

MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

ESTADO DA ARTE ACERCA DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: DA ESCALA URBANA À DO EDIFÍCIO

CLÁUDIO E. PIETROBON - carmen@cybertelecom.com.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil
87020-900 – Maringá, PR, Brasil

ROBERTO LAMBERTS - lamberts@ecv.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil
Cx. P. 476 – 88040-001 – Florianópolis, SC, Brasil

FERNANDO O.R. PEREIRA - feco@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Cx. P. 476 – 88040-001 – Florianópolis, SC, Brasil

***Resumo.** Esta revisão bibliográfica apresenta as pesquisas realizadas nos EUA, incluindo estudos do Lawrence Berkeley Laboratory - University of California – além das revisões de MEIER(1991) e GIVONI(1991). Descreve estudos nacionais e pesquisas acerca das estratégias funcionais do paisagismo, visando a atenuação do rigor climático, a adequação visual e a racionalização do uso final de energia elétrica no ambiente construído.*

Palavras-chave: Conforto Térmico e Visual, Conservação de Energia, Paisagismo

1. INTRODUÇÃO

A aplicação da vegetação para melhorias no ambiente construído, na escala urbana e na do edifício, tem sido reconhecida por profissionais das mais diversas áreas de conhecimento. Desde as mais remotas eras, o paisagismo tem sido utilizado funcionalmente com esta finalidade. OKE (1978) apresenta um balanço de calor esquemático entre uma árvore e o edifício, indicado na figura 1 à esquerda, onde: T_g - temperatura do solo e T_b - temperatura do edifício e T_e e T_i , temperaturas do exterior e interior da copa da árvore e T_a - Temperatura do ar, obedecendo as seguintes condições de contorno: $T_g \sim T_b < T_e < T_a < T_i$. YATES e McKENNAN (1989) apresentam na figura 1 à direita, os possíveis caminhos da iluminação difusa da abóbada celeste nas árvores e no ambiente construído, na escala do edifício. Os caminhos identificados são: **A**- Penetração da luz direta nos vazios dos galhos e folhas; **B**- A reflexão da luz pela árvore; **C**- Penetração da luz refletida internamente nos galhos da árvore; **D**- Iluminação transmitida através das folhas; **E**- Iluminação refletida pelo albedo do solo para o hemisfério superior da abóbada celeste; **F**- Iluminação refletida pelo albedo do solo para edificação.

2. INFLUÊNCIA DO PAISAGISMO: DA ESCALA URBANA À DO EDIFÍCIO

2.1 A Experiência Norte-Americana

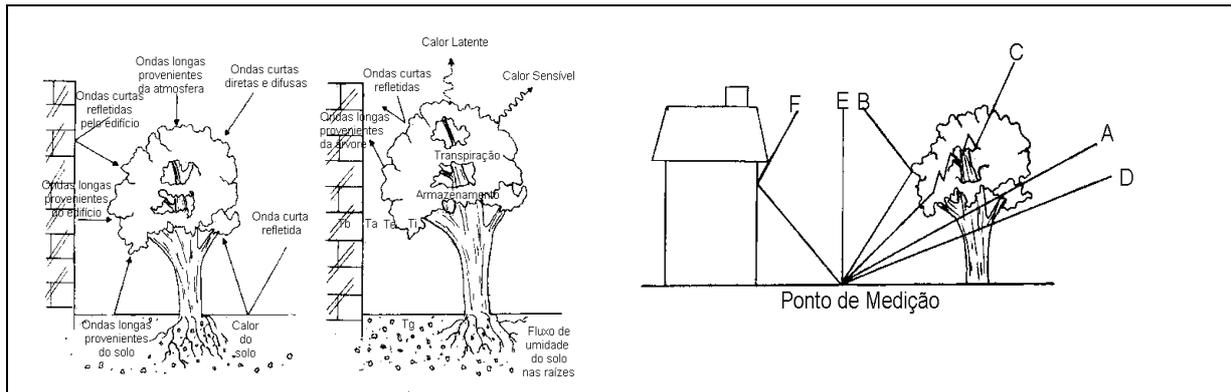


Figura 1. Representação esquemática do balanço térmico e luminoso de uma árvore na escala do edifício, segundo OKE, 1978 e YATES e McKENNAN, 1979.

