

MÉTODOS DE APROXIMAÇÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA PELE

Ana Ribeiro¹, Raquel Bento¹, Filomena Teodoro², Paula Silva² e Célio Figueiredo-Pina²

¹ aluna ESTSetúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal;

² ESTSetúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal; paula.silva@estsetubal.ips.pt

PALAVRAS CHAVE: Comportamento mecânico da pele, Dor, Ensaio de indentação

RESUMO: *Para simular numericamente o contacto entre equipamentos e a pele é necessário possuir equações que reproduzam satisfatoriamente o comportamento mecânico da pele havendo também a necessidade de conhecer os limites de aplicação de carga na pele para segurança e conforto do utilizador final. Tendo em conta a variabilidade do comportamento mecânico da pele é desejável que a determinação dos coeficientes destas mesmas equações e os limites de aplicação de carga sejam baseadas em resultados experimentais. O comportamento mecânico da pele depende do local onde ocorre o contacto, do género e idade do indivíduo entre outros fatores, bem como dos parâmetros de teste utilizados o que torna difícil a obtenção destes coeficientes e limites.*

O objetivo deste estudo é verificar se é possível reproduzir o comportamento mecânico da pele efetuando a regressão dos dados experimentais e verificar se os limites de aplicação de carga em segurança e conforto se mantêm estáveis para um grupo de indivíduos. Com este objetivo realizou-se um teste de indentação que permite obter a curva força vs deformação em que o máximo atingido é quando a dor máxima é alcançada e onde também é registado o instante onde o limiar da dor ocorre (início da dor). O teste foi efetuado num ponto específico do antebraço, com um indentador de ponta esférica, com diâmetro de 5mm, a uma velocidade de 1mm/s em oitenta (80) indivíduos saudáveis, com idades compreendidas entre os 20 e os 28 anos, 40 mulheres e 40 homens.

Verifica-se uma boa aproximação aos dados experimentais com a utilização quer de uma regressão exponencial quer de uma regressão de potência. No entanto os valores dos coeficientes de ambas as regressões têm uma dispersão elevada, não sendo recomendável a utilização dos mesmos valores para todos os indivíduos. Também se avaliou o comportamento da força e a deformação no limiar da dor e a na dor máxima suportável. Consegue-se verificar que comportamentos distintos entre géneros, quer em força quer em deformação. Verifica-se também que o rácio força no limiar da dor versus força para dor máxima ronda os 30% para ambos os géneros, com uma dispersão significativa, enquanto o rácio deformação no limiar da dor versus deformação para dor máxima ronda os 70% para ambos os géneros, com dispersão menor que a anterior. É agora necessário efetuar este estudo para outros parâmetros de teste e para outros locais para validar os resultados desta experiência.

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos de reabilitação têm uma elevada taxa de rejeição/descontinuidade de utilização (superior a 30% [1]). Uma solução para colmatar este problema é a

utilização da simulação para desenvolvimento de equipamentos de reabilitação adequados à função pretendida, mas que também têm em consideração o

conforto do utilizador final [2]. Para isso é imprescindível que o contacto entre o utilizador e o equipamento seja contabilizado. No entanto para simular numericamente o contacto entre equipamentos e a pele é necessário possuir equações que reproduzam satisfatoriamente o comportamento mecânico da pele havendo também a necessidade de conhecer os limites de aplicação de carga para segurança e conforto do utilizador. Tendo em conta a variabilidade do comportamento mecânico da pele é desejável que a determinação dos coeficientes destas mesmas equações e os limites de aplicação de carga sejam baseadas em resultados experimentais. O comportamento mecânico da pele depende do local onde ocorre o contacto, do género e idade do indivíduo entre outros fatores, bem como dos parâmetros de teste utilizados o que torna difícil a obtenção destes coeficientes e limites.

Com este estudo pretende-se verificar se é possível reproduzir o comportamento mecânico da pele efetuando a regressão dos dados experimentais, se os resultados são consistentes para um grupo de indivíduos e verificar se os limites de aplicação de carga em segurança e conforto se mantêm estáveis para esse grupo de indivíduos.

2 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos foram realizados testes de indentação num ponto específico no antebraço em oitenta (80) indivíduos saudáveis, com idades compreendidas entre os 20 e os 28 anos, 40 mulheres e 40 homens, com as características apresentadas na Tab. 1.

