

CONFERIDO
PROC N° OSP 2291/2010
RUB. 64
PRPG 301/04/2013

ERRATA

Eu, Carla Matheus de Almeida, ex-aluna do curso de Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, informo que se deve considerar as seguintes erratas:

Em folhas i e iii:

Onde se lê: "CONFORTO AMBIENTAL EM UMA RESIDÊNCIA SEMIABERTA COM COBERTURA VERDE",

Leia-se: "CONFORTO TÉRMICO EM UMA RESIDÊNCIA EM FORMA DE VARANDA COM COBERTURA VERDE".

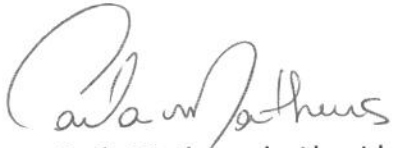
E em folha iii:

Onde se lê: "Arquitetura e Construção",

Leia-se: "Arquitetura, Tecnologia e Cidade".

Sem mais.


Prof. Dr. José Roberto Guimarães
Matrícula 245615
Coordenador de Pós-Graduação
FEC/UNICAMP


Carla Matheus de Almeida


Profª Drª Lucila Chebel Labaki

Orientadora



Carla Matheus de Almeida

**CONFORTO AMBIENTAL EM UMA RESIDÊNCIA
SEMIABERTA COM COBERTURA VERDE**

**CAMPINAS
2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Carla Matheus de Almeida

**CONFORTO AMBIENTAL EM UMA RESIDÊNCIA
SEMIABERTA COM COBERTURA VERDE**

Orientadora: Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura e Construção.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA CARLA MATHEUS DE ALMEIDA E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. LUCILA CHEBEL LABAKI.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

**CAMPINAS
2013**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

AL64c	Almeida, Carla Matheus de Conforto térmico em uma residência em forma de varanda com cobertura verde / Carla Matheus de Almeida. --Campinas, SP: [s.n.], 2013. Orientador: Lucila Chebel Labaki. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 1. Cobertura verde (Jardinagem). 2. Conforto térmico. 3. Ventilação natural. I. Labaki, Lucila Chebel, 1943-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
-------	--

Título em Inglês: Thermal confort in a residence built as a veranda with green roof

Palavras-chave em Inglês: Green roof, Thermal confort, Natural ventilation

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Mestra em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora: Louise Land Bittencourt Lomardo, Núbia Bernardi

Data da defesa: 15-01-2013

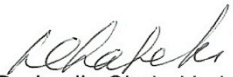
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**CONFORTO TÉRMICO EM UMA RESIDÊNCIA EM FORMA
DE VARANDA COM COBERTURA VERDE**

Carla Matheus

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientadora/FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Louise Land Bittencourt Lomardo
UFF/Rio de Janeiro



Prof. Dr. Núbia Bernardi
FEC/UNICAMP

Campinas, 15 de janeiro de 2013

DEDICATORIA

Para o Bro.

AGRADECIMENTOS

À Lucila Chebel Labaki pela orientação impecável e por criar um ambiente de trabalho de companheirismo com seus “pupilos”.

À minha amiga e companheira de viagens Luciana Oliveira Fernandes, por facilitar tantas vezes meu trabalho.

Ao Leonardo Marques Monteiro por ter enriquecido tanto meu trabalho.

A Alessandra Rodrigues Prata Shimomura pelas proveitosas conversas.

Ao Edson Matsumoto por seu excelente trabalho no túnel de vento.

Ao Obadias P. da Silva Junior e Daniel Celente pela agilidade descontraída durante as medições.

Ao Eduardo E. da Silva por sua boa vontade e eficiência.

Aos meus tios José Luiz Barbiellini e Cibeles Matheus.

A CAPES pelo apoio financeiro.

E finalmente a Celise Matheus pela participação e parceria.

Resumo

Com a rápida urbanização, tem havido um aumento enorme de população e construções nas cidades. A alta concentração de prédios desencadeia muitas questões ambientais, como o efeito de ilhas de calor; que é agravado principalmente pela perda de áreas verdes no ambiente urbano (WONG et al., 2003). O alto consumo de energia para aquecimento e resfriamento de edificações é um dos maiores problemas do setor de energia e tem um impacto ambiental importante (JIMÉNEZ et al., 2010). A cobertura verde é uma boa estratégia para a redução do uso de energia, pois o calor externo é transmitido em menor quantidade e mais lentamente para o ambiente. Além da cobertura verde, a ventilação natural influencia positivamente no controle do conforto dos ambientes. A varanda constitui uma local agradável ambientalmente para a utilização nos países de clima tropical, pois possui uma cobertura para proteger dos raios solares diretos, permite a ventilação natural e ainda favorece a ligação com o entorno. Esta pesquisa tem como meta voltar-se para o conforto ambiental de forma passiva ao analisar o conforto ambiental de uma residência semiaberta na cidade de Atibaia, SP, construída em forma de varanda, com cobertura verde. A análise do conforto foi feita através de: medições *in loco* das variáveis ambientais, cálculo do Physiological Equivalent Temperature (PET) ensaio em túnel de vento e comparação dos resultados obtidos nessa simulação com aqueles obtidos nas medições *in loco*, visando verificar qual a real melhoria do conforto ambiental nessa área semiaberta. As medições *in loco* foram feitas no período outono e inverno de 2011 e verão de 2012. A partir dos resultados, pode-se inferir que, em relação à temperatura ambiente, apesar da temperatura superficial da cobertura verde ter uma atenuação de até 9°C em relação à da cobertura cerâmica, a combinação da cobertura verde com a cobertura cerâmica nessa área semiaberta proporciona uma atenuação da temperatura ambiente externa, de aproximadamente 2,5°C graus. O cálculo do PET mostrou que a área semiaberta melhora o grau de sensação de conforto. A análise da ventilação natural, feita através do ensaio em túnel de vento, mostrou que esse modo de implantação se faz eficiente para a diminuição da velocidade excessiva do vento na área semiaberta. O modelo de varanda com cobertura verde se mostrou uma boa forma para habitação para essa região.

Palavras-chave: cobertura verde, conforto térmico, varanda, ventilação natural.

Abstract

With rapid urbanization, there has been a huge increase in population and buildings in cities. The high concentration of buildings triggers many environmental issues, such as the heat island effect, which is especially aggravated by the loss of green areas in urban environment (WONG et al., 2003). The high energy consumption for heating and cooling of buildings is one of the greatest problems of the energy sector and has a significant environmental impact (JIMÉNEZ et al., 2010). The green roof is a good strategy for reducing energy use, for the external heat is transmitted in less quantity and more slowly to the environment. Besides the green roof, natural ventilation positively influences in the control of the comfort of environments. The veranda, widely used in tropical countries, is a pleasant place, because it has a cover to protect from direct sunlight, allows natural ventilation and favours the connection with the surroundings. This research analyses the environmental comfort of a semi-open residence in the city of Atibaia, SP, built as a veranda, using green roof. The analysis of comfort was made through: local measurements of environmental variables, physiological Equivalent Temperature (PET) wind tunnel simulation and comparison between the results of wind speed obtained in the local measurements and the wind tunnel simulation, to identify what is the real improvement of thermal comfort in this semi-open area. The in site measurements were made during the autumn and winter of 2011 and summer of 2012. From the results, it could be inferred that, in relation to temperature, although the surface temperature of the green cover showed an attenuation of up to 9 ° C when compared to the tile roof, the combination of green roof with tile roof in this semi-open area provides a temperature attenuation of approximately 2.5 ° C degrees. The PET analyses showed that the semi-open area improves the level of comfort sensation. Regarding natural ventilation, the results showed that this mode of projecting was effective to reduce the excessive wind speed in the semi-open area.

Keywords: green roof, thermal comfort, veranda, natural ventilation, semi-open area.

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Cobertura Verde.....	5
2.1 Cobertura Verde, Áreas Semiabertas e Ventilação Natural.....	12
2.2 Áreas Semiaberta e a Ventilação Natural.....	9
2.3 PET.....	15
3. Atibaia e a Serra de Itapetininga.....	19
4. Método.....	25
4.1 Descrição do Objeto.....	27
4.2 Medições <i>in loco</i>	33
4.2.1 Pontos das Medições.....	33
4.2.2 Aparelhos Utilizados.....	36
4.2.3 Medições Realizadas.....	38
4.2.4 Resultados Medições <i>in loco</i>	39
4.2.4.1 Medições de Outono.....	39
4.2.4.2 Medições de Inverno.....	41
4.2.4.3 Medições de Verão.....	45
4.3 PET – Área semiaberta e área externa.....	52
4.4 Ensaios em Túnel de Vento.....	61
4.4.1 Túnel de Vento e Painel simulador de Camada Limite.....	61
4.4.2 Descrição do modelo.....	63
4.4.3 Pontos das Medições.....	63
4.4.4 Ensaios em Túnel de Vento.....	64
4.4.5 Resultados dos Ensaios em Túnel de Vento.....	66
4.5 Verificação dos dados de velocidade do vento gerados pelas medições <i>in loco</i> e pela simulação em túnel de vento.....	73
5. Conclusões e Discussões.....	75
6. Trabalhos Futuros.....	77
6.1 Simulação no Software DOMUS.....	77
6.2 Análise do Ciclo Hidrológico.....	77
Referências Bibliográficas.....	78

1. INTRODUÇÃO

Com a rápida urbanização, tem havido um aumento enorme de população e construções nas cidades. A alta concentração de prédios desencadeia muitas questões ambientais, como o efeito de ilhas de calor; que é agravado principalmente pela perda de áreas verdes no ambiente urbano (WONG et al., 2003).

Não apenas nas cidades como um todo, com o aquecimento global e o grande consumo de matéria prima, cada vez mais se torna importante a construção com materiais sustentáveis e com o uso de técnicas passivas para garantir conforto ambiental, evitando, assim, o uso de fontes artificiais de resfriamento ou aquecimento de ambientes. Devido à crise energética, medidas comuns para a redução e a avaliação do consumo de energia em edificações tem sido investigadas e adotadas em todo o mundo (CHIESA et al., 2010).

Isso porque o alto consumo de energia para aquecimento e resfriamento de edificações é um dos maiores problemas do setor de energia e tem um impacto ambiental importante (JIMÉNEZ et al., 2010). Por exemplo, na Inglaterra, considerando a meta de construir casas com zero emissão de carbono, o código para casas sustentáveis incorpora nove pontos chave; a eficiência energética é ponto central, mandatório como padrão mínimo (OSMANI e O'REILLY, 2009). Há inúmeras maneiras de minimizar a quantidade de energia necessária para aquecimento, resfriamento ou iluminação em um ambiente interno. A maneira como o projeto é desenvolvido pode levar a grandes economias energéticas tanto durante a obra como durante o funcionamento dos edifícios.

A cobertura verde é uma boa estratégia para a redução do uso de energia, pois o calor externo é transmitido em menor quantidade e mais lentamente para o ambiente. Segundo La Roche (2006) essa estratégia provou ter efeitos positivos ao melhorar o conforto térmico no interior do edifício. A transferência de calor para o interior através de uma cobertura vegetada é diferente de uma cobertura simples, pois fatores climáticos externos – radiação solar, temperatura do ar externa, umidade relativa do ar e vento – são reduzidos ao passarem pela folhagem da cobertura (EUMORFOPOULOU e ARAVANTINOS, 1998). Isso faz com que o calor externo seja

transmitido em menor quantidade e mais lentamente para o interior, evitando o uso de energia para resfriamento do ambiente durante o verão e o aquecimento durante o inverno.

Além da cobertura verde, a ventilação natural influencia positivamente no controle do conforto dos ambientes. Segundo Allard (1998), na maioria dos casos as taxas mínimas de ventilação necessária para a qualidade interna do ar são facilmente alcançadas e as taxas de ventilação máxima necessárias para o controle térmico na construção no verão são facilmente identificadas.

A varanda constitui uma forma agradável ambientalmente para a utilização nos países de clima tropical, pois possui uma cobertura para proteger dos raios solares diretos, permite a ventilação natural e ainda favorece a ligação com o entorno. Segundo Maragno (2011) a separação costuma ser constituída pelo próprio limite da sombra, por uma franja de penumbra ou somente pelo limite sutil determinado pela linha de piso ou projeção da cobertura. Acrescenta ainda que estas características espaciais agregam qualidades ambientais ao espaço, que além de sombreado e ventilado é visualmente integrado ao entorno (MARAGNO, 2011).

Segundo Heschong (1979) um ambiente térmico estável é o comum em escritórios, escolas e casas em muito locais do mundo. Ou seja, uma temperatura constante em todo lugar, todo tempo, o que requer muita energia. No entanto, assim como os outros sentidos as pessoas tendem a se adaptar ao novo; por exemplo, ao entrar em um ambiente mais quente que o exterior em algum tempo a pessoa se adapta a essa temperatura. Exatamente por isso é agradável quando ocorrem diferenças, assim o sentido pode ser reavivado; um exemplo dessa sensação é caminhar sob árvores que permitam áreas de sombra e sol alternadamente (HESCHONG, 1979). A varanda traz esse benefício, afinal é uma área que permite estar protegido das intempéries, mas ao mesmo tempo ligado com a área externa, ou seja, sofrendo mais com a influencia do clima do que em uma área interna.

Nas áreas semiabertas é mais difícil verificar qual elemento auxilia de maneira positiva ou negativa no conforto térmico, afinal o contato com a área externa é muito grande e consequentemente o fluxo de ar tem influencia direta no conforto do ambiente. Apesar disso,

busca-se determinar o quanto a cobertura verde e a ventilação natural influenciam para melhorar o conforto térmico dessa área e definir se o modelo de varanda com cobertura verde é uma boa forma de utilização para essa região.

OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é analisar o conforto térmico de uma residência semiaberta projetada em forma de varanda, executada com cobertura verde, nos aspectos de implantação, tipo de cobertura e ventilação natural.

2. COBERTURA VERDE, AREAS SEMIABERTAS E VENTILAÇÃO NATURAL

2.1 – Cobertura Verde

COCH (1998) argumenta que a arquitetura moderna normalmente requer iluminação artificial durante o dia e, muitas vezes, o material utilizado na envoltória torna necessário o uso de ar condicionado no interior mesmo quando as condições não são extremas; “Podemos até dizer que esses edifícios são tão errados que funcionam pior do que o clima”. De acordo com Zhai e Previtali (2009) a crise mundial de energia demanda uma revolução substancial na filosofia, estratégia, tecnologia, e métodos de construção de edificações.

De acordo com Givoni (1976), as coberturas são os elementos mais expostos aos elementos climático e por isso, os que mais sofrem com as amplitudes térmicas. O impacto da radiação solar em dias de verão, as perdas de calor durante a noite e chuvas e neve no inverno, afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação. Em países de clima quente, a cobertura é a principal fonte de aquecimento de edifícios térreos ou de poucos pavimentos (GIVONI, 1976).

Por esse motivo é importante ter a preocupação de qual tipo de cobertura utilizar, auxiliando assim, de forma passiva, no conforto térmico dos ambientes. A cobertura verde é uma opção que vem sendo utilizada há séculos em várias partes do mundo. No Brasil Burle Marx projetou vários jardins em coberturas e fez uso extensivo de trepadeiras e epífitas em seu trabalho, criando uma cultura na qual o uso inovativo de plantas encontra uma audiência receptiva (DUNNET, 2008).

Apesar de não ser ideia nova, uma vez que os primeiros jardins em coberturas foram executados há milhares de anos, a cobertura com vegetação tem respondido com eficiência aos requisitos de estabilidade, resistência mecânica, segurança contra incêndio, proteção contra ruído, economia de energia e proteção térmica (MORAIS, 2004).

As vantagens da cobertura vegetada são indiscutivelmente inúmeras, tanto do ponto de vista ecológico quanto do social. Coberturas verdes podem ter um papel importante no planejamento urbano sustentável; podem maximizar os benefícios ambientais e de economia de energia (KOTOPOULIS, 2010) e atuam positivamente no clima da cidade e de sua região, como também no ambiente interior da edificação sob ela. As coberturas vegetadas também oferecem proteção da radiação solar, o que é o fator principal para resfriamento passivo (EFTHIMIADOU e TZOUVADAKIS, 2010). Além disso, segundo Wong, et al (2003), vegetações estrategicamente colocadas em telhados e paredes podem ser consideradas como um complemento de áreas verdes no meio urbano.

Coberturas verdes tem sido utilizadas tanto em países frios como quentes, para, entre outros benefícios, ajudar a manter a temperatura interna do ambiente mais agradável e constante. Isso porque a transferência de calor de uma cobertura vegetada é diferente de uma cobertura simples, pois fatores climáticos externos – radiação solar, temperatura externa, umidade relativa e vento – são reduzidos ao passarem pela folhagem da cobertura (EUMORFOPOULOU, 1998). A eficácia da capacidade de isolamento térmico de uma cobertura relvada é facilmente comprovada nas casas de turfa da Islândia, que são habitadas, mesmo no inverno, sem aquecimento artificial (MINKE, 2010).

Em um estudo realizado em protótipos, com cobertura verde e laje, por Moraes (2004) os resultados mostraram as amplitudes térmicas médias, de 6,3°C e de 1,8°C, das temperaturas superficiais internas da laje comum e da cobertura verde, respectivamente. Essas mesmas temperaturas, quando associadas aos seus coeficientes de amortecimento e atrasos térmicos, evidenciaram que a cobertura verde reduziu as flutuações térmicas diárias em cerca de 70% mais que a laje comum (MORAIS, 2004).

Kumar (2005) em um experimento realizado em Yamuna Nagar, Índia, concluiu que a cobertura verde, reduziu a temperatura interna do ar em até 5,11°C comparada a temperatura interna do ar do ambiente com laje.

Minke (2010) mostra que em um estudo feito com cobertura verde com 16cm de

substrato, em Kassel, Alemanha, para uma temperatura externa de até 30°C, a temperatura abaixo da vegetação foi de até 23°C e abaixo da camada de substrato de no máximo 17,5°C (Figura 1). Na mesma cobertura foram feitas medições de inverno, quando a temperatura externa foi de até -14°C, a temperatura média abaixo da vegetação foi de -2°C e abaixo da camada de substrato de 0°C (Figura 2).

Figura 1 – Temperaturas de uma cobertura verde com 16cm de substrato medidas durante uma semana de verão em Kassel, Alemanha (MINKE, 2010).

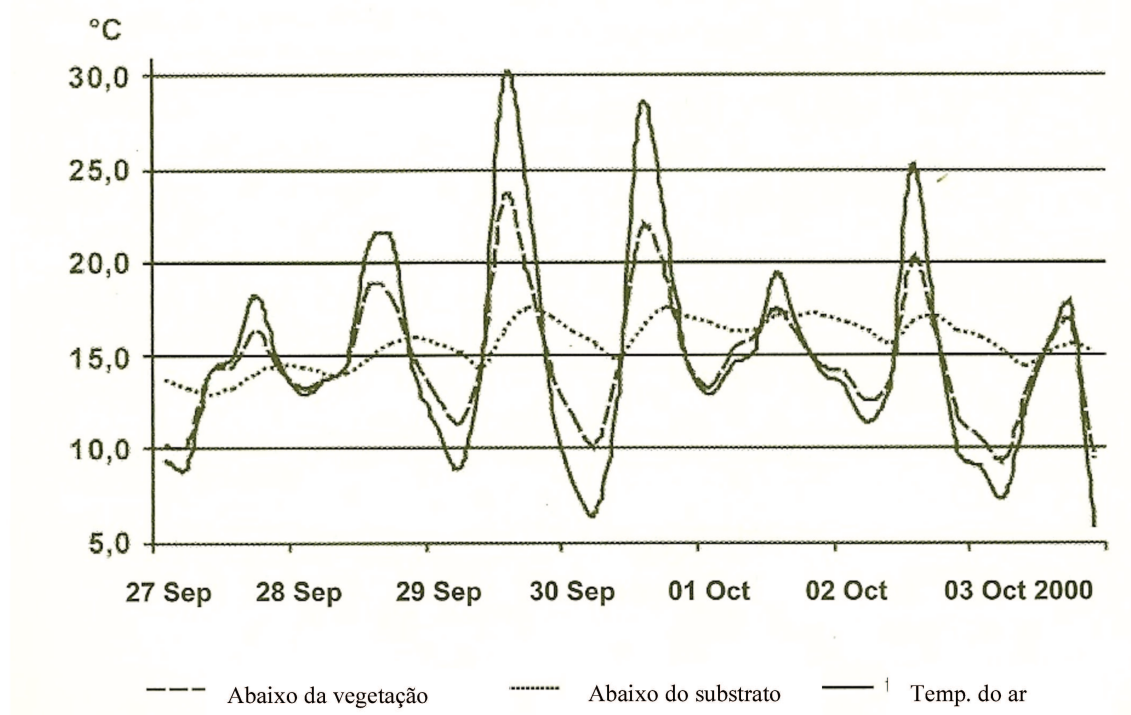
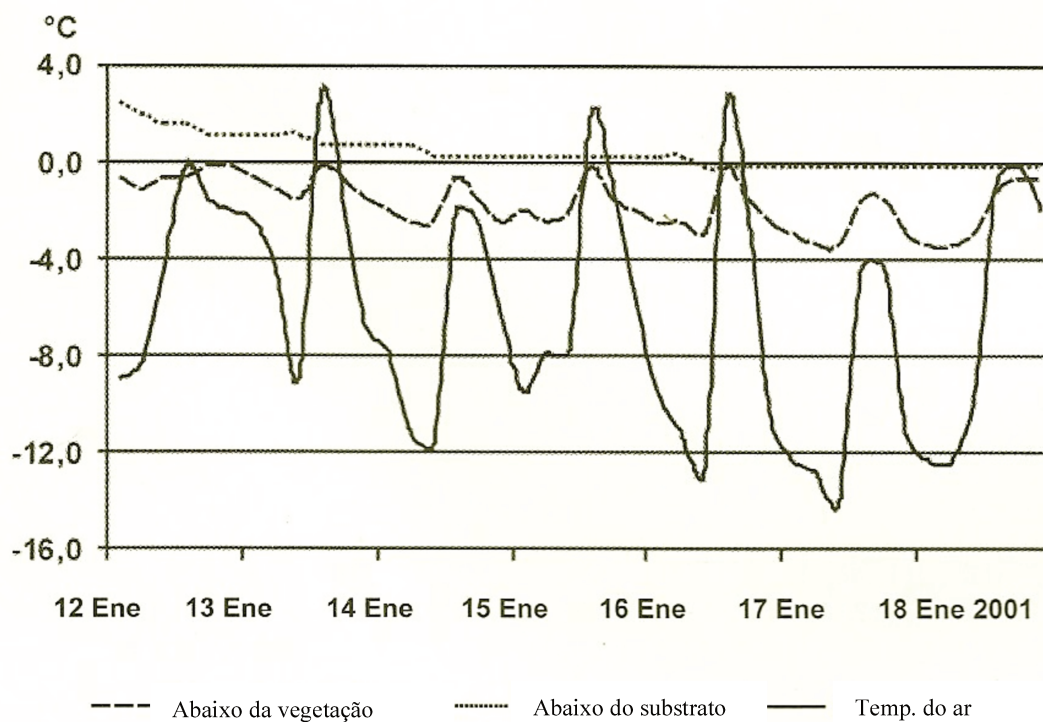


Figura 2 - Temperaturas de uma cobertura verde com 16cm de substrato medidas durante uma semana de inverno em Kassel, Alemanha (MINKE, 2010).

