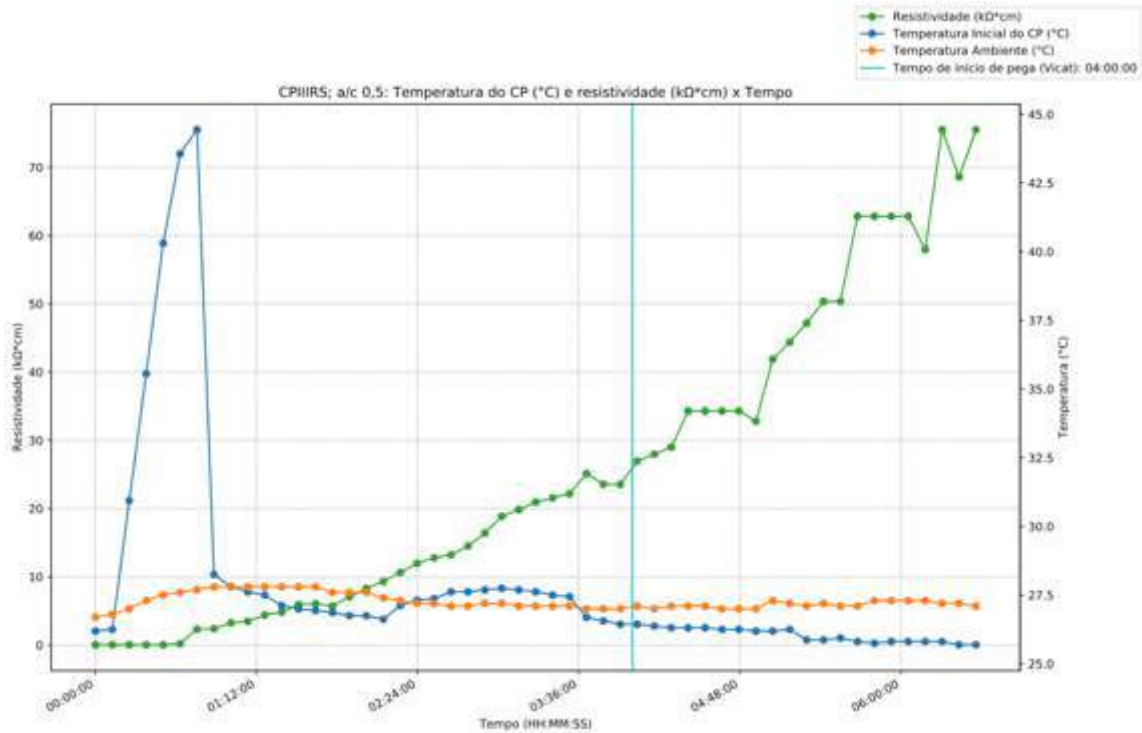


Figura 7 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C2 sem aditivos, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e ambiente

Na Figura 8 é mostrada a composição C2 com o aditivo plastificante. Nota-se, mais uma vez, o crescimento da resistividade elétrica com o declínio do calor de hidratação do cimento. O tempo de início de pega ocorreu em 6 horas após o início do ensaio e o tempo de fim de pega em 7 horas e 30 minutos.

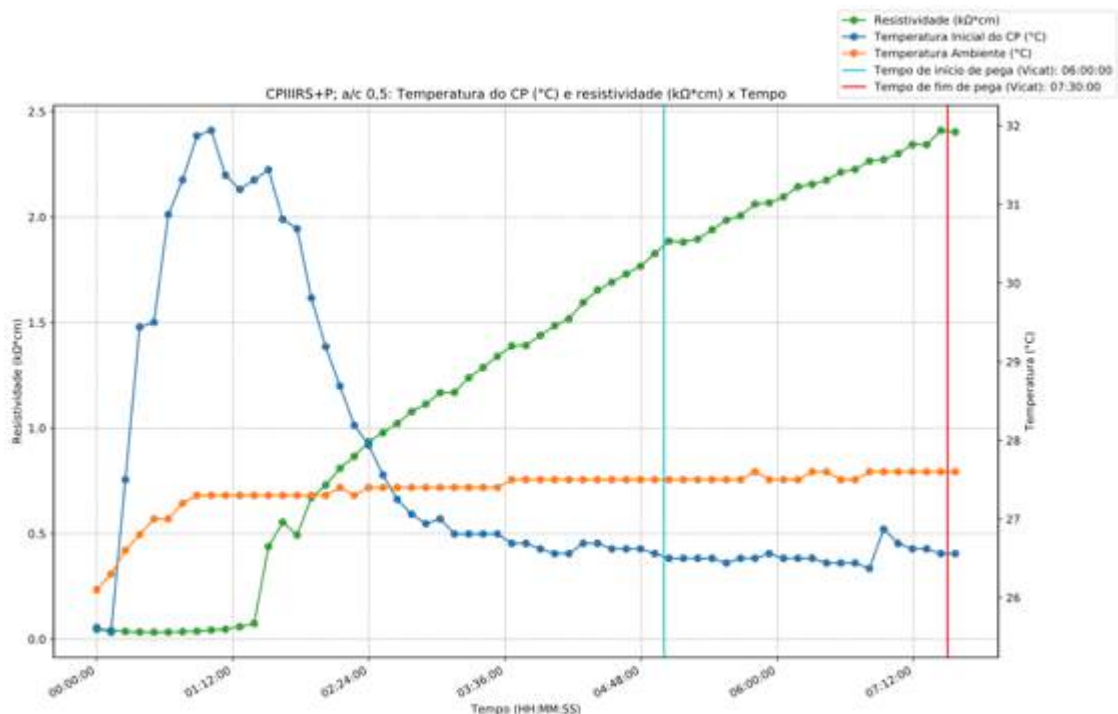


Figura 8 – Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C2 apenas com plastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e ambiente

A composição C2 com superplastificante é mostrada na Figura 9. Os tempos de início e fim de pega não foram obtidos para essa composição com o método de Vicat devido os horários disponíveis no laboratório.