Tab. 1 Massa e altura média dos 2 grupos de indivíduos testados.

Grupo de Teste	Massa (Kg)	Altura (m)
Feminino	59,6±10,9	1,63±0,07
Masculino	77,4±12,3	1,76±0,06

Na realização dos ensaios utilizou-se um equipamento desenvolvido na Escola Superior de Tecnologia de Setúbal (Fig.1), sendo que a força é medida por um transdutor de força (0-250N) colocado no indentador e a deformação é registada por um potenciómetro (0-50 mm). Os resultados são recolhidos a uma frequência de amostragem de 40 Hz. O indentador é posicionado perpendicularmente ao ponto de teste, aproxima-se da pele e dá início à indentação a uma velocidade constante. Quando o indivíduo sente o limite máximo de dor atua um controlador e o indentador retoma a sua posição inicial, à mesma velocidade.

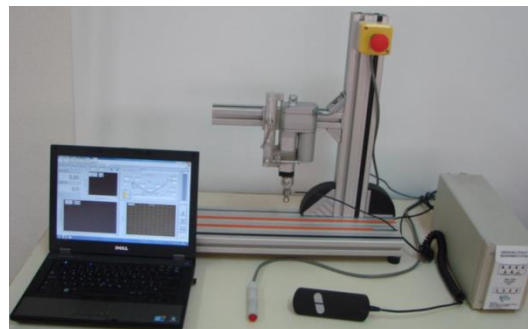


Fig. 2 Equipamento de teste.

Todos os ensaios foram realizados com um indentador de ponta esférica com diâmetro de 5mm de aço inoxidável, a uma velocidade de 1mm/s [3] num ponto do antebraço como mostra a Fig. 2.

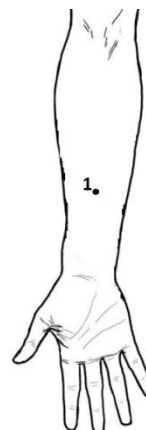


Fig. 2 Localização do ponto anatómico ensaiado.

Cada ensaio consistiu em comprimir o ponto de teste até ao indivíduo sentir a dor máxima, permitindo a obtenção dos valores

de força e deformação máximos. Durante o teste o indivíduo verbalizou o início de dor, permitindo assim obter a deformação e a força para o limiar da dor. Obteve-se para cada ensaio uma curva de compressão descompressão (Fig. 3), tendo-se realizado cinco (5) ensaios em cada indivíduo.

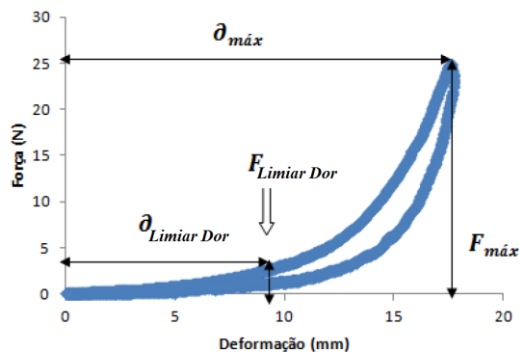


Fig. 3 Representação das curvas de compressão e descompressão.

Como se pode observar na Fig. 3 existem duas curvas distintas, uma de compressão onde é registado a força e a deformação no limiar da dor e uma curva de descompressão. Uma vez que é na compressão que é necessário limitar a aplicação de carga optou-se por analisar apenas a curva de compressão, efetuando uma regressão exponencial e uma regressão de potência a cada uma das curvas de compressão obtidas.

Os dados obtidos força versus deformação para o limiar da dor e força versus deformação para dor máxima são também analisados estatisticamente para os dois grupos sob análise (feminino e masculino)

3 RESULTADOS

Da análise dos gráficos força vs deformação com a aplicação da escala logarítmica ao eixo das ordenadas, verificou-se que as curvas apresentam um comportamento linear para valores superiores a 1 N, como se mostra a Fig. 4, pelo que foram desprezados os valores inferiores a este patamar para efeitos de regressão. Tendo em conta o comportamento da curva força versus deformação, em compressão, apenas a regressão exponencial, $y=ae^{bx}$ e a regressão de potência, $y=ax^b$, são aconselháveis,

como mostra a Fig. 5 e 6, pelo que foram aplicadas a todas as curvas obtidas experimentalmente.