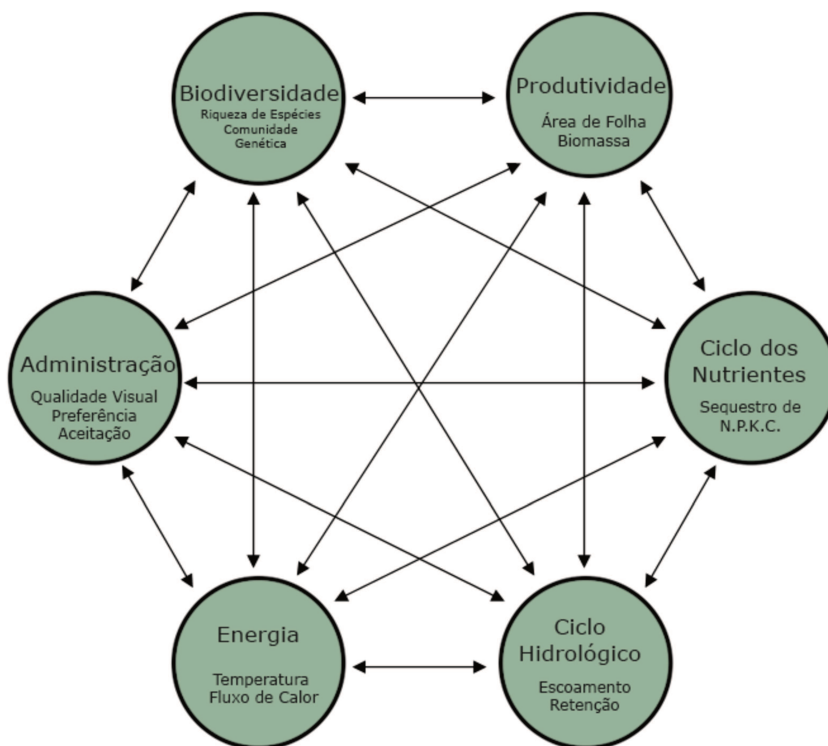


Também segundo Wong, et. al (2003), os benefícios da cobertura verde são inquestionáveis do ponto de vista térmico; coberturas vegetadas podem oferecer proteção térmica, que pode reduzir a carga térmica aplicada nos edifícios (WONG et al., 2003). Wong, et. al (2003) analisou uma cobertura vegetada em um edifício comercial de Singapura, que não sofre influência de edificações mais altas ao seu redor. A cobertura é intensiva, com grama, arbustos e árvores, como também pavimentos para acesso dos visitantes. A temperatura superficial medida sob áreas vegetadas foi bem mais baixa do que as medidas sob pavimentos, sendo a maior diferença de temperatura superficial causada pela vegetação de 30°C. Esse efeito pode ser confirmado nos ambientes internos, onde a diferença chegou a 4,2°C entre áreas sob vegetação ou pavimento. Além disso a cobertura vegetada irradiou e refletiu menos energia. A variação da diferença de temperatura se deu de acordo com o LAI (Leaf Area Index) das plantas, sendo as temperaturas mais baixas nas áreas com vegetação mais densas. Também segundo Almeida

(2008) a análise mais profunda do benefício da cobertura naturada como isolante térmico, realizada pela simulação no software Energyplus, demonstra que o isolamento varia muito, de acordo com a quantidade de substrato e com o tipo de vegetação.

Coffman (2007) definiu ferramentas, chamadas de domínios de pesquisa de projeto, que podem ser utilizadas por projetistas para aprimorar a comunicação conceitual de projetos de coberturas verdes, chamadas também de ecotelhados, o que posteriormente permite a potencial melhoria da disseminação. Os domínios focam a comunicação e ligam o processo de design com a avaliação pós-ocupação através de critérios mensuráveis. Esses domínios não são mutuamente excludentes, por si só, mas são classificados para dirigir o projeto para vários critérios mensuráveis (Figura 3). A ideia geral é que primeiramente um domínio é identificado como a meta do projeto e então os critérios de desempenho podem ser identificados.

Figura 3. Diagrama dos domínios de pesquisa de projeto da cobertura verde. Os critérios estão nos círculos e as setas bidirecionais indicam possíveis influencias. Traduzido de Coffman (2007).

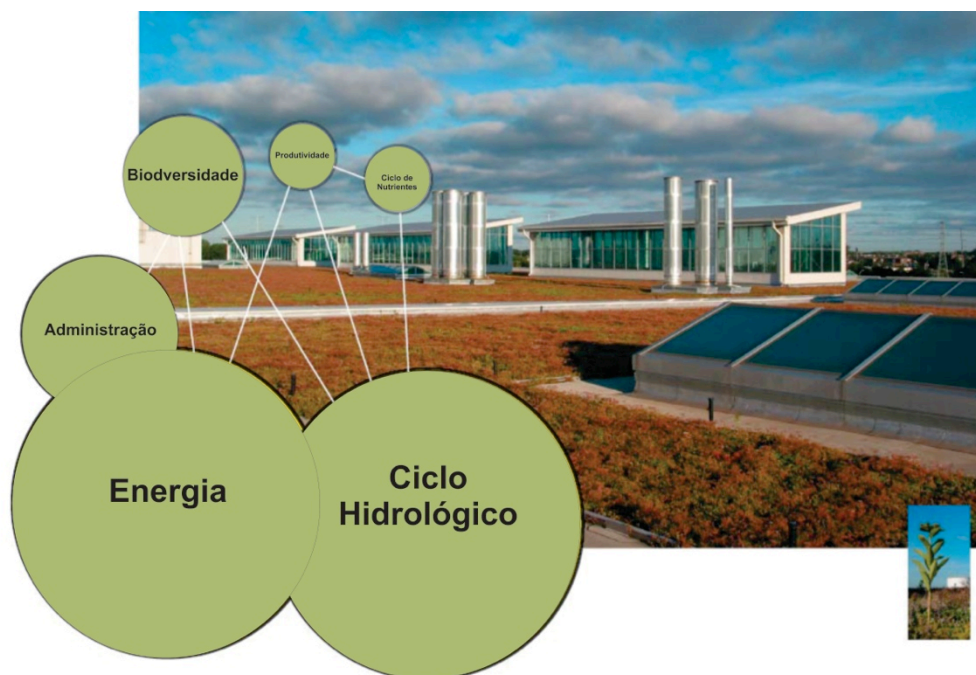


Os domínios são:

- Produtividade – crescimento de plantas (ou mesmo animais) e produção de biomassa. Pode ser um delimitador para o tipo do ecotelhado;
- Biodiversidade – variação das plantas e vida animal;
- Energia – todas as formas de energia usadas ou alteradas pelo ecotelhado, como efeito de ilhas de calor;
- Ciclo dos nutrientes – qualidade da água, sequestro de carbono, fertilidade do solo;
- Ciclo Hidrológico – uso da água pela cobertura e seu impacto nos ambientes próximos, como retenção da água de chuva e evapotranspiração;
- Compreensão Social e Administração – contribuição e impacto dos ecotelhados diretamente nas vidas das pessoas.

Coffman (2007) fez uma análise para a cobertura verde da fábrica da FORD em Dearborn, EUA, construída em 2002. A cobertura, segundo ele, destina-se a proporcionar economia de energia e reduzir o escoamento de águas pluviais, de modo a reduzir o custo de construção e operacional do edifício, em um esforço no sentido de uma indústria mais ambientalmente responsável (Figura 4).

Figura 4 - Imagem do diagrama feito para a fabrica da FORD em Dearborn, EUA (Coffman, 2007).



Classificação das Coberturas Verdes

A cobertura verde pode ser classificada como extensiva ou intensiva; por alguns autores também existe a classificação de semiextensiva. Segundo Minke (2010) as intensivas devem ter mais de 30 cm de substrato, devem ser planas e requerem cuidados especiais, intensivos e custosos, como rega e adubação constante; as extensivas tem de 3cm a 15cm de substrato, e não precisam de cuidados. Porém, segundo Dunnet (2008) coberturas verdes intensivas podem ter no mínimo 15cm de camada de substrato, e podem suportar uma grande variedade de vegetação, inclusive arbustos e árvores; a extensiva tem camada de substrato variando de 2cm a 15cm de espessura e também, segundo o autor, a manutenção é mínima.

2.2 – Áreas Semiabertas e a Ventilação Natural

A ventilação é de maior importância para o bem estar das pessoas dentro de espaços fechados. Projetar uma edificação tem o desafio duplo de oferecer bom desempenho da ventilação além de conservação de energia. Uma maneira de reduzir o consumo de energia em edificações, sem afetar o conforto térmico, pode ser alcançada ao projetar um sistema apropriado de ventilação (CHIESA et al., 2010). Quando se trata de um ambiente semiaberto a ventilação se torna ainda mais importante, pois o fluxo de ar é mais intenso e constante. A escala de Beaufort é uma maneira de avaliar o efeito da velocidade do vento nas pessoas e elementos do ambiente (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela de BEAUFORT . Referencia Gret¹ apud Barroso-Krause (2005).

Escala de Beaufort	Velocidade dos ventos	Fenômenos comumente observados
0	0 a 0,2 m/s	a fumaça (churrasqueira, chaminé, cigarro, etc.) sobe de forma vertical.
1	0,3 a 1,5 m/s	o vento faz a fumaça se inclinar, mas ainda não consegue girar um cata-vento.
2	1,6 a 3,3 m/s	o ser humano percebe o vento no rosto, as folhas das árvores e do cata-vento começam a se mexer.
3	3,4 a 5,4 m/s	as folhas e os pequenos ramos das árvores se mexem de forma contínua e o vento faz as bandeiras se mexerem.
4	5,5 a 7,9 m/s	o vento tira a poeira do chão e levanta folhas de papel.
5	8,0 a 10,7 m/s	as pequenas árvores começam a balançar e começa a fazer espumas nas ondinhas dos lagos.
6	10,8 a 13,8 m/s	fios elétricos começam a se mexer e fica muito difícil usar guarda-chuva.
7	13,9 a 17,1 m/s	as árvores ficam completamente agitadas e fica muito difícil de se andar de frente para o vento.
8	17,2 a 20,7 m/s	os pequenos ramos das árvores se quebram e não se pode andar normalmente sem um esforço terrível, de frente para o vento.
9	20,8 a 24,4 m/s	as telhas dos telhados começam a ser arrancadas, ocorrem pequenas catástrofes com relação à casa.
10	24,5 a 28,4 m/s	normalmente só ocorre no mar. Quando ocorre na terra, pode arrancar árvores com a raiz.

¹ GRET - Bioclimatisme en zone tropicale: dossier Technologies et Développement, programme interministeriel REXCOOP; Ministère de la Coopération, Paris, 1986

Segundo Barroso-Krause (2005) pode-se definir velocidades do ar máximas toleradas por uma pessoa, relativas ao conforto térmico, de acordo com a taxa metabólica, que depende da vestimenta e da atividade, e com a temperatura circundante (Tabela 2).

Tabela 2 –Velocidade máxima tolerada. Referência Fernandez² apud Barroso-Krause (2005).

Velocidade máxima tolerada (m/s)	situação do usuário (atividade)
5	sentado ou em pé, imóvel.
10	estado de pouca mobilidade (conversando em pé, dando pequenos passos).
15	andando.
25	andando rápido ou correndo.
>25	desconforto em qualquer atividade.

Áreas semiabertas - de transição ou mesmo de estar - tem sido utilizadas há anos no Brasil onde, de uma maneira tradicional, foram introduzidas pelos colonizadores portugueses como resultado de sua experiência no Mediterrâneo. Os colonizadores também sofreram influencia pelo contato com a arquitetura oriental, principalmente da Índia e Japão, e pelas antigas soluções adotadas pelos povos indígenas. Com o passar do tempo a varanda se transformou para se adaptar ao clima e cultura de cada região do país (MARAGNO, 2011). Apesar de elas não serem um elemento arquitetônico exclusivo do Brasil, sua presença considerável em edifícios em quase todas as regiões brasileiras e períodos da história tem tido um impacto significativo sobre a arquitetura brasileira (MARAGNO, 2010). A varanda se faz presente nas habitações do Brasil desde o período de colonização até a atualidade, onde ela é vista como um dos principais atrativos do imóvel residencial (BRANDÃO, 2008).

² FERNANDEZ, P. - "O Homem e o Meio Ambiente"; módulo do mestrado em Tecnologia da Construção. FAU/UFRJ, 1989

As varandas constituem uma espécie de pavilhão utilizado para gerar espaços úteis à sombra, no qual importantes funções da habitação podem ser realizadas devido à proteção da luz solar e chuva e tendo as principais vantagens da ventilação natural e iluminação (MARAGNO, 2010).

Isso se explica por ser o Brasil um país tropical. Afinal, nesse tipo de clima a ventilação natural associada ao sombreamento solar é a estratégia de projeto mais eficiente para alcançar conforto térmico de maneira passiva. (BARROSO-KRAUSE et al., 2005 e BITTENCOURT, 2010). Além disso, de acordo com Beis (2010) ventilação noturna durante períodos quentes pode ajudar a dissipar o excesso de calor de uma construção. As áreas semiabertas oferecem exatamente isso, proteção solar e ventilação, criando ambientes agradáveis para o brasileiro.

As áreas semiabertas são muito utilizadas como área de transição entre o ambiente externo e interno. Essas áreas trazem conforto para as pessoas, pois fazem com que o organismo se adapte melhor à diferença de temperatura, amenizando o choque térmico causado na mudança do interior para o exterior e vice-versa. Além disso são utilizadas no Brasil como área de estar, não apenas em residências, mas em restaurantes, clubes, hotéis, etc., pois oferecem um ambiente agradável e a integração com o entorno.

No entanto padrões atuais de conforto não visam claramente os espaços de transição; temos que considerar esse tipo de espaço independentemente, e não utilizar os mesmos padrões para espaços interiores ou exteriores à edificação (CHUN, et al., 2004). Apesar de Chun ter publicado seu artigo em 2004, os espaços de transição continuam até hoje recebendo pouco estudo no que se trata do conforto ambiental. O PMV, *Predicted Mean Vote*, desenvolvido por Fanger e usado em várias normas, como a ISO 7730 (2005) e pela ASHRAE 55 (2004), parece não ser adequado para a avaliação de espaços semi-confinados³ (MONTEIRO e ALUCCI, 2009 e BOUYER et al., 2007).

³ O termo semi-confinado (ao invés de semiaberto) foi mantido por ser o termo utilizado pelos autores.

2.3 – PET

Para avaliar o conforto térmico de um área é importante a definição de um índice de conforto. O PET (*Physiological Equivalent Temperature*) é um índice baseado no balanço de energia humano; permitindo a avaliação das condições térmicas de uma maneira fisiologicamente significativa (MATZARAKIS 1999). Segundo Matzarakis (1999) ele é bem adequado para a avaliação do componente térmico para diferentes climas.

O PET é definido como a temperatura fisiológica equivalente a qualquer local dado (ao ar livre ou em ambientes fechados) e é equivalente à temperatura do ar para a qual, em uma configuração típica de área interna, o equilíbrio térmico do corpo humano (metabolismo 80 W de atividade leve, adicionado ao metabolismo básico; resistência ao calor das roupas 0,9 clo) é mantido com temperaturas internas e de pele iguais àsquelas sob as condições em que estão sendo avaliados (HOPPE 1999). A suposição de valores constantes de roupas e atividade no cálculo do PET foi feita deliberadamente para definir um índice independente do comportamento individual; por outro lado, isso não restringe a sua aplicabilidade, já que a variação de roupas e atividade – uma vez que tenham variado igualmente ao ar livre e no clima de referência interior - não leva a valores do PET significativamente diferentes (HOPPE 1999).

O índice PET parece mais promissor e abrangente em comparação aos índices térmicos tradicionais devido à sua definição termofisiológica. A ideia é quantificar todos os dados térmicos de um determinado ambiente exterior e resumi-los em uma única temperatura ambiente interior que induziria ao mesmo ambiente térmico sentido por uma pessoa ‘padrão’ (Bouyer 2007). Além disso, segundo Matzarakis (1999) , o PET se mostrou muito bem adequado para a avaliação humana biometeorológica em diferentes climas.

O PET pode ser calculado utilizando o software Ray Man, um programa baseado no Windows com o código escrito em Delphi, que oferece várias estimativas e possibilidades de dados de entrada (MATZARAKIS, 2010). Foi desenvolvido pelo Instituto Meteorológico da Universidade de Freiburg e pode ser adquirido gratuitamente através do próprio *site* do programa (RAYMAN). Inserindo-se os dados da localização e climáticos (temperatura do ar, temperatura

radiante média, velocidade do vento, taxa metabólica e resistência térmica da vestimenta) do ambiente a ser estudado o programa calcula o PET. Matzarakis (1999) criou uma tabela de percepção térmica e grau de estresse fisiológico baseados no PET, baseada em pesquisas realizadas na Alemanha. (Tabela 3).

Atualmente, observa-se uma grande aplicação desse índice em pesquisas brasileiras, aspecto que pode ser atribuído, em parte, à facilidade de uso do software RayMan (LABAKI et. al, 2012).

Tabela 3 – Tabela de percepção térmica e grau de estresse físico. (adaptada de MATZARAKIS, 1999).

PET - EX (°C)	Percepção Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
	Muito Frio	estresse por frio extremo
4		
	Frio	estresse por frio forte
8		
	Fresco	estresse moderado por frio
13		
	Ligeiramente Fresco	pouco estresse por frio
18		
	Confortável	nenhum estresse térmico
23		
	Ligeiramente Quente	pouco estresse por calor
29		
	Pouco Quente	estresse moderado por calor
35		
	Quente	estresse por calor forte
41		
	Muito Quente	estresse por calor extremo

No entanto o próprio Matzarakis (1999) questionou a possibilidade dos intervalos de PET poderem variar para valores mais elevados ou mais baixos em diferentes climas, já que a percepção do ambiente térmico ou processos fisiológicas mudam e a adaptação ocorre, fazendo com que as pessoas se adaptem ao clima que estão inseridas.

Monteiro e Alucci (2006) fizeram uma calibração de modelos de conforto térmico para áreas externas através de estudos de campo, para verificar a aplicabilidade dos modelos, calibrando-os para serem usados de maneira correta para avaliar o conforto térmico em área abertas na Grande São Paulo, Brasil. A calibração do PET proposta altera os valores definidos por Matzarakis (1999) para: até 3 - muito frio; de 3 a 10 - frio; 10 a 17 - pouco frio; 17 a 26 - neutro; 26 a 34 - pouco quente; 34 a 43 - quente; maior que 43 - muito quente.

Labaki et al. (2012) realizaram uma análise das condições de conforto térmico em espaços públicos de passagem em três cidades do Estado de São Paulo. Os resultados evidenciaram grande sensibilidade térmica em relação às variações diárias e sazonais, assim como diferentes limites para o PET de neutralidade térmica para cada um dos espaços estudados. As maiores diferenças entre o conforto térmico real e o calculado foram observadas em condições de tempo ameno (frio e seco), ao passo que as semelhanças apareceram em condições de tempo quente (seco ou úmido). Apesar dos diferentes limites de temperatura PET para a neutralidade térmica em cada cidade, 59,5% de todos os indivíduos confortáveis (308 de 519) estiveram inseridos na faixa de 18-26 ° C, ou seja, em conformidade com os limites de conforto para o PET propostos por Monteiro e Alucci (2006) para a cidade de São Paulo, ajustados em relação à faixa de 18-23 ° C proposta por Matzarakis (1999 e 2006).

3. ATIBAIA E SERRA DO ITAPETINGA

A cidade de Atibaia – considerada estância climática - localiza-se a latitude 23°07'01"S, longitude 46°33'01"W e altitude 803m, no estado de São Paulo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - Atibaia tem uma área quadrada de 478km² e tem 126.603 habitantes; o bioma é Mata Atlântica (IBGE, 2011). Está localizada a 69km de São Paulo, 65km de Campinas e 93km de São Jose dos Campos, na interseção das rodovias Fernão Dias e Dom Pedro I (Figuras 5, 6 e 7).

Figura 5 – Localização de Atibaia no estado de São Paulo. Fonte: Google Maps.

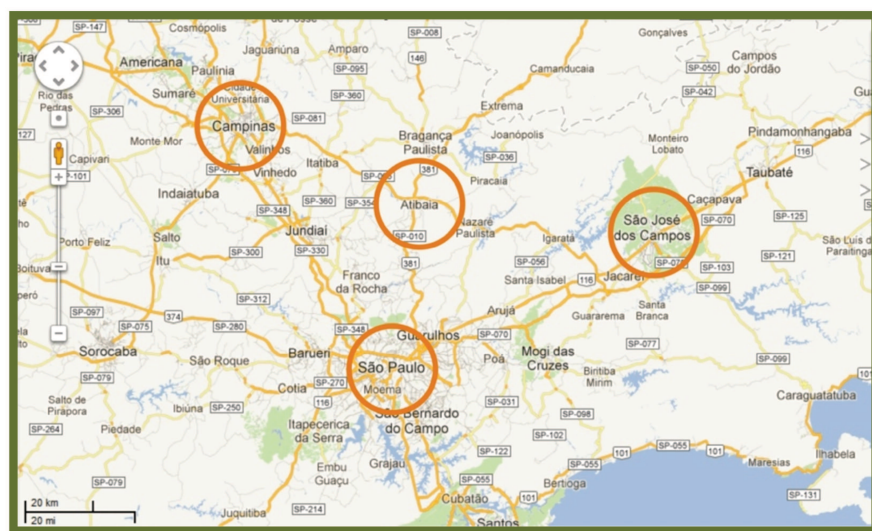
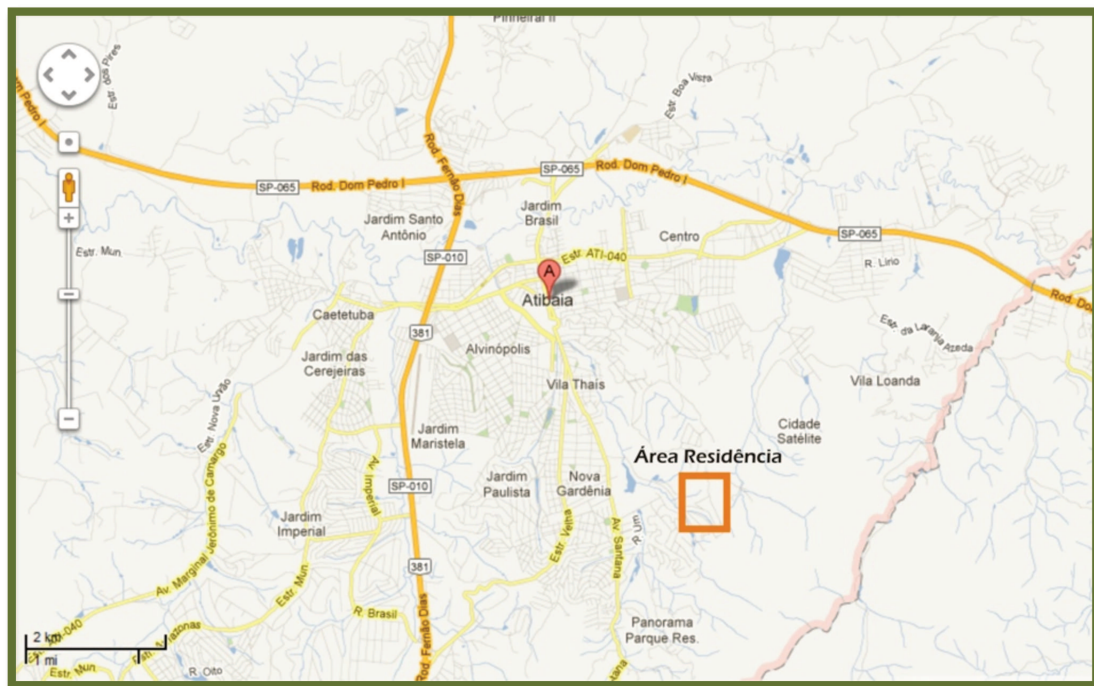


Figura 6 – Localização da cidade de Atibaia. Fonte: Google Maps.

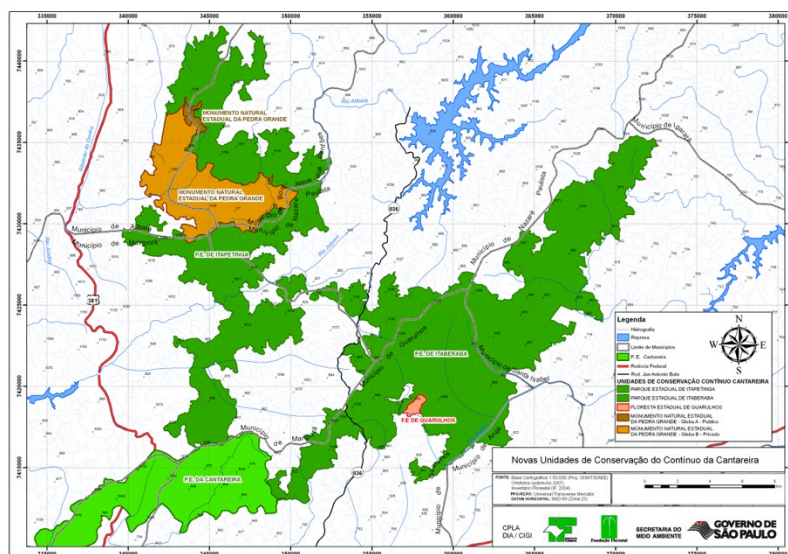


Figure 7 – Cidade de Atibaia com as Rodovias Dom Pedro I e Fernão Dias. Fonte: Google Maps.