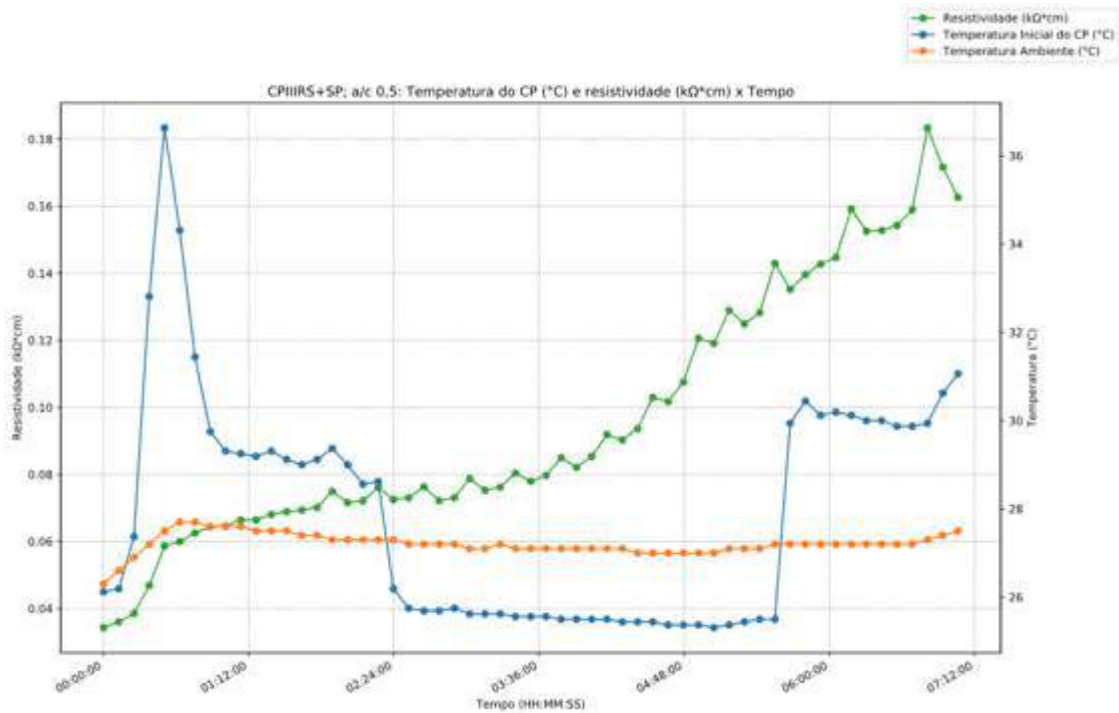


Figura 9 - Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C2 apenas com superplastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e ambiente

Por fim, na Figura 10 está apresentada a composição C2 com plastificante e superplastificante. Os tempos de início e fim de pega também não foram obtidos pelos mesmos motivos expostos anteriormente.

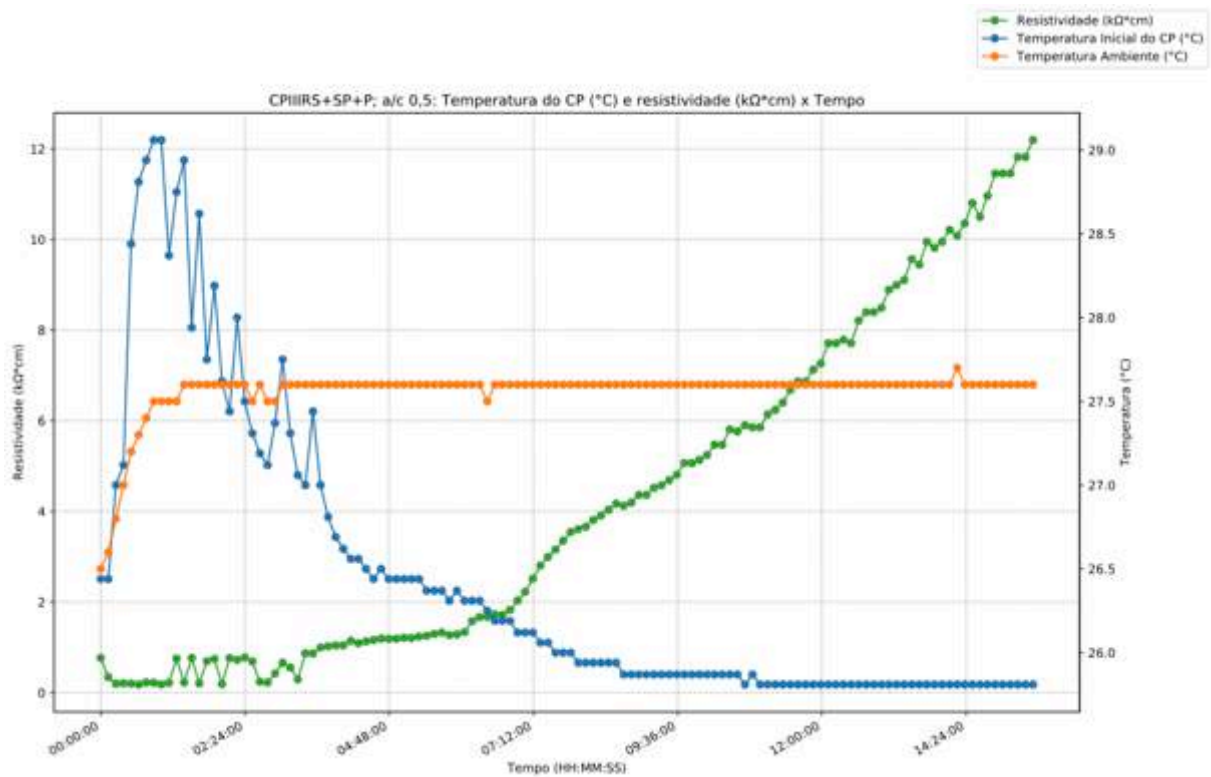


Figura 10 - Gráfico com evolução da resistividade elétrica da composição C2 com plastificante e superplastificante, mostrando ainda temperatura do corpo de prova e ambiente

Notou-se que todos os corpos de prova tiveram um comportamento parecido, com a resistividade elétrica crescendo mais rapidamente após a hidratação do cimento, evidenciada pela queda do calor de hidratação. As composições sem superplastificante apresentaram melhor desempenho no que diz

respeito as leituras do aparato desenvolvido, pois seus dados de tempos de pega puderam ser obtidos dentro das limitações de tempo do laboratório. As composições com superplastificante e plastificante foram as que tomaram maior tempo de ensaio, chegando a 15 horas na composição C2.

