

## **Análise de variáveis térmicas ambientais nos Módulos Antárticos Emergenciais**

Wagner Gomes Martins

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Vitória, Espírito Santo, Brasil

[wgmartins.arq@gmail.com](mailto:wgmartins.arq@gmail.com)

Cristina Engel de Alvarez

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Vitória, Espírito Santo, Brasil

[cristina.engel@ufes.br](mailto:cristina.engel@ufes.br)

**ABSTRACT:** The Emergency Antarctic Modules (MAE) have been serving to provide continuity of the activities that are developed at the site of Comandante Ferraz Antarctic Station, after the fire in 2012. Considering the fragility of the surroundings and the safety and well-being of people in this extreme environment, the purpose of this work was to realize an analysis of thermal environment parameters in the interior of MAE, aiming the evaluation of its thermal performance. The methodology consisted of three phases: 1. review of literature and references; 2. instrumentation, collection and systematization of data; and 3. statistical and descriptive analysis of the results and further procedures. The results allowed one to understand the behaviour of the considered parameters, highlighting the difference of temperature in the rooms showing heat escaping and failures of the sealing system.

**Keywords:** thermal performance, Post-Occupancy Evaluation, thermal comfort, Comandante Ferraz Antarctic Station.

**RESUMO:** Os Módulos Antárticos Emergenciais (MAE) têm servido para viabilizar a continuidade das atividades desenvolvidas na área da Estação Antártica Comandante Ferraz, após o incêndio de 2012. Considerando a fragilidade do ambiente e a segurança e o bem-estar das pessoas neste meio extremo, o objetivo dessa pesquisa foi realizar uma análise de variáveis térmicas ambientais no interior dos MAE, visando a avaliação de seu desempenho térmico. A metodologia consistiu em três etapas: 1. embasamento teórico e referencial; 2. instrumentação, coleta e sistematização dos dados; e 3. análise estatística e descritiva dos resultados e direcionamento para futuros procedimentos. O resultado permitiu compreender o comportamento das variáveis consideradas na avaliação, destacando-se a diferença de temperatura nos ambientes internos evidenciando fugas de calor e falhas no sistema de vedação.

**Palavras-chave:** desempenho térmico, Avaliação Pós-Ocupação, conforto térmico, Estação Antártica Comandante Ferraz.

### **1 INTRODUÇÃO**

A Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF é o conjunto de edificações brasileiras instaladas desde 1984 na Península Keller (Figura 1) servindo para o desenvolvimento de atividades de cunho científico no continente gelado, que é dedicado à paz e à ciência pela comunidade internacional (Souza *et al.*, 2008).

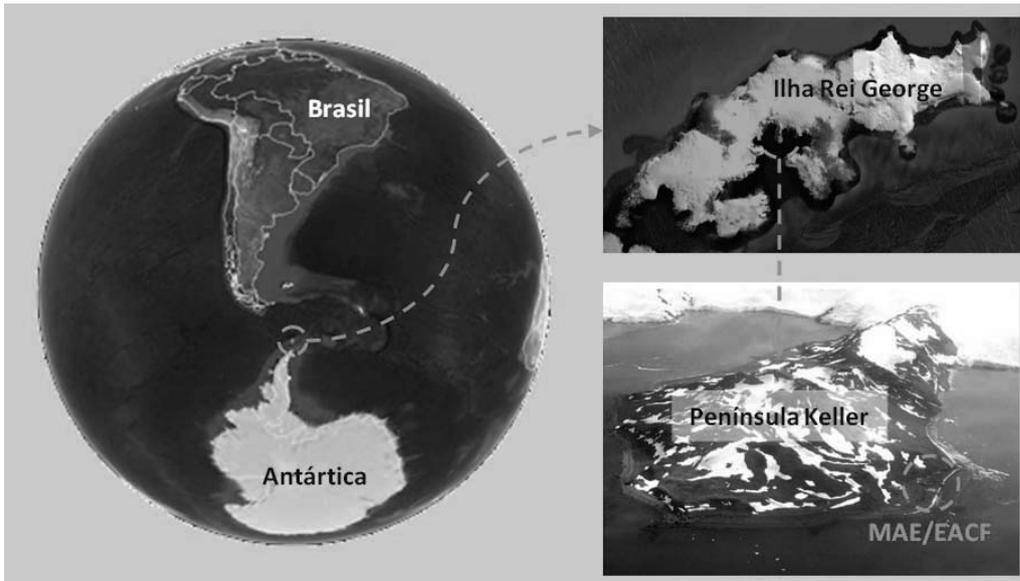


Figura 1. Localização da Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF. Fonte: Martins & Alvarez, 2013.