A Serra do Itapetinga está localizada entre a Serra da Cantareira e a da Mantiqueira, atingindo os municípios de Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Nazaré Paulista e Mairiporã. Em novembro de 1980 uma área da Serra do Itapetinga de 18km² no município de Atibaia foi declarada zona de preservação ecológica, pela Lei nº 1.726 (CAMARA, 2011). A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo criou, em 30 de março de 2010, quatro novas Unidades de Conservação (UCs) ao norte da Serra da Cantareira. Os parques estaduais de Itaberaba e de Itapetinga, o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande e a Floresta Estadual de Guarulhos passaram a proteger uma área total de 28,6 mil ha – quase quatro vezes a área do Parque Estadual da Cantareira (Figura 8). Garantir a produção de água com qualidade para a Região Metropolitana de São Paulo, conforto climático, belas paisagens, lazer e a conservação da biodiversidade são alguns dos motivos que levaram o Governo do Estado de São Paulo a decidir pela implantação dessas novas áreas protegidas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2012).

Figura 8 - Parques estaduais de Itaberaba e de Itapetinga, o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande e Floresta Estadual de Guarulhos. Fonte FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2012.

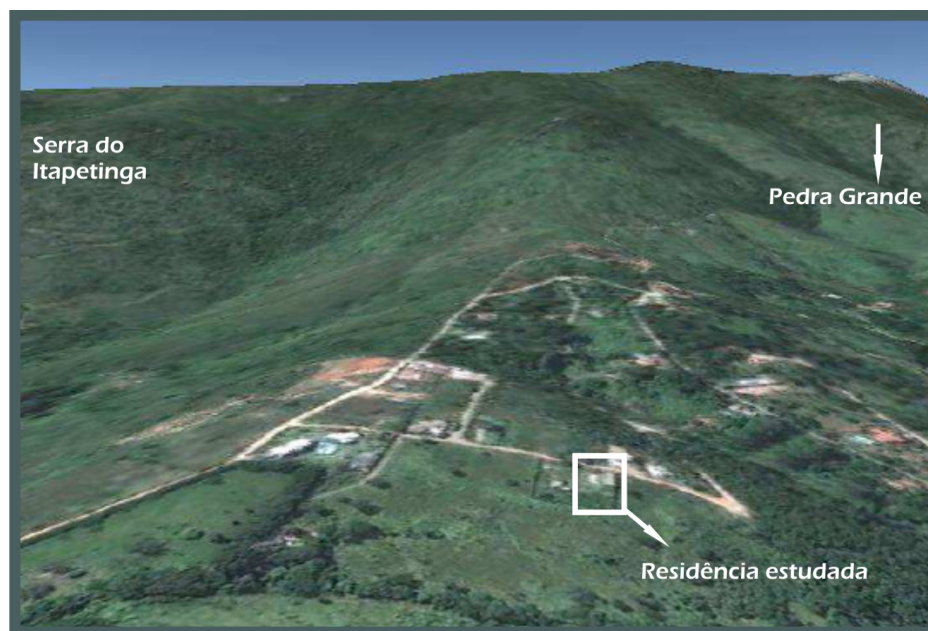


A residência estudada está localizada no bairro San Fernando Valley, na Serra do Itapetinga a aproximadamente 0,5km do Monumento Natural Estadual da Pedra Grande. É uma área com poucas residências e bastante vegetação; por se situar entre uma área mais urbanizada e o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande é uma região que se encontra em desenvolvimento, com a construção de algumas casas (Figuras 9 e 10). Como os terrenos no bairro devem ter a metragem mínima de 600m² mesmo futuramente, com novas construções, não será um bairro densamente ocupado.

Figura 9 – Área da Implantação da residência. Fonte: Google Maps.



Figura 10 - Localização da cidade de Atibaia. Fonte: Google Maps.



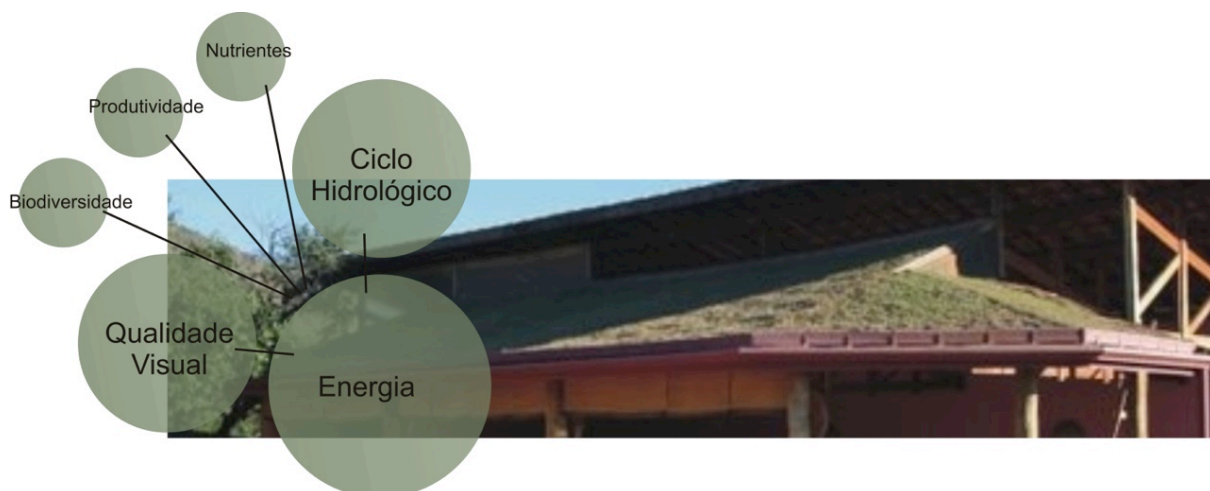
Essa residência foi escolhida por se tratar de um exemplo de área semiaberta feita com cobertura verde. Não se trata de uma área de transição, pois é utilizada como área de estar e trabalhar. Apesar de não estar localizada em uma área de alta concentração de prédios, ou seja, em um local propenso a formação de ilhas de calor, trata-se de um bom exemplo arquitetônico com essas características e os resultados podem ser aplicados para melhorar as edificações em áreas densas.

4. MÉTODO

O projeto da edificação, incluindo implantação, localização de paredes/aberturas e escolha de materiais, foi realizado por Carla Matheus de Almeida buscando atingir melhores condições de conforto térmico de forma passiva, além de garantir a integração com o ambiente externo. O projeto foi feito em 2005 e a construção terminada em 2006, com a função de ser uma escola de Tai Chi Chuan, daí a necessidade de um espaço amplo. Posteriormente, em 2010, foi adaptado para se tornar um escritório de arquitetura.

Para verificar se o projeto de arquitetura foi bem sucedido no aspecto de conforto térmico com condicionamento passivo, foram realizadas medições *in loco* das variáveis ambientais; análise de ventilação em túnel de vento; e cálculo do PET. Foi elaborado um diagrama, baseado nos conceitos de Coffman (2007), para a cobertura verde da residência semiaberta estudada. A cobertura foi projetada tendo como meta principal a de proporcionar conforto térmico e consequentemente contribuir para a eficiência energética da edificação. O Ciclo Hidrológico e a qualidade visual foram os outros dois domínios que também tiveram prioridade, apesar de secundária. E por fim, a casa foi projetada visando os domínios de Biodiversidade, Produtividade e Ciclo de Nutrientes (Figura 11). Através da análise de conforto será possível verificar se a meta principal de proporcionar conforto térmico de forma passiva foi atingido.

Figura 11 – Diagrama baseado nos domínios de Coffman (2007).



Foram feitas medições *in loco* de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, e velocidade do ar no outono e inverno de 2011 e verão de 2012. Foram gerados gráficos comparativos de temperatura do ar e velocidade de vento do ambiente semiaberto com a área externa. Os dados de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade do ar e velocidade de vento foram utilizados para o cálculo do PET; que foi avaliado comparando-se o ambiente semiaberto com o ambiente externo, visando verificar qual a melhoria do conforto térmico nessa área semiaberta com cobertura verde e de barro. Também foi feita a análise da ventilação natural através do túnel de vento com um modelo feito em acrílico na escala 1:45. Os dados de velocidade de vento gerados pela simulação no túnel de vento foram comparados com os medidos *in loco*.

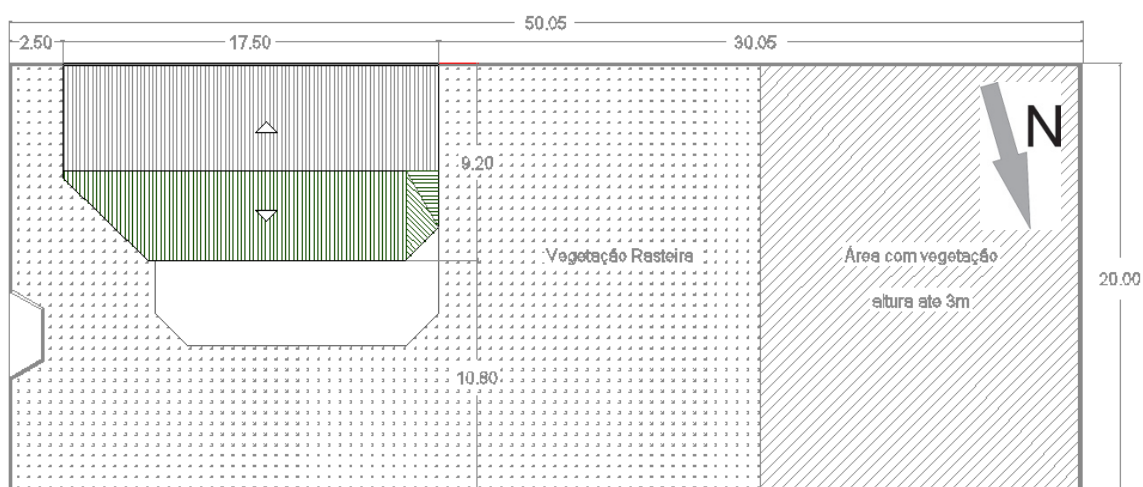
Portanto a análise de conforto foi feita através de:

- Medições *in loco*;
- Simulação em túnel de vento;
- Cálculo do PET;
- Comparação dos dados de velocidade do vento.

4.1 – Descrição do Objeto

O objeto deste estudo é uma residência na cidade de Atibaia, grande parte de sua área é semiaberta, interligada com o jardim. Está implantada em um terreno de 20m x 50m (Figura 12), todo murado a uma altura de 2m; com uma área vegetada, sendo a parte posterior do terreno com plantas com altura de até 3m.

Figura 12 – Implantação da residência no terreno.



A casa esta dividida em (Figura 13):

- Varanda 13,20m x 9,20m – 118,29 m² de área semiaberta – área utilizada como escritório e estar;
- Hall – 17,53 m² de área mais fechada, ligação com área semiaberta – utilizada como copa e distribuição;
- Banheiro 6,50m² - área fechada;
- Mezanino - 10,3m² - área fechada – utilizado como dormitório.

A parede de divisa do terreno é rebocada, feita de bloco de concreto. As demais paredes são de tijolo modular de solo-cimento, com exceção das duas paredes internas do mezanino, que são de madeira. Uma escada de madeira faz o acesso ao mezanino (Figura 13).

Figura 13– Áreas da residência.

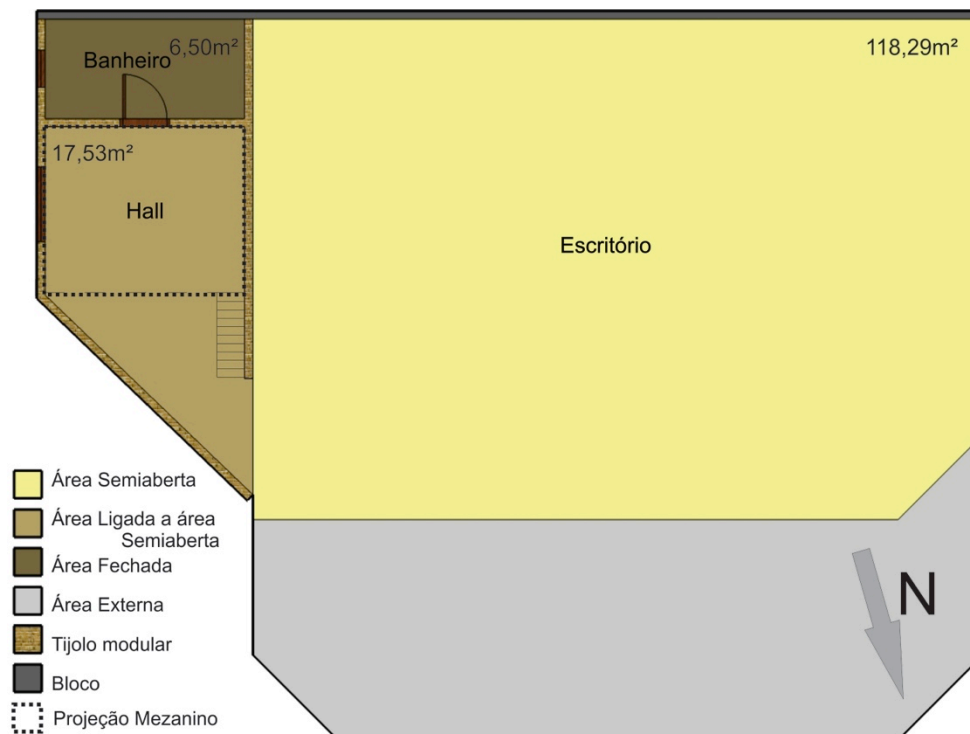


Figura 14 – Foto da entrada do hall.



A cobertura consiste de uma água de cobertura verde extensiva e uma água de cobertura cerâmica. Há um vão entre as duas águas da cobertura o qual permite a passagem de ar (Figura 15). A estrutura da cobertura é feita em tesouras de madeira serrada e está apoiada em pilares de madeira roliça e na parede de divisa (Figura 16).

Figura 15 – Corte.

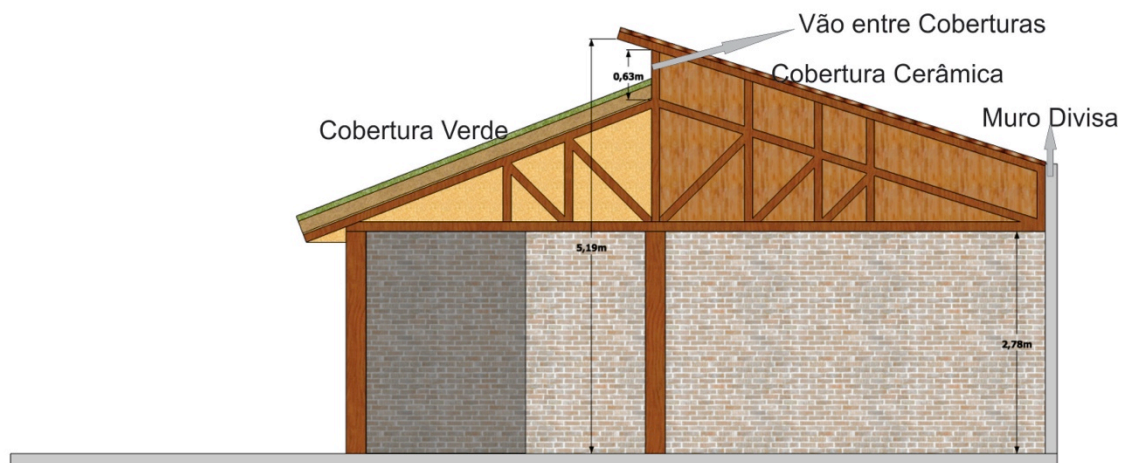
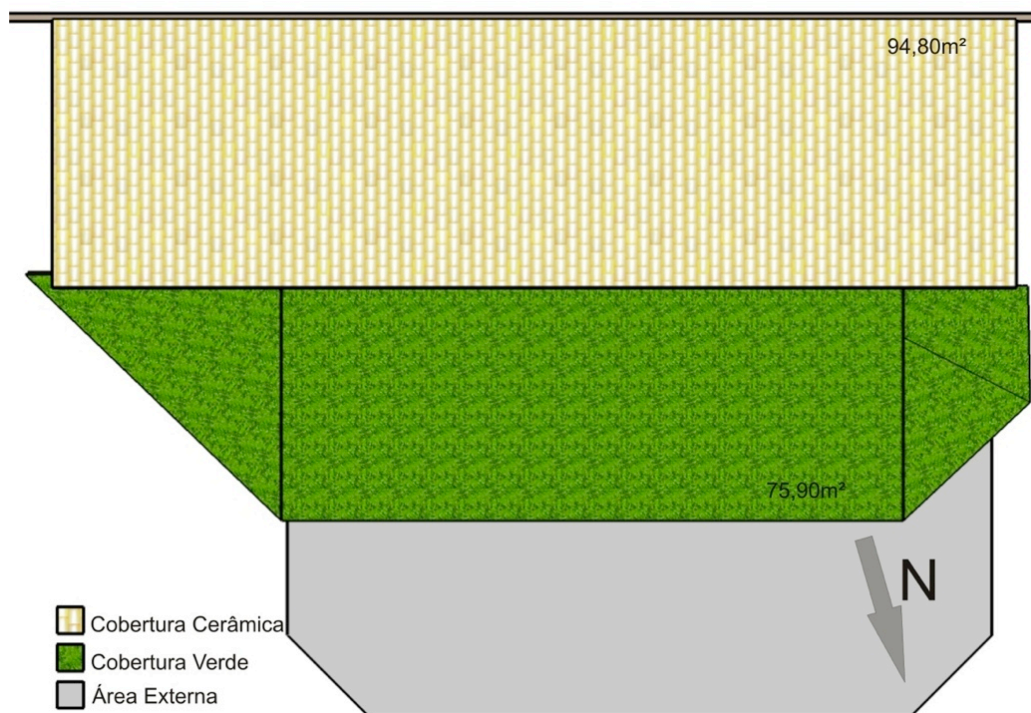


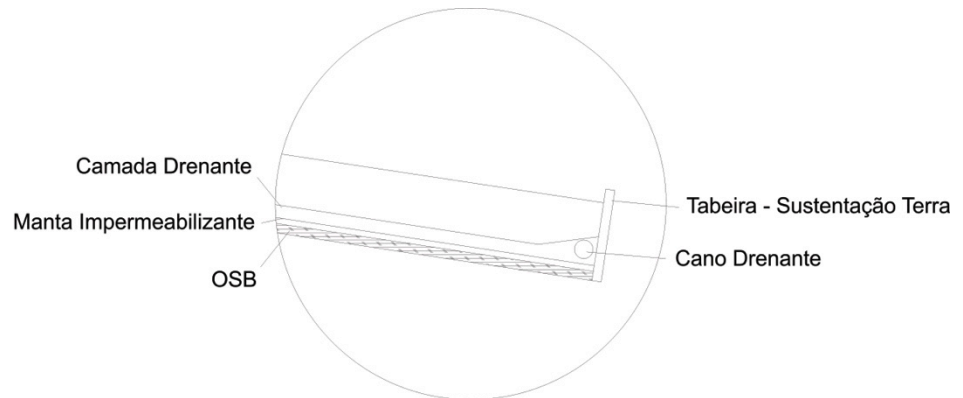
Figura 16 – Áreas de cobertura da residência.



A cobertura verde é composta por 5 camadas (Figura 17):

- Suporte feito de Oriented Strand Board (OSB) apoiado na estrutura de madeira;
- Manta impermeabilizante - Laminado de PVC (Geomembrana)
- Camada drenante feita com argila expandida e manta bidim – que direcionam a água para um cano de drenagem;
- Substrato – terra misturada com esterco e terra vegetal, com aproximadamente 12cm;
- Grama esmeralda.

Figura 17 – Detalhe das camadas da cobertura.



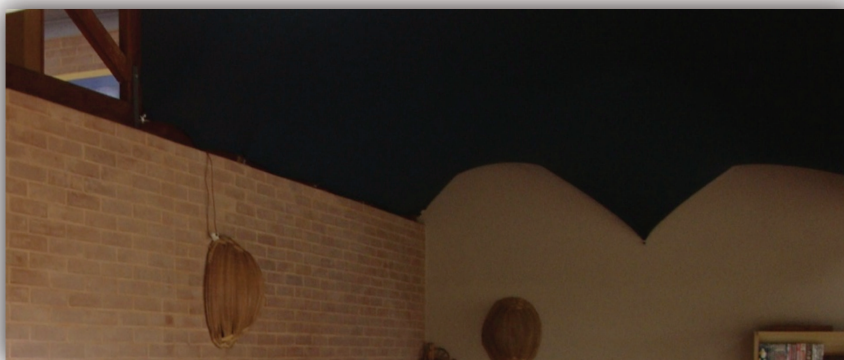
A geomembrana utilizada para impermeabilização se apresentou extremamente eficiente, bloqueando totalmente a passagem de umidade do substrato para o OSB. A cobertura, com a geomembrana, foi instalada no ano de 2006 e a mesma se mantém em excelente estado. A manutenção é esporádica, uma vez que a camada de substrato é baixa e com isso a grama não cresce em demasia. A manutenção é feita apenas para a retirada de eventuais ervas daninhas que nascem de sementes trazidas pelo vento ou mesmo por pássaros.

A cobertura de telha cerâmica não foi executada com forro. Foi colocado um tecido de lycra abaixo da mesma, acompanhando as tesouras (Figuras 18 e 19).

Figura18 - Foto do local.



Figura 19 – Foto do local.



4.2 Medições *in loco*

Para essa análise foram obtidos dados - de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar e velocidade do vento - das áreas semiaberta e hall, para serem comparados com os dados obtidos da área externa.

4.2.1 - Pontos das Medições

Para as medições *in loco* e ensaios em túnel de vento foi necessária a definição de pontos de medições. O critério para escolha dos pontos se baseou em áreas mais utilizadas e também aquelas que, perceptivelmente, apresentam maiores diferenças de ventilação e temperatura.

Foram definidos seis pontos (Figuras 20 e 21). Todos os pontos foram nomeados com letra maiúscula para diferenciar dos nomes dos ambientes ou nomes de coberturas:

- Cobertura Verde1 (CV1) - próximo ao hall;
- Cobertura Verde2 (CV2) - próximo da área externa;
- Cobertura Ceramica1 (CC1) – próximo das paredes;
- Cobertura Ceramica2 (CC2) – próximo da área externa;
- Hall (HA) – ponto central no hall;
- Ponto Externo (EX) - utilizado como comparação com os pontos estudados.

Figura 20 – Maquete eletrônica da residência. Localização dos tripés com aparelhos de medições.

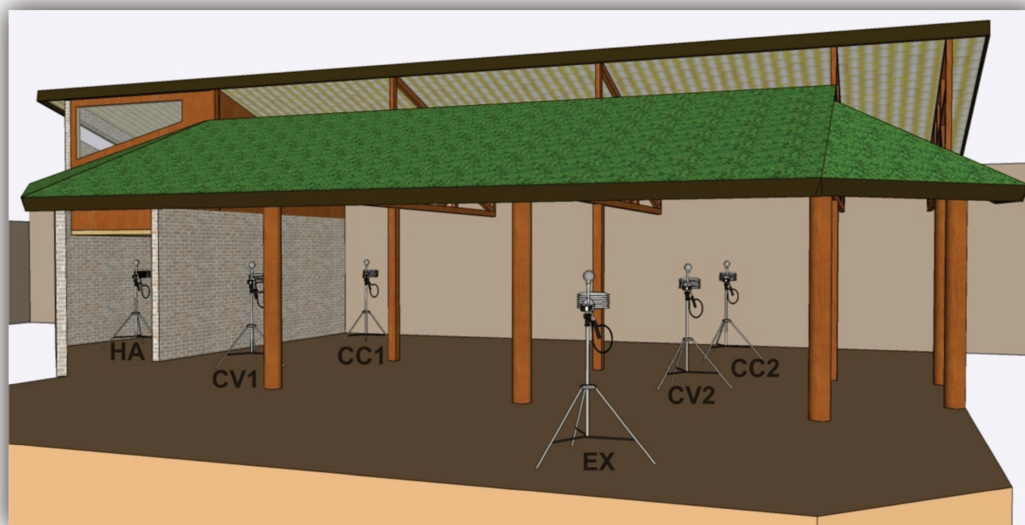
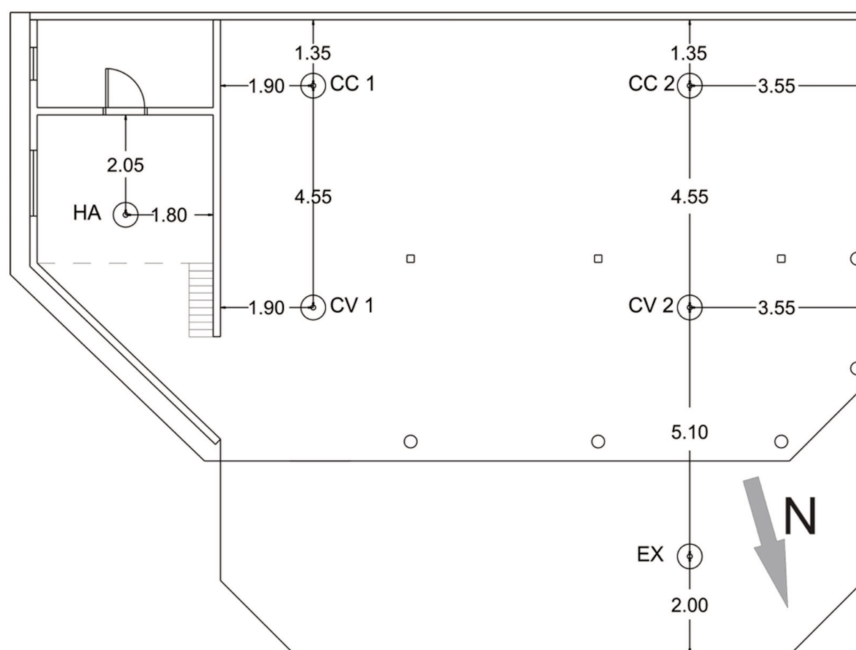


Figura 21 – Planta Baixa da residência. Localização dos pontos de medições.



