



Aplicação da termografia infravermelha para análise da temperatura corporal na atividade de reboco de teto

A.S. Franchini^{a†}, R. E. Catai^a, R.S.D. Amarilla^a

^a *Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville CEP 81.280-340 – Curitiba, Paraná, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: aline.franchini@hotmail.com*

RESUMO

Este estudo tem como objetivo principal aplicar a termografia infravermelha em grupamentos musculares mais exigidos dos trabalhadores do setor da construção civil. Visando a identificação de fatores negativos como desconforto térmico e queixas osteomusculares. Para tanto, optou-se pelo processo de reboco de teto, tal atividade foi avaliada por meio de simulação com três colaboradores em um ambiente controlado. A fim de obter a coletas de dados utilizou-se uma câmera infravermelha, um termômetro auricular, um medidor de stress térmico e aplicação de um Questionário Bipolar. A pesquisa mostrou que o uso da termografia superficial como ferramenta complementar, apresenta-se como um método eficiente para implantação em um programa ergonômico. Notou-se que existem poucos estudos na literatura sobre o uso da termografia para monitorar a temperatura dos trabalhadores na construção civil. Assim, este estudo pode servir de base para a aplicação da termografia em outros processos do setor construção, com o intuito de prevenção de lesões musculoesqueléticas.

1. Introdução

No Brasil, historicamente o setor da construção civil contribui de forma relevante para o aumento das estatísticas de acidentes no trabalho. A Previdência Social enfatizou que a construção é responsável por aproximadamente 20% dos acidentes de trabalho formalmente registrados pelo Órgão (Nunes, 2014). Diante deste fato, pesquisadores afirmam que as condições de ambiente de trabalho geram um efeito significativo na segurança e saúde, satisfação do trabalhador, rotatividade do empregado, assim como eficiência e produtividade de serviços prestados (Lehto & Landry, 2013).

Frequentemente profissionais da área de ergonomia e demais profissionais relacionados à segurança e saúde no trabalho são solicitados a avaliar se as condições de trabalho em determinadas configurações são satisfatórias para o desempenho da atividade laboral. Preocupações potenciais apontadas pelos especialistas incluem exposição a temperaturas extremas, iluminação inadequada, níveis elevados de ruído ou materiais perigosos. Dirigir-se a estas questões requer habilidade e conhecimento de como os fatores negativos em ambiente de trabalho afetam as pessoas (Lehto & Landry, 2013).

Entretanto, por razões técnicas ou econômicas, muitos ambientes representam desafios e não podem ser resolvidos por meio de implementação de controles ambientais. Assim, ergonomistas e profissionais afins concentram-se em diversos meios para proteger a integridade física do trabalhador em condições desfavoráveis (Lehto & Landry, 2013). Uma das maiores preocupações abordadas em diversas pesquisas são exposições de pessoas a condições ambientais, como ruído, iluminação e temperaturas extremas (Marras & Karwowski, 2006; Lehto & Landry, 2013).

Ao longo dos anos, foram elaborados uma grande variedade de índices de estresse térmico (HSIs) com o intuito de abordar o efeito da temperatura e da umidade no homem. Sendo um dos mais aplicados desenvolvido por Belding e Hatch (1955). Este índice tem por finalidade relacionar a quantidade de calor que deve ser dissipada para manter o equilíbrio térmico na

quantidade máxima, podendo assim, ser dissipada pela transpiração (Lehto & Landry, 2013; Roghanchi & Kocsis, 2017).

Atualmente, pesquisadores e profissionais, estão aplicando a termografia infravermelha, sendo esta uma técnica considerada promissora na investigação de mudanças térmicas e seus efeitos no conforto e desconforto (Rogalski, 2011; He *et al.*, 2017; Sales *et al.*, 2017; Yuan Su *et al.*, 2017). Nos últimos anos este método está amplamente sendo aplicado em indústrias, inspeções elétricas, área médica, bem como na construção civil, entre outros (Sales *et al.*, 2017). Pois, a termografia infravermelha é um método alternativo de avaliações não-invasivas, por conseguinte, não só apresenta um potencial de mapear a distribuição da temperatura corporal, mas também conhecida como uma ferramenta de diagnóstico na avaliação de lesão por esforço repetitivo e distúrbios musculoesqueléticos (Fournet *et al.*, 2013; Olivares *et al.*, 2015).

