



O PAPEL DA INÉRCIA TÉRMICA COMO TÉCNICA DE RESFRIAMENTO PASSIVO PARA RESIDÊNCIAS EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO – ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS.

Solange Goulart

Environmental & Energy Studies Programme
Architectural Association Graduate School, London
solange@aaschool.ac.uk

RESUMO

Este trabalho examina o papel da inércia térmica como técnica de resfriamento passivo no clima do sul do Brasil. Medições contínuas de temperatura do ar e umidade relativa foram realizadas em 4 residências durante o período de verão em Florianópolis – SC. Duas das residências possuem maior inércia térmica em seus componentes e as demais são em construção convencional, com menor inércia térmica em seu envoltório. Os resultados das medições são apresentados e discutidos. As conclusões ressaltam que, para alcançar resultados aceitáveis, é importante levar em consideração alguns aspectos que podem afetar o uso da inércia térmica nesse tipo de clima, como a influência da cobertura, o uso da ventilação noturna e a área de aberturas com sombreamento adequado.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação bioclimática, na qual dados climáticos do local são plotados sobre uma carta bioclimática, fornece indicações ao projetista de estratégias de projeto que podem ser aplicadas para alcançar conforto térmico no ambiente. Através da análise bioclimática, o uso da inércia térmica no inverno e ventilação natural no verão são indicados para o clima do sul do Brasil (Porto Alegre latitude 30° 00' S e Florianópolis latitude 27° 40' S) com percentual significativo em cada zona. (Lamberts et al, 1997)

O clima no sul do Brasil é caracterizado por invernos frios e verões quentes e úmidos: as temperaturas média das máximas são próximas dos 30°C (com umidade relativa média por volta de 80%) no verão e as temperaturas média das mínimas caem para 10°C durante o inverno.

Embora a inércia térmica para resfriamento não é indicada pela carta, alguns estudos experimentais realizados em Florianópolis, mostraram que esta estratégia também pode ser útil no verão. (Papst, 1999) (de Andrade, 1996)

A eficiência da inércia térmica como estratégia de resfriamento em climas quentes e úmidos têm sido investigada por muitos pesquisadores (Shaviv, 1988; Szokolay, 1996; Soebardo, 1999). Embora alguns resultados mostrem a vantagem de usar construções com maior inércia, este assunto ainda merece maior investigação. Para alcançar resultados aceitáveis, é importante levar em consideração alguns aspectos que podem afetar o uso da inércia térmica nesse tipo de clima, como por exemplo, a presença ou não de isolamento térmico ou barreira radiante no telhado, o comportamento dos ocupantes (abrir e fechar janelas) e o papel da ventilação noturna.

Este artigo investiga o papel da inércia térmica no clima do sul do Brasil, com estudo de caso em Florianópolis – SC e este trabalho é parte da tese de doutorado em andamento do autor.

Na primeira parte do artigo, as residências monitoradas são descritas, sendo os resultados das medições apresentados e discutidos na segunda parte.

2. DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

A análise do efeito da inércia térmica foi realizada através de medições de temperatura do ar e umidade relativa em 4 residências unifamiliares na cidade de Florianópolis-SC, no período de verão. O objetivo do monitoramento foi avaliar o desempenho da inércia térmica nas condições de verão e traçar as primeiras conclusões quanto as limitações e relevâncias do emprego desta técnica. Duas das residências monitoradas possuem maior inércia térmica em seus componentes. As demais são em construção convencional com menor inércia térmica em seu envoltório, sendo que estas foram monitoradas com o objetivo de comparar-se o desempenho das condições internas com o dos dois primeiros casos. As medições foram realizadas com base horária, sendo que para a aquisição de dados foram utilizados sensores Tiny Data Loggers, da Gemini Data Loggers pertencentes a Architectural Association School (Londres - UK) e alguns HOBO Temp Data Loggers da Onset Computer Corporation, emprestados pelos laboratórios: LabEEE e LabCon da UFSC (Florianópolis - SC).

2.1. Residência 1

Esta residência localiza-se aproximadamente a 15 m do mar em uma área de baixa densidade habitacional. O microclima local é influenciado pela presença da água e da vegetação. Por causa da localização, a residência recebe influência direta do vento sul. A edificação possui dois pavimentos, sendo que as paredes externas e internas são feitas em pedra bruta sem revestimento. A cobertura é de telha cerâmica, com laje mista com chapisco grosso na face interna. Os pisos são de ardósia. A fachada principal é voltada ao oeste.