ZANETTO (1978) apresenta um estudo sobre a locação e seleção de árvores para atenuar os efeitos da radiação solar na escala de vizinhança urbana, na parte sul do “*Central Valley*” na “*California*”, utilizando-se da geometria da insolação e apresenta resultados qualitativos. PARKER (1982) analisa a conservação de energia em residências pelo uso de paisagismo. Em “*Miami*”, através de monitoramento do consumo energético, por curtos períodos de tempo, obtém resultados de economia de energia elétrica da ordem de 58,9% e 57,6%, nas tardes muito quentes. DeWALLE *et alii* (1983) tratam da influência de reflorestamentos urbanos, no condicionamento artificial de “*trailers*” na “*Pennsylvania*”. PARKER (1983) aplica o paisagismo para redução no consumo energético devido ao resfriamento artificial de residências no clima Quente e Úmido de “*Miami*”. WAGAR (1984) apresenta um estudo sobre as estratégias de paisagismo para controle da radiação solar, através do sombreamento de janelas, empregando a geometria da insolação, para a latitude de 32° N, na “*California*”. McPHERSON *et alii* (1988) estudam o impacto da vegetação na climatização artificial, em residências situadas em 4 cidades: “*Madison, Salt Lake City, Tucson e Miami*”. Utilizaram-se os “*softwares*” SPS analisando a radiação solar e a vegetação e o MICROPAS para a simulação energética. O resfriamento artificial mostrou-se mais efetivo com o sombreamento da cobertura e de paredes externas (oeste), ao passo que o aquecimento apresentou-se mais efetivo no sombreamento das paredes externas (sul e este). No caso do clima frio de “*Madison*”, o custo devido ao aquecimento artificial aumentou em 28%. No caso de resfriamento e sombreamento no clima de “*Miami*”, o custo reduziu-se em 61%. BITAN (1988) expõe uma metodologia usando a climatologia em planejamento urbano até a escala do edifício, incluindo o paisagismo entre as variáveis. Afirma que quando o clima é levado em conta em todas as escalas espaciais do ambiente construído há economia no consumo energético. Como quebra-ventos, McPHERSON (1988) discorre sobre as funções de áreas verdes e sua influência no ambiente urbano, especialmente para climas frios. SOUZA (1993) avalia o clima urbano através de interpretação de imagens de satélite (LANDSAT-5). São identificadas “*Ilhas de Calor*” urbanas na cidade norte-americana de “*Green Bay-WI*”. O “*software*” ERDAS foi utilizado para o tratamento computacional das imagens e pôde-se quantificar que os locais alta densidade de ocupação apresentam situação de calor. Com quebra-ventos arbóreos, para evitar a perda de calor no ambiente interno, em situação de climas frios, nos quais se analisa a conservação de energia, têm-se os trabalhos de DeWALLE *et alii* (1993), MATTINGLY *et alii* (1994); EVANS (1994) e STATHOPOULOS (1994).

2.2 A Experiência do *Lawrence Berkeley Laboratory - University of California*

HUANG *et alii* (1987), analisam o potencial da vegetação para reduzir a carga térmica do resfriamento artificial de verão, em residências. Utilizaram o “software” DOE-2.1D para simulação computacional dos aspectos térmicos, após a adaptação para a inclusão do sombreamento vegetal. Os resultados indicam que um aumento de 25% na quantidade de árvores pode conservar cerca de 40% da energia despendida por uma residência localizada em “Sacramento” e 25% em “Phoenix” e “Lake Charles”. Se houver uma adequação no paisagismo a conservação pode subir até 50% em “Sacramento”. Uma análise paramétrica dos casos indica que o potencial de conservação devido ao incremento na evapotranspiração é de 10% a 30%. MEIER e FRIESEN (1987) propõem estratégias apropriadas para a implantação de paisagismo e citam pesquisas anteriores de PARKER (1981), em “Miami”, cujo objeto de estudo apoia-se na medição no local de duas “mobile homes”, utilizadas como creche. O paisagismo utilizado compõe-se de árvores e arbustos e a maioria dos monitoramentos ocorre durante os fins de semana, com o ambiente desocupado. A média de conservação de energia elétrica atinge 24% com o ambiente ocupado e 35% sem a ocupação. Em dias ensolarados, a conservação de energia atinge até o valor de 65%. AKBARI *et alii* (1988) pesquisam o impacto das “Ilhas de Calor” no consumo de energia para resfriamento e as emissões de CO₂ no tocante à qualidade ambiental urbana. Chegam a uma análise de projeção de custos, para as estratégias de arborização e superfícies claras, bem menor que a estratégia de condicionamento artificial. TAHA *et alii* (1989) mediram, a temperatura do ar e a velocidade no interior das copas de árvores de um pomar isolado, e a barlavento e sotavento do mesmo, ao norte e ao sul na cidade “Davis, CA”. Foram utilizadas cinco estações meteorológicas : três internamente ao pomar e duas externamente. As diferenças quantitativas entre os valores obtidos entre o pomar e as áreas abertas foram afetadas pela nebulosidade e pelo vento. AKBARI e ROSENFELD (1989) resumem o conteúdo de 2 artigos anteriores, nos quais analisam-se a arborização urbana e o alto albedo do envoltório das edificações pintadas em cor branca, em três partes: os efeitos da “Ilha de Calor”, a redução destes efeitos e o controle das emissões de CO₂ para a atmosfera. Os artigos mencionados são de AKBARI *et alii* (1988, 1989). No primeiro artigo, os autores afirmam que o uso de cores claras no envoltório das edificações e o emprego de sombreamento arbóreo constituem-se em duas maneiras de baixo custo de implementação para reduzir os efeitos das “Ilhas de Calor” e auxiliam no resfriamento natural, em escala urbana, conhecido como “Oásis de Verão. A arborização urbana é indiretamente cerca de 15 vezes mais eficiente para consumir CO₂ que a arborização rural. Quantificam que dentre 4 possibilidades de ação: superfícies claras, sombreamento arbóreo, arborização urbana e parques com vegetação, a primeira opção é a medida mais eficiente. A opção de sombreamento arbóreo de edificações é o dobro mais eficiente que a arborização urbana e parques, na redução do consumo energético oriundo do condicionamento artificial. Dentre o sombreamento arbóreo, arborização urbana, parques, árvores da zona rural, as árvores situadas no lote conservam mais energia no resfriamento por sombreamento das edificações, reduzem a poluição atmosférica através da absorção do CO₂ e contribuem para minimizar o fenômeno da “Ilha de Calor”, pela evapotranspiração. Nas ruas, rodovias e parques, as árvores auxiliam a combater o fenômeno das “Ilhas de Calor”, mas a sua eficiência é a metade dos casos anteriores. Na zona rural, as árvores não conservam energia, mas absorvem CO₂ da atmosfera. AKBARI *et alii* (1989) analisam formas de mitigar o efeito das “Ilhas de Calor” em ambientes urbanos, através de uma série de estratégias quantificando-as em termos econômicos e alertam para a necessidade de difundí-las para os planejadores, a fim de obter um efeito multiplicador das ações corretivas do paisagismo. HUANG *et alii* (1990) analisam os efeitos de quebra-ventos e sombreamento nas necessidades de aquecimento