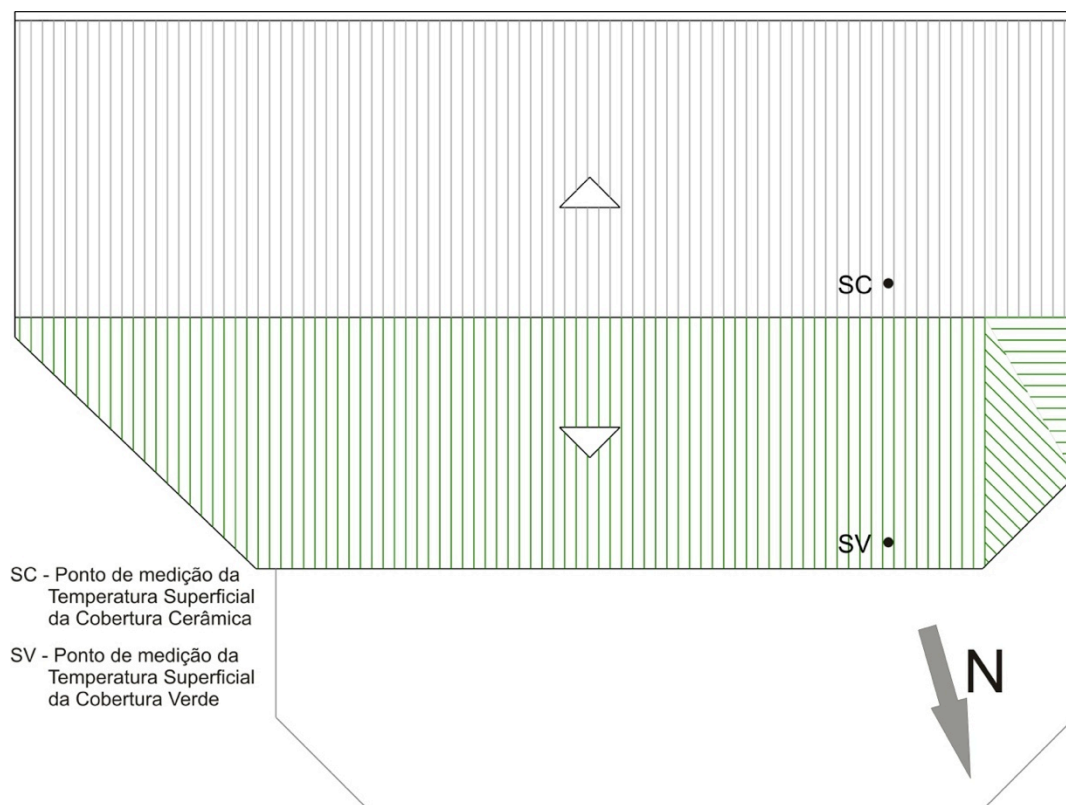
Foram instalados dois registradores de temperatura superficial - um na área interna da cobertura verde, fixado em um OSB; e o outro na área interna da cobertura cerâmica, fixado em uma telha (Figura 22).

Figura 22 – Sensores para medição de temperatura superficial fixados sob a cobertura verde e uma telha cerâmica.



Os registradores foram posicionados de maneira equivalente nas duas coberturas, ou seja, recebendo a mesma quantidade de radiação solar durante o dia (Figura 23).

Figura 23 – Planta de cobertura da residência. Localização dos pontos de medição de temperatura superficial.



Os pontos utilizados foram os mesmos para as medições *in loco* e para os ensaios em túnel de vento, porém nem todos os pontos foram utilizados em todas as medições, tendo sido escolhidos de acordo com sua relevância para cada tipo de estudo. Na área do mezanino foi definido um ponto, porém ele só foi utilizado no ensaio em túnel de vento, pois a janela esta temporariamente diferente do projeto original e, portanto as medições *in loco* não puderam ser realizadas.

4.2.2 – Aparelhos Utilizados

Os registradores de temperatura e umidade do ar e o de temperatura de globo que ficaram em áreas mais externas foram colocados dentro de protetores feitos com pratinhos plásticos para ficarem protegidos da chuva e do sol excessivo, e ventilados, para não alterar os resultados. Esses

protetores foram criados pelos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada da Unicamp (LaCAF), especialmente para essa função. Os aparelhos foram fixados em tripés para permanecerem a uma altura de aproximadamente 1,10m do piso – altura média de uma pessoa sentada. Foram instalados dois anemômetros nos tripés, nos mesmos pontos das medições (Figura 24). Todos os dados foram enviados para o software Excel para poderem ser analisados.

Figura 24 - Registradores de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade do ar e velocidade do vento – Descrição técnica dos aparelhos e foto dos aparelhos fixados no tripé.

	<u>Registrador de Temperatura do Ar, Temperatura de Globo e Umidade do Ar</u> Registrador Testo 175-T2 + sonda externa de temperatura do ar Testo 0613 1712 + globo cinza (bola oficial de tênis de mesa pintada com a tinta azul burguês da Coral) Faixa de medição: -35 a 70 °C (canal interno) e -40 a 120 °C (canal externo/globo) Precisão: + ou 0,5 °C (canal interno) e + ou - 0,3 °C (canal externo/globo)
	<u>Registrador de Velocidade do Vento</u> Registrador Testo 445 + sonda de esfera quente Testo 0635 1549 (anemômetro) Faixa de medição: 0 a 10 m/s velocidade do vento e -20 a 70 ° C temperatura. Precisão: + ou - 0,03 m/s na velocidade do vento e + ou - 0,4 ° C na temperatura

Os dois registradores de temperatura superficial (Figura 25) - um na área interna da cobertura verde, e o outro na área interna da cobertura de barro – foram fixados na cobertura com fita adesiva.

Figura 25 - Registradores de temperatura superficial –
Descrição técnica dos aparelhos e foto dos aparelhos fixados em um tripé.

	<u>Registrador de Temperatura Superficial</u> Registrador Testo 175-T2 + sonda externa de temperatura de superfície Testo 0628 7507 Faixa de medição: -35 a 70 °C (canal interno) e -40 a 120 °C (canal externo)
---	--

4.2.3 – Medições Realizadas

As primeiras medições foram feitas no início do outono (de 19 a 25 de março) de 2011. Foram instalados quatro tripés (cada um com um termômetro de globo e um registrador de temperatura e umidade do ar) nos seguintes pontos: EX; HA; CC1 e CV2. Os aparelhos foram programados para registro em intervalos de dez minutos; no entanto, os dados obtidos mostraram-se muito próximos e por isso foram utilizados apenas os valores a cada 60 minutos.

As próximas medições foram feitas no período do inverno de 2011 (09 a 27 de julho para temperatura do ar, temperatura de globo e umidade do ar, 27 de agosto a 01 de setembro para velocidade do vento, 02 a 07 de setembro para temperatura superficial). Para medir temperatura do ar, temperatura de globo e umidade do ar foram instalados quatro tripés (cada um com um

termômetro de globo e um registrador de temperatura e umidade do ar) nos mesmos pontos das medições de outono: EX; HA; CC1; CV2 e mais um no ponto CV1 no período de 09 a 27 de julho. Dessa vez os aparelhos foram programados para registro em intervalos de trinta minutos; no entanto, estão sendo utilizados apenas os valores a cada 60 minutos.

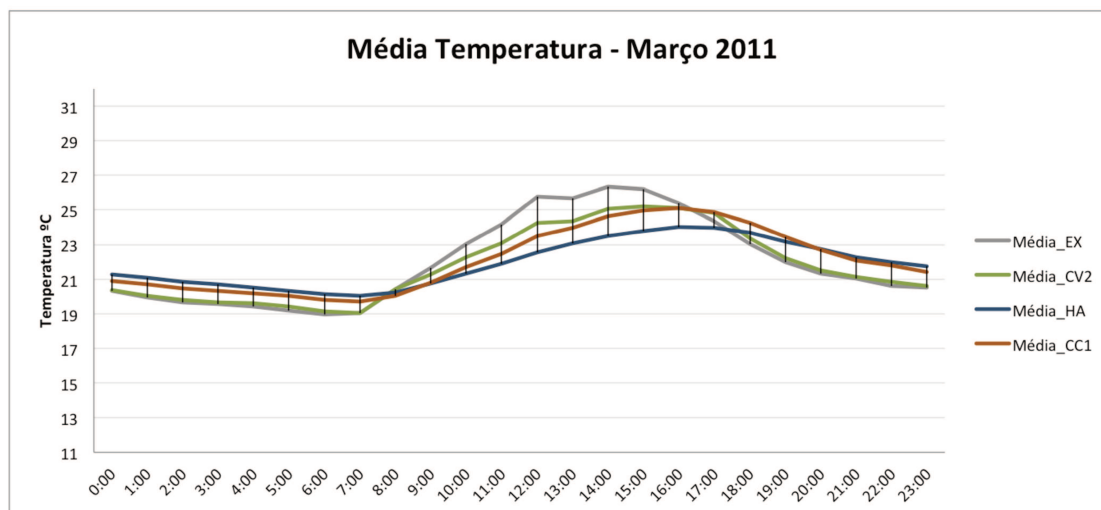
Após as medições de outono e inverno foram realizadas as medições no período do verão. Dessa vez as medições foram todas realizadas ao mesmo tempo (entre os dias 01 e 13 de março de 2012 para temperatura do ar, temperatura de globo e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura superficial). Para medir temperatura do ar, temperatura de globo e umidade do ar foram instalados cinco tripés (cada um com um termômetro de globo e um registrador de temperatura e umidade do ar) nos mesmos pontos das medições de inverno: EX; HA; CC1; CV1 e CV2. Novamente os aparelhos foram programados para registro em intervalos de trinta minutos e estão sendo utilizados apenas os valores a cada 60 minutos.

4.2.4 – Resultados Medições *in loco*

4.2.4.1 – Medições Outono

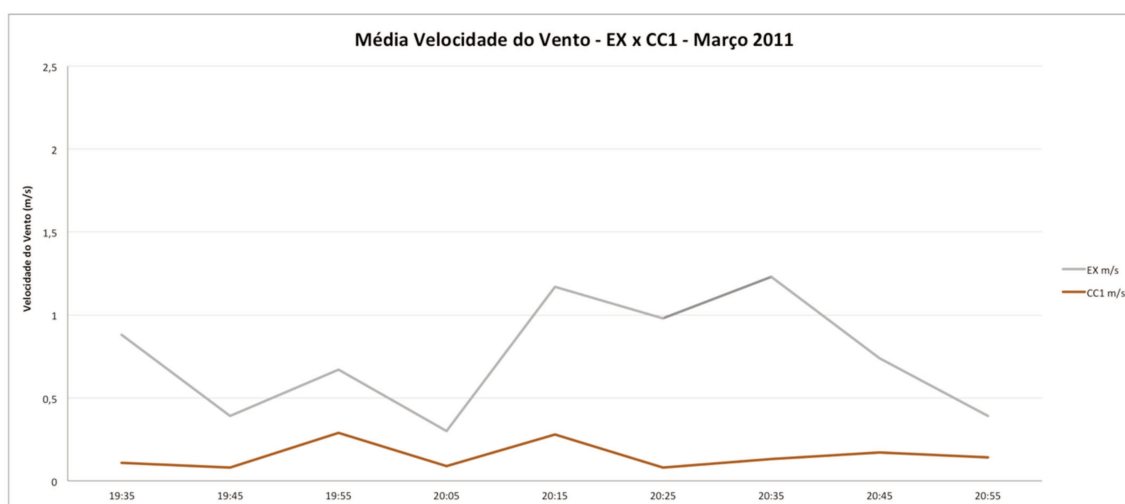
Foi feita uma média horária de temperatura do ar para todos os dias de medição e gerado um gráfico a partir dessas médias (Gráfico 1). Nota-se que o Ponto EX teve a maior variação de temperatura do ar, como era esperado. O Ponto HA foi o local que mostrou a temperatura do ar mais estável, afinal é um local mais interno, e por isso com o ambiente sofrendo menos interferências da temperatura externa; mostrou uma diferença máxima de temperatura do ar em relação ao EX de 3,24°C as 12h00min. O Ponto CC1 também manteve uma temperatura do ar mais estável, mais próxima do HA, principalmente nos horários mais frios; nos horários mais quentes esteve com as temperaturas próximas do CV2. O Ponto CV2 foi o que mostrou as temperaturas do ar mais próximas do EX, isso se deve ao fato de estar realmente mais próximo da área descoberta, sem proteção de paredes próximas e por isso sofrendo maior influência do ambiente externo.

Gráfico 1 – Média das temperaturas do ar medidas entre 19 e 25 de março de 2011.



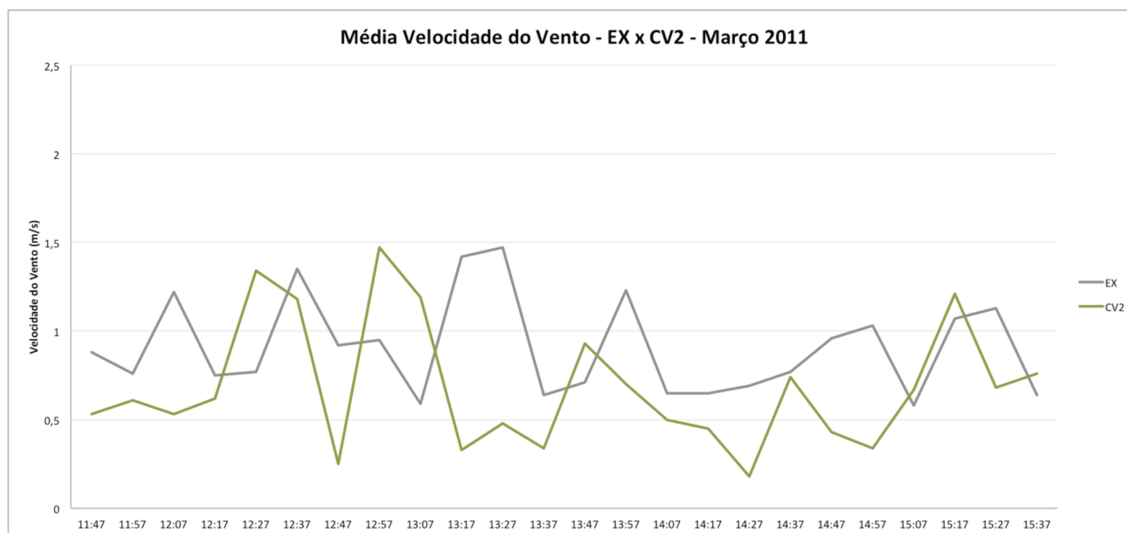
Apenas duas medições de velocidade de vento foram realizadas. Uma medindo a velocidade no EX comparando com o CC1 (Gráfico 2) e outra medindo a velocidade no EX comparando com o CV2 (Gráfico 3).

Gráfico 2 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CC1 - 22 de março de 2011.



O Gráfico 2 mostra que mesmo estando na área semiaberta o Ponto CC1, por estar mais próximo das paredes que protegem a área semiaberta do vento dominante, teve uma grande redução da velocidade do vento comparado com o Ponto EX, chegando a 89% às 20h35min.

Gráfico 3 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CV2 - 22 de março de 2011.



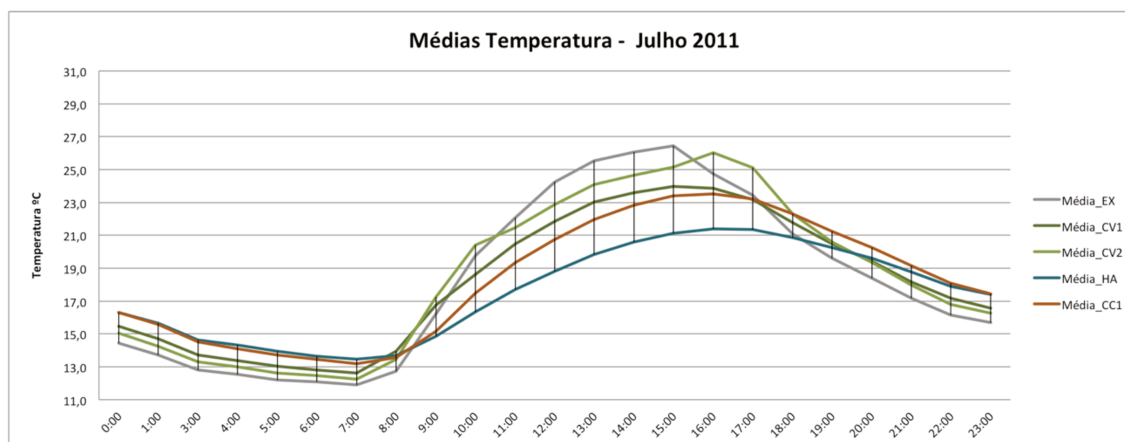
No entanto, o Ponto CV2 não mostrou essa diferença (Gráfico 3). Em muitos momentos a velocidade do vento está realmente mais baixa do que no Ponto EX, porém em vários outros está próxima da velocidade externa.

4.2.4.2 – Medições de Inverno

Para as medições de inverno de 2011 foi acrescentado um ponto de medição - CV1 - pois, durante as análises das medições dos dados obtidos no outono de 2011, verificou-se a necessidade de se obter mais dados para comparação.

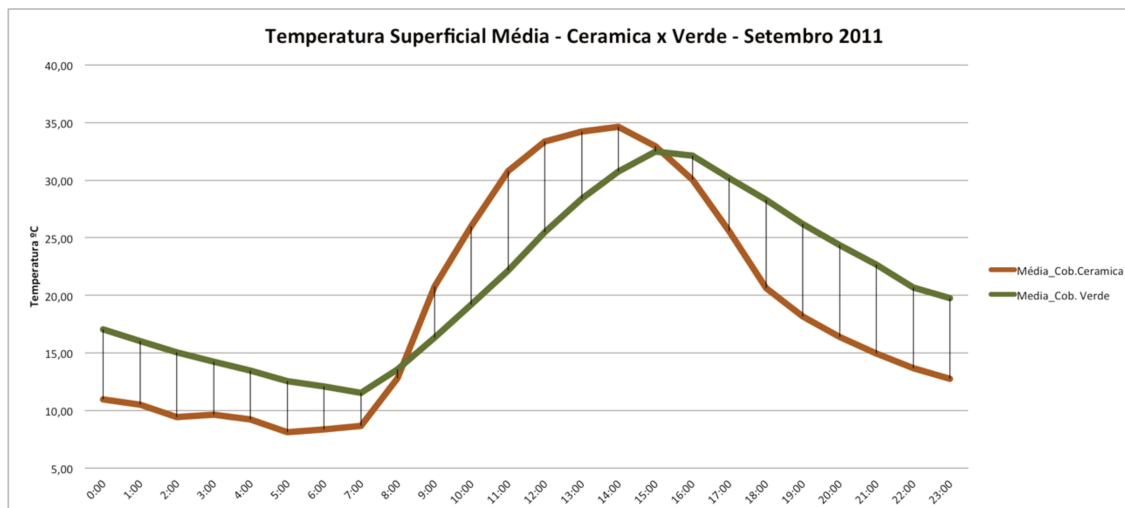
Foi feita uma média horária de temperatura do ar para todos os dias de medição e gerado um gráfico a partir dessas médias (Gráfico 4). Nota-se que o Ponto EX teve a maior variação de temperatura do ar, novamente como era esperado. O Ponto HA foi o local que mostrou a temperatura do ar mais estável, assim como nas medições realizadas no outono; mostrou uma diferença máxima de temperatura do ar em relação ao EX de 5,47°C as 14:00hs. O Ponto CC1 também manteve uma temperatura do ar mais estável, mais próxima do Ponto HA nos horários mais frios; nos horários mais quentes esteve com as temperaturas próximas do CV2, também como ocorreu no outono. O Ponto CV2 foi o que mostrou as temperaturas mais próximas do EX, principalmente nos horários mais frios.

Gráfico 4 – Média das temperaturas do ar medidas entre 09 e 27 de julho de 2011.



Foram medidas temperaturas superficiais internas das duas coberturas no período de 02 a 07 de setembro de 2011. Os aparelhos foram programados para fazerem as medições com um intervalo de 30 minutos; no entanto, estão sendo utilizados apenas os valores a cada 60 minutos (Gráfico 5).

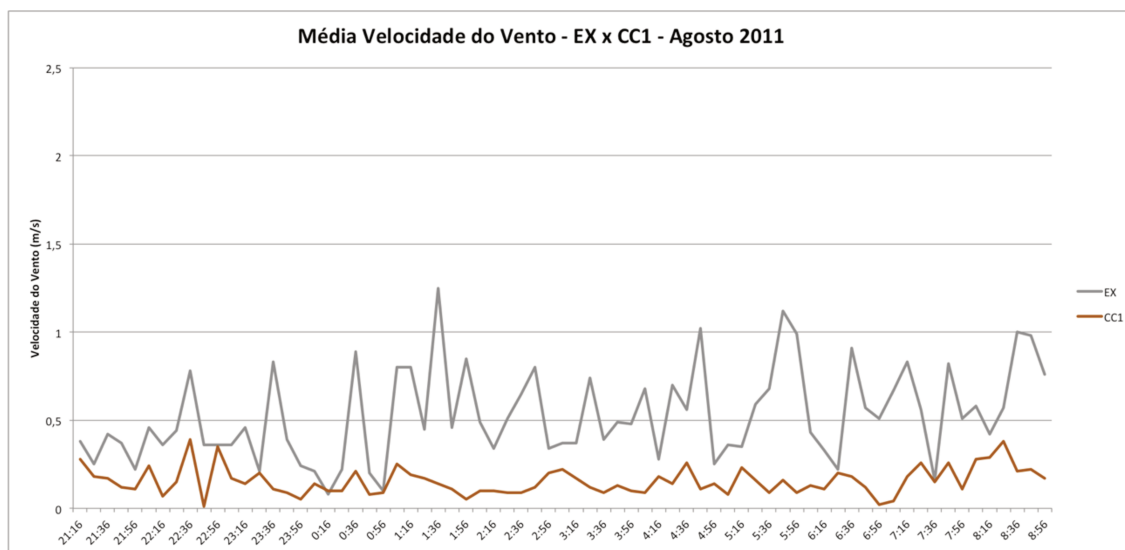
Gráfico 5 – Média das temperaturas superficiais medidas entre 02 e 07 de setembro de 2011.



Observa-se que a cobertura verde proporciona um atraso de até duas horas comparada à cobertura cerâmica e mais de 3°C de diferença. A cobertura verde chega a atingir sua hora mais quente as 15h00min a uma temperatura de 32,50°C; enquanto a cobertura cerâmica atinge o horário mais quente as 14h00min a uma temperatura de 34,63°C; a cobertura verde atinge a hora mais fria as 07h00min a uma temperatura de 11,53°C e a cobertura cerâmica as 05h00min a uma temperatura de 8,12°C.