Foram monitorados 3 ambientes internos, um no piso inferior (sala), e dois ambientes localizados no piso superior em diferentes orientações: a sala de TV (com uma parede ao sul e outra a oeste) e o escritório (com uma parede a leste e outra ao sul). A casa possui uso temporário, sendo mais utilizada no período de verão e em alguns finais de semana durante o ano. Fazem uso da casa, um casal, uma criança pequena e uma empregada doméstica, sendo esta, só durante o dia.

Todos os ambientes possuem grandes aberturas, com esquadrias de madeira e vidro simples. Quando a residência está em uso, as portas e janelas costumam estar abertas o dia todo. No piso superior, as aberturas são fechadas pelas 4 h da tarde por causa dos insetos. No pavimento inferior, as aberturas só costumam ser fechadas a noite.



Figura 1: Residência 1 – fachada principal e ambiente interno.

2.2. Residência 2

Esta residência é localizada próxima a residência 1, mas em uma área com densidade habitacional um pouco maior, a aproximadamente 500 m do mar. Foi construída em técnica convencional, ou seja, suas paredes são de tijolo 6 furos com reboco em ambas as faces, construção comumente utilizada no Brasil. A edificação é composta de dois pavimentos, sendo que a escada funciona como elemento integrador dos ambientes, permitindo a livre circulação do ar entre os pavimentos. A sala de Estar, Jantar e a Cozinha são integradas, formando um único ambiente. A fachada principal tem orientação sudoeste, também recebendo influência do vento sul.

A cobertura é de telha cerâmica com forro de madeira, sem laje. A casa tem piso cerâmico no primeiro pavimento e piso de madeira nos quartos do segundo pavimento. A laje intermediária é em concreto maciço. Foram monitorados 2 ambientes, um no piso inferior: sala de estar/jantar, e um no piso superior: dormitório.

A casa é utilizada por um casal durante o ano todo.

As esquadrias são de ferro, com vidro simples e venezianas. Quando a residência está em uso, as janelas costumam permanecer abertas durante o dia, sendo fechadas ao anoitecer, mas uma pequena ventilação é mantida devido as venezianas.



Figura 2: Residência 2 – fachada principal e ambiente interno.

2.3. Residência 3

A terceira residência localiza-se em uma área urbana de maior densidade habitacional e foi escolhida por possuir as paredes externas construídas em pedra bruta. A orientação da fachada principal é sudoeste, e apesar da casa estar situada em uma região urbana, o terreno onde ela está alocada possui uma área de aproximadamente 1400 m², sendo bastante arborizado.

A residência possui dois pavimentos, com telhado de cimento amianto e laje mista, sendo que as paredes internas são em alvenaria convencional (tijolo 6 furos com reboco em ambas as faces).

Foram monitorados três ambientes internos: um no pavimento inferior (escritório) e dois ambientes no pavimento superior. A monitoração dos ambientes no pavimento superior foi realizada em duas etapas: primeiramente foi monitorado um dormitório (orientação noroeste), trocando-se os equipamentos nas duas últimas semanas para uma sala de jantar, (orientação sudeste). Os pisos do escritório e do dormitório possuem forração em carpet e a sala de jantar é em piso cerâmico. Nesse artigo só serão apresentados os resultados do escritório e da sala de jantar.

As aberturas são de alumínio com vidro simples e possuem tela para proteção contra os insetos em 50% da abertura, permanecendo abertas durante o dia e a noite. A residência possui uso constante ao longo do ano e normalmente são quatro moradores adultos. Por ocasião das medições, somente duas pessoas encontravam-se na casa, os quais não permaneciam durante o dia no horário comercial.



Figura 3: Residência 3 – fachada lateral e ambiente interno.

2.4. Residência 4

O último objeto do estudo é uma casa de madeira também situada em uma área de grande densidade habitacional, na mesma região da residência 3. A casa possui dois pavimentos e a fachada principal é nordeste. As paredes são duplas, de madeira, com um espaço de ar entre elas. Somente as paredes dos banheiros são de alvenaria. A cobertura é em telha cerâmica com forro de madeira. A casa possui piso cerâmico no primeiro pavimento e piso de madeira no segundo.

Foram monitorados dois ambientes internos, a sala no pavimento inferior e o dormitório, no superior.