Haja vista a importância do tema, esta pesquisa tem como objetivo principal aplicar a termografia infravermelha em grupamentos musculares mais exigidos dos trabalhadores do setor da construção civil, mais especificamente, no processo de reboco de teto. Assim, este estudo visou a identificação de fatores negativos como desconforto térmico e queixas osteomusculares. Para tanto, participaram deste estudo três trabalhadores que realizaram a simulação da atividade em um ambiente controlado.

2. Materiais e métodos

2.1. Atividade de reboco de teto

Os primeiros resultados dizem respeito a aplicação do Diagrama de Corlett e Manenica (ou Diagrama de Dor/Desconforto) concomitantemente com uma entrevista realizada in loco com todos os trabalhadores na obra estudada. Após a aplicação do Diagrama de Corlett e Manenica (ou Diagrama de Dor/Desconforto) em conjunto com a entrevista, para todos os funcionários, verificou-se que para a população estudada, a atividade com maior queixa, quando se pensa em ergonomia, era a tarefa de se rebocar o teto, pois exigia uma sobrecarga biomecânica de membros superiores, principalmente do lado dominante do corpo dos trabalhadores neste caso, o lado direito.

2.2. Procedimentos para a simulação da análise da atividade de reboco de teto

Assim, realizou-se a simulação da atividade de reboco de teto com três voluntários em um ambiente controlado. Dada sempre a importância rigorosa a padronização do ambiente para submetê-los ao exame termográfico. A temperatura cutânea varia em função do tempo até atingir um equilíbrio térmico após no mínimo 15 minutos de exposição em ambiente controlado, assim, a simulação iniciou após os colaboradores permanecerem em repouso, por um período de quinze minutos antes de iniciar a coleta de dados.

Os colaboradores foram instruídos a não consumir bebida alcoólica ou caféina, não utilizar nenhum tipo de hidratante na pele nas últimas seis horas e não realizar exercícios físicos vigorosos no período de vinte e quatro horas que antecedeu as medições. Tais variáveis foram conferidas imediatamente antes da coleta de dados, por meio de um questionário. A coleta de imagens em infravermelho foi realizada em 3 dias com cada voluntário, em uma sala com temperatura controlada a 22°C. A duração de cada análise teve um tempo de aproximadamente quarenta e cinco minutos.

Simultaneamente a avaliação termográfica foi tomada a temperatura ambiente e as temperaturas timpânicas média dos voluntários (temperatura central). A temperatura ambiente foi medida por um termômetro de globo, digital, aferido e de fácil leitura, disponível durante todo o período de avaliação. As temperaturas corporais dos voluntários foram medidas com um termômetro digital infravermelho Powerpack, no canal auditivo (equivalente à temperatura central). Este termômetro captou a temperatura do tímpano e tecidos vizinhos, local mais indicado para a medida da temperatura corporal devido sua proximidade com hipotálamo e perfusão pela artéria labiríntica. A temperatura estabelecida foi de 22°C, com uso de ar condicionado para o controle desta. A temperatura timpânica foi mensurada ao repouso e a cada 50 repetições do

movimento dos voluntários.

Para a obtenção da leitura de temperatura timpânica (TT) foi realizado procedimento preconizado por Hungria (1995):

- Acomodou-se o voluntário sentado;
- Explicou-se o procedimento e foi orientado quanto à rotação da cabeça a 20°C do local de escolha para a verificação da temperatura;
- Avaliou-se o conduto auditivo observando a presença de cerúmen;
- Tracionou-se levemente, a orelha para cima e para trás, até o final da tomada da temperatura;
- Acoplou o termômetro no conduto auditivo.

As imagens termográficas foram obtidas com o trabalhador vestindo camiseta regata, de algodão. Foi necessária a captura de múltiplas imagens térmicas com os voluntários em posição anatômica, em pé, com foco na área de interesse, neste caso, os ombros. Definiu-se a distância da câmera aos colaboradores de 1 (um) metro de distância, com angulação de 90°. Para verificação da distribuição da temperatura real, foi utilizado um equipamento termovisor Flir, modelo E50 com resolução de 43.200 pixels, sensibilidade térmica $<0,05^{\circ}\text{C}$, precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$ da leitura, range de temperatura de -20°C até 650°C e taxa de amostragem de 60 H.

A Figura 1, ilustra os instrumentos utilizados para a coleta de dados no ambiente controlado.



Figura 1 - Instrumentos utilizados para a coleta de dados. A) Câmera infravermelha Flir. B) Termômetro auricular. C) Medidor de Stress Térmico.

Utilizou-se escala colorimétrica (paleta de cores) tipo rainbow, onde a cores são, da mais quente para a mais fria, branco, rosa, vermelho, laranja, amarelo, verde claro, verde escuro, azul claro, azul escuro, roxo e preto. Indicando indiretamente o grau de distribuição da perfusão sanguínea cutânea local.