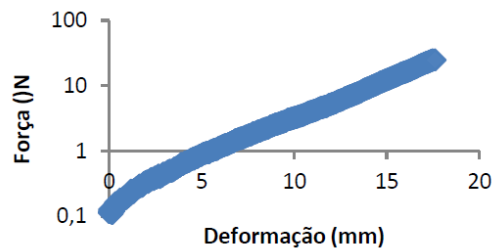


Fig. 4 Transformação da curva de compressão numa reta recorrendo à escala logarítmica.

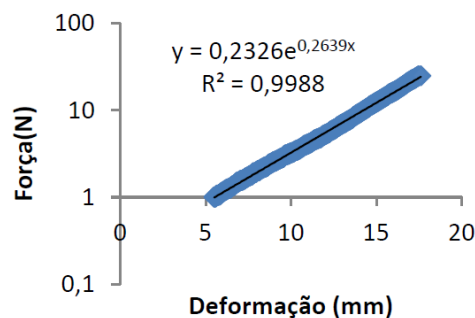


Fig. 5 Transformação da curva de compressão numa reta recorrendo regressão exponencial.

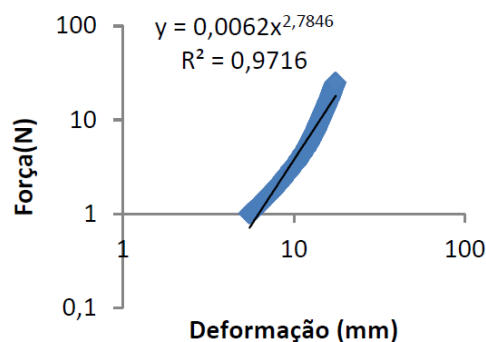


Fig. 6 Transformação da curva de compressão numa reta recorrendo regressão de potência.

A Tab. 2 mostra os resultados obtidos para a regressão exponencial, $y=ae^{bx}$. Verifica-se que a média dos coeficientes de determinação, R^2 , são muito próximos de 1 e com um desvio padrão bastante reduzido, o que indica uma boa aproximação deste tipo de regressão aos dados experimentais. No entanto ao valores das constantes **a** e **b** apresentam um desvio padrão bastante elevado, mostrando a dispersão dos valores dos coeficientes pelos indivíduos. Nomeadamente o valor do parâmetro **b** que indica a variação relativa $\Delta y/y$ da variável y

(força), quando a variável x (deformação) varia de uma unidade absoluta ($\Delta x = 1$ mm), mostra-se com elevada variabilidade para os dados obtidos.

Tab. 2 Valores de média e desvio-padrão correspondentes à regressão exponencial.

Regressão Exponencial	a	b	R ²
Média	0,4114	0,2398	0,9955
Desvio Padrão	0,1874	0,1031	0,0068

Os resultados obtidos para a regressão de potência, $y=ax^b$, são mostrados na Tab. 3. Verifica-se que a média dos coeficientes de determinação, R², são próximos de 1 e com um desvio padrão comparativamente elevado (ver Tab.2), o que indica um pior ajuste deste tipo de regressão a algumas curvas experimentais. Quanto aos valores da constante **a**, esta apresenta um desvio padrão extremamente elevado indicando a dispersão dos resultados. Enquanto a constante **b** mostra um desvio padrão elevado, mas aceitável. O valor do parâmetro **b** indica a variação relativa $\Delta y/y$ da variável y (força) quando a variável x (deformação) varia de uma unidade relativa ($\Delta x/x = 1$).

Tab. 3 Valores de média e desvio-padrão correspondentes à regressão de potência.

Regressão de Potência	a	b	R ²
Média	0,0396	2,3329	0,9792
Desvio Padrão	0,0746	0,4806	0,1874

Os valores de força e deformação foram registados para o limiar da dor e para a máxima dor suportada. O limite máximo de carregamento a aplicar será sempre a dor máxima, que indicaria perigo de lesão. O limiar da dor será o carregamento aconselhado para que o equipamento seja confortável. Estes dados são tratados estatisticamente em dois grupos diferentes, o masculino e o feminino. As figuras 7, 8 e 9 mostram os diagramas box-plots relacionados com a força para os dois grupos. Tanto a força máxima como a força no limiar da dor são superiores no grupo

masculino e apresentam uma dispersão também superior. No grupo masculino a dimensão do 1º e 3º quartil são também superiores ao do grupo feminino. No entanto o rácio entre força aplicada no limiar da dor /dor máxima apresenta uma dispersão menor para o grupo masculino.

