



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARAMÉTRICA ACERCA DA INFLUÊNCIA DO PAISAGISMO NO DESEMPENHO ENERGÉTICO E LUMINOSO DE ESCOLAS

C. E. Pietrobon; R. Lamberts & F. O. R. Pereira

Universidade Estadual de Maringá

Departamento de Engenharia Civil

87020-900 – Maringá/PR – Brasil

Fax: (044) 261 - 44 - 17

E-mail: carmen@cybertelecom.com.br

E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

E-mail: feco@arq.ufsc.br

RESUMO *Este artigo utiliza uma metodologia exploratória, de cunho sistêmico, que determina a transparência de árvores por medições in loco da luminância. Estes procedimentos, juntamente com a elaboração de um banco de 52 640 dados climáticos para a confecção do Ano Climático de Referência de Maringá-PR, que possibilitaram 8 162 simulações computacionais paramétricas com o programa computacional VisualDOE 2.6. Os parâmetros que mais influenciaram no desempenho termo-luminoso e energético foram: o retrofit da iluminação artificial, a distância entre a árvore e o edifício escolar, o WWR e a inércia e isolamento térmicas das paredes externas.*

ABSTRACT *This exploratory paper, applying Systems Theory, wich determinates the trees transparency, trough luminance by in loco measurements. This procedures jointly an execution of file with 52 640 metheorological data used to make a special file system, for the location of Maringá-PR, named TRY- Test Reference Year, that allows to conduct 8 162 parametric computer simulations with the software VisualDOE 2.6. The parameters that most influenced the thermal- luminous and energetic performance were: the artificial lightning retrofit; the distance between the tree and the classrooms building; the WWR- Window to Wall Ratio; and the thermal inertia and isolation of the external building walls.*

1 Introdução

O desempenho termo-energético e lumínico em edificações escolares está vinculado às variáveis determinantes dos projetos arquitetônico e paisagístico. A relação diádica entre estas variáveis é conflitante, se analisadas conjuntamente, através do consumo de Energia Elétrica (E.E.). Este artigo utiliza uma pesquisa exploratória, de cunho

sistêmico e analisa, através de medições *in loco* a luminância interna e externa. Diagnostica, define e quantifica os conflitos entre luz e calor, em salas de aula, sombreadas com Flamboyants, Sibipirunas, Ipês Amarelos e Ipês Roxos. Na busca dos compromissos entre as variáveis de luz e calor, foram desenvolvidos um aparato e uma metodologia de medição da transparência de grupos de árvores nos solstícios de verão e inverno e durante um ano para um exemplar de cada árvore. Além disto, elaborou-se um arquivo de elementos de clima do tipo *TRY* – Ano Climático de Referência, com 52 640 dados horários, elaborados por PIETROBON (1999).

Com tais procedimentos, possibilitaram-se 8 162 simulações computacionais paramétricas através do *software* VisualDOE 2.6, na busca de compromissos nesta relação diádica entre luz e calor.

Com tais resultados, foram identificadas as distâncias ótimas das árvores para obtenção do menor consumo de Energia Elétrica, com sombreamento arbóreo. Além do que, obtiveram-se valores consideráveis de economia no consumo de energia elétrica em ambientes climatizados artificialmente, com e sem sombreamento. E, finalmente identificou-se que o *layout* das salas pode ser melhorado com a alteração do partido arquitetônico e com a especialização das funções das janelas (iluminação e ventilação).

2 Situação de Referência e Delimitações do Objeto de Estudo.

Maringá, situa-se em torno das coordenadas de 23° 25' de Latitude Sul e 51° 55' de Longitude Oeste de Greenwich, no Trópico de Capricórnio. Tem altitude média de 545m sobre o nível do mar, estando na região fisiográfica do terceiro planalto paranaense. De acordo com o critério de classificação de KÖEPEN (*apud* IAPAR, 1978) o clima regional é do tipo **Cfa**, subtropical úmido com verões quentes e geadas pouco freqüentes, tendo tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação seca definida.

Através de dados disponíveis na Prefeitura Municipal de Maringá, com inclusão das áreas verdes privadas o índice de área verde atinge o valor de 25,65m²/habitante, referente à vegetação urbana, acima do índice de 20,00 m²/habitante recomendado pela OMS – Organização Mundial de Saúde. O quadro 2.1 apresenta parte da freqüência de ocorrência real da arborização urbana de interesse neste trabalho, em Maringá segundo MILANO (1988).

Quadro 2.1 Freqüência percentual real das espécies arbóreas urbanas em Maringá, segundo MILANO (1988).