Durante o preparo para a coleta de dados foi realizada a palpação da musculatura envolvida na atividade simulada de reboco de teto (deltóide, porção lateral) e realizada a marcação do ponto de origem do músculo, com o uso de uma caneta. O músculo estudado durante a pesquisa foi o deltóide, porção lateral, por ser o principal músculo motor da movimentação de ombro na atividade realizada, reboco de teto.

Neste momento os trabalhadores realizaram a simulação, que definia o movimento de reboco de teto (350 repetições), descritas na Tabela 1. O movimento a ser realizado, consistia na abdução de ombro com extensão de cotovelo direito. Para simular a colher de pedreiro e a massa, utilizou-se o levantamento manual de um peso de dois quilogramas em sua mão direita.

Tabela 1 - Quantidade de repetições simulando a atividade de reboco.

Série	Repetições
1ª	Repouso
2ª	100
3ª	200
4ª	300
5ª	350

Vale ressaltar que a cada captação da imagem termográfica de acordo com as repetições de movimento, era também mensurada a frequência cardíaca do voluntário e sua temperatura timpânica. Também ao início, meio e final da simulação dos movimentos, aplicou-se o Questionário Bipolar - Questionário de Fadiga, que tem a função de avaliar a evolução de uma fadiga com relação aos segmentos do corpo, cansaço mental e físico. Para uma melhor investigação do nível de fadiga, os colaboradores responderam ao Questionário Bipolar no mesmo momento que foi entregue, para obter 100% dos questionários respondidos. Essa ferramenta ergonômica, foi aplicada in loco, no início, meio e final da jornada de trabalho.

3. Resultados e discussões

3.1. Análise termográfica “colaborador 1”

Uma sequência de imagens do colaborador 1, pode ser observada na Figura 2. No primeiro minuto de mensuração, nota-se a variação da temperatura nos ombros esquerdo e direito, desde o momento em que este se encontrava em repouso, até o instante em que terminou as 350 repetições. O primeiro colaborador analisado, do sexo masculino, 28 anos de idade, praticava atividade física duas vezes por semana, 78 kg e estatura de 1,75 metro.

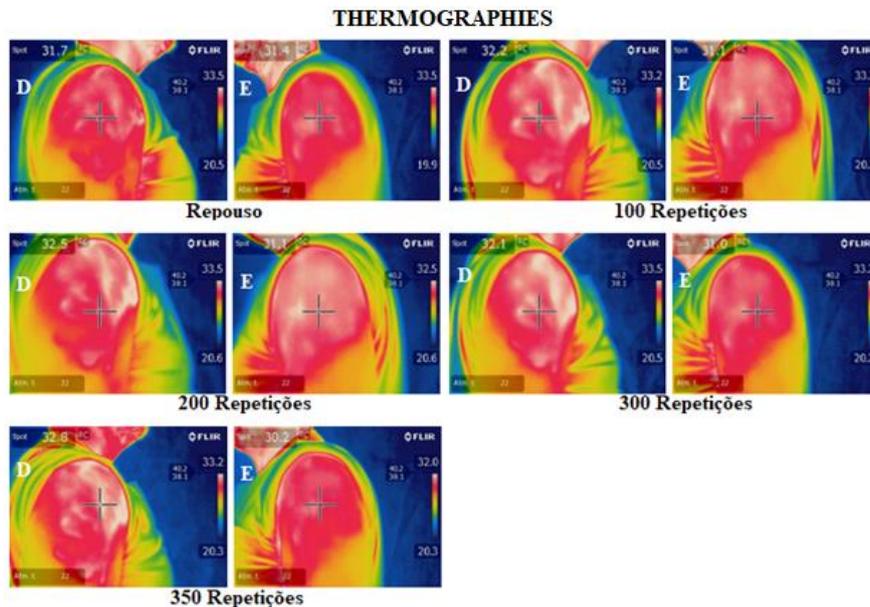


Figura 2 - Colaborador 1 na mensuração da temperatura, no 1º dia de mensuração, com o uso da câmara termográfica durante as repetições de movimento. Onde “D” refere-se ao ombro direito e “E” ao ombro esquerdo.

A Figura 3 apresenta a variação da temperatura, nos dois ombros, ao longo do processo simulado, juntamente com os respectivos desvios padrões encontrados no colaborador 1.