Nesta composição, o aparato foi deixado ligado durante a noite e seus dados obtidos apenas no dia seguinte, mostrando bom funcionamento mesmo ligado por muito tempo, evidenciando utilidade na obtenção dos dados de composições que de outra forma, seriam de grande dificuldade.

Por fim, nota-se que composições com superplastificante tem a evolução da resistividade significativamente mais lenta, especialmente durante as primeiras horas de ensaio, o que resulta em valores mais baixos quando comparado com composições sem esse aditivo e com durações semelhantes.

Para se obter correlações mais precisas, deve-se realizar mais ensaios nas composições que apresentaram melhor desempenho, especialmente na obtenção dos tempos de pega pelos métodos tradicionais.

4 - CONCLUSÕES

Após análise dos resultados obtidos e comparação com a bibliografia, especialmente os trabalhos de Calado (2015) e Zongjin (2007), verificou-se que há viabilidade técnica do aparato original desenvolvido para medição da resistividade elétrica em pastas de concreto e possível posterior correlação com os tempos de pega. A utilização do Arduíno representou um avanço técnico dos aparatos desenvolvidos nos trabalhos anteriormente mencionados, pois trouxe baixo custo, boa confiabilidade e melhores condições operacionais nos ensaios.

Em trabalhos futuros, deve-se estudar a influência do uso de corrente alternada 220V nos tempos de pega, já que esta passa diretamente pelo corpo de prova, ao utilizar-se diversos tamanhos de corpos de prova nas mesmas composições e condições aqui apresentadas. Além disso, será estudada a relação da resistividade com outras propriedades do cimento, como sua resistência mecânica, índice de vazios e porosidade. A partir destes resultados, pode-se criar melhores correlações, com possibilidade de explicar alguns comportamentos como tempo de pega excessivo com o uso de aditivos. Por fim, pretende-se criar correlações reais e mais precisas entre os valores da resistividade e as diversas propriedades das pastas, a fim de programar o aparato para mostrar estimativas na tela LCD.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR NM 43 (2003). *Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR NM 65 (2003). *Cimento Portland – Determinação do tempo de pega*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 7215 (1996). *Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão*. Rio de Janeiro.
- Arduino (2018). <https://www.arduino.cc/>, acessado em 09/08/2018.
- Calado, C. F. A. (2015). *Concreto auto-adensável: alternativa ao concreto convencional em climas quentes*. Portugal. Tese de doutorado.
- Calado, C. et al. (2018). *Estudo Para Uso Do Resíduo Do Bioetanol Celulósico Adicionado Ao Cimento Em Argamassas De Concreto*. Atas do 3ª Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra.
- Calado, C. et al. (2017). *Estudo de Aplicação de Lignina para Adição ao Cimento em Argamassas de Composições de Concreto*. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017.
- Camões, A. (2002). *Betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes*. Tese de Doutorado, Universidade do Minho.

- Camões, A. (2005). *Betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes*. Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, Vol. 23, pp. 55–64.
- Gasques, A.C.F. et al. (2014). *Impactos Ambientais dos Materiais da Construção Civil: Breve Revisão Teórica*. Universidade Federal de Maringá, Paraná.
- O GLOBO (2013). *Emissões de CO2 na atmosfera atingiram nível recorde em 2012*. <https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/emissoes-de-co2-na-atmosfera-atingiram-nivel-recorde-em-2012-8646055>, acessado em 04/08/2018.
- Teixeira, E.R. et al. (2016a). *Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material*. Journal of Cleaner Production, Vol. 112, pp. 2221–2230.
- Teixeira, E.R., et al. (2016b). *Biomass and coal fly ash as cement replacement on mortar properties*. Anais do II International Conference on Concrete Sustainable ICCS16, pp. 1–12.
- Zongjin, L., Xiao, L., Wei, X. (2007). *Determination of Concrete Setting Time Using Electrical Resistivity Measurement*. Journal of Materials in Civil Engineering 19, 423–427.



TEST&E 2019

Monitorizar e Preservar

2º Congresso de Ensaios e Experimentação
em Engenharia Civil

19-21 FEVEREIRO 2019
PORTO · PORTUGAL

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO



ATAS DO 2º CONGRESSO

DE ENSAIOS E EXPERIMENTAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



TEST&E 2019

Monitorizar e Preservar

2º Congresso de Ensaios e Experimentação
em Engenharia Civil

ATAS DO 2º CONGRESSO

de

Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil

Monitorizar e Preservar

Instituto Superior de Engenharia do Porto
19-21 fevereiro 2019 | Porto | Portugal

Editores

José Neves
Diogo Ribeiro
Álvaro Ribeiro

Organização



Aviso Legal

A qualidade científica e os conteúdos das comunicações são da inteira responsabilidade dos respetivos autores. O editor não aceita qualquer responsabilidade pela informação contida nas comunicações inseridas na presente publicação. Nos termos legais em vigor, é expressamente proibida a reprodução total ou parcial desta publicação no seu todo ou em parte, não podendo ser reproduzida ou transmitida por qualquer outra forma ou processo eletrónico, mecânico ou outros, incluindo cópia, sem autorização expressa do editor. A escrita segundo o novo acordo ortográfico foi opção livre dos autores.

