



CNB 2015

**ATAS DO**  
**6º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA**  
*PROCEEDINGS OF THE*  
*6TH PORTUGUESE CONGRESS ON BIOMECHANICS*



**COMISSÃO ORGANIZADORA / ORGANIZING COMMITTEE**

Rui B. Ruben, CDRsp-ESTG, Instituto Politécnico de Leiria  
Milena Vieira, ESTG, Instituto Politécnico de Leiria  
Carlos Campos, ESTG, Instituto Politécnico de Leiria  
Henrique A. Almeida, ESTG, Instituto Politécnico de Leiria  
Jorge Siopa, ESTG, Instituto Politécnico de Leiria  
Paulo Bártoło, Manchester Biomanufacturing Centre, University of Manchester  
João Folgado, LAETA, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**PATROCÍNIOS E APOIOS INSTITUCIONAIS / SPONSORSHIP AND INSTITUTIONAL SUPPORT**



## COMISSÃO CIENTÍFICA / *SCIENTIFIC COMMITTEE*

Adélia Sequeira, IST-U Lisboa  
Amílcar Ramalho, CEMUC-U Coimbra  
António Manuel Godinho Completo, U Aveiro  
António J. Figueiredo, FCDEF-U Coimbra  
António Ramos, U Aveiro  
António José Rocha Martins da Silva, U Trás-os-Montes e Alto Douro  
António Veloso, Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional-FMH-U Lisboa  
Aurélio Marques, UBI  
Ausenda Mendes, CDRsp-IP Leiria  
Daniela Barroso Cipreste Vaz, FCT-U Coimbra – ESSLei-IP Leiria  
Eduardo Borges Pires, ICIST-IST-U Lisboa  
Elza M. M. Fonseca, IP Bragança  
Fernanda Gentil - IDMEC-FEUP – ESTSP  
Fernando Simões, DECivil-IST-U Lisboa  
Filipa Oliveira da Silva João, FMH-U Lisboa  
Filipe Carvalho, CMRRC-Rovisco Pais  
Gilberto Costa, FM-U Porto  
Gonçalo Dias, FCDEF-U Coimbra – CIDAF  
Hélder Rodrigues, IST-U Lisboa  
Jacinto Monteiro, FM-U Lisboa  
Joana Reis, Dep. Medicina Vet.-E. de Ciências e Tecnologias-U Évora-CICECO-U Aveiro  
João Folgado, IDMEC-IST-U Lisboa  
João M. C. S. Abrantes, MovLab-U Lusófona de Humanidades e Tecnologias  
João Manuel Tavares, FEUP  
João Paço, Hospital CUF, FML-U Lisboa  
Paulo Flores, U Minho  
J. Paulo Vilas-Boas, CIFI2D-LABIOMEPE- Faculdade de Desporto-U Porto  
Jorge Ambrósio, IST-U Lisboa  
Jorge Belinha, FEUP  
Jorge Laíns, CMRRC-Rovisco Pais  
José Alberto Duarte, CIAFEL-Faculdade de Desporto-U Porto  
José Potes, Dep. Medicina Veterinária-Escola de Ciências e Tecnologias-U Évora  
José Reis Campos, FMDUP  
José Manuel Casanova, FM-U Coimbra  
José Oliveira Simões, U Aveiro  
Leandro Machado, Faculdade de Desporto-U Porto  
Lídia Carvalho, INESC-Porto  
Luís Roseiro, ISEC-IP Coimbra  
Luisa Costa Sousa, FEUP  
Manuel Gutierrez, FM-U Porto  
Marco Parente, FEUP  
Maria Augusta Neto, U Coimbra  
Mário Augusto Vaz, INEGI-FEUP  
Mário Forjaz Secca, Dep. de Física-F. de Ciências e Tecnologia-U Nova de Lisboa  
João Gamelas, Nova Medical School-U Nova de Lisboa  
Miguel Tavares da Silva, IST-U Lisboa  
Miguel Velhote Correia, INESC TEC-FEUP-LABIOMEPE  
Paulo Piloto, IP Bragança  
Paulo R. Fernandes, IST-U Lisboa  
Pedro G. Coelho, DEMI-FCT-U Nova de Lisboa  
Pedro Martins, IDMEC-FEUP  
Pedro G. Morouço, CDRsp-IP Leiria  
Renato Natal Jorge, FEUP  
Rita Santos Rocha, ESDRM-IP Santarém – CIPER-FMH-U Lisboa  
Ronaldo Gabriel, U Trás-os-Montes e Alto Douro  
Rui Lima, IP Bragança – CEFT-FEUP  
Rui Miranda Guedes, POLO-INEGI-FEUP do Labiomepe  
Vera Moniz-Pereira, Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional-FMH-U Lisboa

## AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA EM MATERIAIS COMPÓSITOS SOB PROCESSOS DE FURAÇÃO COM E SEM IRRIGAÇÃO

João C. P. Silva<sup>1</sup>, Elza M. M. Fonseca<sup>2</sup>, Maria G. Fernandes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tecnologia Biomédica, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; [joaocarlos\\_pilarsilva@hotmail.com](mailto:joaocarlos_pilarsilva@hotmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; [efonseca@ipb.pt](mailto:efonseca@ipb.pt)

<sup>3</sup> PhD Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal;  
[mariagoreti\\_fernandes@hotmail.com](mailto:mariagoreti_fernandes@hotmail.com)

**PALAVRAS CHAVE:** Irrigação, Velocidade de rotação, Temperatura.

**RESUMO:** *Durante o processo de furação do osso a geração de calor excessivo pode provocar danos prejudiciais no osso. Em todos os processos de furação o aumento de temperatura pode traduzir-se num problema, sendo que no osso assume maior relevância, não só pelas características do material mas também pelas consequências provocadas poderem tornar-se irreversíveis. Segundo a literatura o aparecimento de necrose térmica pode ocorrer quando o osso está submetido a temperaturas de 50°C durante mais de 30 s. Torna-se então necessário definir os parâmetros ideais de furação, conjugando as variáveis tempo e aumento da temperatura, de forma a evitar o aparecimento da necrose celular. Neste trabalho, os parâmetros estudados foram a velocidade de rotação e o uso ou não de irrigação em materiais compósitos (blocos da Sawbones) com propriedades próximas às do osso cortical humano. Foi utilizado um procedimento experimental para registo da temperatura nos blocos e na broca ao longo de todo o processo de furação.*

### 1 INTRODUÇÃO

O osso é um tecido vivo que constitui a maior parte do corpo humano e é dividido em dois tipos de estruturas: osso cortical ou compacto e osso trabecular ou esponjoso. No presente trabalho a estrutura óssea em estudo é o osso cortical. Este osso representa a camada externa do sistema esquelético, com maior densidade e taxa de renovação lenta, [1]. Os materiais compósitos da *Sawbones* utilizados têm propriedades semelhantes ao osso cortical. O processo de furação pode ser definido como o corte através da remoção da aparatura, eliminando todo o material compreendido no volume do furo sob a forma helicoidal, com auxílio de uma broca. Durante este processo existem dois movimentos em simultâneo: movimento de rotação (corte) e movimento de translação (avanço ou penetração), [2].

Com os avanços da tecnologia, o processo de furação é feito através de furadoras elétricas sendo a precisão e a exatidão do furo elevadas. No entanto, existem diversos fatores relacionados com o processo de furação, as velocidades (rotação e avanço), as geometrias da broca (diâmetro, comprimento, ângulo de ponta, etc.), a aplicação ou não de irrigação, que influencia o aumento da temperatura na broca ou no osso, [3].

No presente estudo, os principais objetivos são perceber qual a influência de diferentes velocidades de rotação no aumento da temperatura em processos de furação com e sem irrigação. Foi utilizada uma metodologia experimental com recurso a termopares tipo K e a uma câmara termográfica. Ainda existe alguma incerteza em relação ao parâmetro relacionado com a

velocidade de rotação, alguns autores consideram que a temperatura no osso aumenta com o aumento da velocidade enquanto outros sugerem o oposto. Segundo *Davidson*, a temperatura diminui com o aumento da velocidade de rotação [4] e o uso de irrigação é o parâmetro mais importante na diminuição da temperatura durante processos de furação [5].

## 2 MODELO EXPERIMENTAL

Durante os procedimentos experimentais foram utilizados dois blocos idênticos da *Sawbones* com dimensão de 130x180x40mm. Os blocos foram identificados como bloco 1 (BL1) e bloco 2 (BL2), e atendendo ao lado da furação, designados por lado A e lado B.

Numa primeira fase foram realizadas as furações laterais, para colocação dos termopares com diferentes distâncias, a 7mm do topo (T), a 14mm (M) e a 21mm (R). No lado A de cada bloco os furos para a colocação dos termopares encontravam-se todos à mesma distância da broca, no lado B encontravam-se a distâncias diferentes, conforme se representa na Fig. 1.

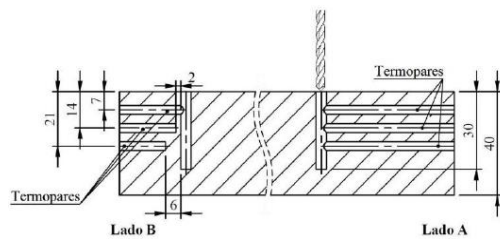


Fig. 1. Posição dos termopares.