Observa-se que desde o início das atividades até o término, o ombro direito apresentou uma

temperatura superior comparado ao ombro esquerdo. Inicialmente a temperatura média do ombro direito era de 32,1°C e a do esquerdo de 31,5°C, ou seja, uma diferença de cerca de 0,6°C, sendo que ao término das repetições as temperaturas eram de 32,7°C e 30,7°C para os ombros direito e esquerdos respectivamente, com uma diferença de temperatura entre estes de 2°C.

Ressalta-se que o fato desta diferença de temperatura ter se elevado ao longo das repetições, pode ser explicada pelo fato de que a exigência da musculatura estudada em desenvolver a atividade com o braço direito teve grande relevância, demonstrando um aumento de temperatura na região de maior esforço muscular (porção lateral do deltóide), do trabalhador 1. A média da frequência cardíaca inicial foi de 78 bpm e final de 110 bpm, sugerindo trabalho moderado, de acordo com a literatura.

Ao início, meio e final da simulação dos movimentos, também foi aplicado o Questionário Bipolar- Questionário de Fadiga, que tem a função de avaliar a evolução de uma fadiga com relação aos segmentos do corpo, cansaço mental e físico. A evolução da fadiga concentrou-se no item dor no braço, no punho ou na mão do lado direito e cansaço. No item braço direito o valor aumentou de 1 para 4 ao final das repetições e no item cansaço de 1 para 3. Identificando assim, fadiga em membro superior direito.

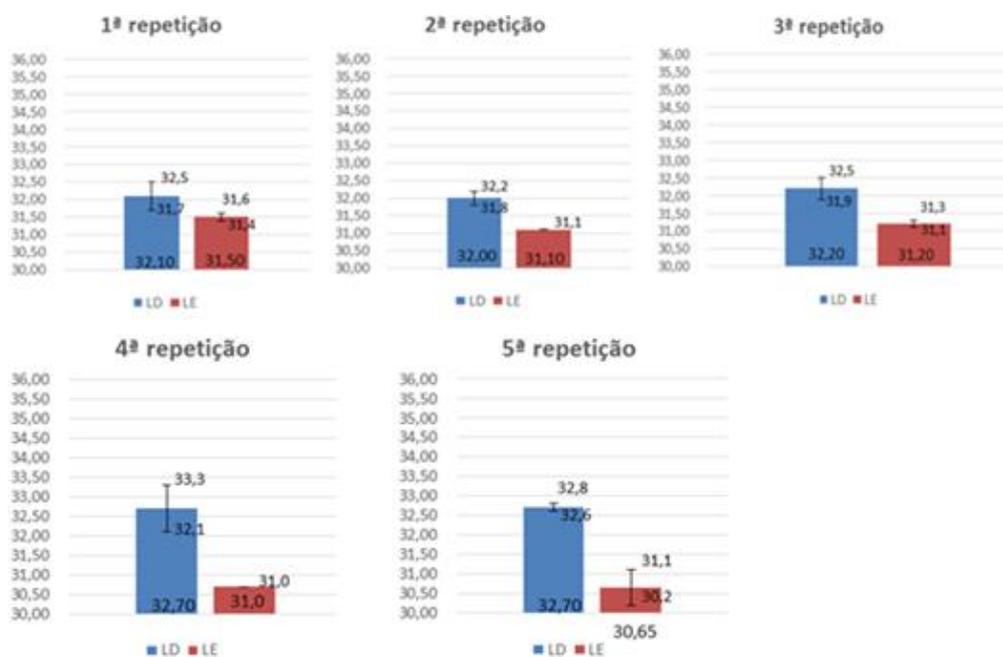


Figura 3 - Média da temperatura lado direito e esquerdo com desvio padrão nas 5 repetições de movimento, colaborador 1.

3.2. Análise termográfica “colaborador 2”

O segundo colaborador até o momento desta pesquisa apresentava as seguintes características: sexo masculino, 39 anos de idade, praticante de atividade física duas vezes por semana, pesando 90 kg e estatura de 1,90 metro. A Figura 4, ilustra uma sequência de imagens do trabalhador 2, em seu primeiro dia de mensuração, mostrando a variação da temperatura nos ombros esquerdo e direito do indivíduo, desde o momento em que este se encontrava em repouso, até o instante em que terminou as 350 repetições.

A Figura 5 apresenta a variação desta temperatura, nos dois ombros, ao longo do processo simulado, juntamente com os respectivos desvios padrões encontrados no trabalhador. Notou-se durante a análise que desde o início das atividades até o término, o ombro direito apresentou uma temperatura superior ao do ombro esquerdo. Inicialmente a temperatura média do ombro direito era de 30,9°C e a do esquerdo de 31,0°C. Sendo que ao término das repetições as temperaturas eram de 31,9°C e 30,15°C para os ombros direito e esquerdo respectivamente, com uma diferença de temperatura entre estes de 1,75°C.