Ficha Técnica

Título: Atas do 2.º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil

Editores: José Neves, Diogo Ribeiro, Álvaro Ribeiro

Conceção editorial e gráfica: José Neves

Autores: vários

Copyright © RELACRE - Associação de Laboratórios Acreditados em Portugal

Estrada do Paço do Lumiar

Campus do Lumiar – Edifício D, 1º Andar

1649-038 Lisboa, Portugal

Telefone: +351 213 139 840

E-mail: geral@relacre.pt

Website: <http://www.relacre.pt>

Suporte: eletrónico

Formato: PDF

Data de publicação: Julho de 2019

ISBN: 978-972-8574-49-9

DOI: 10.5281/zenodo.3355354

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3355354>

Website do congresso: <https://www2.isep.ipp.pt/teste2019/>

ÍNDICE

PREFÁCIO <i>José Neves, Digo Ribeiro, Álvaro Ribeiro</i>	XI
ORGANIZAÇÃO	XIII
APOIOS E EXPOSITORES	XV
Tema 1	
REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO	
METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS DE PEDRA UTILIZANDO ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS <i>Carlos Chastre, Marco Ludovico Marques</i>	3
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PAREDES DE ALVENARIA E PAVIMENTOS DE MADEIRA DO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU <i>João Negrão, Romeu Vicente, Tiago Ferreira, Ricardo Almeida, José Mendes da Silva</i>	15
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA A INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS DE ALVENARIA DE PEDRA <i>Carlos Chastre, Marco Ludovico Marques, Hugo Biscaia</i>	25
AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PELO MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO DO PATRIMÓNIO HISTÓRICO NA REGIÃO LITORÂNEA NO CEARÁ/BRASIL AVALIAÇÃO <i>Lia Cavalcante, Moacir Rodrigues, Larissa Mota, David Gomes, João Medeiros, Maria Silva, João Fernandes, Esequiel Mesquita</i>	37
AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NA EXTREMIDADE DE UMA VIGA DE MADEIRA EM CONTACTO COM ALVENARIA HÚMIDA <i>Maxime Verbist, Jorge Branco, João Parracha, Lina Nunes</i>	49
ENSAIOS DE TRAÇÃO EM OBRA PARA SISTEMAS DE ANCORAGEM EM BETÃO E ALVENARIA <i>Bárbara Campelo, Gonçalo Carvalho</i>	61
COMPORTAMENTO A CARGAS VERTICAIS DE ASNAS EXISTENTES DE MADEIRA EM TESOURA <i>Alexandre Costa, Carlos Rodrigues, Jorge Fonseca, Aníbal Costa</i>	69
Tema 2	
NOVOS MATERIAIS	
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS <i>Inês Moreira, Ana Gomes, Maria da Luz Garcia, Diogo Araújo</i>	83
COMPORTAMENTO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS - CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA COM FIBRAS DE AÇO E POLIMÉRICAS <i>Ana Gomes, Inês Moreira, Maria da Luz Garcia, Diogo Araújo</i>	95
MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA DO BETÃO NAS PRIMEIRAS IDADES: UM NOVO MÉTODO EXPERIMENTAL BASEADO NO AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO INTERNO <i>Behzad Zahabizadeh, Ali Edalat-Behbahani, José Gomes, José Granja, Rui Faria, Miguel Azenha</i>	107
DESENVOLVIMENTO DE APARATO PARA MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM PASTAS DE CONCRETO <i>Carlos Calado, Aires Camões, Fabrizio Elias, Tâmara Dalpane</i>	119

CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEAVÉL <i>George Gomes, João Medeiros, Matheus Souza, Felipe Cavalcante, Lia Cavalcante, Francisco Rodrigues, Emanuel Araújo, Loyane Xavier, Esequiel Mesquita</i>	131
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS COM CINZAS DE CASCA DE AMÊNDOA <i>Maria da Luz Garcia</i>	141
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR PET EM ARGAMASSAS <i>Maria da Luz Garcia, Vanessa Dias, Vítor Silva</i>	149
CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE DE ETICS À ÁGUA, GRAFFITI E BIOCOLONIZAÇÃO <i>Inês Flores-Colen, Rosário Veiga, Sofia Malanho</i>	161
ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE OS EFEITOS DA MODIFICAÇÃO COM NANOARGILA NAS PROPRIEDADES DE UMA MISTURA SMA <i>João Crucho, José Neves, Silvino Capitão, Luís Picado-Santos</i>	171
 Tema 3 HIDRÁULICA, AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS	
MODELOS TRIDIMENSIONAIS DE SUPERFÍCIE DE QUEBRA-MARES OBTIDOS ATRAVÉS DE VANT. DO PROTÓTIPO PARA O LABORATÓRIO <i>Rute Lemos, Maria Henriques, Rui Capitão, Conceição Fortes</i>	183
ESTUDOS RECENTES ENVOLVENDO MODELAÇÃO FÍSICA E NUMÉRICA APLICADA À ENGENHARIA COSTEIRA. MARÍTIMA E OFFSHORE <i>Francisco Taveira-Pinto, Paulo Rosa-Santos, Tiago Fazeres-Ferradosa</i>	195
AVANÇOS RECENTES NA MONITORIZAÇÃO DE OBRAS MARÍTIMAS EM PORTUGAL <i>Rui Capitão, Rute Lemos, Conceição Fortes, Maria Henriques</i>	207
ENSAIOS DE AGITAÇÃO NO PORTO DE LEIXÕES EM CENÁRIO DE ALTERAÇÃO CLIMÁTICA <i>Miguel Silva, Conceição Fortes, Rute Lemos, Graça Neves, Carlos Caeiro</i>	221
EXTENSÃO DO MOLHE NORTE DO PORTO DE LEIXÕES: MODELAÇÃO FÍSICA DE UM NAVIO AMARRADO NO POSTO A <i>Liliana Pinheiro, Francisco Pedro, Hossam Abdelwahab, Conceição Fortes, João Santos, Rui Capitão</i>	233
ESTUDO EM MODELO REDUZIDO DO ESPRAIAMENTO, GALGAMENTO E DANO EM QUEBRA-MARES DE TALUDE <i>João Santos, Francisco Pedro, Mário Coimbra, Andrés Figuero, Conceição Fortes, José Sande, Moritz Körner, Rute Lemos, Antje Bornschein, Julius Weimper, Jeroen van den Bos, Bastian Dost, Rita Carvalho, Alberto Alvarells, Enrique Peña, Reinhard Pohl, Teresa Reis</i>	245
TÉCNICAS DE ANÁLISE E PÓS-PROCESSAMENTO DE IMAGEM APLICADA À EXTRAÇÃO DE DADOS LOCAIS DE ENSAIOS DE ROTURA DE BARRAGENS <i>Sílvia Amaral, Teresa Alvarez, Maria Teresa Viseu, Rui Ferreira</i>	257
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À GEOMETRIA DO CANAL PILOTO NA ROTURA DE BARRAGENS POR GALGAMENTO <i>Teresa Alvarez, Solange Mendes, Sílvia Amaral, Maria Teresa Viseu, Rui Ferreira</i>	269
DETERMINAÇÃO DOS CAMPOS DE VELOCIDADES DE ESCOAMENTOS BIFÁSICOS USANDO PIV-PTV <i>Rui Aleixo, Elsa Carvalho, Maria Manuela Lima, Rui Ferreira</i>	279