e resfriamento artificiais em residências. O estudo baseou-se em dados de medições no local, durante o ano de 1989 efetuados por HEISLER (*apud HUANG et alii*, 1990), que serviram de dados quantitativos para a simulação computacional do desempenho energético com o “software” DOE-2.1 D. Analisaram-se 14 edifícios representativos de tipologias dos EUA, levando em conta apenas a influência de árvores, através do sombreamento e como quebra-ventos. Escolheram-se as localidades de: frio dominante (“*Chicago, Minneapolis e Pittsburg*”); clima composto frio e quente (“*Washington e Sacramento*”); e quente (“*Miami e Phoenix*”). As edificações escolhidas foram subdivididas conforme a data de construção, pré 1973 e pós 1980. Nas residências mais antigas, com apenas 3 árvores adultas, em clima quente, pode-se reduzir o custo de aquecimento artificial em cerca de 4% a 8%, anualmente. Para o resfriamento atinge-se o montante de economia em cerca de 13% a 20%, em base anual. Nas residências mais novas, a economia anual em aquecimento varia de 4% a 12% e para o resfriamento, a economia anual varia na faixa de 10% a 16%. AKBARI *et alii* (1990), afirmam que as árvores no ambiente urbano e as superfícies pintadas em cor clara causam o efeito mitigador e a economia energética, através da tendência de evolução do consumo em diversas cidades americanas desde 1940. AKBARI e ROSENFELD (1990) apresentam o potencial de conservação de energia por projeção de dados econômicos e da redução da poluição do ar para a “*California*”. AKBARI (1990), desde a escala urbana até a do edifício, ressalta a necessidade de vegetação e cores claras como estratégias que influenciam nas cargas térmicas para aquecimento e resfriamento. Simulam, através do “software” DOE-2.1D, a influência das árvores na escala do edifício e no consumo energético para a sua climatização artificial, quantificando a conservação de energia e a diminuição da emissão de CO₂ oriunda da geração de eletricidade para três cidades americanas: “*Sacramento - CA*”, “*Phoenix- AZ*” e “*Lake Charles - LA*”. AKBARI *et alii* (1992) apresentam o impacto das árvores e das superfícies externas claras no consumo energético de aquecimento e resfriamento para quatro cidades canadenses: “*Edmond, Montreal e Vancouver, Toronto*”. Como divulgação dos resultados das pesquisas, em janeiro de 1992, houve a edição do manual de AKBARI *et alii* (1992), acerca de pinturas claras externamente e o uso do paisagismo, visando a economia de energia. ROSENFELD *et alii* (1995) apresentam um estudo que é parte proeminente do programa institucional “*President Clinton’s Climate Change Action Plan*”, que visa controlar a emissão de gases para a atmosfera a fim de diminuir o efeito estufa. Determina o pico de demanda de energia elétrica urbana, em 5 cidades norte-americanas: “*Los Angeles, Washington-DC, Phoenix, Tucson e Colorado Springs*”. Afirmam que a demanda aumenta de 2% a 4% a cada 1° C de crescimento na temperatura máxima diária, acima de uma faixa de variação de 9,4° C a 12,5° C. Assim, o uso de ar condicionado, devido à variação anterior, é responsável por aumento de 5% a 10% do pico de demanda de energia elétrica. Adotando-se o máximo potencial de uso de materiais de alto albedo e sombreamento arbóreo, pode-se economizar cerca de US\$ 10 bilhões anualmente em consumo de energia e no investimento em novos aparelhos de condicionamento artificial, além de eliminar o montante de 20 milhões de toneladas de emissões de CO₂ para a atmosfera. ROSENFELD (1996) apresenta planos de ação para reduzir o efeito das “*Ilhas de Calor*”. Na escala urbana, a arborização, o uso de cores claras nos telhados, na pavimentação dos estacionamentos e nas vias de circulação, resfriam o ar urbano. Estima-se que em “*Los Angeles*”, a temperatura do ar no centro da cidade aumenta 1° C a cada 15 anos, por efeito indireto. Afirmam, ainda, que a temperatura da “*Ilha de Calor*” nesta cidade pode diminuir em cerca de 3° C aumentando-se o albedo do envoltório das edificações e dos pavimentos. A combinação de estratégias nos efeitos diretos e indiretos do resfriamento nas comunidades urbanas, potencialmente, pode reduzir pela metade o consumo de energia despendida no condicionamento artificial de residências e economizar cerca de 10% desse consumo nos escritórios térreos. AKBARI *et alii* (1996) apresentam um artigo a