Ressalta-se que o fato desta diferença de temperatura ter se elevado ao longo das

repetições, pode ser explicada pelo fato de que a exigência da musculatura estudada em desenvolver a atividade com o braço direito teve grande relevância, demonstrando um aumento de temperatura na região de maior esforço muscular (porção lateral do deltóide), do voluntário 2.

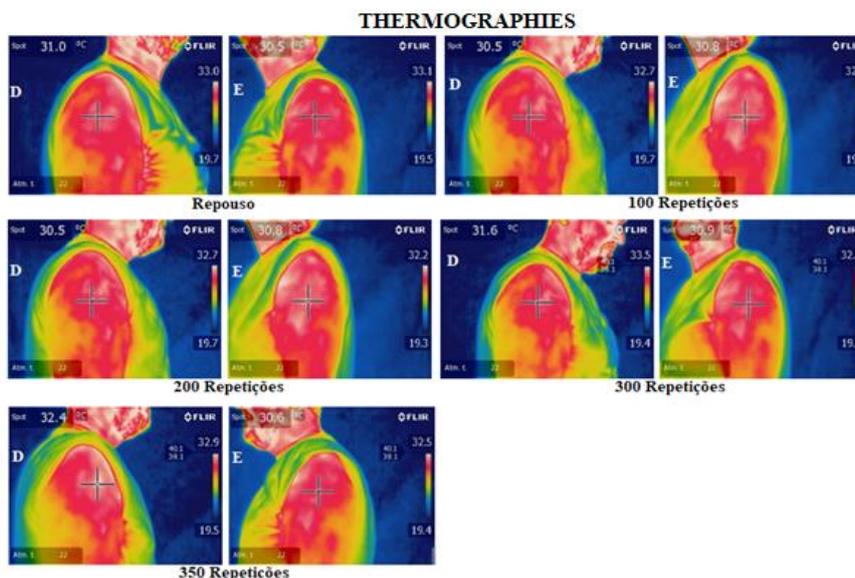


Figura 4 - Colaborador 2 na mensuração da temperatura, no 1º dia de mensuração, com o uso da câmara termográfica durante as repetições de movimento. Onde “D” refere-se ao ombro direito e “E” ao ombro esquerdo.

A média da frequência cardíaca inicial foi de 86 bpm e final de 102 bpm, identificando de acordo com a literatura, tipo de trabalho moderado. Ao início, meio e final da simulação dos movimentos, também aplicou-se o Questionário Bipolar - Questionário de Fadiga. A evolução da fadiga concentrou-se no item dor no braço, no punho ou na mão do lado direito e cansaço. No item braço direito o valor aumentou de 1 para 3 ao final das repetições e no item cansaço de 1 para 2. Identificando assim, fadiga em membro superior direito.