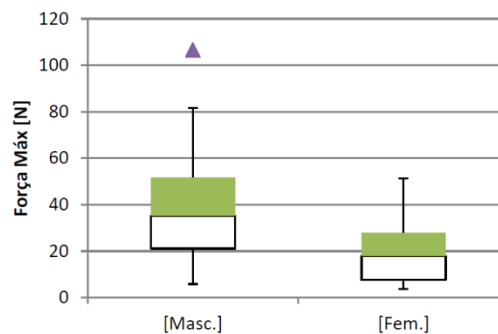


Fig. 7 Análise da força na dor máxima, entre géneros.

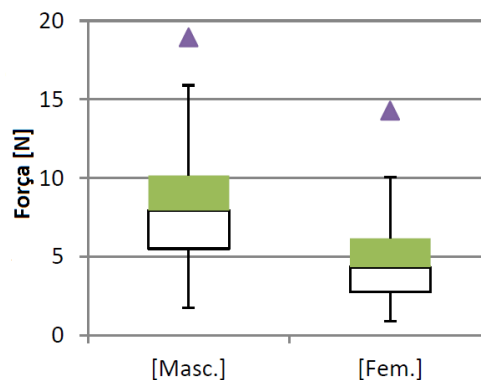


Fig. 8 Análise da força no limiar da dor, entre géneros.

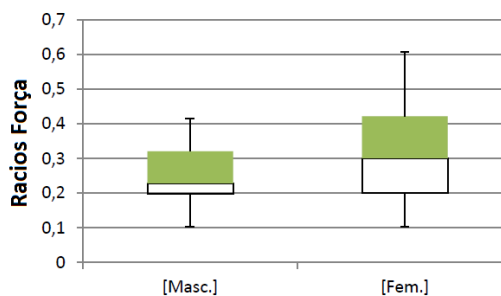


Fig. 9 Análise da concentração ou dispersão do rácio de força aplicada no limiar da dor /dor máxima, entre géneros.

As figuras 10, 11 e 12 mostram os diagramas box-plots relacionados com a deformação para os dois grupos. Tanto a deformação máxima como a deformação no limiar da dor são superiores no grupo masculino, e apresentam uma dispersão também inferior. No grupo masculino a dimensão do 1º e 3º quartil são também

inferiores ao do grupo feminino. No entanto o rácio entre deformação no limiar da dor /dor máxima apresenta uma dispersão semelhante para os dois grupos.

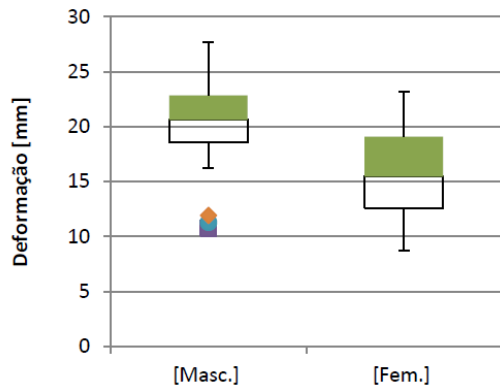


Fig. 10 Análise da deformação na dor máxima, entre géneros.

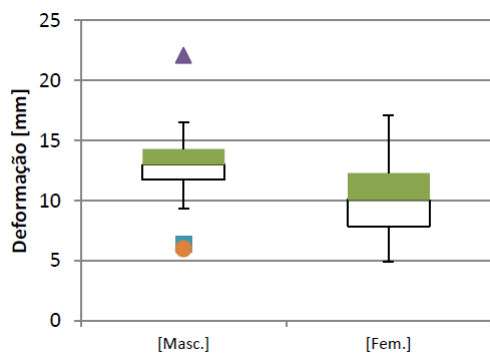


Fig. 11 Análise da deformação no limiar da dor, entre géneros.