Classificação	Nome Científico	Nome Popular	Freq. (%)
1º	Caesalpineia peltophoroides	Sibipiruna	49,83%
4º	Tabebuia avellanadae	Ipê Roxo	8,00%
5º	Delonix regia	Flamboyant	4,19%
10º	Tabebuia crysotricha	Ipê Amarelo	1,07%

Na escala urbana, alguns estudos têm sido efetuados no sentido de avaliar a influência da vegetação no clima urbano de Maringá. Pode-se citar os trabalhos de SANTOS e RIBEIRO (1991); SANTOS e TARIFA (1992). O primeiro estudo trata de definir ambientes microclimáticos na escala urbana da cidade, através da distribuição espacial dos diferentes ambientes gerados pela interação entre o uso do solo e o albedo correspondente, valendo-se do uso de aerofotogrametria. O segundo trabalho trata de investigações preliminares sobre o clima urbano da cidade, com o objetivo de analisar a integração entre os seus componentes naturais e urbanos, com o ar de sua atmosfera adjacente, considerando ainda as influências da circulação de ar regional e local. Para a realização deste estudo utilizaram-se a análise e a produção de material cartográfico, além de medições de campo.

3 Sumário Metodológico

Trata-se de uma metodologia exploratória de caráter sistêmico, na qual se busca um possível ponto de otimização entre as variáveis térmicas e lumínicas levando em conta o conforto térmico e a eficiência luminosa em ambiente escolar sombreado por árvores. Elaborou-se um aparato para a medição da luminância de árvores visando obter um índice de transparência média pelo período de um ano, para ser empregado na definição dos conflitos e compromissos termo-lumínicos através de simulação computacional paramétrica, conforme PIETROBON (1999). A seguir apresentam-se as estratégias adotadas:

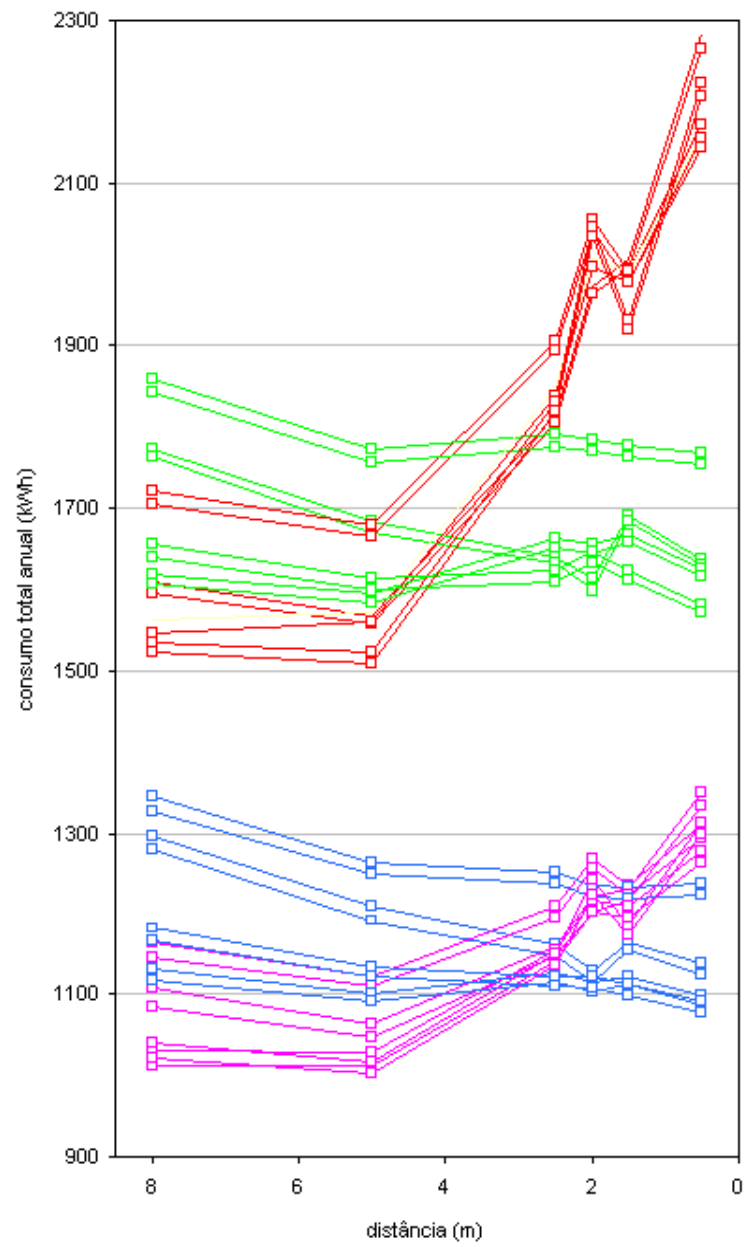
- i. Definição da situação de referência, onde se explicita o rigor climático da localidade estudada;
 - ii) Definição do método de obtenção do índice de transparência das essências arbóreas através das medidas de luminância. Para tanto foi construído um aparato para obtenção da transparência das árvores através da luminância anterior e posterior às árvores. Além disto, efetuou-se a medição *in loco* da transparência mensal de um exemplar de cada espécie de árvore através da luminância e do aparato construído visando a obtenção de dados mensais para acompanhamento de estado fenológico das árvores durante o período de um ano, complementados por mais 3 meses para definição da repetibilidade do método;
 - iii) Simulação computacional dos casos paramétricos, de modelos de salas de aulas visando obter o consumo total e final desagregado de energia elétrica dos edifícios escolares e suas variações através do *software* VisualDOE 2.6, além dos parâmetros que mais influenciam nessa relação. Efetuou-se o levantamento de dados climáticos externos e elaboração do ano climático de referência - *Test Reference Year* - para a obtenção dos elementos de clima a serem usados no processamento computacional paramétrico;
 - iv) Levantamento dos conflitos e compromissos entre os aspectos termo-lumínicos e as possíveis tentativas de otimização.