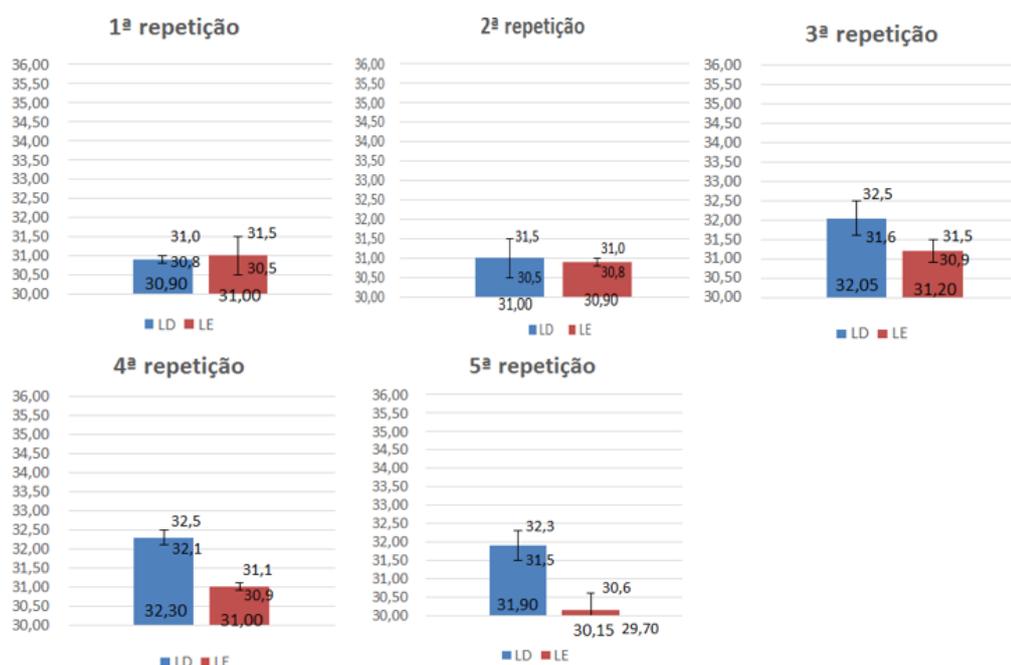


Figura 5 - Média da temperatura lado direito e esquerdo com desvio padrão nas 5 repetições de movimento, colaborador 2.

3.3. Análise termográfica “colaborador 3”

As características registradas do terceiro participante deste estudo são: sexo masculino, 29 anos de idade, sedentário, pesando 80 kg e altura de 1,80 metros.

A Figura 6, mostra uma sequência de imagens do trabalhador 3, em seu primeiro dia de mensuração, mostrando a variação da temperatura nos ombros esquerdo e direito do indivíduo, desde o momento em que este se encontrava em repouso, até o instante em que terminou as 350 repetições.

Conforme pode-se observar na Figura 7, no início das atividades, o ombro direito apresentou uma temperatura superior em relação ao ombro esquerdo. Inicialmente a temperatura média do ombro direito era de 33,75°C e a do esquerdo de 33,55°C. Sendo que ao término das repetições as temperaturas eram de 34,10°C e 34,13°C para os ombros direito e esquerdo respectivamente.

Ressalta-se que o fato desta simulação obter valores próximos de temperatura entre ombro direito e esquerdo, deve-se ao fato de ter gerado fadiga muscular ao final das 350 repetições, utilizando assim de musculatura lombar para compensação do movimento.

A média da frequência cardíaca inicial foi de 78 bpm e final de 113 bpm, sugerindo trabalho pesado, de acordo com a literatura.

Ao início, meio e final da simulação dos movimentos, também foi aplicado o Questionário Bipolar-Questionário de Fadiga. A evolução da fadiga concentrou-se no item dor no braço, no punho ou na mão do lado direito, dor na região lombar e cansaço. No item braço direito o valor aumentou de 1 para 4, no item região lombar de 1 para 3 e no item cansaço de 1 para 4. Identificando assim, fadiga em membro superior direito e lombar.

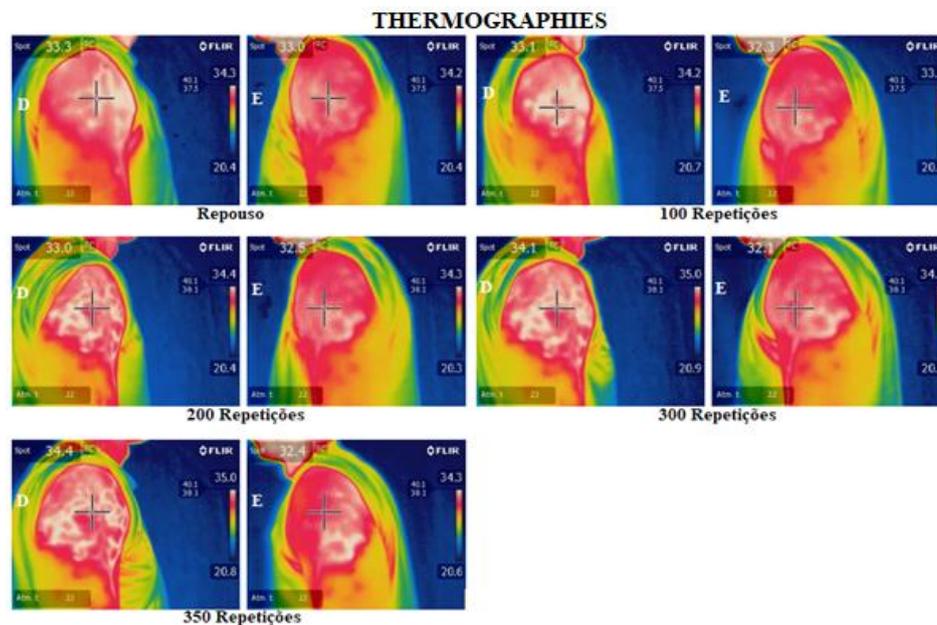


Figura 6 - Colaborador 3 na mensuração da temperatura, no 1º dia de mensuração, com o uso da câmara termográfica durante as repetições de movimento. Onde “D” refere-se ao ombro direito e “E” ao ombro esquerdo.