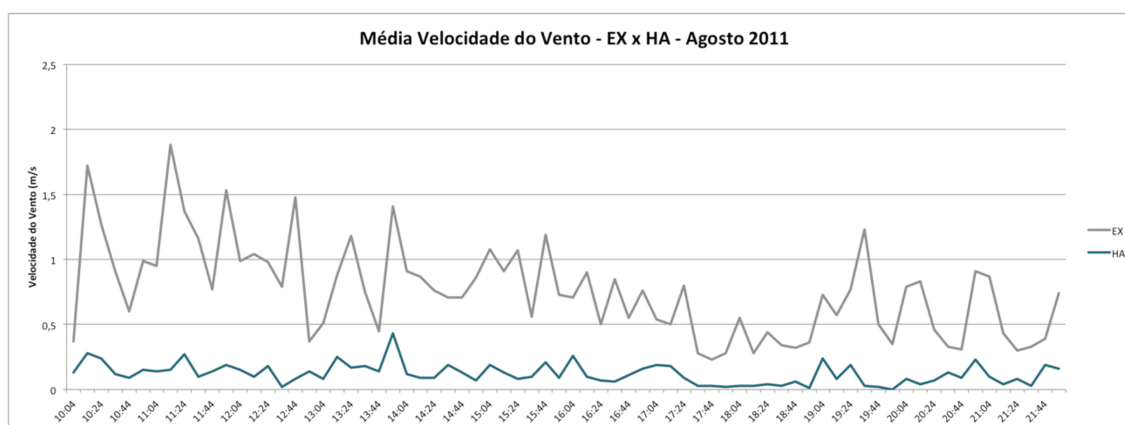
As medições de velocidade de vento foram realizadas sempre com dois anemômetros simultaneamente, para se ter uma base de comparação. Foram realizadas três medições: uma medindo a velocidade no Ponto EX e no Ponto CC1 (Gráfico 6), uma medindo a velocidade no Ponto EX e no Ponto HA (Gráfico 7) e outra medindo a velocidade no Ponto CV1 e no Ponto CC1 (Gráfico 8). Todas as medições foram realizadas a cada 10 segundos.

Gráfico 6 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CC1 – 27 e 28 de agosto de 2011.



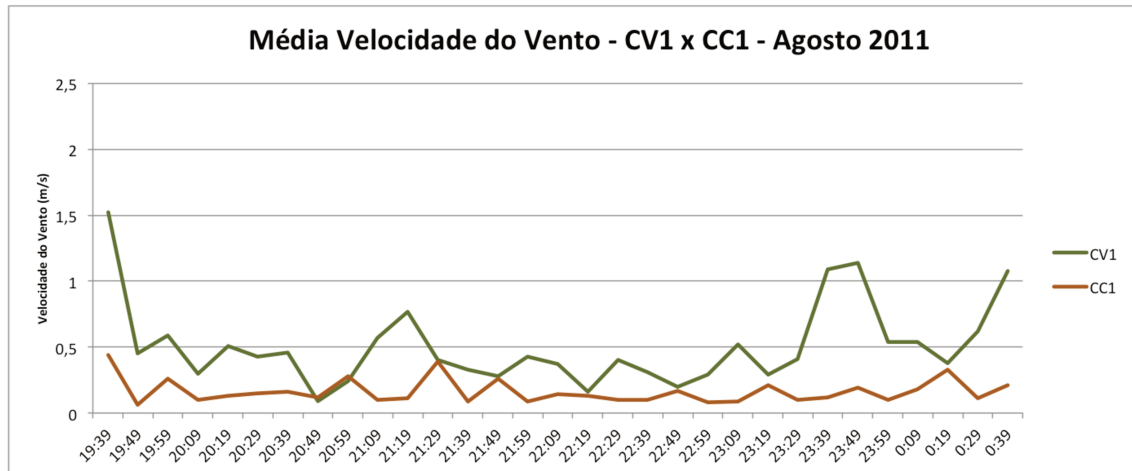
Ao comparar a velocidade do vento no Ponto EX com o Ponto CC1 nota-se novamente que há uma grande redução da velocidade no Ponto CC1, assim como ocorreu em março de 2011.

Gráfico 7 – Média da velocidade de vento Pontos EX e HA – 28 de agosto de 2011.



Ao comparar a velocidade do vento no Ponto EX com o Ponto HA nota-se que há uma grande redução da velocidade no Ponto HA, chegando a 90%.

Gráfico 8 – Média da velocidade de vento Pontos CV1 e CC1 – 27 e 28 de agosto de 2011.



O Ponto CV1 e CC1 apresentaram velocidades de vento mais próximas, porém o Ponto CC1 manteve-se mais estável tendo a mínima de 0,06m/s e máxima de 0,44m/s, enquanto o Ponto CV1 teve a mínima de 0,09m/s e máxima de 1,52m/s.

4.2.4.3 – Medições de Verão

Para as medições de verão de 2012, foi acrescentado um ponto na área semiaberta - CC2. Foi calculada a média horária de temperatura do ar entre os dias analisados e gerado um gráfico a partir dessas médias (Gráfico 9). Nota-se que o Ponto EX teve a maior variação de temperatura do ar, novamente como era esperado. O Ponto HA foi o local que mostrou a temperatura do ar mais estável, assim como nas medições realizadas no outono e no inverno; teve uma diferença máxima de temperatura em relação ao EX de 5,11°C as 12h00min. e nos horários mais frios de 2,67°C as 23h00min. A temperatura medida nos Pontos CC1, CV1 e CV2 mantiveram-se mais estável do que no Ponto EX, mas menos do que no Ponto HA, mantendo-se bastante próximas uma das outras. Por isso foi feito um gráfico da média simplificada das temperaturas comparando

o Ponto EX, o Ponto HA e a média entre os Pontos CV1, CV2, CC1 e CC2 , ou seja os quatro pontos que estão na área semiaberta e que apresentam temperaturas próxima (Gráfico 10).

Gráfico 9 – Média das temperaturas do ar medidas entre 01 e 13 de março de 2012.

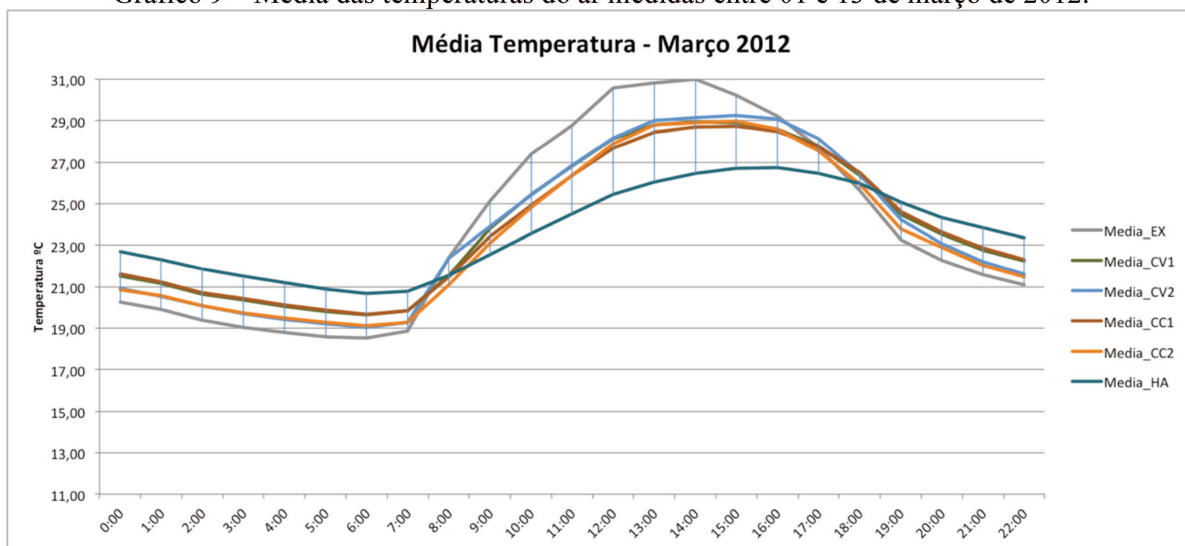
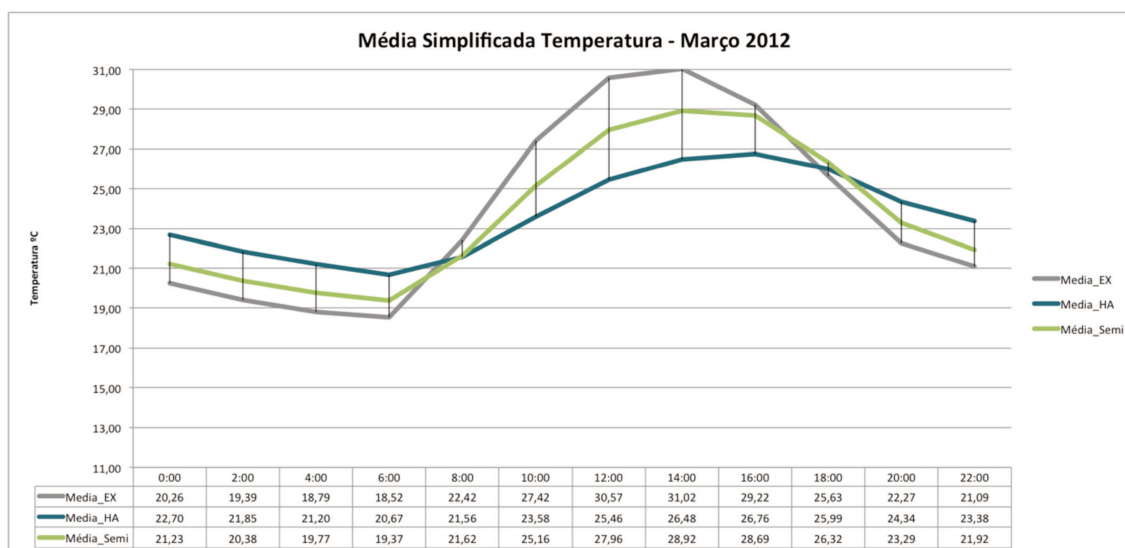


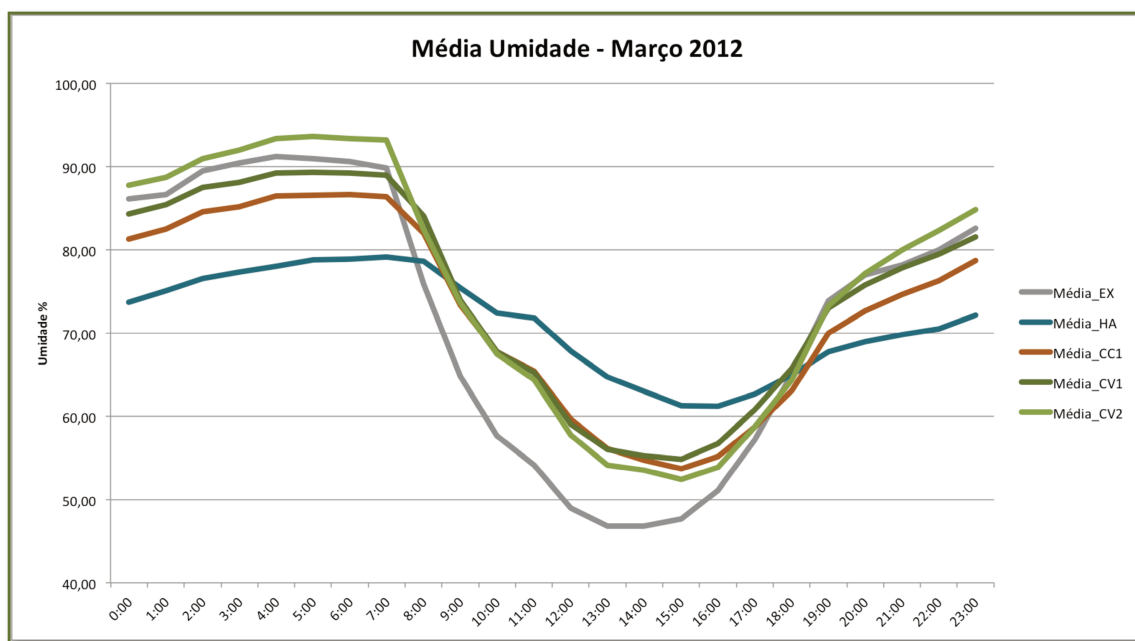
Gráfico 10 – Média simplificada das temperaturas do ar medidas entre 01 e 13 de março de 2012.



A média simplificada entre as temperaturas do ar mostrou que o ambiente semiaberto realmente manteve-se com uma temperatura mais estável que o Ponto EX, tendo a diferença máxima às 12h00min de 2,61°C em relação ao Ponto EX e de 2,50°C em relação ao Ponto HA.

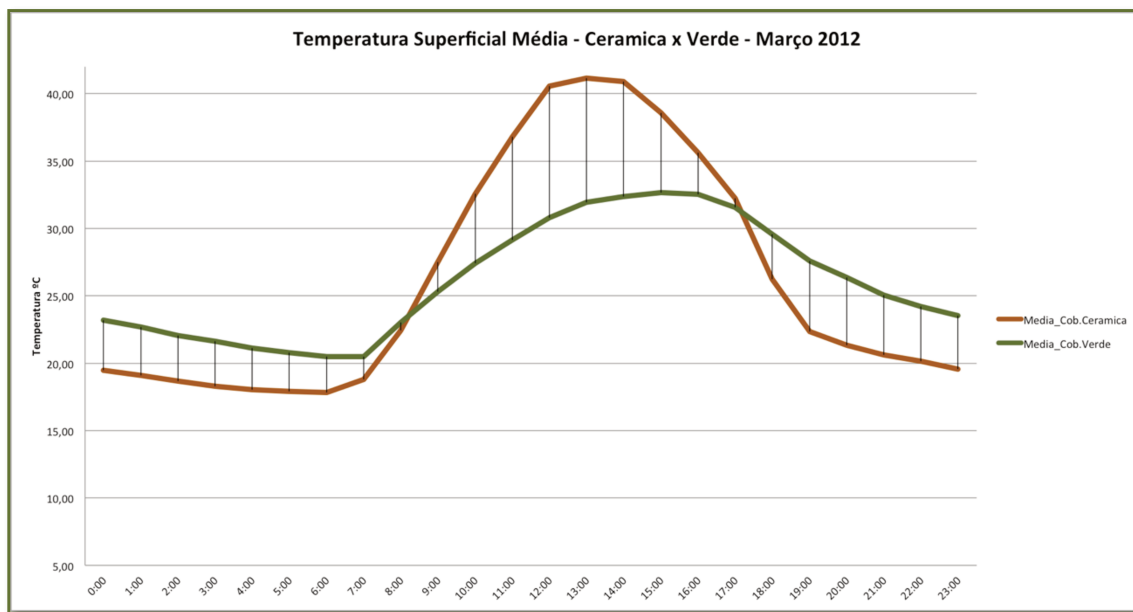
A média da umidade relativa do ar entre os pontos, assim como ocorreu na média das temperaturas do ar, mostrou a maior estabilidade no Ponto HA, a maior oscilação no Ponto EX e a média dos pontos da área semiaberta ficando intermediárias e próximas uma das outras. Apenas o Ponto CV2, que esta bem próximo da área externa, chegou a ter momentos com maior umidade do que no Ponto EX nos horários mais frios (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Média Umidade Relativa do ar medida entre 01 e 13 de março de 2012.



As temperaturas superficiais internas das duas coberturas foram medidas no mesmo período. Os aparelhos foram programados para registrarem os resultados com um intervalo de 30 minutos; no entanto, estão sendo utilizados apenas os valores a cada 60 minutos (Gráfico 12).

Gráfico 12 – Média das temperaturas superficiais medidas entre 02 e 13 de março de 2012.



Observa-se que a cobertura verde proporciona um atraso de duas horas comparada à cobertura cerâmica e quase 9°C de diferença; a cobertura verde atinge sua hora mais quente as 15h00min a uma temperatura de 32,64°C; enquanto a cobertura cerâmica atinge o horário mais quente as 13h00min a uma temperatura de 41,18°C (Gráfico 12). Nos horários mais frios a diferença máxima é de 2,65°C as 06h00min quando a temperatura da cobertura cerâmica é de 17,83°C e a da cobertura verde é de 20,48°C.

Foram realizadas 18 medições de velocidade do vento entre os dias 01 e 13 de março de 2012. Os resultados das medições que foram realizadas nos mesmos pontos foram agrupados no mesmo gráfico, em ordem cronológica, para melhor visualização (Gráficos 13 a 17).

Gráfico 13 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CC1 – 01 e 12 de março de 2012.

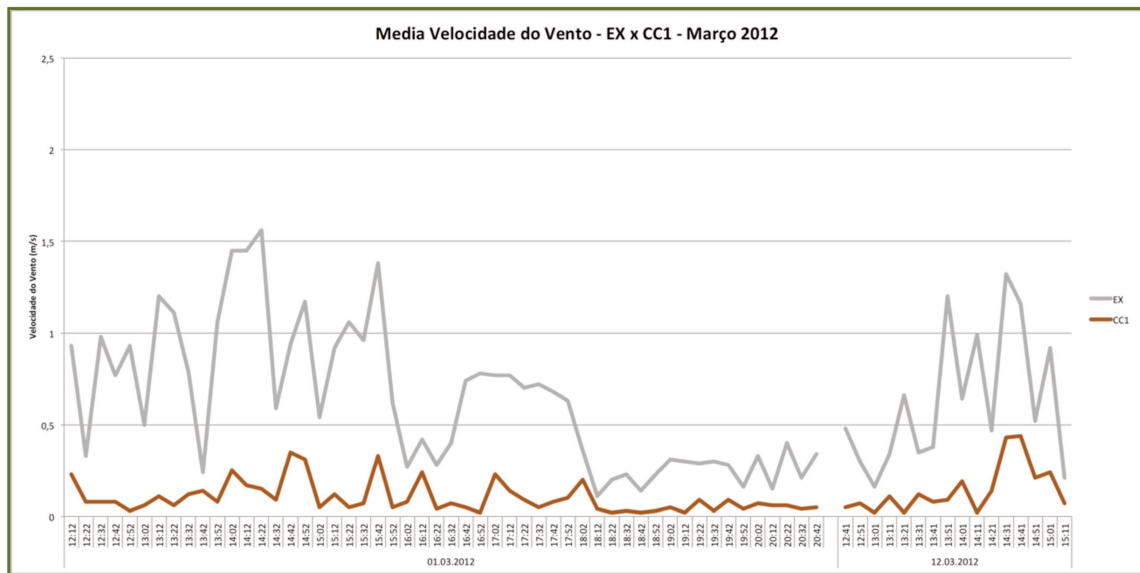


Gráfico 14 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CC2 – 07, 08 e 09 de março de 2012.

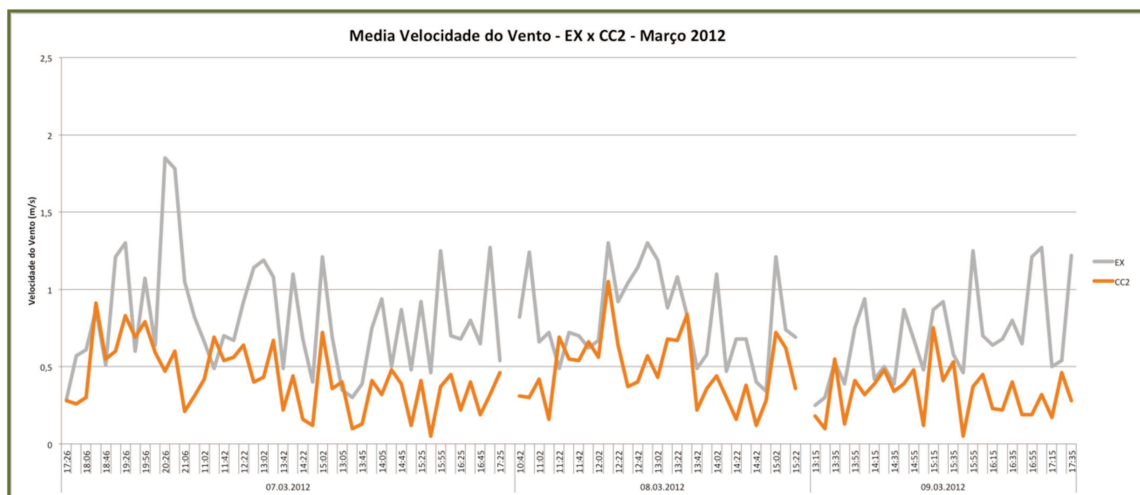


Gráfico 15 - Média da velocidade de vento Pontos EX e CV1 – 02 e 06 de março de 2012.

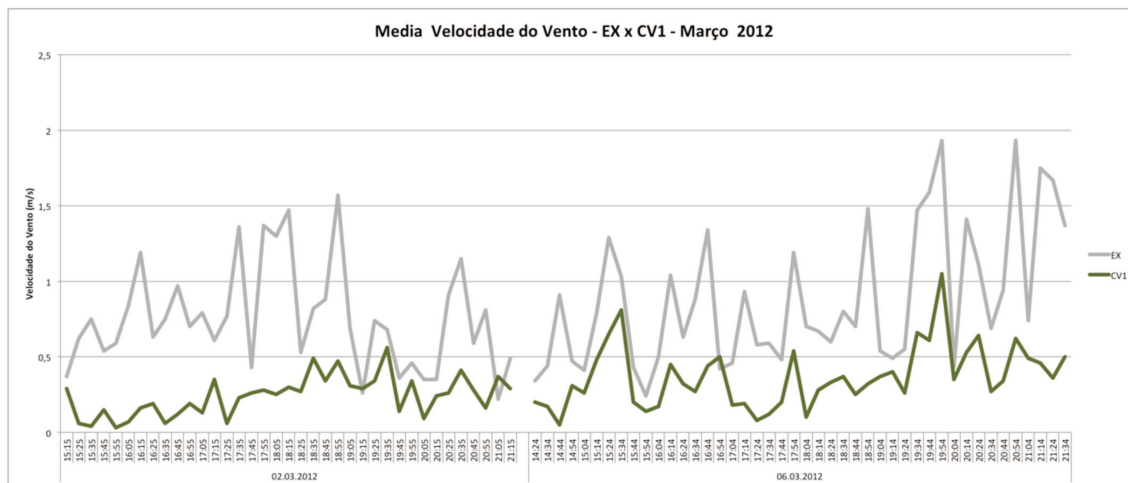


Gráfico 16 – Média da velocidade de vento Pontos EX e CV2 – 08 e 09 de março de 2012.

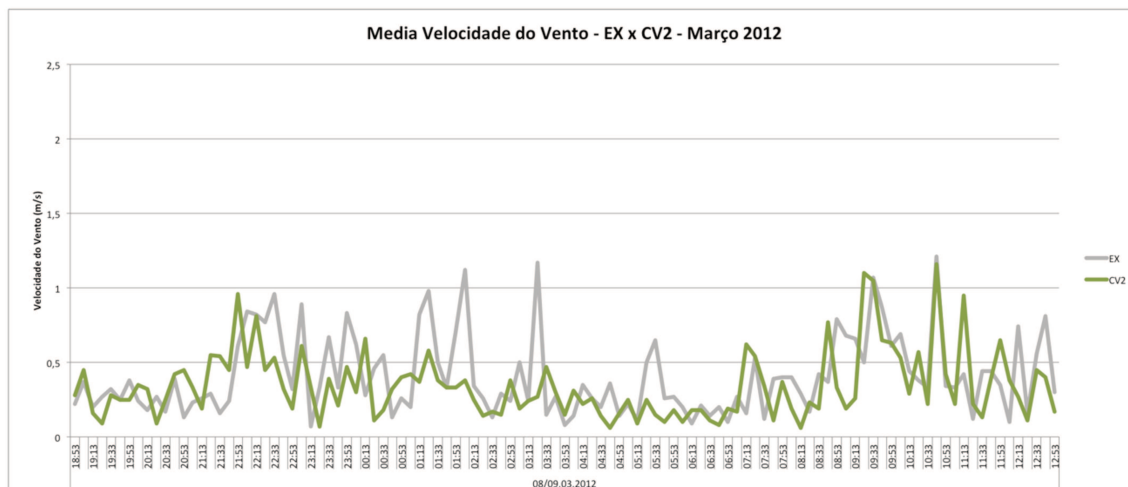
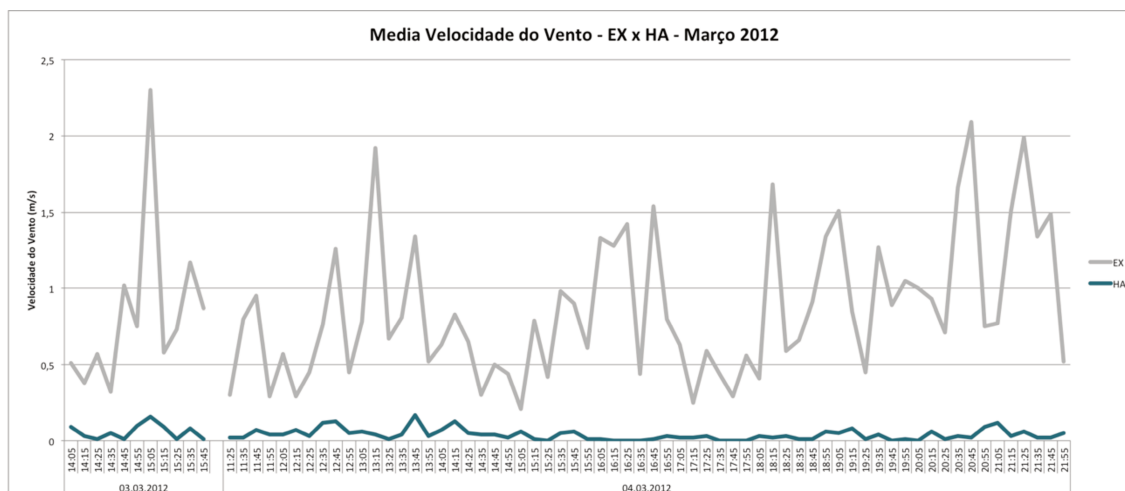


Gráfico 17 – Média da velocidade de vento Pontos EX e HA – 03 e 04 de março de 2012.