A residência possui uso constante, sendo habitada por um casal e duas crianças pequenas, e uma empregada doméstica durante o dia.

As janelas são de madeira com vidro simples e permanecem abertas durante o dia, sendo fechadas a noite para evitar insetos. O dormitório possui um ventilador de teto, que é acionado durante a noite.



Figura 4 – Residência 4 – fachada principal e ambiente interno.

3. RESULTADOS DO MONITORAMENTO

A monitoração compreendeu o período de 26/01/01 a 05/03/01, mas os gráficos aqui mostrados representam períodos menores para efeito de melhor visualização. As figuras abaixo mostram medições de temperatura das 4 residências para o período de 18/02 a 24/02.

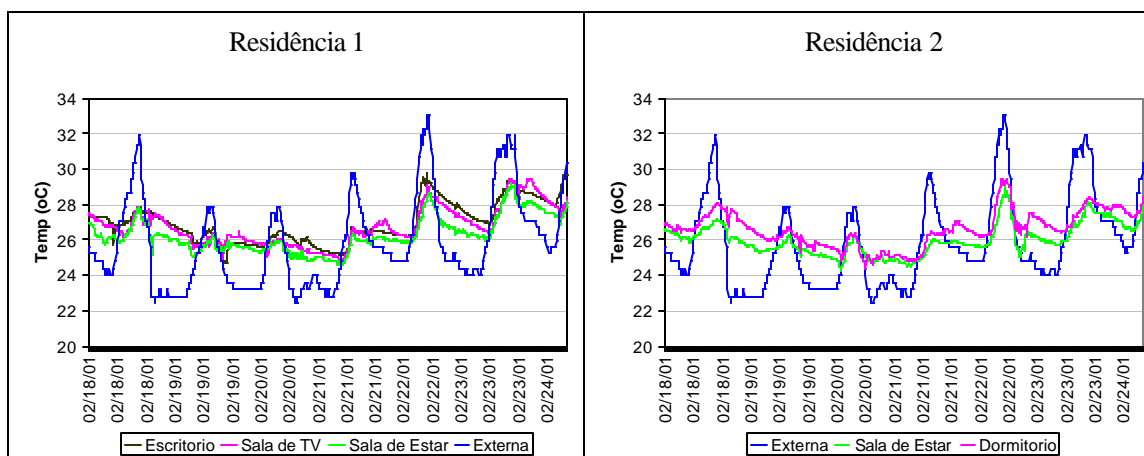


Figura 5 – Distribuição da temperatura do ar no período de 18/02 a 24/02.

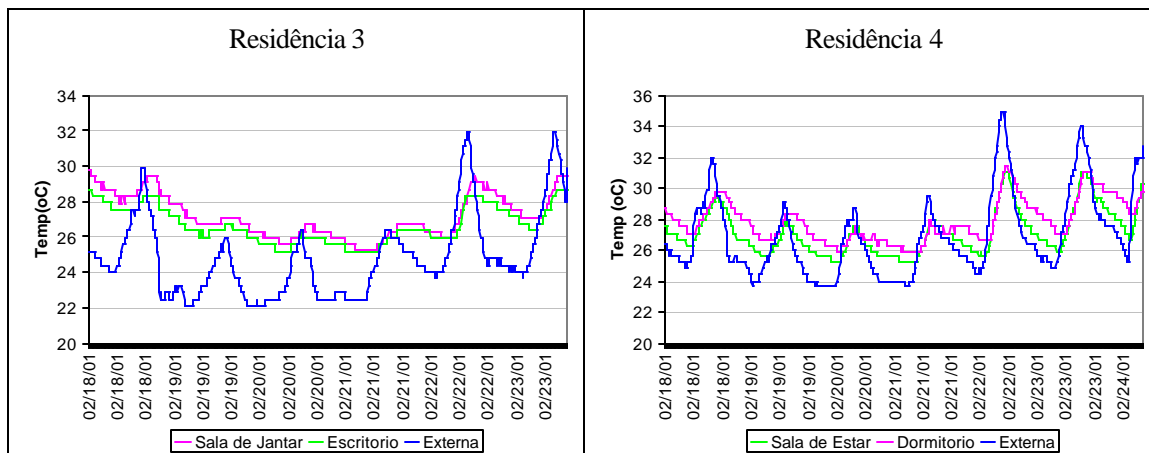


Figura 6 – Distribuição da temperatura do ar no período de 18/02 a 24/02.