Tema 4

GEOTECNIA E TRANSPORTES

COMPARAÇÃO DA NORMALIZAÇÃO PORTUGUESA EM VIGOR COM A NOVA NORMALIZAÇÃO EUROPEIA PARA CARATERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS - ESTUDO LABORATORIAL <i>Carla Martins, Eduardo Neves, Adriano Teixeira, Manuela Carvalho</i>	291
TRATAMENTO DE SOLOS COM CAL <i>João Afonso, Sara Cardoso, Nuno Pinto</i>	301
ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO-CIMENTO PELO MÉTODO SUL-AFRICANO <i>Joana Machado, Ana Cristina Freire, Simona Fontul, Vitor Antunes</i>	313
AValiação EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MISTURAS BETUMINOSAS <i>Rui, Micaelo, José Neves, Mauro Antunes, Daniel Aelenei</i>	325
MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE ZONAS DE TRANSIÇÃO DA VIA FÉRREA <i>Cristina Alves Ribeiro, Rui Calçada</i>	335
SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA VIA PARA PESAGEM DE MATERIAL CIRCULANTE EM MOVIMENTO <i>Araliya Mosleh, Andreia Meixedo, Pedro Alves Costa, Rui Calçada</i>	347
CALIBRAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM MODELO DINÂMICO DE UMA PONTE FERROVIÁRIA <i>Daniel Vaz, Gonçalo Ferreira, Diogo Ribeiro, Rui Calçada</i>	357
AValiação DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DA PONTE FERROVIÁRIA SOBRE O SADO <i>Andreia Meixedo, Diogo Ribeiro, João Santos, Rui Calçada</i>	369
ANÁLISE EXPERIMENTAL DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS COMPONENTES E MATERIAIS DE PONTES EM ARCO DE ALVENARIA DE PEDRA <i>Rúben Silva, Cristina Costa, António Arêde, António Topa Gomes, José Menezes</i>	379
ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM PONTES FERROVIÁRIAS COM VIÉS DA REDE ESPANHOLA DE ALTA VELOCIDADE <i>Carlos Velarde, Diogo Ribeiro, Khanh Nguyen, Jaime García-Palacios, Ván Díaz, José Goicolea</i>	389
VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DA PONTE DAS VÁRZEAS COM BASE NUM ENSAIO DINÂMICO <i>Cláudio Horas, Diogo Ribeiro, Abílio de Jesus, Rui Calçada</i>	401
VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DA PONTE DA ARRÁBIDA COM BASE EM ENSAIO DINÂMICO <i>Jorge Leite, Ricardo Santos, Diogo Ribeiro, Rui Calçada</i>	409
APLICAÇÃO DA MODELAÇÃO 3D À REABILITAÇÃO E INSPEÇÃO DE VIA FÉRREA COM VISTA À IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM <i>Manuel Vilela, José Neves, Zita Sampaio</i>	417

Tema 5

INOVAÇÃO E TENDÊNCIAS FUTURAS

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES NÃO PORTANTES <i>Paulo Piloto, Mohamed Khetata, Ana Gavilán</i>	429
MODELO DE CÁLCULO AVANÇADO CALIBRADO COM ENSAIO EXPERIMENTAL DE LAJES EM MADEIRA EXPOSTAS AO FOGO <i>Elza Fonseca, Paulo Piloto</i>	441

EFEITO DA TEMPERATURA EM LIGAÇÕES COLADAS ENTRE LAMINADOS DE CFRP E CHAPAS METÁLICAS <i>Hugo Biscaia, Manuel Silva, Pedro Ribeiro</i>	449
MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS – UM CASO DE ESTUDO <i>Pedro Pereira, Nuno Ramos</i>	461
PRINCIPAIS DESAFIOS E DESENVOLVIMENTOS EM ENSAIOS PARA FORA-DO-PLANO DE PAREDES DE ENCHIMENTO À ESCALA REAL <i>António Arêde, André Furtado, José Melo, Nuno Pinto, Hugo Rodrigues, Humberto Varum</i>	473
LIGAÇÕES COLADAS ENTRE BARRAS DE AÇO INOX EXTERIORMENTE COLADAS A ELEMENTOS DE BETÃO: ANÁLISE TEÓRICA VS. EXPERIMENTAL <i>Hugo Biscaia, Noel Franco, Carlos Chastre</i>	485
MONITORAMENTO NÃO-DESTRUTIVO DA EVOLUÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO EM ESTRUTURA STEEL FRAME <i>Lia Cavalcante, Matheus Silva, Moacir Rodrigues, Vinicius Sales, João Medeiros, Emanuel Araújo, Ana Barroso, Tallis Rubens, Esequiel Mesquita</i>	499
ANÁLISE DA DELAMINAÇÃO E SEUS EFEITOS EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA <i>Pedro Emanuel Silva, João Emílio Matos, Luís Miguel Durão</i>	505
AValiação IN-SITU DO DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS COM INCLUSÃO DE PIGMENTOS REFLETANTES <i>Nuno Ramos, Joana Maia, Ricardo Almeida, Bruno Carneiro</i>	517
PROJETO ELEVAR – ESTUDO LOCALIZADO DE ESTRUTURAS VERTICAIS COM AERONAVES ROBOTIZADAS. UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AS INSPEÇÕES VISUAIS ASSISTIDAS DE OBRAS DE ENGENHARIA <i>Maria João Henriques, Tiago Pinto, João Andrade, Duarte Dornellas, Jorge Gonçalves, Ricardo Ribeiro, Alexandre Bernardino, José Santos-Victor, António Lopes Batista</i>	525
MONITORAMENTO DE OBRAS CIVIS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO E SENSORES DE BAIXO CUSTO <i>Fabio Ioveni Lavandoscki, Douglas Cavalcante, Henrique Puhlmann, Icaro Gonçalves, Diego Lapolli Bressan, Lucas Fernandes</i>	535
MONITORAMENTO REMOTO DE FISSURAS EM SALA COM PAREDES CONSTITUÍDAS DE ALVENARIA <i>Fabio Ioveni Lavandoscki, Diego Lapolli Bressan</i>	547
MONITORAMENTO DAS CARGAS EM ESCORAS TELESCÓPICAS UTILIZADAS NA INSTALAÇÃO DE VIGA-GUIA CURVA PRÉ-MOLDADA <i>Ciro José Ribeiro Villela Araujo, Diego Lapolli Bressan</i>	553
Tema 6	
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	
DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARGAMASSAS ATRAVÉS DE MÉTODOS DINÂMICOS <i>Ana Isabel Marques, João Morais, Carlos Santos, Paulo Morais, Dora Santos, Maria do Rosário Veiga</i>	565
VARIAÇÕES NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DE ARGAMASSAS OCASIONADOS PELO EFEITO DA UMIDADE <i>João Medeiros, Felipe Cavalcante, Francisco Rodrigues, George Gomes, Matheus Silva, André Alves, Esequiel Mesquita</i>	577
UTILIZAÇÃO DE ULTRASONOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MADEIRA SUBMETIDA A AUMENTOS DE TEMPERATURA <i>Luiz António Branco, Eduardo Chahud, António Carlos Viana Silva, Romeu Rodrigues Pereira</i>	587