Em fevereiro de 2012 um incêndio destruiu o corpo principal da EACF e nas mediações foram instalados os Módulos Antárticos Emergenciais – MAE (Figura 2Figura 3), que estão em funcionamento desde o início de 2013, tendo servido para a continuidade das atividades desenvolvidas no local (Mech, 2013).



Figura 2. Imagem aérea dos Módulos Antárticos Emergenciais – MAE. Fonte: Acervo da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM.



Figura 3. Os Módulos Antárticos Emergenciais – MAE. Fonte: Acervo do Laboratório de Planejamento e Projetos – LPP da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

As características peculiares da Antártica e sua reconhecida fragilidade ambiental faz com que todas as atividades desenvolvidas ocorram sob a jurisdição do Tratado Antártico, com especial ênfase ao Protocolo de Proteção Ambiental, especialmente aquelas inerentes à criação de infraestrutura para a permanência segura de pesquisadores e pessoal de apoio na região (Secretariat of the Antarctic Treaty, acesso em: 01 jul. 2014).

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi realizar um ensaio de uma análise preliminar de variáveis térmicas ambientais – temperatura do ar e umidade relativa – nos Módulos Antárticos Emergenciais, como uma etapa inicial para uma pesquisa mais ampla de avaliação de seu desempenho térmico, considerado como critério fundamental de sustentabilidade em edificações.

Destaca-se que a maioria das edificações antárticas são atualmente abastecidas de energia a partir de motogeradores, cuja queima de combustível fóssil ocasiona, entre outras consequências, lançamento de gases na atmosfera e produção indesejável de ruídos. Deve-se levar em consideração, ainda, os custos – econômicos e ambientais – dos procedimentos de operação e manutenção, sendo então fundamental que seu uso seja otimizado. Os sistemas de aquecimento estão entre aqueles que mais demandam consumo de energia, justificando assim os estudos voltados para sua otimização. Considerando ainda um horizonte mais amplo, sistemas eficientes de condicionamento permitem o planejamento de edificações alicerçadas em energia obtidas a partir de fontes renováveis – como eólica e solar – visto a complexidade e dificuldade de suprimento de grandes quantidades de energia a partir desses sistemas alternativos.

## **2 INSTRUMENTOS E MÉTODOS**

A metodologia consistiu em 3 etapas fundamentais: 1. embasamento teórico e referencial; 2. instrumentação, coleta e sistematização dos dados; e 3. análise estatística e descritiva dos resultados e direcionamento para futuros procedimentos.

O trabalho foi desenvolvido alicerçado nos procedimentos recomendados por Ornstein & Roméro (1992) relativos à metodologia da Avaliação Pós-Ocupação – APO, que já foi utilizada para avaliação de edificações na EACF mostrando-se adequada ao contexto (Alvarez *et al.*, 2004).

Destacam-se os resultados pioneiros obtidos por Fanticlele (2011), que também adotou os procedimentos recomendados por Ornstein & Roméro (1992) com adaptações, e que tem servido como importante referência para a pesquisa e especialmente para esta etapa, considerando o meticuloso relato do processo de coleta, tratamento e análise dos dados para avaliação de conforto térmico na antiga edificação principal da EACF.

Assim, repetindo os procedimentos anteriormente realizados com sucesso na EACF e considerando a etapa de instrumentação e coleta dos dados, as atividades foram divididas em duas fases: a de obtenção de dados junto aos usuários e a avaliação técnica.

### **2.1 Obtenção de dados a partir dos usuários**

Em Alvarez & Martins (2013) foram apresentados os resultados obtidos na primeira fase da pesquisa, quando foi elaborado um questionário com perguntas gerais e específicas relacionadas ao desempenho dos MAE. Nessa fase foram identificados alguns problemas na vedação de esquadrias, falhas pontuais de estanqueidade, diferença de temperatura no interior de cômodos e dificuldade em controlar a temperatura devido ao sistema de ajuste, que ocasionam desconforto térmico e comprometem a eficiência energética das edificações.

## 2.2 Obtenção de dados a partir de medições *in loco*

Para a avaliação técnica das edificações foram feitas visitas exploratórias, em que foram identificados alguns problemas relacionados aos diversos aspectos avaliados, incluindo aqueles relacionados ao seu conforto térmico e eficiência energética, que coincidiram com os apontados pelos usuários, confirmando seus pareceres.