As menores velocidades de vento foram registradas no Ponto HA e no Ponto CC1, pontos que são afetados pelas paredes existentes. No Ponto CV2, que é bastante próximo da área externa, as médias da velocidade se aproximaram do Ponto EX.

As maiores temperaturas do ar foram registradas no Ponto EX e as menores Ponto HA. Isso se deve ao fato do hall ser uma área mais interna (praticamente fechada), sem tanta interferência das massas de ar da área semiaberta.

A cobertura verde mostra uma diminuição de temperatura de 9°C nos horários mais quentes do dia.

Apesar disso, os pontos localizados na área semiaberta registraram um comportamento semelhante, com temperaturas e umidade do ar bastante próximas, independentemente de estarem abaixo da cobertura verde ou cerâmica. A partir dos resultados, pode-se inferir que, em relação à temperatura ambiente, a combinação da cobertura verde com a cobertura cerâmica nessa área semiaberta provê uma atenuação da temperatura ambiente externa, com valores de aproximadamente 2,5°C graus.

Pode-se dizer que a cobertura e as paredes existentes funcionam como proteção das intempéries, demonstrando que esse modelo de varanda é uma solução para área de estar, em relação ao conforto térmico.

4.3 – PET – Área semiaberta e área externa

Utilizando os dados das medições in loco, realizadas em março de 2012, de temperatura do ar e de globo, velocidade do ar e também o diâmetro e emissividade do globo utilizado nas medições, foi calculada a temperatura média radiante dos Pontos CC1, CC2, CV1, CV2 e HALL e do Ponto EX para os mesmos horários. Foram gerados gráficos de cada ponto comparando ao Ponto EX (Gráficos 18 a 22). Os horários são diferentes entre cada ponto pois, como havia a disponibilidade de apenas dois anemômetros, foi medido o Ponto EX simultaneamente com um ponto da área semiaberta.

Gráfico 18 – Temperatura Radiante Média nos Pontos EX e CC1 para 01 de março de 2012.

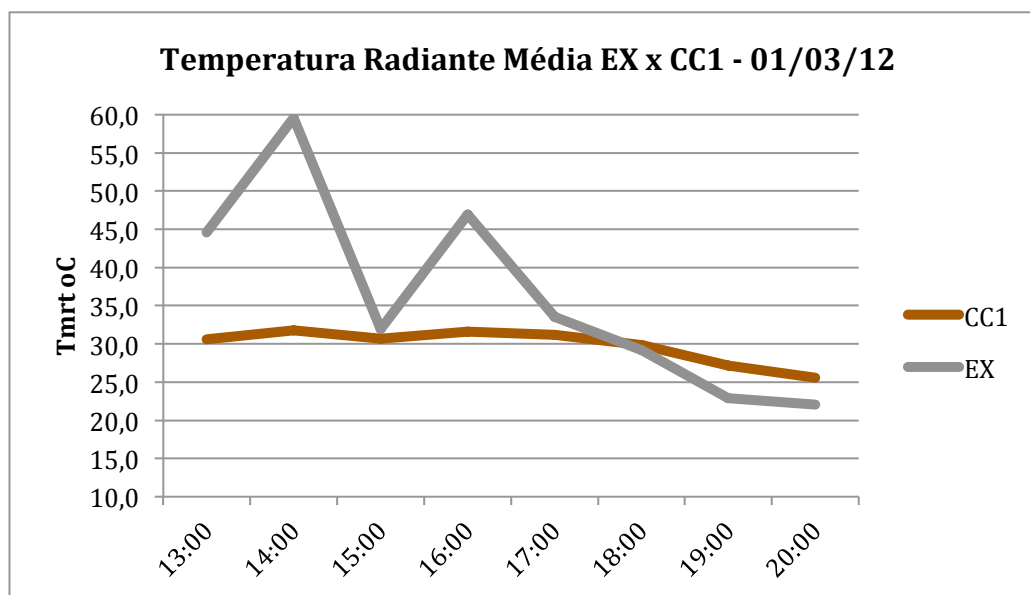


Gráfico 19 – Temperatura Radiante Média nos Pontos EX e CC2 para 07 de março de 2012.

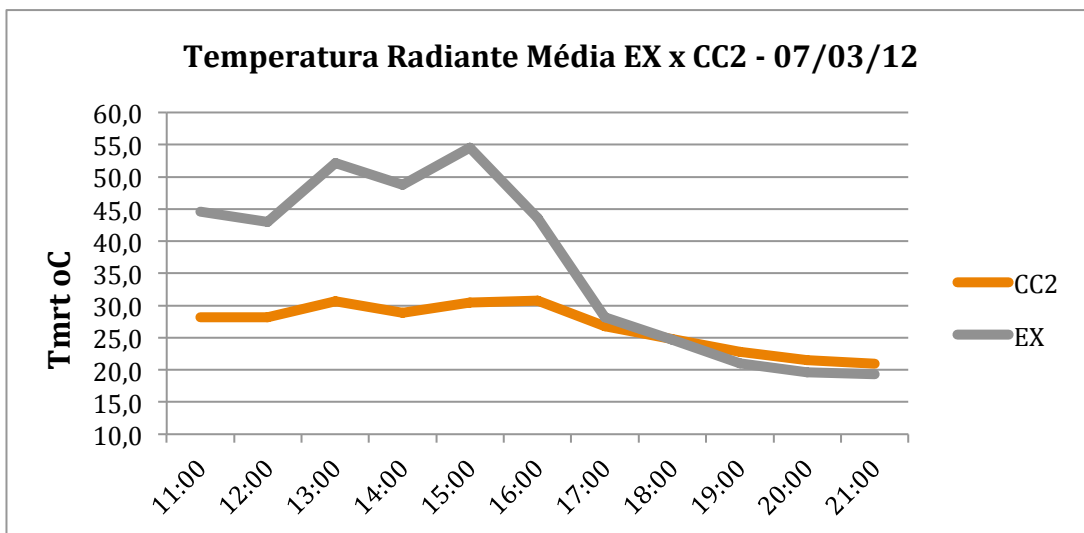


Gráfico 20 – Temperatura Radiante Média nos Pontos EX e CV1 para 06 de março de 2012.

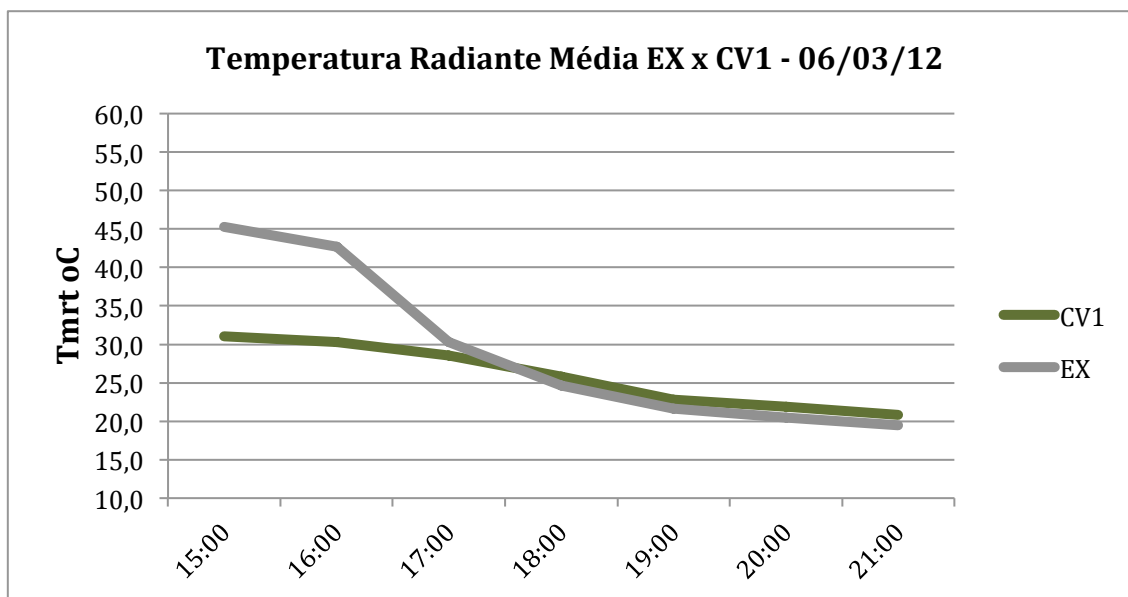


Gráfico 21 – Temperatura Radiante Média nos Pontos EX e CV2 para 08 e 09 de março de 2012.

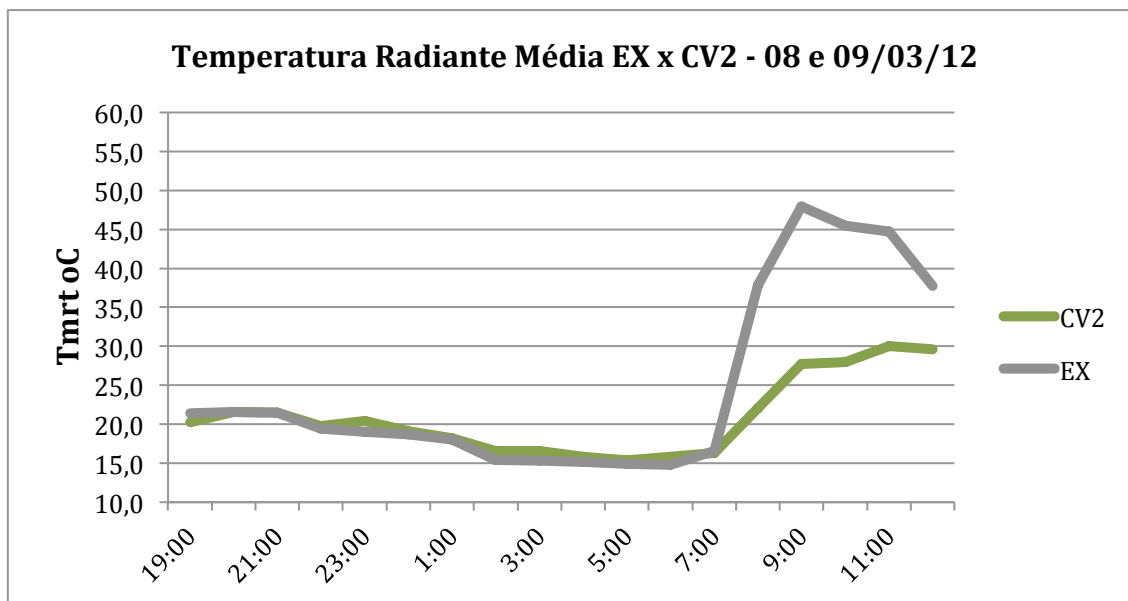
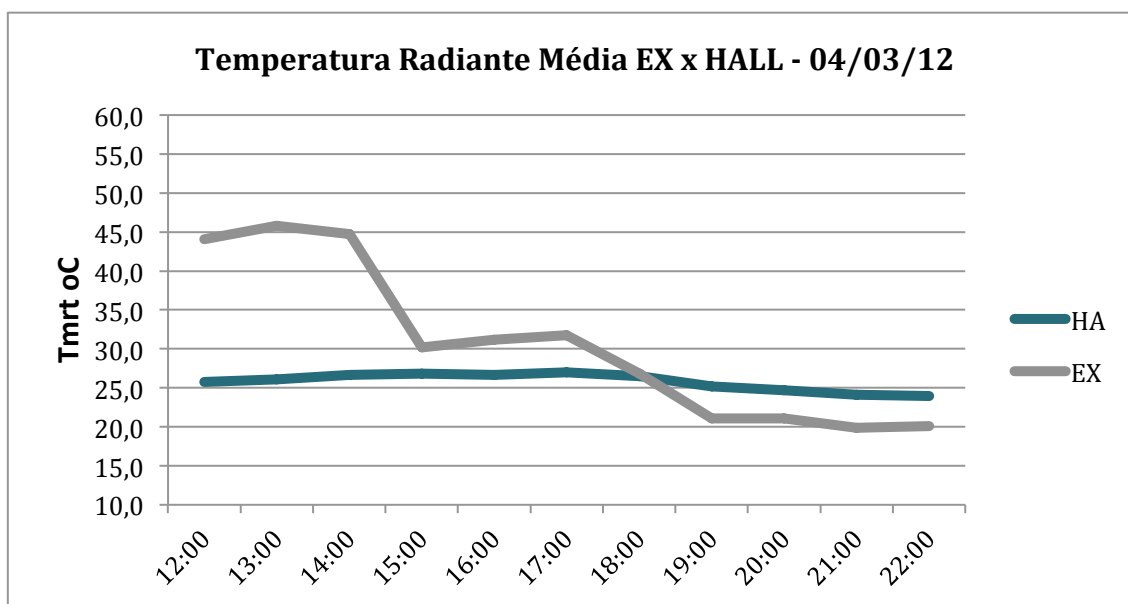


Gráfico 22 – Temperatura Radiante Média nos Pontos EX e HALL para 04 de março de 2012.



Nota-se que em todos os casos a temperatura radiante média se manteve mais estável, principalmente nos horários mais quentes do dia. Após as 17:00 a temperatura radiante interna tende a ser bem mais próxima da externa e a do HALL mais baixa.

Posteriormente, foi utilizado o software RayMan 1.2 (inserindo dados de temperatura do ar e velocidade do vento obtidos nas medições *in loco* e temperatura radiante calculada) para calcular o PET desses pontos. Os dados de entradas foram configurados com:

- Pessoa do sexo masculino
- Altura: 1,75m
- Peso: 75kg
- Idade: 35 anos
- Clo: 0,5 (roupas leves de verão)
- Atividade: 70,0W (trabalho sentado)

Foram geradas tabelas comparando cada ponto da área semiaberta com o Ponto EX (Tabelas 6 a 10). Adotou-se um padrão de cores, seguindo a tabela de sensação térmica proposta por Monteiro e Alucci (2007). Todos os resultados do PET são apresentados nas cores utilizadas nessa tabela (Tabela 4).

Tabela 4 – Tabela cromática de sensação térmica de acordo com o PET. Adaptado de Monteiro e Alucci (2007).

PET (°C)	Sensação
	Muito Calor
43	
	Calor
34	
	Pouco Calor
26	
	Neutra
17	
	Pouco Frio
10	
	Frio
3	
	Muito Frio

Comparando o Ponto CC1 com o EX nota-se que as 14:00, 15:00 e 17:00 a sensação térmica é mais confortável, passando de muito calor e calor a pouco calor (Tabela 5). Em dois horários a sensação é a mesma (16:00 e 20:00) e apenas em um horário, às 19:00, o ambiente do Ponto EX está mais confortável, com sensação de neutra para pouco calor.

Tabela 5 – Comparação do PET entre o Ponto EX e o Ponto CC1, para 01 de março de 2012.

data	h:mm	PET - EX	PET - CC1
1.3.2012	14:00	45.4 Muito Calor	30.8 Pouco Calor
1.3.2012	15:00	31.5 Calor	30.7 Pouco Calor
1.3.2012	16:00	39.9 Calor	31.2 Calor
1.3.2012	17:00	31.4 Calor	30.5 Pouco Calor
1.3.2012	18:00	28.7 Pouco Calor	29.3 Pouco Calor
1.3.2012	19:00	24.0 Neutra	27.4 Pouco Calor
1.3.2012	20:00	22.1 Neutra	25.7 Neutra

Comparando o Ponto CC2 com o EX nota-se que em seis horários a sensação térmica é mais confortável, passando de calor (14:00 às 16:00) e pouco frio (21:00) na área externa para pouco calor e neutra no ponto considerado. Em quatro horários a sensação de conforto é a mesma (17:00 às 20:00) (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparação do PET entre o Ponto EX e o Ponto CC2, para 07 de março de 2012.

data	h:mm	PET - EX	PET - CC2
7.3.2012	12:00	33.3 Calor	25.1 Neutra
7.3.2012	13:00	37.8 Calor	27.3 Pouco Calor
7.3.2012	14:00	36.8 Calor	26.7 Pouco Calor
7.3.2012	15:00	38.9 Calor	27.0 Pouco Calor
7.3.2012	16:00	34.6 Calor	27.9 Pouco Calor
7.3.2012	17:00	25.4 Neutra	25.9 Neutra
7.3.2012	18:00	22.5 Neutra	23.0 Neutra
7.3.2012	19:00	19.7 Neutra	21.0 Neutra
7.3.2012	20:00	17.6 Neutra	18.7 Neutra
7.3.2012	21:00	17.2 Pouco Frio	18.1 Neutra

Comparando o Ponto CV1 com o EX nota-se que as em dois horários a sensação térmica é mais confortável, passando de calor para pouco calor (15:00 e 16:00). Em quatro horários o estresse é o mesmo (17:00, 19:00, 20:00 e 21:00), pouco calor e neutra. Em apenas um horário a sensação é mais confortável no Ponto EX (18:00) passando de neutra a pouco calor (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação do PET entre o Ponto EX e o Ponto CV1, para 07 de março de 2012.

data	h:mm	PET - EX	PET - CV1
6.3.12	15:00	37.9 Calor	29.9 Pouco Calor
6.3.12	16:00	36.1 Calor	29.8 Pouco Calor
6.3.12	17:00	28.9 Pouco Calor	28.5 Pouco Calor
6.3.12	18:00	23.8 Neutra	26.5 Pouco Calor
6.3.12	19:00	20.9 Neutra	22.7 Neutra
6.3.12	20:00	19.7 Neutra	21.3 Neutra
6.3.12	21:00	18.2 Neutra	19.9 Neutra

Comparando o Ponto CV2 com o EX nota-se que em sete horários a sensação térmica é mais confortável, passando de pouco calor e calor (08:00 às 12:00) para pouco calor e neutra. Em nove horários o estresse é o mesmo, neutra (20:00 às 22:00) e pouco frio (02:00 às 07:00). Em apenas um horário (1:00), o ambiente do Ponto EX é mais confortável, com a sensação térmica neutra, quando no Ponto CV2 a sensação térmica é de pouco frio (Tabela 8).

Tabela 8 – Comparação do PET entre o Ponto EX e o Ponto CV2, para 09 de março de 2012.

data	h:mm	PET - EX	PET - CV2
8.3.2012	20:00	21.6 Neutra	22.0 Neutra
8.3.2012	21:00	21.4 Neutra	21.5 Neutra
8.3.2012	22:00	18.4 Neutra	19.5 Neutra
8.3.0212	23:00	17.6 Pouco Frio	18.8 Neutra
9.3.2012	00:00	17.3 Pouco Frio	18.7 Neutra
9.3.2012	01:00	18.1 Neutra	17.9 Pouco Frio
9.3.2012	02:00	14.0 Pouco Frio	16.3 Pouco Frio
9.3.2012	03:00	14.5 Pouco Frio	16.9 Pouco Frio
9.3.2012	04:00	15.6 Pouco Frio	15.6 Pouco Frio
9.3.2012	05:00	14.7 Pouco Frio	15.3 Pouco Frio
9.3.2012	06:00	14.5 Pouco Frio	16.1 Pouco Frio
9.3.2012	07:00	15.1 Pouco Frio	16.1 Pouco Frio
9.3.2012	08:00	27.4 Pouco Calor	21.2 Neutra
9.3.2012	09:00	33.6 Pouco Calor	24.9 Neutra
9.3.2012	10:00	34.2 Calor	24.6 Neutra
9.3.2012	11:00	37.0 Calor	28.1 Pouco Calor
9.3.2012	12:00	35.0 Calor	28.4 Pouco Calor

Comparando o Ponto HALL com o EX nota-se que o Ponto HALL manteve a sensação térmica mais estável – pouco calor e neutra, enquanto o Ponto EX mostrou dois horários com a sensação térmica de calor (13:00 e 14:00) (Tabela 9).

Tabela 9 – Comparação do PET entre o Ponto EX e o Ponto HALL, para 04 de março de 2012.

data	h:mm	PET - EX	PET - HALL
4.3.2012	13:00	37.3 Calor	26.2 Pouco Calor
4.3.2012	14:00	37.0 Calor	27.1 Pouco Calor
4.3.2012	15:00	29.4 Pouco Calor	27.4 Pouco Calor
4.3.2012	16:00	28.7 Pouco Calor	27.4 Pouco Calor
4.3.2012	17:00	27.9 Pouco Calor	27.4 Pouco Calor
4.3.2012	18:00	25.2 Neutra	27.4 Pouco Calor
4.3.2012	19:00	19.8 Neutra	25.6 Neutra
4.3.2012	20:00	19.2 Neutra	25.7 Neutra
4.3.2012	21:00	18.8 Neutra	24.3 Neutra
4.3.2012	22:00	19.1 Neutra	24.3 Neutra

A sensação térmica tende a ser mais confortável na área semiaberta do que na área externa, principalmente nos horários mais quentes do dia, chegando a ter a diferença de até dois pontos na escala de sensação térmica. No entanto nos períodos mais frios, a partir das 18:00, a sensação térmica do exterior e da área semiaberta é mais próxima, muitas vezes permanecendo a mesma. Não se nota uma diferença significativa entre os pontos da área semiaberta.

4.4 – Ensaio em Túnel de Vento

4.4.1 - Túnel de Vento e Painel simulador de Camada Limite

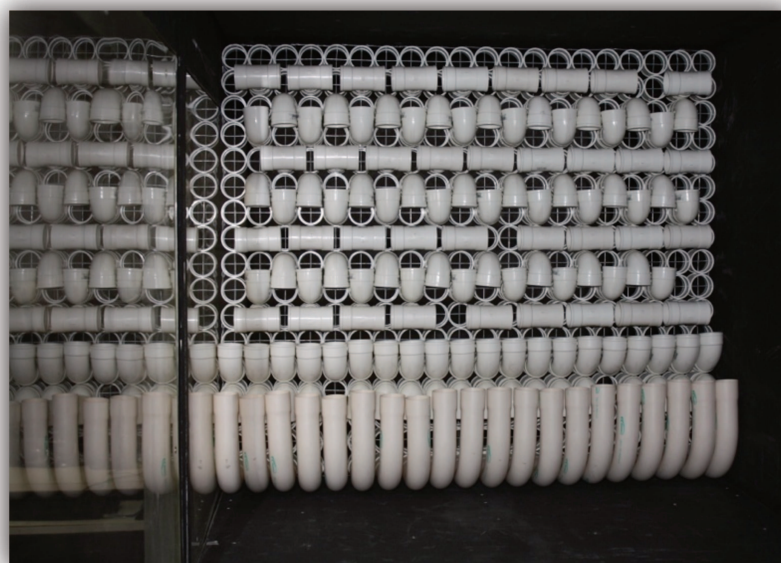
Os ensaio de velocidade do ar em túnel de vento foram realizados no túnel de vento instalado na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP em setembro de 2011 (Figura 26).