3.4. Resultados comparativos do uso da termografia entre os ombros dos voluntários

O comparativo da variação média das temperaturas de ambos os ombros (lado direito e esquerdo) dos trabalhadores, ao longo do processo de simulação (Figura 8). Destaca-se que os valores levam em conta o valor da variação real da temperatura final e inicial dos ombros de cada indivíduo.

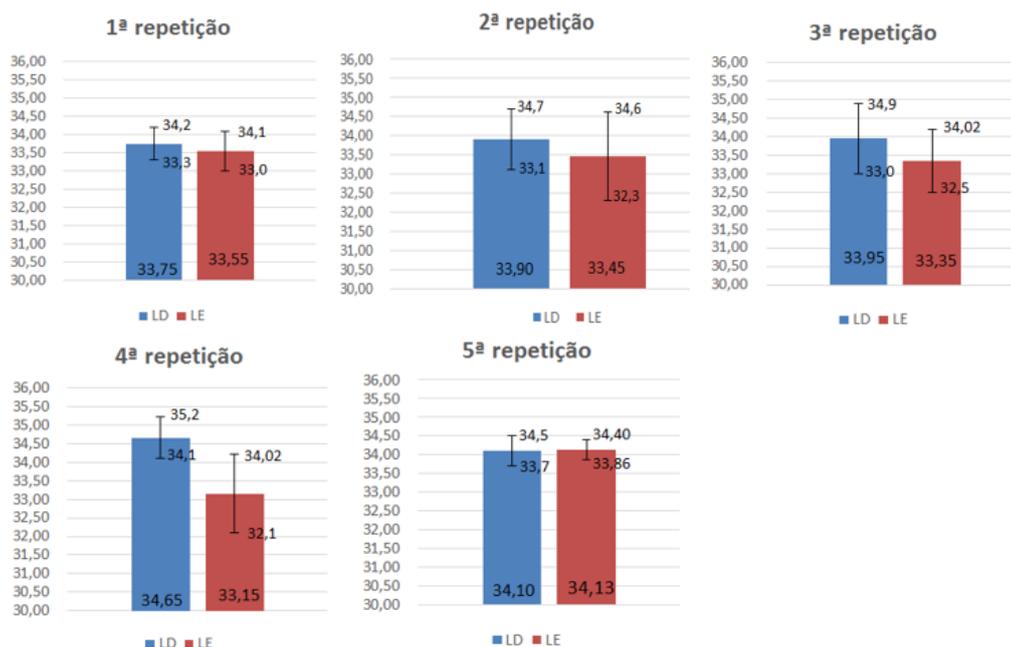


Figura 7 - Média da temperatura lado direito e esquerdo com desvio padrão nas 5 repetições de movimento, colaborador 3.

Pode-se notar que após 350 repetições, avaliando-se a porção lateral do músculo deltóide, há um aumento na temperatura comparativa entre os ombros. Sendo considerada a causa mais provável deste aumento de temperatura no ombro direito é a exigência muscular da atividade (neste caso reboco de teto), enfatizando ainda, o lado direito do corpo e mais especificamente o músculo deltóide, possivelmente devido à necessidade de elevação do braço acima da linha dos ombros e a sustentação de carga (colher de pedreiro e cimento).

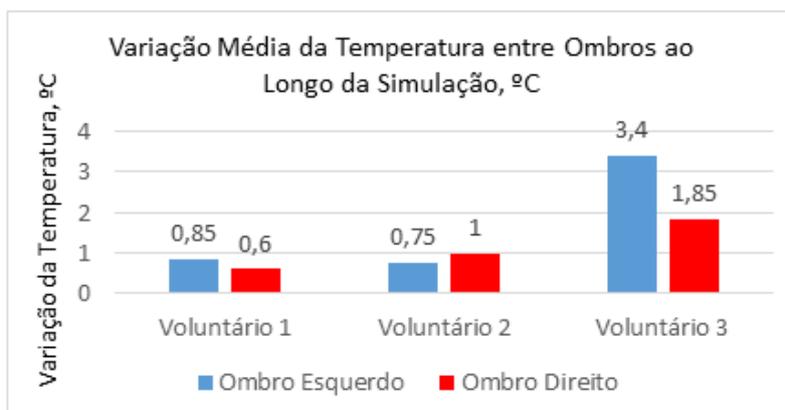


Figura 8 - Comparativo dos voluntários com relação à média de variação da temperatura inicial e final dos ombros (lado direito e esquerdo), com o uso da câmara termográfica.