Seguindo os procedimentos recomendados pela NBR 15220, também foram instalados aparelhos de medição de temperatura do ar, temperatura radiante e umidade relativa em cômodos escolhidos para a amostragem por serem locais de maior permanência dos usuários e em que a exigência por conforto é maior, sendo eles: camarotes 2 e 3, enfermaria e refeitório (Figura 4).

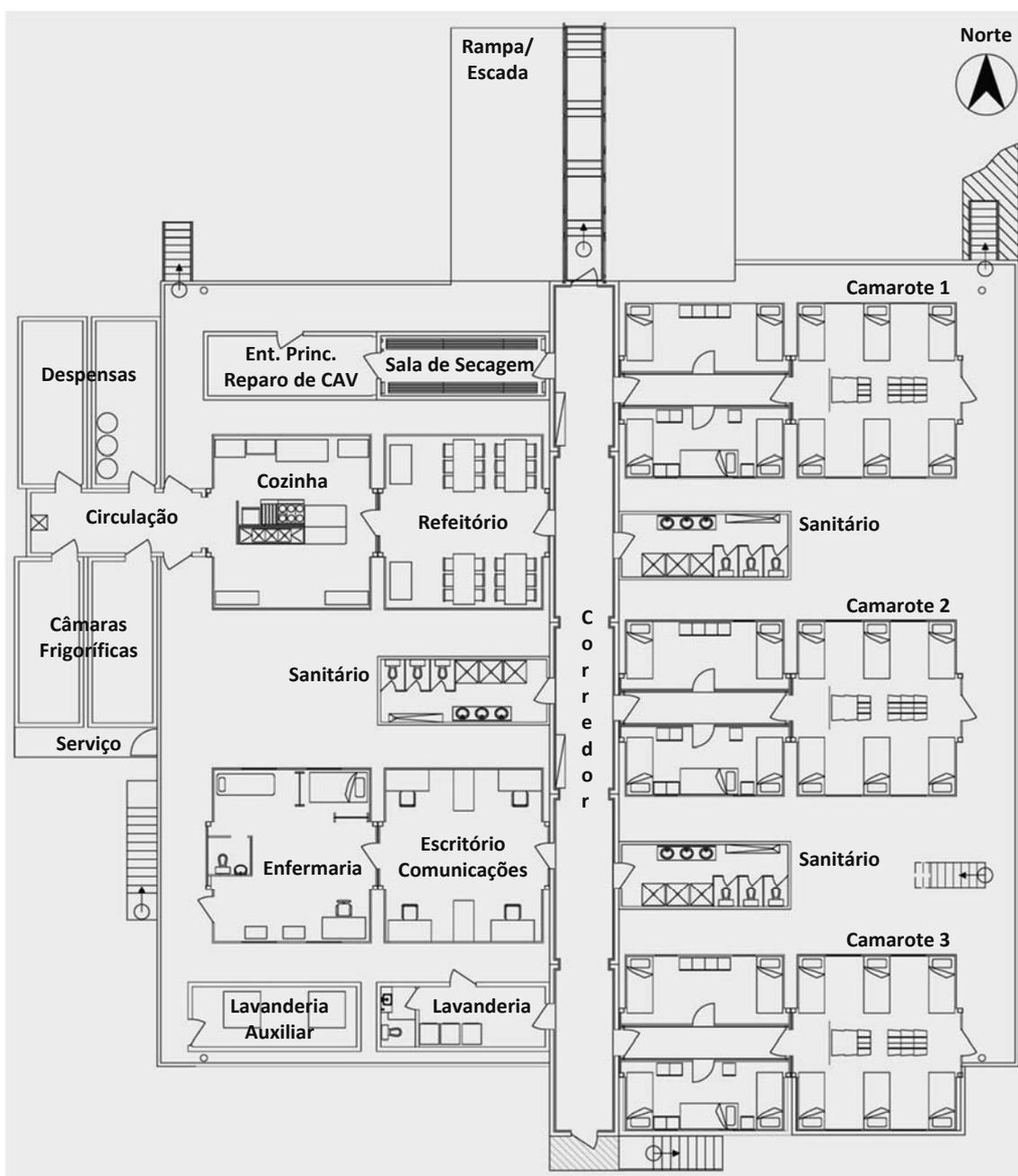


Figura 4. Planta baixa esquemática dos Módulos Antárticos Emergenciais. Fonte da imagem-base: Acervo da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM / Weatherhaven Canada Resources Ltd. – WCRL.

Os aparelhos utilizados para as medições foram o Data Logger HOBO U12-013 da Onset, que mede e registra temperatura do ar e umidade relativa; e a sonda externa TMC20-HD, também da Onset, acoplada a um globo negro e ao Data Logger para medição e registro de temperatura radiante (Figura 5).