Observando os resultados, as seguintes conclusões podem ser feitas:

- Em todas as residências, os ambientes localizados no piso superior apresentam temperaturas mais altas que os ambientes localizados no térreo. Embora nenhuma das casas monitoradas apresente isolamento no telhado, a diferença é mais evidente nas residências 2 e 4, pois ambas apresentam forro de madeira sem laje, caracterizando baixa inércia térmica. Esse resultado mostra a influência do calor transmitido pelo telhado devido a radiação solar, muito intensa nessa época do ano.
- A distribuição das temperaturas internas nas casas 1 e 2, localizadas na mesma área, são semelhantes apesar da primeira possuir maior inércia térmica tanto no envoltório, quanto internamente. Isso pode ter sido provocado provavelmente pelo fato de ambas terem suas janelas abertas durante o dia. Os picos de temperatura interna, nessas duas residências, apresentam uma atenuação em relação aos picos ocorridos na temperatura externa, apresentando 3°C a 4°C de diferença nos dias em que ocorreram temperaturas externas máximas maiores. Já as temperaturas mínimas internas da residência 2, de construção convencional em tijolo 6 furos, atingiram valores um pouco menores que as mínimas internas da residência 1.
- A distribuição das temperaturas internas da residência 4, em madeira, acompanha a distribuição da temperatura externa, atingindo valores de máxima e mínima semelhantes ou com pouca diferença, devido a baixa inércia térmica de todo seu envelope.
- A residência 3, apesar de apresentar uma amplitude de temperatura interna menor que a da externa, apresenta picos de temperatura maiores que os picos externos, nos dias em que a temperatura externa baixou consideravelmente.
- A inércia térmica maior presente nas residências 1 e 3 (paredes de pedra), faz com que a variação de temperatura interna seja menor, mas nos dias em que a temperatura externa apresenta uma queda, o interior dessas residências permanece quente.
- Durante a noite, as temperaturas externas chegaram a 22°C, mostrando que existe um potencial para o uso da ventilação noturna.

A figura abaixo mostra as medições de umidade relativa para o período de 18/02 a 24/02.