Na realização de ensaios no túnel de vento, existe a necessidade de simular os perfis de velocidade e de turbulência que ocorrem na atmosfera, de acordo com a rugosidade da superfície onde está inserida a edificação. Isto exige a construção e instalação de diferentes configurações de obstáculos geradores de turbulência, uma para cada tipo de rugosidade, para acelerar a formação da camada limite e para que ela seja totalmente desenvolvida ao longo do comprimento da seção de ensaio. Para simular a camada limite atmosférica na seção de ensaios do túnel de vento com um perfil de velocidades e de turbulência equivalente à região periférica de uma cidade foi utilizado um painel com luvas e conexões de PVC realizado pelo Pesquisador Doutor Edson Matsumoto na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (Figura 27).

Figura 26 – Maquete fixada no túnel de vento instalado na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.



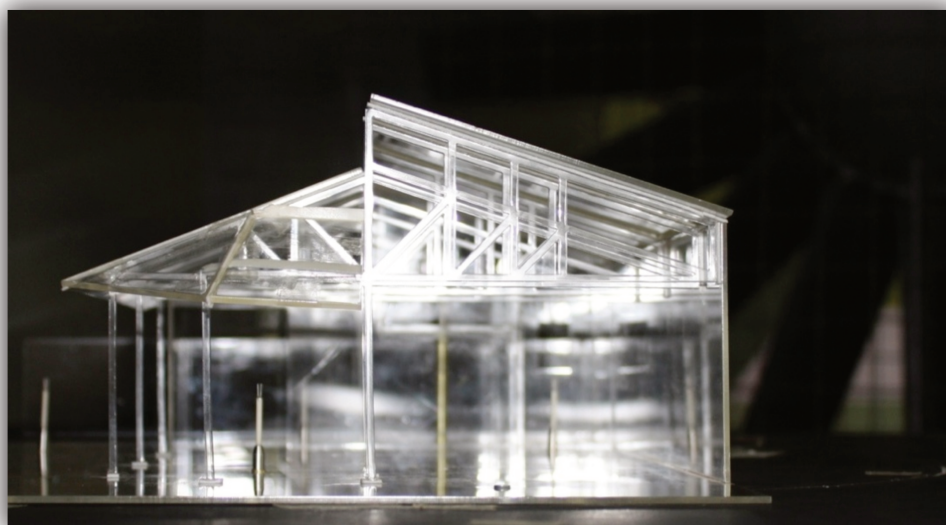
Figura 27 – Painel Simulador de Camada Limite instalado no túnel de vento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.



4.4.2 – Descrição do Modelo

Para avaliar a ventilação natural foi confeccionada uma maquete de acrílico na escala 1:45, escala na qual o modelo mais se aproximou da área necessária – próximo de 7% de obstrução da seção de ensaio do túnel. A maquete foi feita respeitando as aberturas existentes na edificação, inclusive as existentes nas tesouras do telhado (Figura 28).

Figura 28 – Maquete instalada no túnel de vento com os sensores posicionados.



4.4.3 – Pontos de Medição

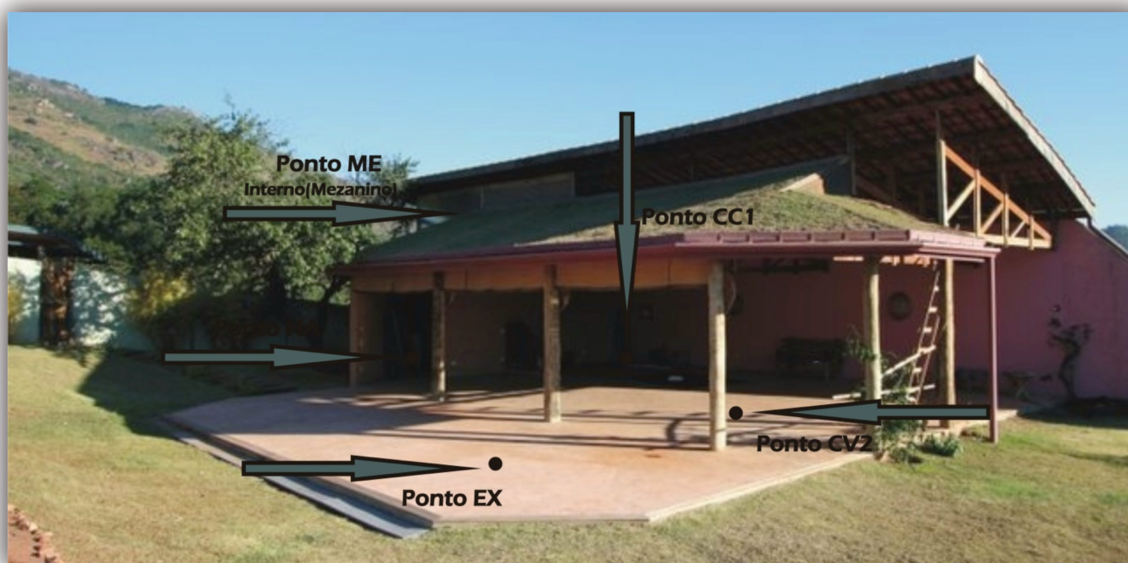
Foram definidos cinco pontos onde seriam inseridos os sensores de velocidade (Figura 29):

- Ponto Externo (EX) – utilizado como comparação com os pontos estudados;
- Cobertura Cerâmica1 (CC1) – próximo da parede;
- Cobertura Verde2 (CV2) - próximo da área externa;
- Hall (HA) – ponto bem central no hall;

- Mezanino – ponto central no mezanino (único ponto diferente dos pontos utilizados nas medições *in loco*).

O critério para escolha dos pontos foi o mesmo utilizado para a definição dos pontos para medições *in loco* - áreas mais utilizadas e também aquelas que, perceptivelmente, apresentam maiores diferenças de ventilação.

Figura 29 – Foto do local estudado. Localização dos pontos de medições no túnel de vento.

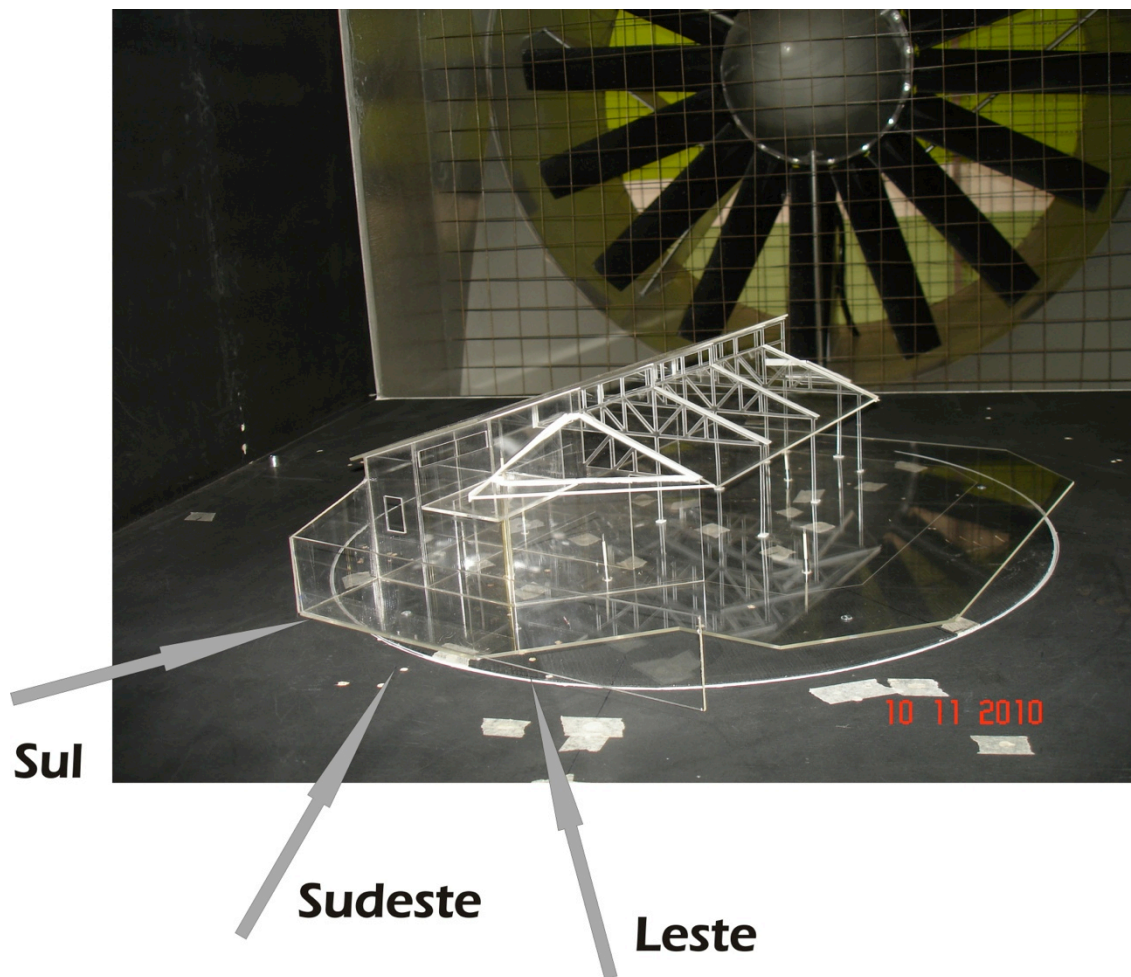


4.4.4 - Ensaio em Túnel de Vento

A maquete foi testada no túnel de vento em três posições diferentes, nomeadas Sul, Sudeste e Leste (Figuras 30 e 31) e três velocidades diferentes em cada posição – Baixa – 0,5 a 1,5 m/s (200 rpm), Média – 2,0 a 3,5 m/s (380 rpm) e Alta – 5 a 7 m/s (560 rpm). As três posições foram escolhidas entre o Sul e o Leste, levando em consideração a direção dos ventos dominantes no Município. A leitura foi feita em um intervalo de 20 segundos em cada ponto e

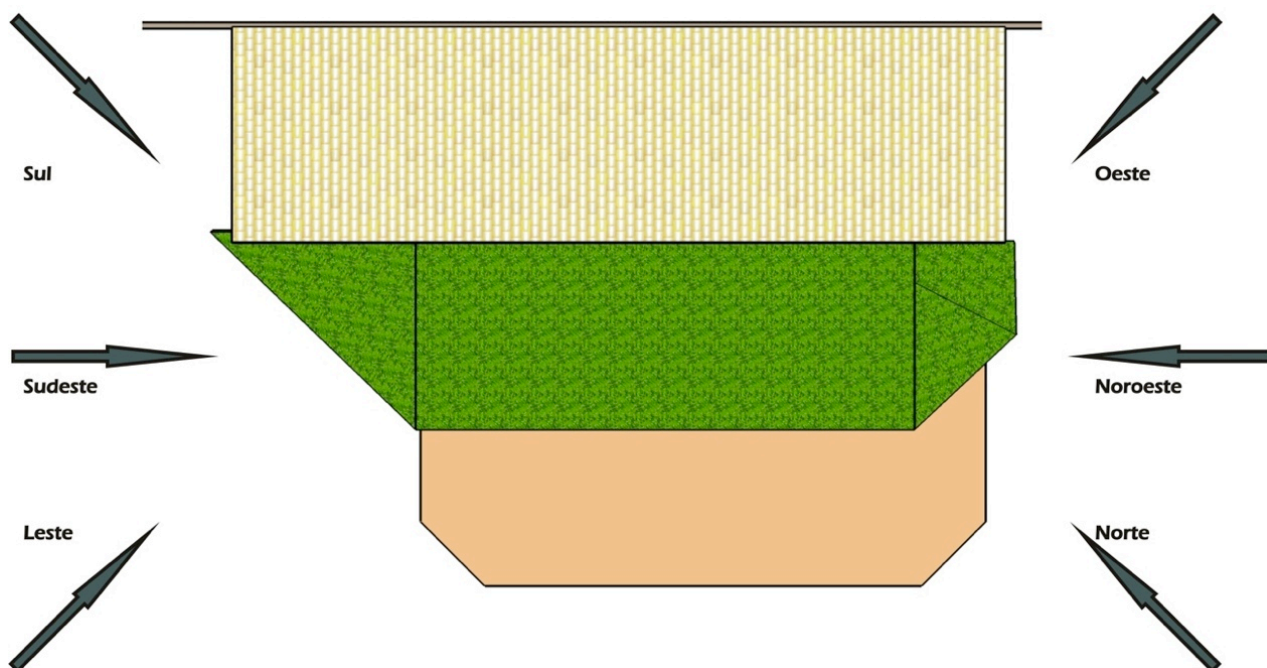
posição. Sendo assim, foram gerados 10.000 valores para cada ponto; a partir daí, foi realizada uma média entre esses valores, sendo essa média a utilizada na avaliação dos resultados.

Figura 30 – Indicação das três posições estudadas (Sul, Sudeste, Leste) na maquete de acrílico inserida no túnel de vento.



Posteriormente a maquete foi posicionada na posição espelhada para verificar a diferença de ventilação natural caso a residência tivesse sido implantada desse modo, sendo Noroeste, Norte e Oeste (Figura 31).

Figura 31 - Indicação na maquete eletrônica das seis posições estudadas no túnel de vento – Posição da implantação atual (Sul, Sudeste, Leste) e espelhada (Norte, Noroeste, Oeste).



4.4.5 - Resultados dos Ensaios em Túnel de Vento

Os dados obtidos nos ensaios em túnel de vento foram separados em nove gráficos de acordo com a posição da maquete no túnel e a velocidade do vento (Gráficos 23 a 31). Foi proposta uma escala de cores para melhor visualização dos efeitos do vento de acordo com a escala de Beaufort (Tabela 10).

Tabela 10 – Parte da Escala de Beaufort, com representação cromática, utilizada para análise dos resultados das simulações em túnel de vento. Adaptada de Gret apud Barroso-Krause (2005).

Escala de Beaufort	Velocidade dos ventos	Fenômenos comumente observados
0	0 a 0,2 m/s	a fumaça (churrasqueira, chaminé, cigarro, etc.) sobe de forma vertical.
1	0,3 a 1,5 m/s	o vento faz a fumaça se inclinar, mas ainda não consegue girar um cata-vento.
2	1,6 a 3,3 m/s	o ser humano percebe o vento no rosto, as folhas das árvores e do cata-vento começam a se mexer.
3	3,4 a 5,4 m/s	as folhas e os pequenos ramos das árvores se mexem de forma contínua e o vento faz as bandeiras se mexerem.
4	5,5 a 7,9 m/s	o vento tira a poeira do chão e levanta folhas de papel.
5	8,0 a 10,7 m/s	as pequenas árvores começam a balançar e começa a fazer espumas nas ondinhas dos lagos.
6	10,8 a 13,8 m/s	fios elétricos começam a se mexer e fica muito difícil usar guarda-chuva.

Gráfico 24 - Velocidade média de vento 2,0 a 3,5 m/s (380 rpm) com a maquete na posição atual (Sul) e espelhada (Norte).

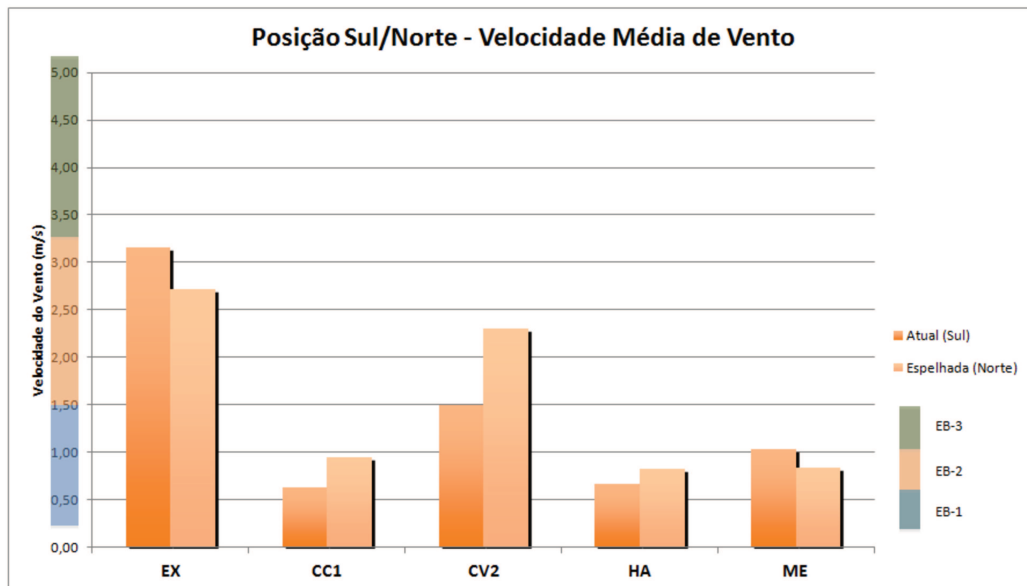


Gráfico 25 - Velocidade alta de vento 5 a 7 m/s (560 rpm) com a maquete na posição atual (Sul) e espelhada (Norte).

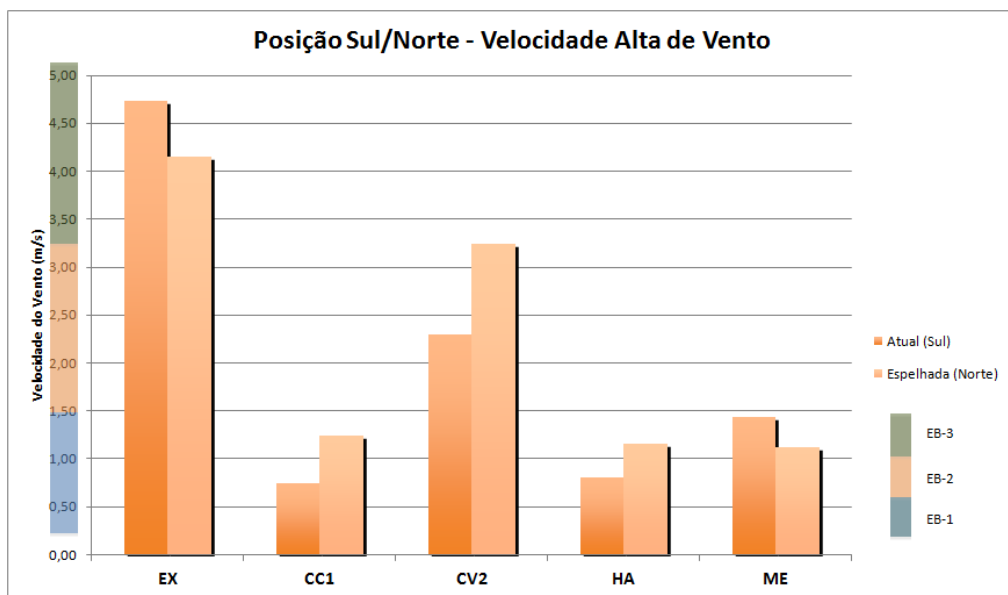


Gráfico 26 - Velocidade baixa de vento 0,5 a 1,5 m/s (200 rpm) com a maquete na posição atual (Sudeste) e espelhada (Noroeste).

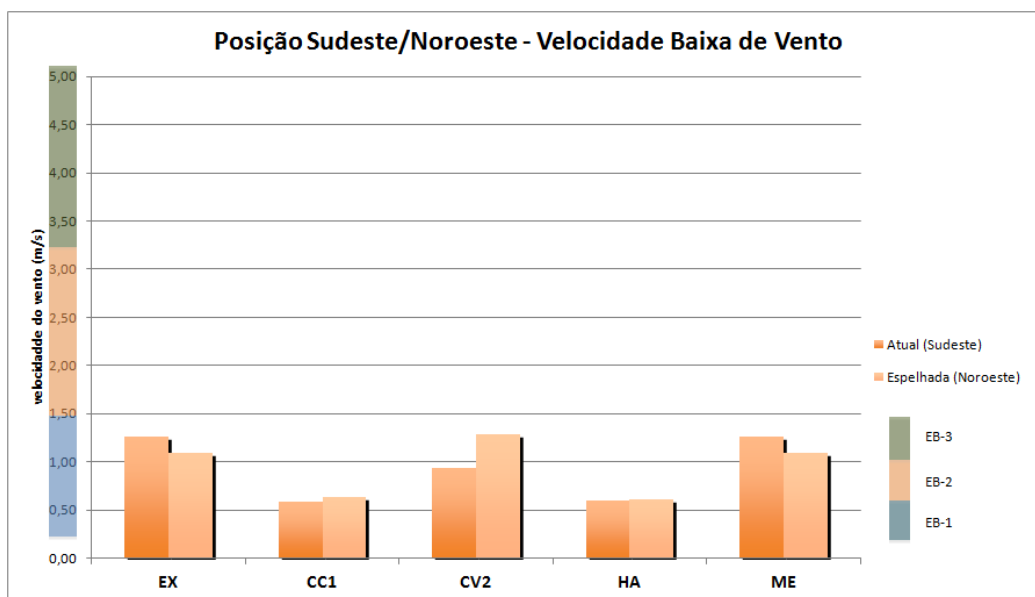


Gráfico 27 - Velocidade média de vento 2,0 a 3,5 m/s (380 rpm) com a maquete na posição atual (Sudeste) e espelhada (Noroeste).

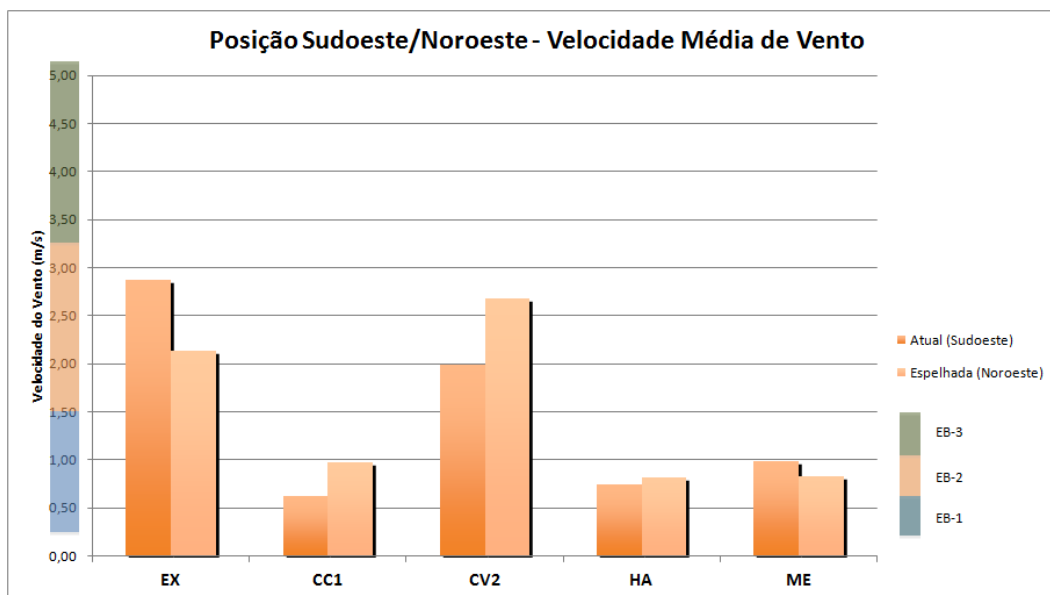


Gráfico 28 - Velocidade alta de vento 5 a 7 m/s (560 rpm) com a maquete na posição atual (Sudeste) e espelhada (Noroeste).

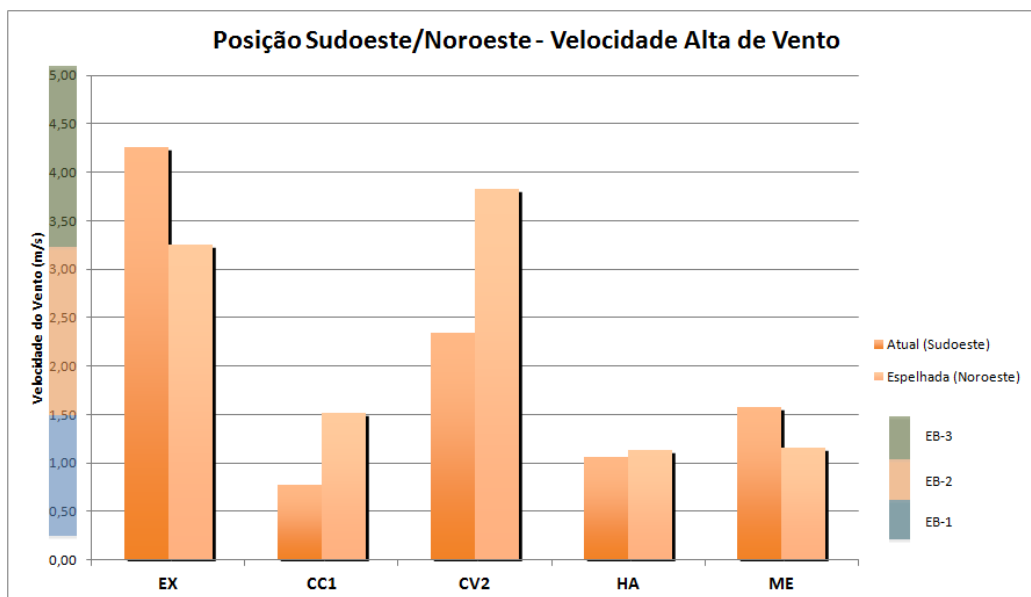


Gráfico 29 - Velocidade baixa de vento 0,5 a 1,5 m/s (200 rpm) com a maquete na posição atual (Leste) e espelhada (Oeste).