Figura 5. Aparelhos de medição instalados na enfermaria.

Foram instalados três HOBOS em cada cômodo em alturas diferentes de acordo com a ISO 7726, sendo que foi acoplada uma sonda externa com globo negro no HOBO de altura intermediária em cada cômodo. Na enfermaria e no refeitório, que são ambientes onde as pessoas ficam sentadas ou deitadas na maior parte do tempo, os aparelhos foram instalados nas alturas de 0.10, 0.60 e 1.10 metros do piso. Como nos camarotes há beliches e com isso as pessoas ficam em alturas diferentes – umas mais ao alto que as outras – os aparelhos foram instalados nas alturas de 0.10, 1.10 e 1.70 metros do piso.

Foram coletados dados de registro de hora em hora desde 20 de março de 2014 às 16 horas até 14 de julho de 2014 às 13 horas. A intenção das medições foi a obtenção de registros em sua maior quantidade, não tendo sido estipulado um horário de início ou de término dos mesmos. Na programação dos aparelhos de medição só se determinou que os registros fossem feitos automaticamente e continuamente ao passar das horas.

A partir da sistematização dos dados de registro em planilhas foram elaborados gráficos – linhas do tempo e boxplots – para sua melhor visualização, interpretação e comparação, possibilitando sua análise descritiva preliminar. Destaca-se o uso de boxplots para a análise dos dados por possibilitar a visualização da variabilidade dos dados de registro e por apresentar a mediana – segundo quartil – como medida estatística de referência, sendo que ela é menos afetada pelos valores extremos e *outliers* do que a média, ou seja, é uma medida mais estável. Entretanto, esse tipo de gráfico elimina o fator tempo, restringindo a análise para o caso em questão. Além disso, se observa que nos boxplots, só foram indicados os *outliers* mais extremos, devido à grande quantidade de registros e, conseqüentemente, de *outliers*, sendo que isso também acontece pela eliminação do fator tempo.

### 3 RESULTADOS

Foram elaborados gráficos a partir dos dados de registros coletados seguidos por sua análise descritiva. Observa-se que a análise foi feita a partir da comparação entre os dados de registros de ambientes com características diferentes entre si e de aparelhos de medição com alturas diferentes no mesmo ambiente ou de um ambiente para outro. Sendo assim, ao se comparar os dados de registros dos camarotes 2 e 3 com os dados de registro da enfermaria e do refeitório deve-se lembrar que nos camarotes os aparelhos de medição foram instalados em alturas diferentes daqueles instalados nos outros ambientes, resultando, ocasionalmente, no aumento das diferenças entre os valores de registros obtidos em cada recinto.

#### 3.1 Temperatura do ar

As Figuras Figura 6 a Figura 10 apresentam os gráficos referentes à temperatura do ar.

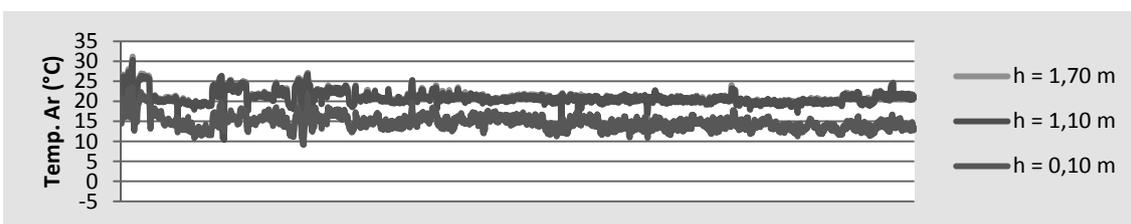


Figura 6. Linha do tempo da temperatura do ar no camarote 2.

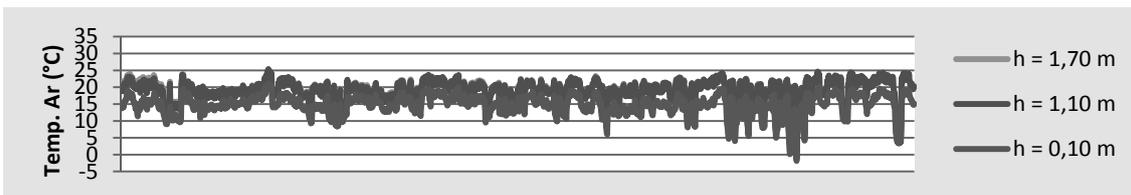


Figura 7. Linha do tempo da temperatura do ar no camarote 3.