RASTREABILIDADE METROLÓGICA DE EXTENSÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE BARRAGENS DE BETÃO <i>Luís Lages Martins, Juan Mata, Carlos Serra, António Tavares de Castro</i>	585
CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TEMPERATURA USADAS NA MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE SOLOS <i>Rafaela Cardoso, Mariana Sousa, Ana Vieira</i>	605
AValiação NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DA CARGA ADMISSÍVEL EM VIGAS COMPOSTAS PARA MONOCARRIS DE SISTEMAS DE ELEVAÇÃO <i>Hugo Gouveia, Fernando Ferreira, Jorge Justo</i>	615
PROPOSTA DE ENSAIO ACELERADO DE EXPOSIÇÃO A CHUVAS DIRIGIDAS <i>Maria Luiza Souza Rezende, Aires Camões, Rute Eires, Carlos Jesus, Edgar Soares</i>	625
UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS TENDENCIALMENTE NÃO-DESTRUTIVOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE UMA LAJE TÉRREA INDUSTRIAL <i>João Guedes, Alexandre Costa, Bruno Quelhas, Tiago Ilharco, Valter Lopes, Joana Oliveira</i>	635
Tema 7	
VIBRAÇÕES E HIGROTÉRMICA	
VIBRAÇÕES DO SISTEMA VIA-MACIÇO NUM TROÇO DA LINHA DO NORTE <i>Nuno Correia dos Santos, Aires Colaço, Pedro Alves Costa, Rui Calçada</i>	647
VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM MODELO NUMÉRICO PARA PREVISÃO DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS EM EDIFÍCIOS POR TRÁFEGO FERROVIÁRIO EM TÚNEIS <i>Patrícia Lopes, Pedro Alves Costa, Jesus Fernández, António Silva Cardoso, Rui Calçada</i>	659
ENSAIOS DINÂMICOS DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS DE MERCADORIAS <i>Rúben Silva, Diogo Ribeiro, Cristina Costa, António Arêde, Rui Calçada</i>	671
MONITORAÇÃO EXPERIMENTAL E MODELAGEM NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE PASSARELAS DE PEDESTRES <i>Gilvan Lunz Debona, José Guilherme Silva</i>	681
CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES TRADICIONAIS DE PAREDES DO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU <i>Ricardo Almeida, Romeu Vicente, Eduardo Roque, Tiago Ferreira, João Negrão, José Mendes da Silva</i>	693
AValiação EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DINÂMICOS INDUZIDOS PELO VENTO NA TORRE DE TELECOMUNICAÇÕES DO MONTE DA VIRGEM <i>Diogo Ribeiro, Jorge Leite, Nuno Pinto, Rui Calçada</i>	703
AValiação DA PERMEABILIDADE AO AR DE VÃOS ENVIDRAÇADOS ATRAVÉS DE ENSAIOS COM PORTA VENTILADORA <i>Nuno Ramos, Ricardo Almeida, Pedro Pereira</i>	713
ANÁLISES TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE FREQUÊNCIAS NATURAIS DE VIGA ENGASTADA-LIVRE CONSIDERANDO OS MÉTODOS DE RESOLUÇÃO EXATA/ANALÍTICA E MATRICIAL <i>Diego Lapolli Bressan</i>	725
ÍNDICE DE AUTORES	737
APÊNDICE DE FOTOGRAFIAS	739

PREFÁCIO

O 2º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil – TEST&E 2019 – foi realizado de 19 a 21 de fevereiro de 2019 no Instituto Superior de Engenharia do Porto, numa organização conjunta da RELACRE (Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal), do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) e do IST (Instituto Superior Técnico).

Este congresso pretendeu proporcionar um amplo fórum de divulgação e partilha de conhecimentos e experiências entre os seus participantes das áreas da investigação e ensino, indústria e serviços, sob o tema principal: Monitorizar e Preservar.

No atual ciclo de atividade com enfoque na preservação e valorização do património construído, este congresso pretendeu dar a devida importância à monitorização como ferramenta de apoio imprescindível à gestão desses mesmos ativos, com a finalidade última da sua melhor preservação no ciclo de vida. A monitorização assume ainda maior relevância no âmbito da utilização de novos materiais ou processos construtivos, sobretudo na reabilitação ou reconstrução, onde interessa aprofundar conhecimentos relativos ao seu comportamento em serviço. A implementação das mais variadas técnicas de monitorização, usufruindo com vantagem das tecnologias de informação e comunicação da atualidade, baseia-se em grande medida em ensaios e experimentação que estão em permanente evolução.