Os termopares utilizados são do tipo K, encontrando-se ligados a um sistema de aquisição de dados, o *MGCplus*. Estes termopares permitem o registo da temperatura no interior do osso e nas diferentes posições.

Para o registo da temperatura na broca foi utilizada uma câmara termográfica, *FLIR@T363*, posicionada a 1,5m da zona de furação. Foi efetuada a recolha de imagens em todos os furos, uma imagem

imediatamente antes da furação e após a furação.

Foram realizados 32 furos (16 em cada bloco, sendo 8 em cada lado). A furação foi efetuada numa máquina de comando numérico, utilizando uma broca de aço rápido sinterizado com 4mm de diâmetro, 30mm de comprimento e ângulo de ponta de 118°. Alternadamente, foi utilizada irrigação com ar comprimido direcionado para a broca em alguns furos de cada lado do bloco. A velocidade de rotação, utilizada no bloco BL1 foi de 600RPM e no BL2 igual a 1200RPM. Todos os restantes parâmetros de furação permaneceram constantes e são apresentados na Tab 1.

Tab 1. Parâmetros de furação

PARÂMETROS DE FURAÇÃO	BL1	BL2
Velocidade de rotação	600RPM	1200RPM
Diâmetro da broca	4mm	4mm
Velocidade de avanço	50mm/min	50mm/min
Tempo Total (furação + arrefecimento)	36s + 55s	36s + 55s

## 3 RESULTADOS OBTIDOS

Nos ensaios com os termopares colocados à mesma distância do local do furo, lados A do BL1 e BL2, os resultados apresentam a tendência de que os termopares T e M, sofrem um aumento de temperatura maior quando comparados com os termopares R. Apesar de no lado A as distâncias ao furo serem iguais nos três termopares, o tempo de exposição à furação era superior nos termopares T e M, podendo esta ser a explicação da variação de temperatura nestes termopares. As Figs. 2 e 3 representam para uma dada furação (F4 e F1) a evolução da temperatura obtida nas posições T, M e R para cada bloco.

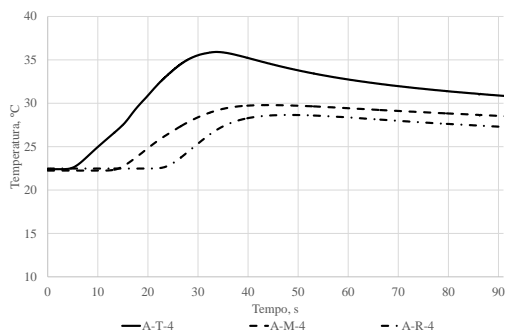


Fig. 2. BL1, lado A, F4, sem irrigação.

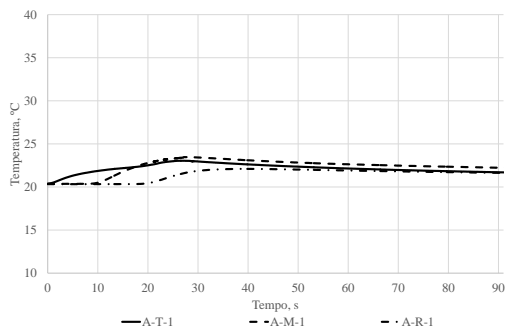


Fig. 3. BL2, lado A, F1, com irrigação.

Nos ensaios do lado B, em que os termopares se encontram a distâncias diferentes do local de furação, os termopares mais próximos do local do furo sofreram maior variação de temperatura (T). Nos termopares em R a temperatura aumentou menos e nos termopares em M a variação foi muito ligeira. Na Fig. 4 é possível observar a diferença entre as temperaturas nos três termopares para o furo F2 do BL2.

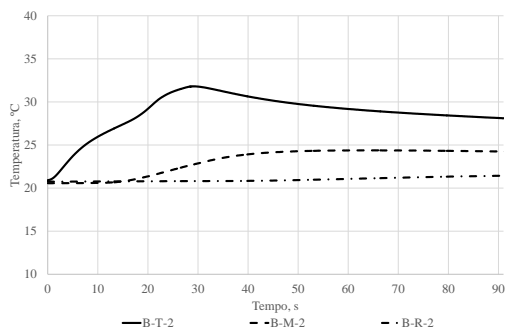


Fig. 4. BL2, lado B, F2, sem irrigação.

Na análise do uso de irrigação verifica-se a diminuição da temperatura no interior do osso. Nos furos com irrigação (CI) a temperatura aumentou em média 2°C e nos furos realizados sem irrigação (SI) o aumento da temperatura foi superior a

10°C. A Fig. 5 representa as temperaturas obtidas em 4 furos sem o uso de irrigação e 4 com o uso de irrigação, para o BL1 no lado B. De referir que estes resultados estão em concordância com *Augustin et al.* [5], que refere que o uso de irrigação é o parâmetro mais importante na diminuição da temperatura durante os processos de furação.