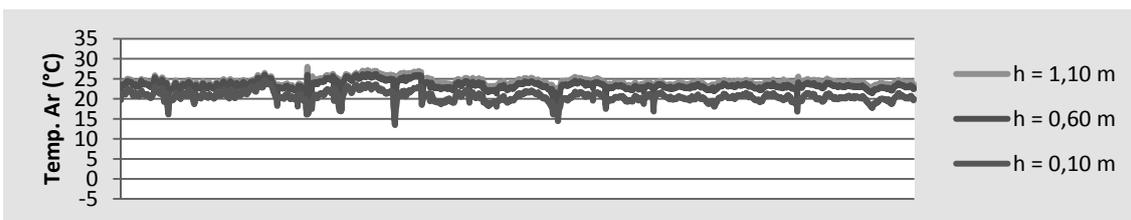


Figura 8. Linha do tempo da temperatura do ar na enfermaria.

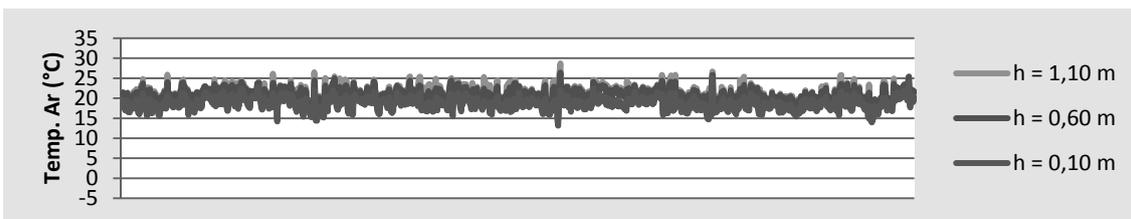


Figura 9. Linha do tempo da temperatura do ar no refeitório.

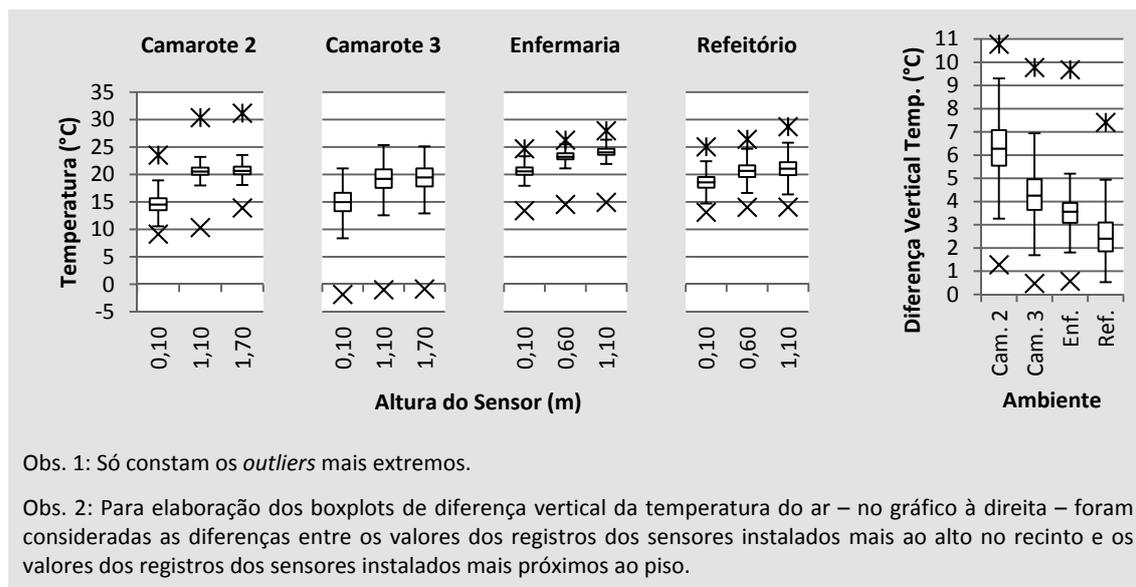


Figura 10. Boxplots da temperatura do ar e da diferença vertical da temperatura do ar.

A partir da análise dos dados com interpretação dos gráficos percebeu-se que em geral a temperatura do ar durante o período analisado foi mais alta na enfermaria, seguida pelo refeitório, sendo que os camarotes 2 e 3 foram os ambientes em que a temperatura do ar, em geral, foi mais baixa.

Observando os boxplots da esquerda, nota-se que o camarote 3 foi o cômodo onde a temperatura do ar apresentou maior variabilidade dos dados de registro nas três alturas dos sensores, seguido pelo refeitório, e depois pelo camarote 2, sendo que na enfermaria foi onde a temperatura do ar menos variou. Ressalta-se que não se trata da diferença vertical da temperatura do ar – boxplots à direita –, mas sim da variabilidade dos dados de registro.