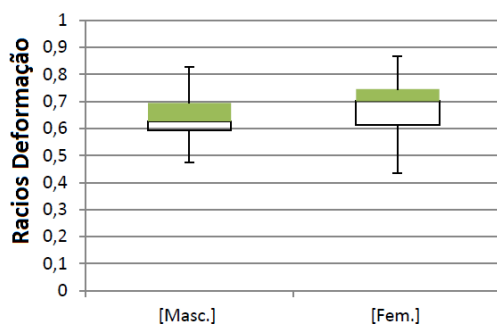


Fig. 12 Análise da concentração ou dispersão do rácio de deformação no limiar da dor /dor máxima, entre géneros.

4 DISCUSSÃO

Em projeto de equipamentos de reabilitação é importante a simulação do contacto entre estes e o utilizador. Para tal é necessário conhecer equações representativas do comportamento mecânico da pele e os limites de aplicação de carga de forma a garantir a segurança do utilizador. Foram

realizados testes de indentação num ponto específico no antebraço em oitenta (80) indivíduos saudáveis, 40 mulheres e 40 homens. A força e a deformação foram registadas em cada teste, nomeadamente o par de valores para o limiar da dor e para a dor máxima.

Verifica-se que quer a regressão exponencial quer a regressão de potência apresentam um bom ajuste aos dados experimentais, sendo que a regressão exponencial mostra uma melhor aproximação às curvas experimentais. No entanto os valores dos coeficientes para ambas as regressões apresentam uma elevada dispersão. Este resultado sugere a melhor metodologia a aplicar no projeto será a determinação individual dos coeficientes de regressão. Observa-se também que todos os valores de força do limiar da dor são superiores a 1 N, o que viabiliza a utilização do intervalo de forças superiores a 1 N nas regressões utilizadas.

Apurou-se comportamentos distintos entre géneros quanto à força e deformação suportada no limiar da dor e na dor máxima. A mediana para o género masculino para todos os valores é superior, sendo para os valores de força apresenta uma maior dispersão relativamente ao do género feminino e para os valores de deformação apresenta uma menor dispersão. A diferença encontrada entre géneros pode-se justificar tendo em atenção que a localização anatómica do ponto sob teste é uma zona onde o tónus muscular é importante. Verifica-se também que o intervalo de valores quer para a força, quer para a deformação no limiar da dor são semelhantes para os dois grupos. Tal não acontece para a dor máxima.

Constata-se também que o rácio força no limiar da dor versus força para dor máxima ronda os 30% para ambos os géneros, com uma dispersão significativa, enquanto o rácio deformação no limiar da dor versus deformação para dor máxima ronda os 70%

para ambos os géneros, com dispersão menor que a anterior.

5 CONCLUSÕES

Com o objetivo de verificar se é possível reproduzir o comportamento mecânico da pele efetuando a regressão dos dados experimentais, se os resultados são consistentes para um grupo de indivíduos e verificar se os limites de aplicação de carga em segurança e conforto se mantêm estáveis para esse grupo de indivíduos, foram efetuados ensaios de indentação num ponto do antebraço a 80 indivíduos. Os resultados mostram que:

- A regressão de potência e a regressão exponencial apresentam um bom ajustamento às curvas experimentais.
- Os coeficientes das regressões apresentam uma dispersão elevada impossibilitando a utilização dos valores de forma genérica.
- No limiar da dor os valores de força e de deformação estão na mesma gama de valores para os dois géneros.

Este trabalho mostra a que a utilização quer da regressão de potência quer da regressão exponencial é viável mas que os valores dos seus coeficientes têm uma variação significativa. Estes resultados evidenciam a necessidade da continuidade dos ensaios, para outros parâmetros de ensaios e para outros tipos de localização de modo a confirmar os resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pela IPS através do Projecto I&D: Aplicação de Parâmetros de Contacto e Análise de Marcha no Projecto de Ortóteses Promovendo a Reabilitação.

REFERÊNCIAS

[1] William C. Mann. 2005 Smart Technology For Aging, Disability And Independence : The State Of The Science, John Wiley & Sons, 2005

[2] P Silva, "Computational Modelling of a Wearable Ankle-Foot Orthosis For Locomotion Analysis and Comfort Evaluation". DEM. IST, UTL 2012

[3] M. Rodrigue, V. Bernardo, P. Silva, C. Figueiredo-Pina, Influência da Velocidade de Penetração No Limiar da Dor À Compressão, Proc. 5º Cong. Nac. Biomecânica, Espinho, Portugal, Fevereiro, 2013