respeito da mitigação dos efeitos das “Ilhas de Calor” no verão, para conservação de energia e redução do “*smog*” (neblina e fumaça). Afirmam que em “*Los Angeles*” a temperatura máxima anual é aproximadamente 3° C maior que em 1940 e em “*Washington-DC*” é cerca de 2° C. Demonstram que este fenômeno de aquecimento é comum em grandes cidades norte-americanas. Comentam a relação direta entre o efeito das “Ilhas de Calor” e a ocorrência de “*smog*” (neblina e fumaça). Tratam dos passos necessários para a implementação das estratégias que visem mitigar os efeitos oriundos das “Ilhas de Calor”, da inversão térmica e do potencial de conservação de energia. AKBARI *et alii* (1997) apresentam os resultados de uma pesquisa sobre a conservação de energia elétrica e a diminuição na demanda de pico, devidas ao sombreamento arbóreo, em duas residências situadas na cidade de “*Sacramento*”. Com o sombreamento arbóreo (faces sul e oeste), em ambas as residências monitoradas, houve uma conservação de energia elétrica de cerca de 30%, sazonalmente, o que corresponde a uma conservação média diária na faixa de 3,6 kWh/dia a 4,8 kWh/dia. A redução dos picos de demanda foram de 0,6 kW a 0,8 kW (cerca de 27% em uma residência e 42% na outra). Consolidando estes estudos, editou-se um número especial do periódico *ENERGY and BUILDINGS* (1997).

2.3 A Revisão Bibliográfica de MEIER, 1991

Observa-se nesta coletânea de trabalhos, que foram elaborados estudos nos mais diversos tipos de clima, no Japão, no Oriente Médio e nos Estados Unidos, dentre eles: Clima Desértico, Quente e Úmido e Temperado. Além disto, as estratégias de paisagismo, foram escolhidas de acordo com a condição de exposição a estes tipos de clima, variando as possibilidades de proteção: à cobertura, às paredes e ao solo no entorno imediato da edificação. As variáveis em estudo foram a temperatura superficial de paredes e coberturas, a redução no consumo de energia elétrica da climatização artificial, além da redução na carga térmica das edificações. MEIER (1991), analisa a temperatura superficial, e dentre as estratégias paisagísticas mais eficientes foram a vegetação no teto, árvores e pérgulas para climas Quente e Úmido e Temperado, com valores de redução de 20° C a 21° C. A seguir, as trepadeiras e arbustos para climas Quente e Úmido e Desértico atingiram a redução de 17°C a 18°C. Finalmente, a estratégia de gramado para clima Desértico atingiu o valor de redução de 6°C. Em Osaka, região de clima Quente e Úmido, o experimento é de HARAZONO (*apud* MEIER, 1991), e os resultados de cobertura vegetal em um teto foram obtidos pela média dos dados referentes ao período das 10:00h às 18:00h, em um dia de céu claro no mês de Agosto. Em Tóquio, também com clima Quente e Úmido, duas medições foram efetuadas por HOYANO (*apud* MEIER, 1991), primeiramente em árvores com folhagem perene e, posteriormente, com plantas trepadeiras cobrindo uma parede orientada para oeste às 15:00 h, registrando-se o valor máximo, durante o período de 1 ano. No mesmo ano, procedeu-se ao segundo experimento, com o registro de medições paralelas, em paredes protegidas e não protegidas. Em “*Pullman-Washington*”, cujo clima é Temperado, HALVORSON (*apud* MEIER, 1991) conduziu um experimento efetuado com trepadeiras em paredes. Em “*Tucson-AZ*”, com clima Desértico, dois experimentos foram efetuados por McPHERSON (*apud* MEIER, 1991). Ambos em paredes orientadas a oeste, em várias edificações, no horário de 15:00 h. O primeiro sombreado com arbustos, cujo desempenho foi melhor que o segundo, no qual empregou-se grama no entorno. O experimento de MAKZOUNI e JAFF (*apud* MEIER, 1991), em “*Baghdad-Iraq*”, cujo clima é Desértico, conduziu-se com trepadeiras revestindo paredes de diversos edifícios, orientadas a sudoeste e monitoradas às 15:00 h. No experimento de PARKER (*apud* MEIER, 1991), em “*Miami - FLA*”, utilizaram-se árvores e arbustos dispostos frontalmente a paredes orientadas a oeste, medidas às 17:00 h, registrando os valores máximos durante 1 mês. O maior valor ocorre na situação de um “*trailer*” colocado no interior

de uma floresta na “*Pennsylvania Central*” com clima Temperado, atingindo o valor de redução de 80% no consumo. Para as localidades de “*Miami e Palm Beach*” com o sombreamento por árvores e arbustos, tem-se que: na primeira cidade apresentam os valores conservação de energia elétrica, em cerca de 58% e 24%; para a segunda localidade, o valor de redução no consumo é de 34%. E no clima desértico de “*Tucson*” com a aplicação de arbustos e gramado, chega-se aos respectivos valores de conservação em cerca de 27% e 25%. No trabalho de HOYANO (*apud* MEIER, 1991) analisou-se a redução de carga térmica frente a adoção de estratégias funcionais de paisagismo, tais como : vegetação no teto, pérgula e árvores em clima Quente e Úmido obtendo-se, respectivamente, os valores de redução no consumo de 90%, 75% e 50%. SIMPSON (*apud* MEIER,1991) apresenta o resultado da simulação dos efeitos dos gramados no uso de energia nos edifícios no Clima Árido de “*Tucson- AZ*”, em contraponto com o consumo de água e conclui que a cobertura vegetal do solo é mais eficiente que a de pedrisco, devido às diferenças micro-climáticas que se formam no entorno imediato da edificação.