Notou-se uma tendência para temperaturas do ar mais baixas no camarote 3 e na enfermaria, sendo que no primeiro houve registros – *outliers* – até mesmo abaixo de 0 °C. Isso pode ter acontecido por desligamento ou falha no sistema de aquecimento ou pela abertura de janelas, permitindo a perda de calor para o ambiente externo. Já no camarote 2 e no refeitório, em geral os dados de registro apresentaram maior simetria em sua distribuição.

Em geral a temperatura do ar registrada foi maior quanto maior fosse a altura do sensor, como era de se esperar, no entanto, algumas diferenças de temperatura registradas demonstram falhas no sistema de isolamento e, também, na distribuição do calor. No camarote 2 houve maior diferença vertical de temperatura do ar – por volta de 6.5 °C –, seguido pelo camarote 3 – por volta de 4 °C –, depois pela enfermaria – por volta de 3.5 °C –, sendo que o refeitório foi o ambiente que apresentou menor diferença vertical da temperatura do ar – por volta de 2.5 °C. Mesmo assim se observa uma tendência para um aumento na diferença vertical da temperatura do ar no refeitório. Nota-se ainda que houve casos – *outliers* – de diferença vertical de temperatura do ar próximas de 11 °C no camarote 2, próximas de 10 °C no camarote 3 e na enfermaria, e acima de 7 °C no refeitório. A variabilidade das diferenças verticais de temperatura do ar foi maior no camarote 2, seguido pelo camarote 3, depois pelo refeitório, sendo que na enfermaria as diferenças verticais de temperatura do ar variaram menos.

### 3.2 Umidade relativa do ar

As Figuras Figura 11 a Figura 15 apresentam os gráficos referentes à umidade relativa do ar.

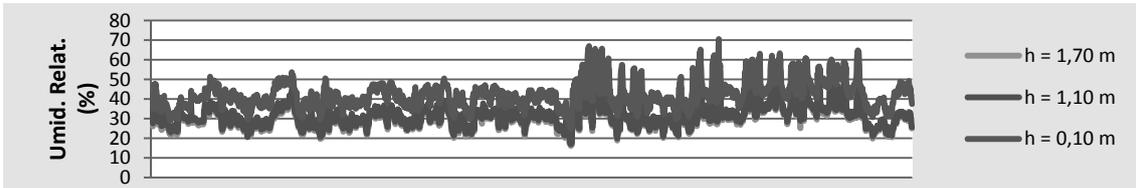


Figura 11. Linha do tempo da umidade relativa do ar no camarote 2.

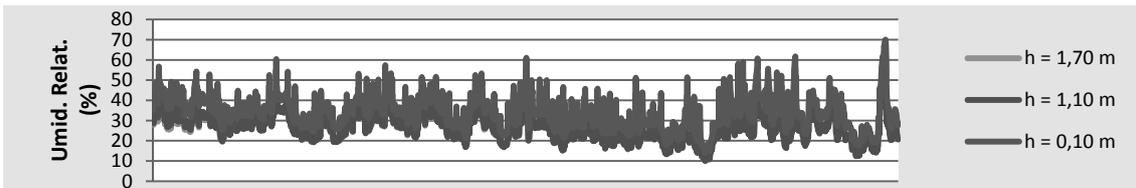


Figura 12. Linha do tempo da umidade relativa do ar no camarote 3.

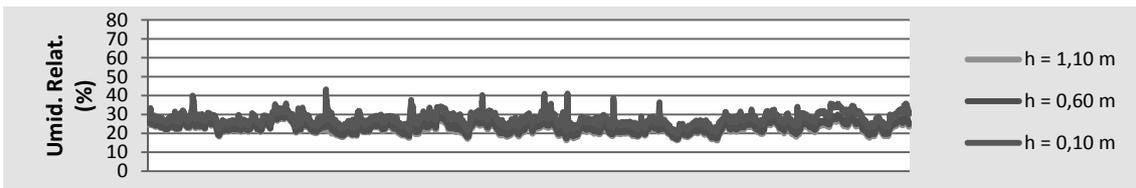


Figura 13. Linha do tempo da umidade relativa do ar na enfermaria.