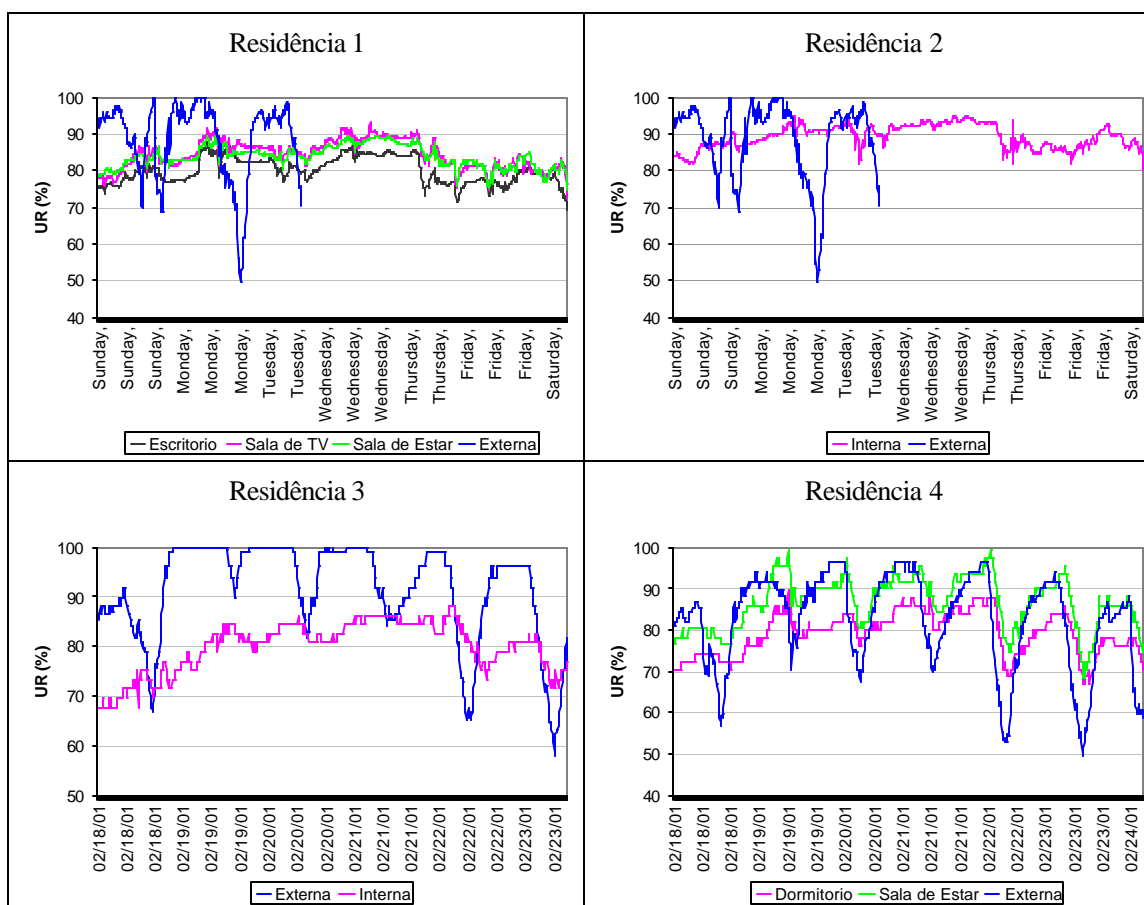


Figura 7 – Distribuição da umidade relativa no período de 18/02 a 24/02.

Apesar do instrumento utilizado para medir a umidade relativa externa das residências 1 e 2 ter apresentado problema, parando os registros dentro do período aqui mostrado, os resultados foram mantidos para efeito de comparação. Pelos gráficos acima, pode-se observar que a umidade relativa interna se mantém a níveis um pouco mais baixos nas residências de maior inércia térmica, apresentando uma variação menor que a da umidade relativa externa.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados das medições, as seguintes análises foram realizadas:

4.1. Análise Estatística

O período de 14/02 a 28/02 foi escolhido para se realizar uma análise estatística simplificada. O objetivo desta avaliação foi comparar valores de temperatura e umidade máximos, médios e mínimos, amplitudes média de temperatura, bem como descobrir a frequência de valores de temperatura acima de 29° C. As tabelas abaixo mostram os resultados.

Tabela 1: Resultados da Estatística para residência 1

Residência 1	Temperatura do ar (°C)					Umidade Relativa (%)		
	Max	Med	Min	Ampl. Med	Freq>29°C	Max	Med	Min
Escritório	31,4	27,5	24,8	2,0	15,8 %	87,9	75,7	61,1
Sala TV	30,4	27,3	24,8	2,0	13,0 %	91,6	79	64,6
Sala de Estar	30,1	26,6	24,6	1,9	3,6 %	89,4	80,2	64,8
Exterior	33,9	26,2	22,4	6,6	16,4 %	100	87,7	47,8

Tabela 2: Resultados da Estatística para residência 2

Residência 2	Temperatura do ar (°C)					Umidade Relativa (%)		
	Max	Med	Min	Ampl. Med	Freq>29°C	Max	Med	Min
Dormitório	31,3	27,1	24,1	2,2	11,1 %	-	-	-
Sala de Estar	30,4	26,5	24,0	2,2	3,9 %	95	84,6	66,8
Exterior	33,9	26,3	22,4	6,6	16,7 %	100	87,7	47,8

Tabela 3: Resultados da Estatística para residência 3

Residência 3	Temperatura do ar (°C)					Umidade Relativa (%)		
	Max	Med	Min	Ampl. Med	Freq>29°C	Max	Med	Min
Sala de Jantar	31,9	28,2	25,2	2,4	35,4	88	74,7	62,2
Escritório	30,3	27,4	25,2	1,8	13,1	-	-	-
Exterior	31,9	25,6	22,1	6,3	12,5	100	86,3	55,4

Tabela 4: Resultados da Estatística para residência 4

Residência 4	Temperatura do ar (°C)					Umidade Relativa (%)		
	Max	Med	Min	Ampl. Med	Freq>29°C	Max	Med	Min
Dormitório	32,7	28,4	25,2	2,8	38,1 %	89,6	75,4	57,7
Sala de Estar	31,9	27,6	24,8	3,5	19,9 %	99,5	81,8	59
Exterior	34,8	27,4	22,9	7,1	26,5 %	96,3	78	46,8

Observando os resultados, pode-se concluir que:

- Em todos os casos, os valores de temperatura média e máxima dos ambientes localizados no térreo são mais baixos que os resultantes nos ambientes do piso superior, confirmando as observações anteriores dos gráficos.
- A umidade relativa interna se manteve em valores mais baixos nas residências de maior inércia (1 e 3).
- Todos os ambientes da residência 1, e o escritório da residência 3 apresentaram as menores amplitudes médias de temperatura. A residência 2 também apresentou pouca variação média diária de temperatura.
- A sala de jantar da residência 3 apresentou o pico de temperatura (máxima absoluta do período) igual a máxima externa. As demais residências sempre apresentaram esses valores abaixo da máxima externa.
- Para medir o desempenho térmico interno das residências, calculou-se a percentagem de temperaturas acima do limite superior de conforto térmico, tomado como 29°C. Os resultados mostraram que os ambientes internos com melhor desempenho térmico são os da residência 1 e 2, e o escritório da residência 3. A sala de jantar da casa 3, apesar da maior inércia térmica das paredes, apresentou o mesmo nível de desempenho do dormitório da casa de madeira (4).

4.2. Análise da Penetração Solar

Feitas as observações acima, resolveu-se analisar a insolação nos ambientes de pior desempenho nas casas de maior inércia. As aberturas do escritório na residência 1 e da sala de jantar na residência 3 foram avaliadas segundo a penetração solar possível no ambiente nessa época do ano. Foram construídas as máscaras dessas aberturas sobre a carta solar, utilizando-se para isso o software TownScope 2.0 (1998).

As figuras abaixo mostram os resultados. A primeira carta mostra a insolação considerando um ponto a mais ou menos 1 m da janela. A segunda, mostra essa análise para um ponto considerado no centro do ambiente. Os pontos foram considerados a 1m do chão.

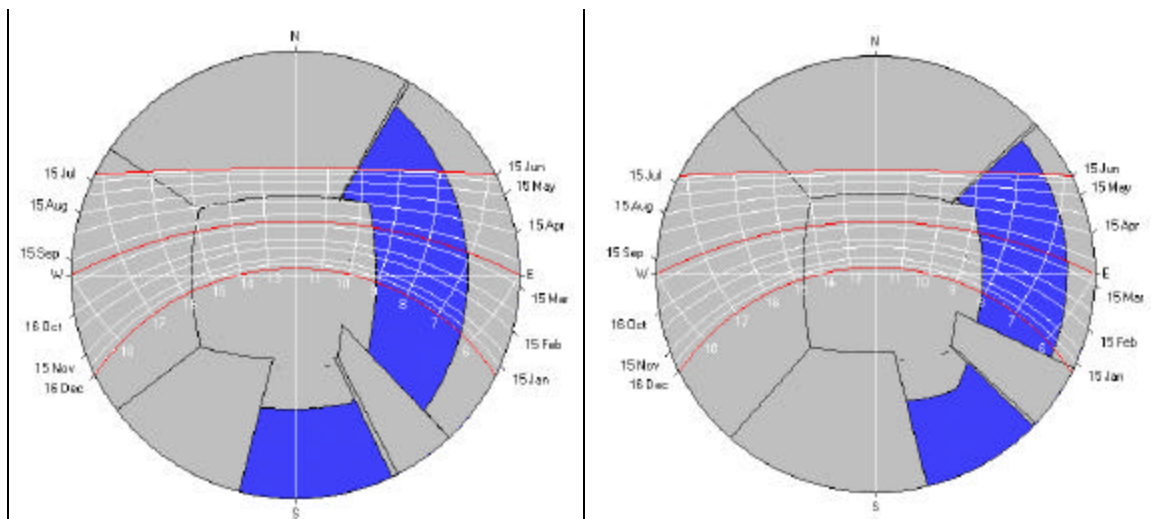


Figura 8: Análise da penetração solar para a abertura do escritório da residência 1.

O escritório da casa 1 apresenta o pior desempenho térmico comparado com os demais ambientes dessa mesma residência – 15,8% das temperaturas acima de 29°C. Esse ambiente possui uma área de abertura de 2,4 m² (relação área de abertura/área de piso de 34%), voltada para Leste e apenas protegida por um beiral de 60cm. Essa situação favorece que a radiação solar penetre no ambiente no período da manhã, o que é mostrado pelas máscaras na carta solar.