2.4. A Revisão Bibliográfica de GIVONI, 1991

GIVONI (1991) apresenta outro artigo de revisão bibliográfica no qual analisa-se a vegetação na escala do edifício e do entorno imediato, descrevendo-se as características técnicas e resultados de medição. Comenta na escala da edificação os estudos de: PARKER (*apud* GIVONI, 1991) em “*Miami*”, acerca da temperatura superficial de paredes com e sem o efeito do paisagismo, através de árvores e arbustos, sem indicar o efeito da cor da parede, mostrando a redução da temperatura superficial entre 13,5°C e 15,5°C e com trepadeiras entre 10°C e 12°C. HOYANO (*apud* GIVONI, 1991) reuniu os resultados de seus diversos estudos experimentais realizados no Japão, visando o efeito de plantas nas temperaturas superficiais e do ar. No caso de Pérgula Horizontal Vegetada: o experimento mediu a radiação solar através da pérgula e a temperatura do ar abaixo dela. A transparência obtida foi cerca de 0,1 a 0,2 da radiação solar horizontal. Adotando-se uma trepadeira (“brise-verde”) na posição vertical defronte a uma varanda, foram comparados os seus efeitos na face sudoeste com e sem proteção. O sombreamento da vegetação mostrou-se significativamente eficiente para conter a insolação. Outro resultado obtido é que a velocidade do vento foi significativamente reduzida na janela da varanda sombreada pelo “brise-verde” e também no ambiente externo, em relação ao espaço não protegido. Neste caso, considera-se que tal estratégia é negativa em situações de clima Quente-Úmido. Uma trepadeira cobrindo uma parede de concreto na orientação oeste foi avaliada comparando-se as temperaturas através da parede, com e sem o tratamento paisagístico. Foram medidas as temperaturas das folhas da trepadeira, do ar e através da parede. Entretanto não se menciona a cor da parede ou a sua absorvância. Sem a proteção da trepadeira a temperatura superficial externa máxima da parede atingiu 10° C acima da temperatura do ar ambiente e com o tratamento paisagístico obteve-se 1° C a menos que a do ar ambiente. Em termos de média os resultados indicaram que a temperatura superficial da parede protegida atingiu 1° C acima da temperatura média do ar externo e na outra situação obteve-se o valor de 3° C. Outras estratégias, analisadas nos experimentos, foram: Uma linha de árvores em frente a uma parede. Neste experimento, árvores crescidas foram colocadas em grandes vasos e colocadas em diversos espaçamentos e posições em relação a uma parede de concreto de um edifício, na orientação oeste. As variáveis experimentais foram as distâncias entre as copas das árvores (45 a 65 cm) e a distância da parede e da copa das árvores (20 ou 60 cm). Todos estes arranjos paisagísticos reduziram o fluxo de calor no edifício, quando comparados a uma situação de parede desprotegida. O efeito do sombreamento se faz significativamente maior de acordo com a proximidade da proteção solar em relação à parede.

PARKER (*apud* GIVONI, 1991) mediu o efeito do paisagismo no consumo de energia para condicionamento artificial, através de árvores e arbustos, em um “*trailer*”. Variam os resultados de consumo diário entre 5,56 kWh sem sombreamento a 2,28 kWh com sombreamento. O trabalho de AL HEMIDDI (*apud* GIVONI, 1991) é sobre o efeito de plantas como agentes de proteção solar. Foram medidas a temperatura superficial e do ar a uma altura de 1,00 m do solo, sobre coberturas do solo com diferentes tratamentos superficiais, medidas ao meio-dia, durante diferentes períodos, em um ano inteiro, num total de 70 dias. Os tratamentos superficiais incluíram pavimentação exposta e sombreada por árvores, um gramado exposto e um espaço entre uma cerca alta e densos arbustos, convenientemente dispostos em relação a um edifício. Durante dias claros, no verão, as diferenças da temperatura do ar maiores que cerca de 3° C foram observadas, entre o ar acima dos pavimentos expostos e o do espaço atrás dos arbustos.