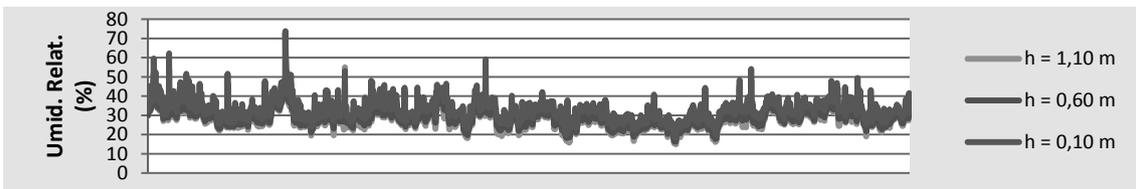
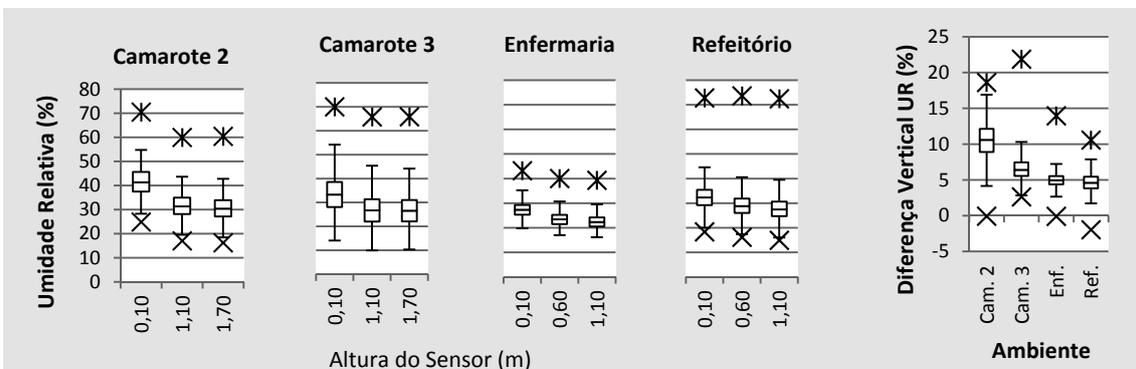


Figura 14. Linhas do tempo da umidade relativa do ar no refeitório.



Obs. 1: Só constam os *outliers* mais extremos.

Obs. 2: Para elaboração dos boxplots de diferença vertical da umidade relativa do ar – gráfico à direita – foram consideradas as diferenças entre os valores dos registros dos sensores instalados mais ao alto no recinto e os valores dos registros dos sensores instalados mais próximos ao piso.

Figura 15. Boxplots da umidade relativa e da variação vertical da umidade relativa do ar.

Em geral a umidade relativa do ar durante o período analisado foi mais alta no camarote 2, seguido pelo camarote 3 e o refeitório, sendo que a enfermaria foi o ambiente em que a umidade relativa do ar, em geral, foi mais baixa.

Assim como para a temperatura do ar, o camarote 3 foi o cômodo onde a umidade relativa do ar apresentou maior variabilidade dos dados de registro nas três alturas dos sensores, seguido pelo refeitório e o camarote 2, sendo que na enfermaria foi onde a umidade relativa do ar menos variou.

Notou-se uma certa tendência para umidade relativa do ar mais alta em todos os ambientes, sendo que no refeitório houve registros – *outliers* – até mesmo acima de 70% para as três alturas, e os camarotes também apresentaram valores próximos disso.

Em geral a umidade relativa do ar registrada foi maior quanto menor fosse a altura do sensor, ao contrário da temperatura do ar. Independente disso, assim como para temperatura do ar, no camarote 2 houve maior diferença vertical de umidade relativa do ar – por volta de 10.5% –, seguido pelo camarote 3 – por volta de 6.5% –, depois pela enfermaria – por volta de 5% – e o refeitório – por volta de 4.5%. Para umidade relativa do ar se observa uma tendência para uma maior diferença vertical no camarote 3, onde há registros – *outliers* – acima de 20%. Nota-se ainda que houve casos – *outliers* – de diferença vertical de umidade relativa do ar próximo de 20% no camarote 2, próximos de 15% na enfermaria, e acima de 10% no refeitório. Assim como para temperatura do ar, a variabilidade das diferenças verticais de umidade relativa do ar foi maior no camarote 2, seguido pelo camarote 3, depois pelo refeitório, sendo que na enfermaria as diferenças verticais de umidade relativa do ar variaram menos.

A Tabela 1 apresenta o resumo da análise dos gráficos.

Tabela 1. Resumo da análise dos gráficos.