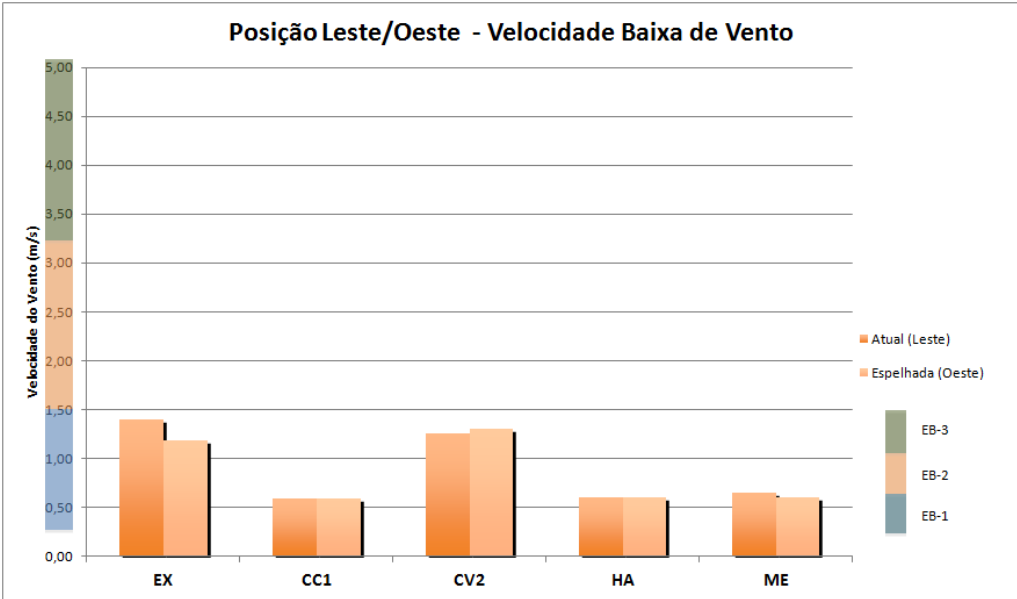


Gráfico 30 - Velocidade média de vento 2,0 a 3,5 m/s (380 rpm) com a maquete na posição atual (Leste) e espelhada (Oeste).

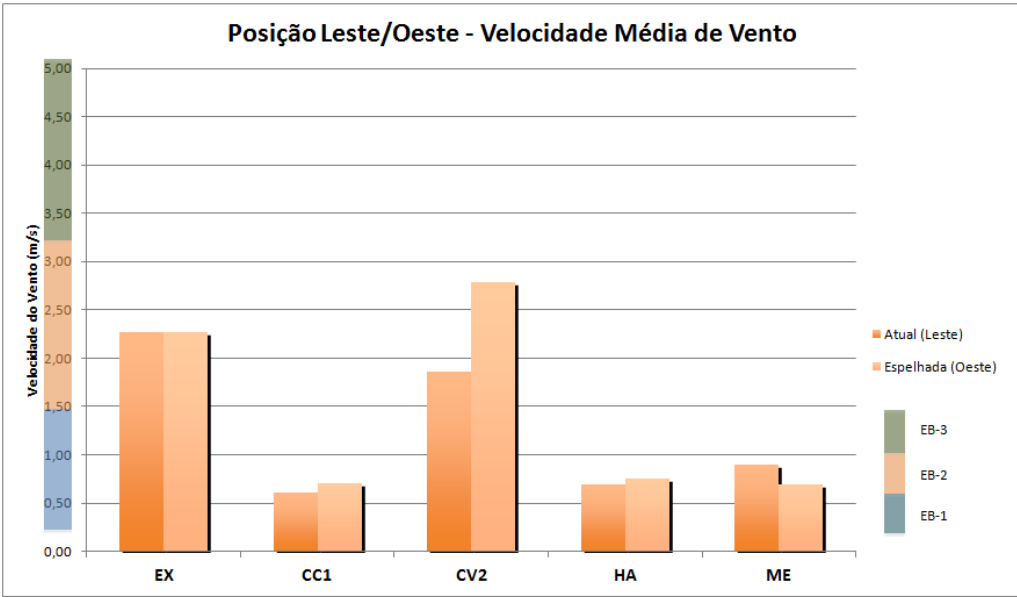
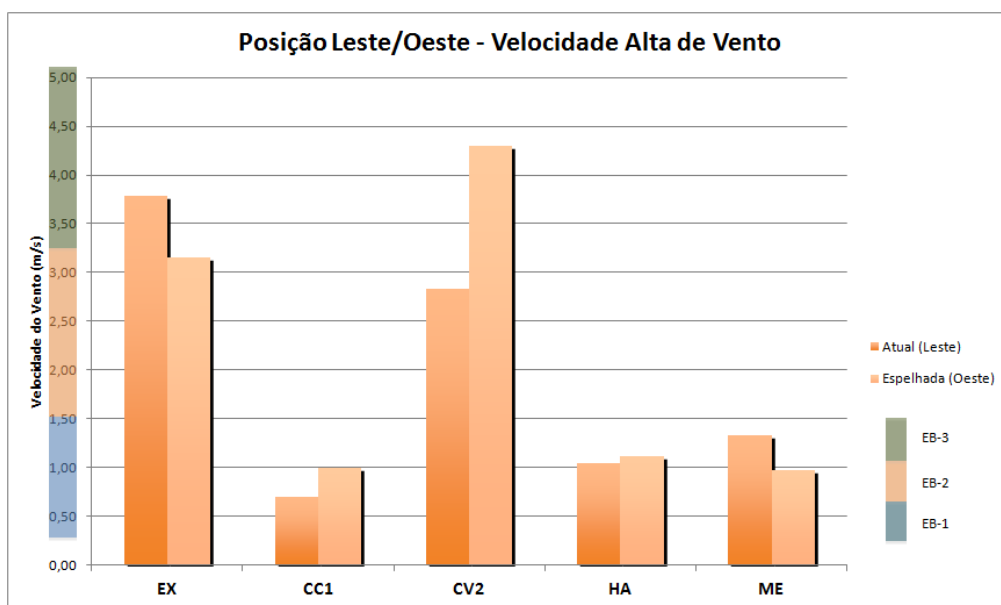


Gráfico 31 - Velocidade alta de vento 5 a 7 m/s (560 rpm) com a maquete na posição atual (Leste) e espelhada (Oeste).



Nenhum resultado ultrapassou a velocidade de 5m/s, que é o considerado aceitável para quem está sentado ou em pé, imóvel, situação mais utilizada no ambiente semiaberto, segundo a tabela de velocidade máxima aceitável (Referencia Fernandez apud Barroso-Krause, 2005). A diferença de posição da maquete (Sul, Sudeste e Leste) não influenciou significativamente os resultados. Em quase todos os casos o Ponto EX registrou a maior velocidade de vento, conforme esperado. Porém, com a maquete na posição espelhada, nas posições Noroeste e Oeste, o Ponto CV2 apresentou uma velocidade do vento mais alta que no Ponto EX. Os Pontos CC1, HA e ME mostraram as menores velocidades, nos dois casos, implantação atual e espelhada, para as três posições. O que se notou é que quanto maior a velocidade do vento, maior a diferença apresentada entre cada um desses três pontos, comparados ao Ponto EX, como também pode ser observado no Gráfico 27 da diferença entre o Ponto CC1 e EX.

O Ponto CC1, apesar de estar situado na área semiaberta, obteve velocidades mais baixas que o Ponto HA, situado na área mais interna, com a maquete na posição atual.

Como a análise esta sendo focada na área semiaberta, e dessa área o Ponto CC1 foi o que mostrou a maior redução da velocidade do vento, foi elaborada uma tabela com os dados para esse ponto e a porcentagem de redução (Tabela 11).

Tabela 11 – Redução da velocidade do vento do Ponto CC1 em relação ao Ponto EX.

Posição	Velocidade do Vento	Ponto	m/s	% de redução
Sul	Baixa	CC1	0,59	50
		EX	1,17	
	Média	CC1	0,63	80
		EX	3,16	
	Alta	CC1	0,75	84
		EX	4,73	
Sudoeste	Baixa	CC1	0,59	50
		EX	1,27	
	Média	CC1	0,62	80
		EX	2,87	
	Vel. Alta	CC1	0,78	82
		EX	4,26	
Leste	Baixa	CC1	0,59	57
		EX	1,40	
	Média	CC1	0,61	73
		EX	2,27	
	Alta	CC1	0,70	82
		EX	3,79	

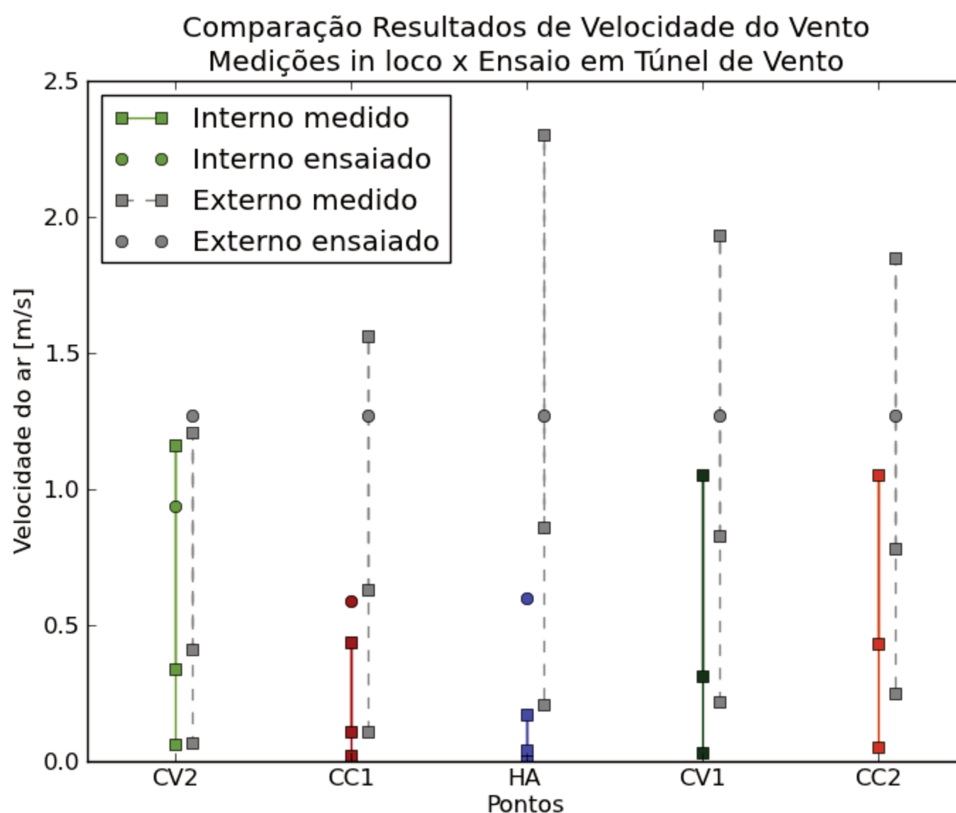
Observa-se que na velocidade de vento alta a redução da mesma é maior e mais constante entre as três posições. É realmente uma redução significativa, afinal é uma área semiaberta. O Ponto CV2, apesar de estar perto da área externa, também mostrou uma redução da velocidade do vento para a posição atual de implantação.

Portanto, esse modo de implantação se mostrou eficiente para a diminuição da velocidade do vento na área semiaberta, muito mais eficiente do que na posição espelhada.

4.5 – Verificação dos dados de velocidade do vento gerados pelas medições *in loco* e pela simulação em túnel de vento

Os dados obtidos no ensaio em túnel de vento foram comparados com os de velocidade do vento obtidos nas medições *in loco* em março de 2012. Foram utilizados os dados obtidos no túnel de vento com a maquete na posição sudeste e com a velocidade baixa de vento (0,5 a 1,5 m/s), pois os resultados nessa velocidade foram os que mais se aproximaram dos medidos *in loco*. Foi gerado um gráfico com a comparação (Gráfico 32). No entanto, apenas os Pontos CV2, CC1 e HA puderam ser comparados, pois, por limitação do número de sensores, não foi feito o ensaio nos Pontos CV1 e CC2; de qualquer maneira foram mantidos no gráfico os resultados das medições *in loco* para esses pontos. Para as velocidades medidas *in loco* foram colocadas no gráfico as velocidades mínimas, máximas e médias de cada ponto, representadas por quadradinhos verdes para os pontos internos e quadradinhos cinzas para o ponto externo (medido na mesma hora do ponto interno correspondente). A média da velocidade de vento medida no ensaio em túnel de vento foi colocada na mesma linha para comparação, representada por bolinhas verdes para os pontos internos e bolinha cinza para o ponto externo. Ao lado de cada linha dos pontos está a linha com a mínima, máxima e média medidas no Ponto EX nos mesmos dias e horas, assim como a média externa medida no túnel de vento.

Gráfico 32 - Comparação entre os resultados de velocidade do vento obtidos nas medições *in loco* e no ensaio em túnel de vento.



A velocidade externa ensaiada quando comparada com as levantadas nas medições in loco para o Ponto EX comparando com os Pontos CC1, CC2, CV1 e HALL está entre as médias e as máximas; porem é um pouco maior do que a máxima medida in loco no Ponto EX (que está sendo comparado com o CV2). No entanto, nos próprios pontos a situação se inverte: encontra-se entre a média e a máxima no Ponto CV2 e maior que as máximas nos Pontos CC1 e HALL. Nota-se que o padrão da velocidade externa medida no túnel de vento está entre as maiores das levantadas in loco. Porem não se nota um padrão exato nos pontos da área semiaberta, fato que talvez se deva à pequena quantidade de dados de comparação, apenas uma tendência a manter-se entre as mais altas ou mesmo mais alta que a máxima medida.

5 - CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Foi feita uma análise de uma área semiaberta utilizada como ambiente de estar, na cidade de Atibaia, SP para verificar o conforto térmico nessa área construída com cobertura verde e cobertura cerâmica. Foram feitas medições *in loco* de temperatura, temperatura de globo, umidade do ar e velocidade de vento, cálculo do PET, e foi executada uma maquete em acrílico da área e testada em túnel de vento.

Verificando o diagrama baseado nos conceitos de Coffman (2007) para a cobertura verde da residência semiaberta estudada (Figura 9), que mostra que a cobertura foi projetada tendo como meta principal a de proporcionar conforto térmico e consequentemente contribuir para a eficiência energética da edificação, verificou-se que a cobertura esta cumprindo essa função. A cobertura verde se mostrou eficiente para oferecer um atraso térmico e para transmitir uma temperatura mais estável para o ambiente, afinal a análise das temperaturas superficiais internas mostrou que a cobertura verde oferece uma atenuação de até 9°C em relação à da cobertura cerâmica, nos horários mais quentes do dia. No entanto, quando as massas de ar se misturam no ambiente as temperaturas do ar dos pontos localizados abaixo da cobertura verde se assemelham às localizadas abaixo da cobertura cerâmica, proporcionando uma atenuação da temperatura comparada ao ambiente externo, de aproximadamente 2,5°C. A análise do PET mostrou que a área semiaberta chega a ficar até dois graus mais confortável do que o ambiente externo, especialmente nos horários mais quentes do dia. Isso se deve ao fato da temperatura radiante da área semiaberta estar sempre muito mais baixa do que a externa nesses horários.

A análise da ventilação natural, feita através do ensaio em túnel de vento e medições *in loco*, mostrou que esse modo de implantação em forma de varanda se faz eficiente para a diminuição da velocidade excessiva do vento na área semiaberta, fator importante para se utilizar a área, principalmente em cidades que necessitem de área protegidas do vento, como é comum em muitas regiões do Brasil. O modelo de varanda com cobertura verde se mostrou uma boa forma para habitação para essa região.

6 – TRABALHOS FUTUROS

6.1 – Simulação no Software DOMUS

Como a temperatura do ar na área de transição tem valores aproximados de temperatura do ar, temperatura radiante e PET nos pontos independentemente de estarem abaixo da cobertura verde ou da cobertura de telha cerâmica; mas como também a temperatura superficial interna das coberturas mostra uma grande diferença, que se reflete no calor irradiado ao ambiente, notou-se a necessidade de fazer uma simulação considerando uma cobertura verde e outra de telha cerâmica, como é na área de estudo, e como seria se toda a área fosse de cobertura verde ou com telha cerâmica.

O software Domus desenvolvido pelo professor Nathan Mendes, da PUC-PR, pode ser escolhido, pois o programa permite a simulação de um ambiente semiaberto - colocando aberturas nas áreas entre as colunas, como se fossem grandes janelas constantemente abertas. Através dessa análise provavelmente será possível determinar o quanto a cobertura verde influencia na temperatura da área semiaberta e se ela pode ser considerada benéfica para o ambiente.

6.2 – Análise do Ciclo Hidrológico

O segundo ponto importante ao considerar o domínio de Coffman (2007), logo após o de Conforto Térmico, foi o do Ciclo Hidrológico. Seria interessante haver essa análise, comparando com a parte da cobertura que é cerâmica, para ver qual a contribuição da cobertura verde nesse aspecto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings**. James & James. UK, 1998.

ALMEIDA, M. A. M. **Coberturas naturadas e qualidade ambiental: uma contribuição em clima tropical úmido**. Dissertação de mestrado. Faculdade de arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

BARROSO-KRAUSE, C., SANTOS, M. J. O., NIEMEYER, M.L., PORTO, M.M. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto**. Proarq - DTC FAU- UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

BEIS, L. **“Terpsithea” Sustainable Housing Project in Porto Rafti, Greece**. Beis & Associates architects – civil engineers. PALENC, 2010.

BITTENCOURT, L.S.; MARTINS, T.A.L.; BASTOS, L.E.G.; BARROSO-KRAUSE, C.M.L. **Wind-tower for Natural Ventilation in Brazilian Terrace Houses**. Universidade Federal de Alagoas, Brazil; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil. PALENC, 2010.

BOUYER, J.; VINET, J., DELPECH, P., CARRE, S. **Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Volume 95, Issues 9–11, Pages 963–976. Outubro 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016761050700027X>.

BRANDAO, H. C. L. ; MARTINS, A. M. M. **A Varanda e suas Contribuições para a Sustentabilidade**. In: 7º Seminário Internacional NUTAU'2008; Espaço Sustentável: inovações em edifícios e cidades, 2008, SÃO PAULO. Seminário Internacional NUTAU'2008; Espaço Sustentável: inovações em edifícios e cidades. São Paulo, 2008. Disponível em:

<http://www.usp.br/nutau/CD/70.pdf>

CAMARA. 2011. Disponível em: - <http://www.camaraatibaia.sp.gov.br/atibaia/ambiental.htm>

CHIESA, G.; RAMPONI, R.; ADHIKARI, R.S. **Energy impact of ventilation in building design - A literature review**. Dept. Building Environment Science & Technology, Politecnico di Milano, Milano, Italy. PALENC, 2010.

CHUN, C., KWOKB, A. TAMURAC, A. **Thermal comfort in transitional spaces—basic concepts: literature review and trial measurement**. Building and Environment 39 (2004) Pages 1187–1192. Fevereiro 2004. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304000733>

COCH, H. **Bioclimatism in Vernacular Architecture**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2(1998) 67-87. 1998. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032198000124>

COFFMAN, R.R. **Vegetated roof systems: design, productivity, retention, habitat, and sustainability in green roof and ecoroof technology**. Dissertation, The Ohio State University, 2007. Disponível em: http://etd.ohiolink.edu/view.cgi?acc_num=osu1196868927

DUNNET, N.; KINGSBURY, N. **Planting Roofs and Living Walls**. Timber Press. Londres, 2008.

EFTHIMIADOU, A.; TZOUVADAKIS, I. **The role of Green Roofs in big cities. Are Green Roofs a solution for better climatic conditions? Case study: Athens**. Open University of Cyprus, Cyprus; National Technical University of Athens, Greece. PALENC, 2010.

EUMORFOPOULOU, E.; ARAVANTINOS, D. **The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece** *Energy and Buildings*. 27(1): 29-36, 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778897000236>

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2012. Disponível em: <http://www.fflorestal.sp.gov.br/>

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Elsevier. London, 1976.

HOPPE, P. **The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment**. International Journal of Biometeorology. Volume 43, Issue 2, pp 71-75. October 1999. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s004840050118?LI=true>

HESCHONG, L. **Thermal Delight in Architecture**. The MIT Press. Massachusetts, 1979.

IBGE, 2011 - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=350410>

JIMÉNEZ, M.J.; ENRÍQUEZ, R. HERAS, M.R. **System identification applied to energy analysis in a bioclimatic office building in semidesertic weather in the south of Spain**. Department of Energy, Energy Efficiency in Buildings Unit, CIEMAT, Madrid, E-28040, Spain. PALENC, 2010.

KOTOPOULIS, G. **Implementation of an Extensive Green Roof on the New Building of the Bank of Greece in Thessaloniki, Northern Greece. A paradigm of an efficient Mediterranean green roof**. Egreen, Greece. PALENC, 2010.

KUMAR, R., KAUSHIK, S. C. **Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings**. Building and Environment 40 (2005) 1505–1511. 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304003427>

LABAKI, L. C.; FONTES, M.S. G.C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; DACANAL, C. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 167-183, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n1/v12n1a03.pdf>

LA ROCHE, P. **Green Cooling: Combining Vegetated Roofs With Night Ventilation**.ASES 2006 Conference, 2006. Disponível em:

http://www.esupomona.edu/~pmlaroche/rdocs/P142_LaRoche_ASES%202006.pdf

MARAGNO, G. V.; COCH, H. **O Desenho da varanda e sua repercussão ambiental na arquitetura das casas brasileiras**. XI ENCAC/VII ELACAC, 2011.

MARAGNO, G. V.; COCH, H. **Integrated environmental response of shaded transitional spaces in hot climates: the design of the Brazilian veranda**. Palenc, 2010. Disponível em:

<http://upcommons.upc.edu/e-prints/handle/2117/11311>

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. **Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature**. Int J Biometeorol. 43:76–84. 1999. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10552311>

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model**. PLEA, 23., 2006, Genève. Genève: Université de Genève, 2006. v. 2, p. 449-453. Disponível em:

http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/PLEA2006_PAPER196_II_449_453.pdf

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model**. Int J Biometeorol. 54:131–139 DOI 10.1007/s00484-009-0261-0. 2010. Disponível em:

<http://link.springer.com/article/10.1007/s00484-009-0261-0?LI=true>

MINKE, G. **Techos Verdes – Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Colômbia. Abril, 2010.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Calibration of outdoor thermal comfort models**.

PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 6-8 September, 2006. Disponível em:

http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/Vol1/PLEA2006_PAPER314.pdf

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Conforto Térmico em Espaços Abertos com Diferentes Abrangências Microclimáticas: parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos.** ENCONTRO NACIONAL, 9., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

MONTEIRO, L.; ALUCCI, M. P. **Conforto térmico em ambientes semi-confinados: Proposição de Modelo Adaptativo.** PARC. Volume 1, Numero 4. Novembro, 2009.

MORAIS, C. S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlo – SP.** Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em:
http://www.bdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_arquivos/7/TDE-2004-08-09T12:59:29Z-185/Publico/DissCSM.pdf

OSMANI, M.; O'REILLY, A. **Feasibility of zero carbon homes in England by 2016: A house builder's perspective.** Building and Environment Volume 44, Issue 9, Setembro 2009, Páginas 1917-1924. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230900016X>

RayMan - <http://www.urbanclimate.net/rayman/rayman.htm>

WONG, N.H.; CHENA, Y.; ONG, C.L., SIAB, A. **Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment.** Building and Environment. Volume 38, Issue 2, , Páginas 261–270. Fevereiro 2003. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132302000665>

ZHAI, Z.; PREVITALI, J. M. **Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation.** Energy and Buildings 42, 357–365, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809002400>