2.5 A Experiência Brasileira

CARVALHO (1992) analisa as escalas topoclimáticas e microclimáticas do sítio de projetos urbanos. Discute os fatores condicionantes do clima urbano aplicado à projeção arquitetônica. Procura, nas escalas já mencionadas, o modo como atuam os fatores urbanos e geocológicos do clima urbano, no nível da escala do sítio de um determinado projeto de Arquitetura ou de Desenho Urbano. A cobertura vegetal é incluída como fator de ocupação urbana, através dos seguintes elementos: densidade, porte e distribuição espacial. HACKENBERG e MATTOS (1993) apresentam as diferenças climáticas através de um exame de caso para a cidade de Joinville-SC. Durante o período de 4 anos, foram analisados os dados de elementos climáticos coletados por 3 estações climatológicas em área urbana, situadas em locais muito distintos e com características climáticas e físicas diferentes. Na análise da variação dos elementos climáticos, tornou-se evidente a influência da Serra do Mar, no clima da cidade, tanto como obstáculo à ventilação, quanto pela influência da vegetação. MASCARÓ (1994) analisa, em Porto Alegre-RS, a morfologia urbana e a ambiência dos edifícios, em uma pesquisa iniciada em 1992, que visa, em uma primeira etapa, estudar as modificações ambientais dos recintos urbanos, como consequência da morfologia dos conjuntos arquitetônicos - para em um segundo momento - associá-los à ambiência dos edifícios, no seu desempenho ambiental e energético. O trabalho analisa por medições no local, as seguintes variáveis, em nível urbano: a iluminância natural, a temperatura e a umidade relativa do ar. WEINGARTNER (1994) analisa o efeito termo-luminoso do sombreamento da arborização urbana de Porto Alegre-RS. Como documentação indireta, utilizou-se de mapas aerofotogramétricos e dados de elementos meteorológicos de estação climatológica, no período de maio de 1991 a abril de 1992, dentre os quais: a temperatura e umidade relativa do ar. A documentação direta foi obtida por trabalho de campo com as variáveis de desempenho ambiental (luminoso e termo-higrométrico). Para a medição, no local do registro fotográfico do hemisfério horizontal, foi utilizado um aparato desenvolvido para tanto, semelhante ao globoscópio de PLEIJEL (*apud* HOPKINSON *et alii*, 1975). As árvores analisadas sazonalmente são decíduas e foram monitoradas 4 espécies: “*Jacaranda mimoseafolia*, *Melia azedarach*, *Lagerstroemia indica* e *Tipuana tipu*”, que são comuns em Porto Alegre-RS. MASCARÓ (1996), detalha a influência da vegetação nas escalas urbana e microclimática, em Porto Alegre-RS. BUENO *et alii* (1997) caracterizam o microclima de três espécies arbóreas: (*Senna spectabilis var. exelsa*), (*Cassia fistula*) e (*Callistemon viminalis*). O local do experimento é o Sub-Distrito de Barão Geraldo em Campinas-SP. Para o experimento, sob cada uma das espécies arbóreas, foi locado um tripé que sustentava um termômetro de globo e um psicrômetro a uma altura de 1,30m. A fim de comparar os dados, um quarto módulo foi disposto em campo aberto. A medição foi efetuada durante o período de 8 dias, em Agosto de

1997, nos horários de 7:00 às 18:00h. As conclusões indicam que a temperatura ambiente não foi grandemente afetada nas três espécies, mas em campo aberto apresentou maior amplitude, com queda significativa ao anoitecer. Nos dados da temperatura de globo, as espécies denominadas “*Callistemon viminalis*” apresentam valores bastante elevados, evidenciando que a copa menos densa e que o tamanho das folhas influem diretamente no calor radiante. Em relação à umidade relativa, essa espécie apresentou um comportamento distinto das outras, com variações maiores ao longo do dia e as demais espécies forneceram melhores condições de conforto térmico. Outros artigos, de cunho mais acadêmico, acerca das “Ilhas de Calor”, se restringem a exames de caso, dentre os quais citam-se: FONTES e MATTOS (1997) que tratam de uma investigação climática em áreas de fundo de vale, na cidade de São Carlos-SP. Essas áreas possuem um efeito de amenização do clima urbano devido a presença de água e matas ciliares; DUARTE (1997) investiga a reposição de vegetação em áreas urbanas, através de uma relação diádica (a desmistificação de conceitos e a proposição de alternativas de reposição de vegetação), tendo em vista o tipo e o rigor do clima da cidade de Cuiabá-MT. Propõe algumas soluções, dentre as quais: a reposição de matas ciliares para unidades de proteção ambiental e para as unidades de manejo sustentável incluindo morros, hortos, rios e córregos. Finalmente, pode-se citar trabalhos, nos quais a vegetação já se apresenta como fator de mitigação do efeito das “Ilhas de Calor”, nas cidades do Rio de Janeiro (Posto 3 - Copacabana) e Fortaleza-CE, respectivamente elaboradas por CORBELLA e YANNAS (1997); SANTANA e LOMBARDO (1997). A pesquisa de POUHEY *et alii* (1998) que trata de um estudo de coberturas verdes e sua análise de desempenho térmico no Rio Grande do Sul. O objetivo é analisar o desempenho térmico de coberturas horizontais verdes, relativamente ao de coberturas tradicionais. Para tanto, foi construída uma bancada experimental, onde foram monitoradas, uma cobertura com vegetação e outra, também plana, com terraço. Os dados foram levantados em períodos de inverno e verão. A cobertura verde apresentou melhor resposta nas duas estações. Nestes anos de atividade de pesquisa na área, poucos estudos abordaram concomitantemente luz e calor no edifício, especialmente no uso funcional do paisagismo como sombreamento, assim PIETROBON *et alii* (1997,1977a) efetuam estudos sobre paisagismo em escolas, analisando-os nos aspectos térmicos, lumínicos e de conservação de energia. O tratamento computacional de imagens, obtidas por digitalização de fotos hemisféricas das árvores, indica uma simplificação nos métodos de medição da sua transparência.. PIETROBON (1999) utilizando sombreamento arbóreo por Sibipiruna, Flamboyant, Ipê Roxo e Ipê Amarelo, aliado às cores externas claras, em escolas, obteve, com simulação computacional paramétrica efetuada com o programa computacional VisualDOE 2.6, economia de energia elétrica na climatização e iluminação artificiais na faixa de 17% a 54%.