Na primeira situação, com o ponto situado a 1 m da janela, observa-se que a superfície receberia radiação solar à partir das 6:30h até às 9h da manhã aproximadamente, durante todos os meses de verão, período aqui analisado. Já no ponto situado no centro do ambiente, a superfície estaria recebendo radiação solar até às 8h da manhã, sendo que no mês de fevereiro, até às 8:30h.

A outra abertura que aparece na figura é uma porta-janela que dá acesso a uma sacada, com orientação Sul, portanto não recebe insolação durante todo o ano.

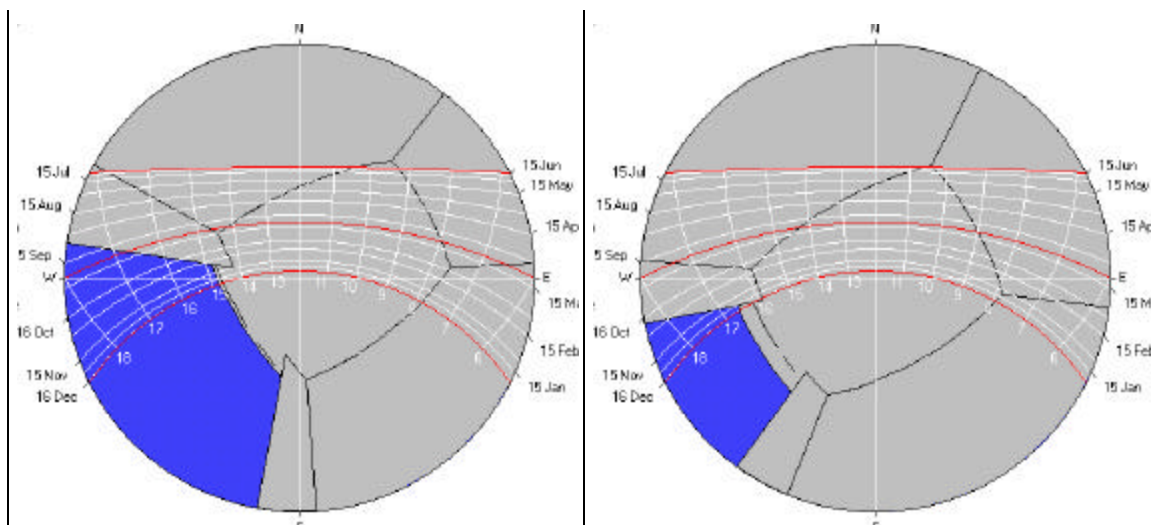


Figura 9: Análise da penetração solar para a abertura da sala de jantar da residência 3.

A sala de jantar da residência 3 apresentou o pior desempenho térmico comparado com as demais residências – 35,4% das temperaturas acima de 29°C, ficando atrás apenas do dormitório da residência 4. A abertura da sala de jantar possui orientação Sudoeste, com área de 2,0 m² (relação área de

abertura/área de piso de 16%), sendo protegida externamente por um beiral de aproximadamente 30 cm e uma fina cortina pelo lado de dentro.

A análise da penetração solar mostra que para a situação do ponto situado a 1 m da janela, a superfície estaria recebendo radiação solar à partir das 15h até depois das 18h aproximadamente, durante os meses de verão. Para o ponto situado no centro do ambiente, a superfície receberia radiação solar à partir das 16:30h nos meses de dezembro e janeiro e só à partir das 18h em fevereiro.

Vale ressaltar que, além da penetração solar, o comportamento térmico desse ambiente pode também estar sendo influenciado pelo telhado, o qual é em cimento amianto sem qualquer isolamento térmico.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho investiga o papel da inércia térmica no clima do sul do Brasil com o objetivo de tirar as primeiras conclusões quanto as limitações e aplicabilidade do emprego desta técnica naquele clima. Foram realizadas medições da temperatura do ar e umidade relativa em 4 diferentes residências em Florianópolis – SC, no período de verão. Os resultados foram avaliados através de gráficos da distribuição da temperatura e umidade relativa, valores estatísticos como média, máximas, mínimas e frequência de temperaturas acima de 29°C. Além disso, foi realizada a análise da insolação nos ambientes de pior desempenho das residências de maior inércia térmica.