Já com relação ao aumento da temperatura do ombro esquerdo do trabalhador 3, foi devido a fadiga muscular. Ao final das repetições do movimento, não estava conseguindo fazer o esforço necessário de abdução de ombro direito, assim, compensou o movimento e diminuiu a amplitude do movimento exigido.

4. Conclusões

Os dados apresentados neste documento servem como uma visão exploratória de possíveis situações de risco que podem ser expostos os trabalhadores da construção civil e verificados por meio da mensuração com a câmera termográfica.

A quantidade de diferença térmica esquerda/direita pode definir uma disfunção quando é maior do que 0,3 °C. Quando a diferença já é superior a 1 °C, isto representa um problema significativo. No estudo proposto, a causa mais provável do aumento de temperatura no ombro direito em comparação com o ombro esquerdo (diferença final de 2,4°C, para o colaborador 1) é a exigência muscular da atividade de reboco de teto, mais especificamente o músculo deltóide, possivelmente devido à necessidade de elevação do braço acima da linha dos ombros e a sustentação de carga (colher de pedreiro e cimento).

Sabe-se que os trabalhos executados com contração prolongada de músculos com esforço repetitivo tornam-se prejudiciais ao metabolismo dos tecidos, principalmente tendões, levando a quadros crônicos de dor e incapacidade. Os resultados encontrados na avaliação da atividade de reboco de teto, apontam de maneira geral, que na maioria das posições assumidas pelos pedreiros, são necessárias correções, principalmente no caso da exigência em ombro direito.

Ao fim desta pesquisa pode-se concluir que o uso da termografia superficial como ferramenta complementar, apresenta-se como um método eficiente para implementar num programa ergonômico na empresa. Assim, acredita-se na validação desse meio diagnóstico pelo fato de relacionar com fatores físicos e químicos que se explicam no processo inflamatório, ratificando o uso da termografia como auxiliadora no diagnóstico diferencial de LER/DORT.

Notou-se que existem poucos estudos na literatura sobre o uso da termografia infravermelha para monitorar a temperatura dos trabalhadores na construção civil. Portanto, este estudo pode servir de base para a aplicação da termografia em outros processos do setor construção, com o intuito de redução de lesão musculoesquelética.

Referências

- Fournet, D.; Ross, L.; Voelcker, T.; Redortier, B.; Havenith, G. Body Mapping of Thermoregulatory and Perceptual Responses of Males and Females Running in the Cold. *Journal of Thermal Biology* 38, p. 339-344. 2013.
- He, M.; Zhang, L.; Zheng, W.; Feng, Y. Crack Detection Based on a Moving Mode of Eddy Current Thermography Method. *Measurement* 109, p. 119-129. 2017.
- Lehto, M.; Landry, S. *Introduction to Human Factors and Ergonomics for engineers*. Taylor & Francis Group, London & NewYork. 2013.
- Marras, W.S.; Karwowski, W. *Interventions, Controls, and Applications in Occupational Ergonomics*. CRC Press Taylor & Francis Group, London & NewYork. 2006.
- Nunes, F. O. *Segurança e Saúde no Trabalho: Esquematizada (normas regulamentadoras nº. 10 a 19)*. v. 2, Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método. 2014.
- Olivares, B. C. F.; Seoane, A. Y.; Huerta, O. S.; Torres, C. C. G. Preliminary Study on the Evaluation of Musculoskeletal Risks Through Infrared Thermography Fordrummers. *Procedia Manufacturing* 3, p. 4415-4420. 2015.
- Sales, R. B. C.; Pereira, R. R.; Aguilar, M. T. P.; Cardoso, A. V. Thermal Comfort of Seats as Visualized by Infrared Thermography. *Applied Ergonomics* 62, p. 142-149. 2017.
- Rogalski, A. Recent Progress in Infrared Detector Technologies. *Infrared Phys.Technol*, 54, p. 136-154. 2011.
- Roghanchi, P.; Kocsis, K. C. Challenges in Selecting an Appropriate Heat Stress Index to Protect Workers in Hot and Humid Underground Mines. *Safety and Health at Work*, p. 1-7. 2017.
- Yuan Su, T.; Ting HO, W.; Chiang, S. C.; Yi Lu, C.; Chiang, H. K.; Chang, S. W. Infrared Thermography in the Evaluation of Meibomian Gland Dysfunction. *Journal of the Formosan Medical Association* 116, p. 554-559. 2017.