3. CONCLUSÕES

Na opinião de MEIER (1991) necessita-se uma pesquisa na qual apenas um mesmo edifício pudesse ser monitorado comparativamente com e sem vegetação, alertando para os aspectos referentes aos conflitos na manutenção entre o paisagismo e a edificação. Além do que, urge a necessidade de se elaborar medições da transparências de árvores, para um banco de dados das suas características no contexto de desempenho térmico e luminoso do ambiente construído.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H. Heat Islands, White Surfaces, Urban Trees: Impact on Heating and Cooling Energy Use and the

- Urban Environment. In: ENHANCING ELECTRICITY'S VALUE TO SOCIETY, 1990, Toronto. **Proceedings**. Toronto: Canadian Electrical Association, 1990. p.865-882.
- AKBARI, H.; DAVIS, S.; DORSANO, S.; HUANG, J.; WINNET, S. (Eds). **Cooling our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light - Colored Surfacing**. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, 1992. 219p. (Publication LBL - 31587).
- AKBARI, H.; HUANG, J.; MARTIEN, P.; ROSENFELD, A.; TAHA, H. **The Impact of Summer Heat Island on Cooling Energy Consumption and CO₂ Emissions**. Berkeley: UC, 1988. P5.11-5.23. (Publication LBL 25179).
- AKBARI, H.; KURN, D. M.; BRETZ, S. E.; HANFORD, J. W. Peak Power and Cooling Energy Savings of Shade Trees. **Energy and Buildings**. V, 25, p.139-148, 1997.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H. **On California's Energy Conservation Potential: Economic Savings and Air Pollution Reduction**. In: Comments for a California Hearing on 1990 Conservation Report, 1990. Sacramento: UC, 1990, 19p.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; TAHA, H. **Summer Heat Islands, Urban Trees, and White Surfaces**. Berkeley: UCLA, 1990, 8p. (Publication LBL 28308).
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; TAHA, H.; GARTLAND, L. M. **Mitigation of Summer Heat Island to Save Electricity and Reduce Smog**. Berkeley: UC, p.1-5. 1996 (Publication LBL - 37789).
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. **White Surfaces and Urban Trees for Mitigation of Summer Heat Islands: Setting up Priorities**. Berkeley: UC: LBL, p.1-9. 1989.
- AKBARI, H.; TAHA, H. The Impact of Trees and White Surfaces on Residential Heating and Cooling Energy Use in Four Canadian Cities. **Energy**. v. 17, n.1, p.141-149, 1992.
- BITAN, A. The Methodology of Applied Climatology in Planning and Building. **Energy and Buildings**. V.11, p. 1-10, 1988.
- BUENO, C. L.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. Caracterização das Espécies Arbóreas e sua Contribuição para o Conforto Térmico Urbano do Sub-Distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.93-96, 1997.
- CARVALHO, M. L. A. M. Análise Topo e Microclimática do Sítio de Projeto. In: I ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL - NE. João Pessoa: UFPA, **Anais...**, p.10-17, 1992.
- CORBELLA, O. D.; YANNAS, S. Posto 3 Copacabana Rio de Janeiro. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p. 118-123, 1997.
- DeWALLE, D. R.; HEISLER, G. M. Windbreaks Effects on Air Infiltration and Space Heating in a Mobile Home. **Energy and Buildings**. v.5, p.279-288, 1983.
- DUARTE, D. H. S. A Reposição do Verde em Áreas Urbanas: Desmistificação e Proposição de Alternativas para o Caso de Cuiabá. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO : ANTAC, Salvador, **Anais...** p.87-92, 1997.
- ENERGY AND BUILDINGS. **Special Issue on Urban Heat Islands and Cool Communities**. V.25. n.2, 1997. 177 p.
- EVANS, B. H. **Energy Conservation with Natural Air Through Windows**. Blacksbourg: Virginia Polytechnic Institute and State University. p.64-650, 1994. (Relatório Interno DE-79-5 n.2).
- FONTES, M. S. G. de C.; MATTOS, A. Investigação Climática em Áreas de Fundo de Vale, na Cidade de São Carlos/ SP. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ANTAC, Salvador, **Anais...** p. 81-86, 1997.
- GIVONI; B. Impact of Planted Areas on Urban Environmental Quality: A Review. **Atmospheric Environment**. London: V.25H, n.1, p. 289-299, 1991.
- HACKENBERG, A. M.; MATTOS, A. Diferenças Climáticas na Cidade de Joinville. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Florianópolis, **Anais...** p.217-226, 1993.
- HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 776p., 1975.
- HUANG, Y. J.; AKBARI, H.; TAHA, H. **The Wind-Shielding and Shading Effects of Trees on Residential Heating and Cooling Requirements**. Berkeley: UC, 24p., 1990. (Publicação LBL-24131).
- HUANG, Y. J.; AKBARI, H.; TAHA, H.; ROSENFELD, A. The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings. **Journal of Climate and Applied Meteorology**. v.26, p. 1203-1116, 1987.
- MASCARÓ, L. Morfologia Urbana e Ambiência dos Edifícios. In: II ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL - NE. João Pessoa: UFPA, **Anais...** p.45-55, 1994.
- MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzato, 199 p. 1996.