Algumas das conclusões obtidas das medições e das análises são:

- Todas as residências apresentaram temperaturas mais altas nos ambientes do piso superior, provavelmente sendo influenciadas pelo calor transmitido pelo telhado.
- A inércia térmica maior presente nas residências 1 e 3 (paredes de pedra), faz com que a variação de temperatura interna seja menor, mas nos dias em que a temperatura externa apresenta uma queda, o interior dessas residências permanece quente.
- A inércia térmica mantém a umidade relativa interna em níveis mais baixos, embora ainda fora da faixa de conforto térmico.
- A análise da penetração solar mostrou a influência do tamanho da abertura e da ausência de sombreamento adequado no desempenho dos ambientes com inércia térmica.
- Existe um potencial para o uso da ventilação noturna pois as temperaturas externas caem para 22°C durante a noite.

Este estudo demonstrou três principais considerações para o uso da inércia térmica no clima do sul do Brasil:

- Uso de isolamento térmico ou barreira radiante no telhado: o simples uso de maior inércia no envoltório (paredes) não garante um bom desempenho térmico, se o telhado não possuir isolamento ou barreira radiante para reduzir o calor provocado pela radiação solar incidindo na cobertura.
- Tamanho de aberturas e adequado sombreamento: a relação área de abertura / área piso deve ser considerada com o devido cuidado e principalmente garantir o sombreamento caso estas aberturas estejam localizadas em fachadas problemáticas como Leste, Oeste, ou mesmo Sudoeste ou Noroeste. A inércia térmica dos componentes (paredes, piso, etc) irá “segurar” por muito mais tempo o calor provocado pela radiação solar incidente diretamente sobre eles, principalmente se este não for dissipado através de ventilação noturna ou mecânica.
- Ventilação noturna: a ventilação noturna deve ser levada em conta quando se usa maior inércia térmica na edificação para garantir a dissipação do calor armazenado na estrutura. O projeto arquitetônico deve prever aberturas para fazer uso da ventilação natural a noite, considerando, para isso, a segurança e a proteção contra insetos.

O conhecimento do efeito da inércia térmica pelo projetista é essencial para fornecer soluções de projeto mais eficientes. Szokolay (2000) através de seus trabalhos, confirma que é a interação de variáveis que determina a resposta térmica da residência, melhor do que a otimização de uma variável individual.

Esse artigo é parte de um trabalho em andamento. Muito ainda deve ser explorado para conclusões mais precisas, salientando-se com este estudo que, para se alcançar bons resultados, o uso da inércia térmica para resfriamento no clima do sul do Brasil depende da correta combinação de soluções de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- de ANDRADE, S. **Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. Florianópolis, 1996. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LAMBERTS, R.; GOULART, S.; DUTRA, L.; de ANDRADE, S.; PEREIRA, F.; BARBOSA, M. Building Bioclimatology in Brazil. In: THE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 1997, Kushiro, Japan. **Proceedings of PLEA 97**, vol.2, pp. 203-208.
- SHAVIV, E. On the determination of the optimum thermal mass in the mediterranean climate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - Energy and Buildings for Temperate Climates - A Mediterranean Regional Approach, 1988, Lisboa, Portugal. **Proceedings of PLEA 88**, pp. 385-390.
- SOEBARTO, V. I. A "New" approach to passive design for residential buildings in a tropical climate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - Sustaining the Future - Energy, Ecology, Architecture, 1999, Brisbane, Australia. **Proceedings of PLEA'99**, pp.369-374.
- SZOKOLAY, S. Thermal Design of Houses for Warm-humid Climates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - Building and Urban Renewal, 1996, Louvain-la-Neuve, Belgium. **Proceedings of PLEA 96**, pp. 337-342.
- SZOKOLAY, S. Dilemmas of warm-humid climate house design: heavy vs. lightweight + cooling effect of air movement. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - Architecture, City, Environment, 2000, Cambridge, UK. **Proceedings of PLEA 2000**, pp.144-149.
- PAPST, A.L. **Uso de Inercia Termica no Clima Subtropical - estudo de caso em Florianopolis – SC**. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- TownScope 2.0. **Townscope II**, version 1.1, October, 1998. University of Liege.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido na Inglaterra (*Architectural Association Graduate School* – Londres) com bolsa de doutorado pleno fornecida pela CAPES – Brasília.

O autor gostaria de agradecer os laboratórios LabEEEE e LabCon da UFSC pelo apoio e empréstimo de alguns dos instrumentos utilizados na monitoração.