Aspecto verificado / variável ambiental	Temperatura do Ar	Umidade Relativa do Ar
Valores de registro	Enf > ref > cams 2 e 3	Cam 2 > cam 3 e ref > enf
Variabilidade dos dados de registro	Cam 3 > ref > cam 2 > enf	Cam 3 > ref e cam 2 > enf
Tendência para valores mais baixos	Mais no cam 3 e pouco na enf	Pouco em todos e mais no ref
Diferença vertical	Cam 2 > cam 3 > enf > ref	Cam 2 > cam 3 > enf e ref
Tendência para maior diferença vertical	Mais no ref e pouco na enf	Mais no cam 3 e pouco na enf
Variabilidade das diferenças verticais	Cam 2 > cam 3 > ref > enf	Cam 2 > cam 3 > ref > enf

Legenda: cam = camarote; enf = enfermaria; ref = refeitório.

#### 4 CONCLUSÕES

A partir da metodologia adotada e através da análise realizada foi possível compreender o comportamento das variáveis ambientais medidas nos ambientes estudados e comparar os resultados das avaliações com as respostas obtidas pelos usuários. Nesse sentido, observou-se que os principais aspectos negativos relatados pelos usuários e publicados em Martins & Alvarez (2013) são facilmente compreendidos visto que há uma perceptível distribuição desuniforme na temperatura interna dos ambientes, provavelmente ocasionado por fuga de calor ou por falhas oriundas do comportamento dos usuários, como por exemplo, deixar portas e janelas abertas ou mal fechadas.

Para o avanço da pesquisa, prevê-se a realização de estudos comparativos de avaliação do comportamento da temperatura interna em relação à externa (atraso térmico) e, eventualmente, ao consumo de combustível visando estabelecer a efetiva eficiência do sistema construtivo em relação ao isolamento térmico da envoltória.

Os resultados obtidos identificaram, ainda, a necessidade de aprimoramento na técnica estatística utilizada, prevendo-se a adoção da técnica de Controle Estatístico de Qualidade (CEQ)

e análise de série temporal para desenvolvimento de uma análise estatística dos dados e do sistema monitorado a partir de um modelo estabelecido e de forma integral, sem dissociação das informações.

Com a obtenção de novos dados e informações, o uso de técnicas mais sofisticadas de análise estatística e os cálculos dos índices de conforto térmico, será possível, além da obtenção de resultados mais completos em relação aos MAE, replicar a metodologia para a avaliação das novas edificações permanentes da EACF, previstas para estarem concluídas em março de 2017.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM; ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais – INCT-APA; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; à Weatherhaven Canada Resources Ltd. – WCRL; e ao Laboratório de Estatística – LESTAT da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

## 6 REFERÊNCIAS

Alvarez, C. E. & Casagrande, B. & Woelffel, A. B. 2004. A adoção da metodologia de Avaliação Pós-Ocupação enquanto instrumento de diagnóstico da Estação Antártica Comandante Ferraz, Brasil: resultados preliminares. In Reunião de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos – RAPAL, 15., Guaiquil - Guaias. *Anais...*: 1-5. Guaiquil - Guaias: Programa Antártico Equatoriano, 2004.

Fanticle, F. B. 2011. *Avaliação de conforto térmico na Estação Antártica Comandante Ferraz*. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória - ES, 2011.

Martins, W. G. & Alvarez, C. E. 2013. Avaliação de desempenho dos Módulos Antárticos Emergenciais (MAE) do Brasil a partir da satisfação dos usuários. In Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente – CONENGE, 1., Niterói - RJ. *Anais...*: 1113-1120. Niterói - RJ: Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense – UFF, 2013.

Mech, K. 2013. How Hard-wall Expandable Containers Helped Brazil Recover from an Antarctic Disaster. *Innovation: Journal of The Association of Professional Engineers and Geoscientists of BC (British Columbia)*, Burnaby, 17(3): 20-22.

Onset Computer Corporation. HOBOWare Lite: *software para dispositivos e registradores de dados HOBO* 2014. Versão 3.6.1. Cape Cod - MA: 1 CD-ROM.

Ornstein, S. W. & Roméro, M. 1992. *Avaliação Pós-Ocupação (APO) do ambiente construído*. São Paulo - SP: Studio Nobel.

Secretariat of the Antarctic Treaty. *The Antarctic Treaty and the Environment Protocol*. Disponível em: <[http://www.ats.aq/index\\_e.htm](http://www.ats.aq/index_e.htm)>. Acesso em: 01. jul. 2014.

Souza, J. E. B. et al. 2008. *Brasil na Antártica: 25 Anos de História*. São Carlos - SP: Vento Verde Editora.

Weatherhaven Canada Resources Ltd. 2012. *Proposta para o complexo MAE*. Burnaby, 2012.