Neste livro são apresentados os 68 artigos de 204 autores, de acordo com os seguintes temas:

1. Reabilitação do património
2. Novos materiais
3. Hidráulica, ambiente e recursos naturais
4. Geotecnia e transportes
5. Inovação e tendências futuras
6. Ensaios não destrutivos
7. Vibrações e higrotérmica

Os editores expressam os seus maiores agradecimentos: aos autores, pela confiança na divulgação dos seus trabalhos neste congresso; à Comissão Científica, pela contribuição dada à qualidade técnica e científica dos artigos; à Comissão Organizadora Local e à Comissão Executiva, pela garantia de concretização do congresso com todo o sucesso. Um agradecimento geral é dirigido a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a excelência da qualidade deste congresso.

Lisboa, julho de 2019.

Os editores

José Neves (CERIS, IST, ULIsboa)

Diogo Ribeiro (ISEP, CONSTRUCT)

Álvaro Ribeiro (LNEC, RELACRE)

ORGANIZAÇÃO

Comissão Organizadora

Álvaro Ribeiro (LNEC, RELACRE)
Diogo Ribeiro (ISEP, CONSTRUCT)
José Neves (IST, ULisboa)

Comissão Organizadora Local

Alexandre Costa (ISEP, CONSTRUCT)
Eduardo Vivas (H2OPT)
Patrícia Lopes (ISEP, CONSTRUCT)
Ricardo Santos (ISEP, CONSTRUCT)
Rui Camposinhos (ISEP, CONSTRUCT)
Tiago Abreu (ISEP, CONSTRUCT)

Comissão Executiva

Ana Duarte (RELACRE)
Cláudia Silva (RELACRE)
Horácio Macedo (ISEP)
Joel Vilas Boas (ISEP)
Jorge Moutinho (ISEP)
Maria João Conceição (RELACRE)

Comissão Científica

Aires Camões (UMinho)
Aldina Santiago (FCTUC)
Alexandre Cury (UFJF, Brasil)
Ana Cristina Freire (LNEC)
Ana Velosa (UAveiro)
António Arêde (FEUP)
António Vilhena (LNEC)
António Tadeu (FCTUC, ITECONS)
Armando Camelo (EDP, ISEP)
Baldomiro Xavier (Teixeira Duarte)
Carla Sousa (Mota-Engil)
Carlos Chastre (FCT/UNL)
Cristina Alves Ribeiro (Senqual)
Cristina Costa (IPTomar)
Cristina Silva (IPT, Brasil)
Diogo Ribeiro (ISEP)
Eduardo Neves (CICCOPN)
Elsa Caetano (FEUP)
Francisco Araújo (Euromodal)
Francisco Taveira Pinto (FEUP)
Hugo Biscaia (FCT, UNova)
Hugo Costa (ISEC)
Hugo Patrício (IP)
Hugo Rodrigues (IPLeiria)
Inês Flores Colen (IST)
Isabel Torres (FCTUC)

João Alfredo Santos (ISEL)
João André (APEB)
Jorge Branco (UMinho)
José Neves (IST, ULisboa)
José Santos (UMadeira)
José Varandas (FCT, UNova)
Leandro Trautwein (UNICAMP, Brasil)
Luís Evangelista (ISEL)
Luís Martins (LNEC)
Luís Oliveira Santos (LNEC)
Luis Picado Santos (IST)
Luiz António Branco (UFMG, Brasil)
Miguel Azenha (UMinho)
Nuno Cristelo (UTAD)
Nuno Ramos (FEUP)
Paulina Faria (FCT, UNova)
Paulo Amaral (LREC, Açores)
Rafaela Cardoso (IST)
Romeu Vicente (UAveiro)
Rui Calçada (FEUP)
Rui Camposinhos (ISEP)
Rui Ferreira (IST)
Rui Micaelo (FCT, UNova)
Silvino Capitão (ISEC)
Victor Cavaleiro (UBI)

APOIOS E EXPOSITORES

Patrocínio GOLD



Patrocínios SILVER



Expositores



Apoios institucionais



Apoios à divulgação



Tema 1

REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO

ÍNDICE DE AUTORES

- ABDELWAHAB, Hossam, **233**
AELENEI, Daniel, **325**
AFONSO, João, **301**
ALEIXO, Rui, **279**
ALMEIDA, Ricardo, **15, 517, 693, 713**
ALVARELLOS, Alberto, **245**
ALVAREZ, Teresa, **257, 269**
ALVES, André, **577**
AMARAL, Sílvia, **257, 269**
ANDRADE, João, **525**
ANTUNES, Mauro, **325**
ANTUNES, Vitor, **313**
ARAUJO, Ciro, **553**
ARAÚJO, Diogo, **83, 95**
ARAÚJO, Emanuel, **131, 499**
ARÊDE, António, **379, 473, 671**
AZENHA, Miguel, **107**
- BARROSO, Ana, **499**
BATISTA, António Lopes, **525**
BERNARDINO, Alexandre, **525**
BISCAIA, Hugo, **25, 449, 485**
BORNSCHEIN, Antje, **245**
BRANCO, Jorge, **49**
BRANCO, Luiz António, **587**
BRESSAN, Diego Lapolli, **535, 547, 553**
- CAEIRO, Carlos, **221**
CALADO, Carlos, **119**
CALÇADA, Rui, **335, 347, 357, 369, 401, 409, 647, 659, 671, 703**
CAMÕES, Aires, **119, 625**
CAMPELO, Bárbara, **61**
CARDOSO, António Silva, **659**
CARDOSO, Rafaela, **605**
CARDOSO, Sara, **301**
CAPITÃO, Rui, **183, 207, 233,**
CAPITÃO, Silvino, **171**
CARNEIRO, Bruno, **517**
CARVALHO, Elsa, **279**
CARVALHO, Gonçalo, **61**
CARVALHO, Manuela, **291**
CARVALHO, Rita, **245**
CASTRO, António Tavares, **585**
CAVALCANTE, Douglas, **535**
CAVALCANTE, Felipe, **131, 577**
CAVALCANTE, Lia, **37, 131, 499**
CHASTRE, Carlos, **3, 25, 485**
CHAHUD, Eduardo, **587**
COIMBRA, Mário, **245**
COLAÇO, Aires, **647**
COSTA, Alexandre, **69, 635**
COSTA, Aníbal, **69**
COSTA, Cristina, **379, 671**
COSTA, Pedro Alves, **347, 647, 659**
CRUCHO, João, **171**
- DALPANE, Tâmara, **119**
DEBONA, Gilvan Lunz, **681**
DÍAZ, Ván, **389**
DIAS, Vanessa, **149**
- DORNELLAS, Duarte, **525**
DOST, Bastian, **245**
DURÃO, Luís Miguel, **505**
- EDALAT-BEHBAHANI, Ali, **107**
EIRES, Rute, **625**
ELIAS, Fabrizio, **119**
- FARIA, Rui, **107**
FAZERES-FERRADOSA, Tiago, **195**
FERNANDES, João, **37**
FERNANDES, Lucas, **535**
FERNÁNDEZ, Jesus, **659**
FERREIRA, Fernando, **615**
FERREIRA, Gonçalo, **357**
FERREIRA, Rui, **257, 269, 279**
FERREIRA, Tiago, **15, 693**
FIGUERO, Andrés, **245**
FLORES-COLEN, Inês, **161**
FONSECA, Elza, **441**
FONSECA, Jorge, **69**
FONTUL, Simona, **313**
FORTES, Conceição, **183, 207, 221, 233, 245**
FRANCO, Noel, **485**
FREIRE, Ana Cristina, **313**
FURTADO, André, **473**
- GARCIA, Maria da Luz, **83, 95, 141, 149**
GARCÍA-PALACIOS, Jaime, **389**
GAVILÁN, Ana, **429**
GOICOLEA, José, **389**
GOMES, António Topa, **379**
GOMES, Ana, **83, 95**
GOMES, David, **37**
GOMES, George, **131, 577**
GOMES, José, **107**
GONÇALES, Icaro, **535**
GONÇALVES, Jorge, **525**
GOUVEIA, Hugo, **615**
GRANJA, José, **107**
GUEDES, João, **635**
- HENRIQUES, Maria, **183, 207, 525**
HORAS, Cláudio, **401**
- ILHARCO, Tiago, **635**
- JESUS, Abílio de, **401**
JESUS, Carlos, **625**
JUSTO, Jorge, **615**
- KHETATA, Mohamed, **429**
KÖRNER, Moritz, **245**
- LAVANDOSCKI, Fabio Ioveni, **535, 547**
LEITE, Jorge, **409, 703**
LEMONS, Rute, **183, 207, 221, 245**
LIMA, Maria Manuela, **279**
LOPES, Patrícia, **659**
LOPES, Valter, **635**