- MATTINGLY, G. E.; HARRJE, D. T.; HEISLER, G. M. **The Effectiveness of an Evergreen Windbreak for Reducing Residential Energy Consumption**. Berkeley: UC, p.428-444, 1994. (Relatório Interno: D-E-79-1):
- McPHERSON, E. G. ; HERRINGTON, L. P.; HEISLER, G. M. Impacts of Vegetation on Residential Heating and Cooling. **Energy and Buildings**. v.12, p.41-51, 1988.
- McPHERSON, E.; SIMPSON, J.; LIVINGSTON, M. Effects of Three Landscaping on Residential Energy and Water Use in Tucson-Arizona. **Energy and Buildings**, v.13, p.127-138, 1989.
- MEIER, A. FRISEN, J. Strategic Planting. **Energy Auditor and Retrofitter**. v. 4, n.4, p. 6-12, July/ August 1987.
- MEIER, A. K. Measured Cooling Savings from Vegetative Landscaping. In: VINE, E.; CRAWLLEY, D.; CENTOELELA, P. (Eds). **Energy Efficiency and the Environment: Forging the Link**. Washington: ACEE,. 417 p.1991, p.321-334.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Meuthuen, 208 p. 1978.
- PIETROBON, C. E. **Luz e Calor no Ambiente Construído Escolar e o Sombreamento Arbóreo: Conflito ou compromisso com a Conservação de Energia?** Florianópolis: UFSC, 1999. v.1. Tese de Doutorado : Ergonomia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 270 p.
- PIETROBON, C. E. **Um Processo Sistemático para o Projeto Arquitetônico Bioclimático: O Caso de Maringá-PR**. São Carlos: EESC:USP, 1990. v.2. Dissertação de Mestrado:Tecnologia da Arquitetura Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos.
- PIETROBON, C. E.; LAMBERTS.; PEREIRA, F. O. R. Simulação Computacional do Consumo Elétrico Final em Edificações Escolares Climatizadas e suas variações com elementos Arquitetônicos e Paisagísticos de proteção Solar. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO: ANTAC, Salvador, **Anais...**, p.364-370, 1997.
- PIETROBON, C. E.; LAMBERTS.; PEREIRA, F. O. R. .Luz e Calor em Ambiente Construído Escolar não Climatizado e o Sombreamento Arbóreo: Conflito ou Compromisso com a Conservação de Energia. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS: ANTAC, Canela, **Anais...**, p.189-195, 1997.
- POUEY, M. T. F.; SATTTLER, M. A.; SCHNEIDER, P. S. Coberturas Verdes: Análise de Desempenho Térmico. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRuíDO. Florianópolis: ANTAC: UFSC, **Anais...**p.473-481, 1998.
- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; BRETZ, S.; FISHMAN, B. R.; KURN, D. M.; SAILOR, D.; TAHA, H. Mitigation of Urban Heat Islands: Materials, Utility Programs, Updates. **Energy and Buildings**. v22, p.255-260, 1995.
- ROSENFELD, A. H.; ROMM, J. J.; AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. G. **Policies to reduce Heat Islands: Magnitudes of Benefits and Incentives to Achieve Them**. Berkeley: UC, p. 1-14, 1996. (Publicação LBL-38679).
- SANTANA, A. M. S. ; LOMBARDO, M. de O Desenho e a Climatologia em Fortaleza. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.140-146, 1997.
- SOUZA, L. C. L. de Identificação de Ilhas de Calor através da Interpretação de Imagem de Satélite. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO: ANTAC, Florianópolis **Anais...** p.227-232, 1993.
- STATHOPOULOS, T.; CHIOVITTI, D.; DODARO, L. Wind Shielding of Trees on Low Buildings. **Building and Environment**, v. 29, n.2, p.141-150, 1994.
- TAHA, H. T.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. **Vegetation Canopy Micro-Climature: A Field Project in Davis, California**: LBL, 1989 (Relatório Interno LBL 24593).
- WAGAR, J. A. Using Vegetation to Control Sunlight and shade on Windows. **Landscape Journal**. v.3, n.1, p.24-35, 1984.
- WEINGARTNER, G. dos S. **Análise do Efeito Termo-luminoso do Sombreamento da Arborização Urbana de Porto Alegre-RS**. Porto Alegre: UFRS, 1984. Dissertação de Mestrado em Arquitetura: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 182p., 1994.
- YATES, D.; McKENNAN, G. Solar Architecture and Light Attenuation by Trees: Conflict or Compromise? **Arboricultural Journal**. V.13, p.7-16. 1989.
- ZANETTO, J. The Location and Selection of Trees for Solar Neighborhoods. **Landscape Architecture**. p. 514-519, 1978.

STATE OF ART ABOUT THE INFLUENCE OF THE VEGETATION ON THE BUILT ENVIRONMENT: FROM THE URBAN SCALE TO THE BUILDING SCALE

ABSTRACT

This review paper presents the researches made in USA, including studies made by the Lawrence Berkeley Laboratory - University of California – and the review papers made by MEIER(1991) and GIVONI(1991). Also, it presents brazilian studies and researches about landscaping strategies to climatic mitigation, visual comfort and electric energy conservation on the built environment.