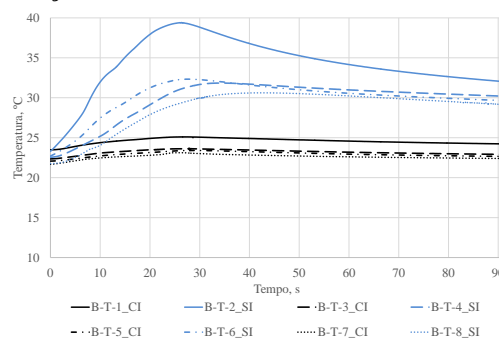


Fig. 5. BL1, lado B, termopares T.

Os resultados obtidos entre os dois blocos, a duas velocidades de rotação distintas permitiu observar que quando as furações foram efetuadas sem o auxílio da irrigação a tendência em todos os grupos (lado A termopares T, M e R e lado B termopares T, M e R) foi a diminuição da temperatura com o aumento da velocidade de rotação de 600RPM para 1200RPM. Esta diminuição foi significativa sendo observável na Fig. 6 onde todos os furos realizados a 1200RPM atingiram menores temperaturas do que os furos a 600RPM. De referir que apesar da temperatura inicial do bloco 2 estar a 20°C e a temperatura inicial do bloco 1 a 22, 23°C a variação da temperatura continua a ser superior no bloco a 600RPM como se observa na Tab. 2. Nos furos sem irrigação, a variação de temperatura nos dois blocos é muito idêntica, normalmente entre 2 a 4°C, conforme se observa na Fig. 7. Através da Tab. 3 é possível perceber que a variação da temperatura é muito semelhante nos dois blocos sendo ligeiramente superior no BL2 (1200RPM).



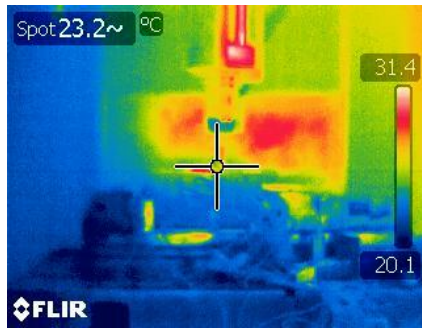


Fig. 8. BL1, lado A, F6 à entrada.



Fig. 9. BL1, lado A, F6 à saída.

#### 4 CONCLUSÕES

Durante este estudo foi possível comparar diferentes furações com e sem irrigação. Conclui-se que a irrigação é um parâmetro que diminui a temperatura máxima registada durante o processo de furação óssea.

Também foi possível comparar a influência de diferentes velocidades de rotação na furação. Quando a furação é realizada sem recurso à irrigação o aumento da velocidade de rotação provoca diminuição na temperatura máxima, quer no bloco compósito, quer na ferramenta de corte. Quando a furação é realizada com irrigação os resultados das temperaturas obtidas com o aumento da velocidade de rotação são ligeiramente superiores, mas pouco significativos.

Todas as temperaturas máximas registadas nos blocos foram inferiores a 40°C, valores baixos para a ocorrência da necrose térmica. No entanto, as temperaturas iniciais estiveram compreendidas entre 20°C e 23°C.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. W. V. e. A. W. M. R. L. Drake, *Gray's Anatomy for students*, 2º ed., Churchill Livingstone, 2010.
- [2] P. E. V. d. Reis, “Furação de materiais compósitos de matriz polimérica,” 2005.
- [3] J. J. G. M. L. Iñaki Díaz, “Bone drilling methodology and tool based on position measurements,” 2013.
- [4] S. R. H. Davidson, “Heat transfer in bone during drilling,” 1999.
- [5] T. Z. S. D. T. U. T. S. D. B. S. B. Goran Augustin, “Cortical Bone Drilling and Thermal Osteonecrosis,” *Clinical Biomechanics*, 2011.
- [6] I. S. M. T. Hillery, “Temperature effects in the drilling of human and bovine bone,” *Journal of Materials Processing Technology*, 1999.
- [7] V. Kalindindi, “Optimization of drill design and coolant systems during dental implant surgery,” 2004.
- [8] M. V. R. M. J. N. E. M. M. F. M. G. A. Fernandes, “Avaliação térmica da furação no osso cortical com e sem irrigação,” *9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental*, 15-17 Outubro 2014.
- [9] E. M. M. F. R. N. M. G. A. Fernandes, “Modelo 3D para análise térmica durante o processo de furação do osso cortical,” *9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental*, 15-17 Outubro 2014.