- MACHADO, Joana, **313**
MAIA, Joana, **517**
MALANHO, Sofia, **161**
MARQUES, Ana Isabel, **565**
MARQUES, Marco Ludovico, **3, 25**
MARTINS, Carla, **291**
MARTINS, Luís Lages, **585**
MATA, Juan, **585**
MATOS, João Emílio, **505**
MEDEIROS, João, **37, 131, 499, 577**
MEIXEDO, Andreia, **347, 369**
MELO, José, **473**
MENDES, Solange, **269**
MENEZES, José, **379**
MESQUITA, Esequiel, **37, 131, 499, 577**
MICAEL, Rui, **325**
MORAIS, João, **565**
MORAIS, Paulo, **565**
MOREIRA, Inês, **83, 95**
MOSLEH, Araliya, **347**
MOTA, Larissa, **37**
- NEGRÃO, João, **15, 693**
NEVES, Eduardo, **291**
NEVES, Graça, **221**
NEVES, José, **171, 325, 417**
NGUYEN, Khanh, **389**
NUNES, Lina, **49**
- OLIVEIRA, Joana, **635**
- PARRACHA, João, **49**
PEDRO, Francisco, **233, 245**
PEÑA, Enrique, **245**
PEREIRA, Pedro, **461, 713**
PEREIRA, Romeu Rodrigues, **587**
PICADO-SANTOS, Luís, **171**
PILOTO, Paulo, **429, 441**
PINHEIRO, Liliana, **233**
PINTO, Nuno, **301**
PINTO, Nuno, **473, 703**
PINTO, Tiago, **525**
POHL, Reinhard, **245**
PUHLMANN, Henrique, **535**
- QUELHAS, Bruno, **635**
- RAMOS, Nuno, **461, 517, 713**
REIS, Teresa, **245**
REZENDE, Maria Luiza Souza, **625**
RIBEIRO, Cristina Alves, **335**
RIBEIRO, Diogo, **357, 369, 389, 401, 409, 671, 703**
RIBEIRO, Pedro, **449**
- RIBEIRO, Ricardo, **525**
RODRIGUES, Carlos, **69**
RODRIGUES, Hugo, **473**
RODRIGUES, Moacir, **37, 499**
RODRIGUES, Francisco, **131, 577**
ROQUE, Eduardo, **693**
ROSA-SANTOS, Paulo, **195**
RUBENS, Tallis, **499**
- SALES, Vinicius, **499**
SAMPAIO, Zita, **417**
SANDE, José, **245**
SANTOS, Carlos, **565**
SANTOS, Dora, **565**
SANTOS, João, **233, 245**
SANTOS, João, **369**
SANTOS, Nuno Correia, **647**
SANTOS, Ricardo, **409**
SANTOS-VICTOR, José, **525**
SERRA, Carlos, **585**
SILVA, António Carlos Viana, **587**
SILVA, José Guilherme, **681**
SILVA, José Mendes, **15, 693**
SILVA, Manuel, **449**
SILVA, Maria, **37**
SILVA, Matheus, **499, 577**
SILVA, Miguel, **221**
SILVA, Pedro Emanuel, **505**
SILVA, Rúben, **379, 671**
SILVA, Vítor, **149**
SOARES, Edgar, **625**
SOUSA, Mariana, **605**
SOUZA, Matheus, **131**
- TAVEIRA-PINTO, Francisco, **195**
TEIXEIRA, Adriano, **291**
- VAZ, Daniel, **357**
VAN DEN BOS, Jeroen, **245**
VARUM, Humberto, **473**
VEIGA, Maria do Rosário, **161, 565**
VELARDE, Carlos, **389**
VERBIST, Maxime, **49**
VICENTE, Romeu, **15, 693**
VIEIRA, Ana, **605**
VILELA, Manuel, **417**
VISEU, Maria Teresa, **257, 269**
- WEIMPER, Julius, **245**
- XAVIER, Loyane, **131**
- ZAHABIZADEH, Behzad, **107**