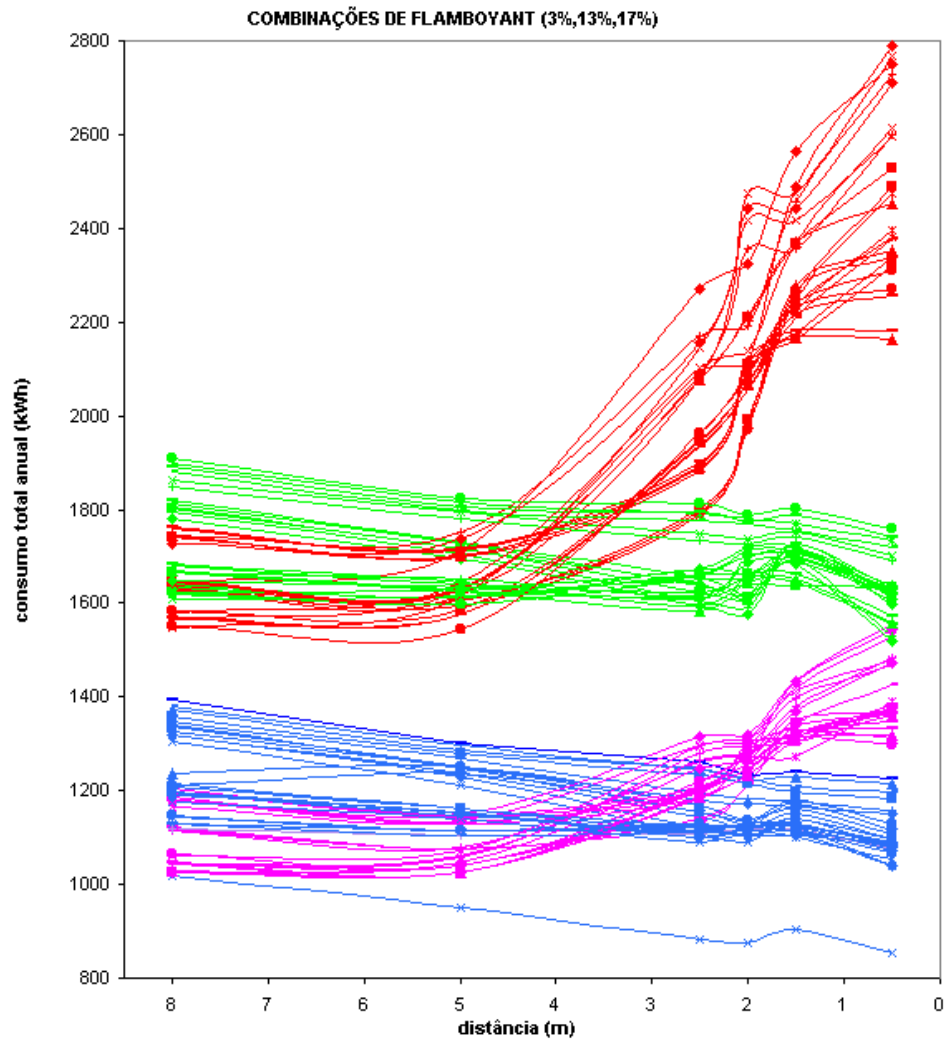
4 Resultados e Discussão

Neste ítem, apresentam-se apenas os resultados finais da simulação computacional paramétrica. Na figura 4.1 para o Flamboyant as curvas de cor vermelha indicam a tendência de comportamento de consumo de E.E crescente com a aproximação da árvore ao edifício com janelas pequenas $WWR=30\%$ para todas as transparências arbóreas com paredes leves e pesadas, e luz normal, para todas as orientações. As curvas de cor verde indicam um desempenho de consumo menor e levemente decrescente para situação similar a anterior porém com luz normal e $WWR=60\%$. As curvas de cor lilás representam o desempenho crescente de consumo de E.E. com aproximação das árvores ao edifício para o caso de luz otimizada, paredes pesadas e leves, além de janelas pequenas com $WWR=30\%$ nas transparências de 3%, 13% e 17%. Porém esses valores de consumo são menores do que os anteriores. Finalmente, as curvas de cor azul apresentam um menor consumo dentre as outras com tendência decrescente no caso da aproximação da árvore ao edifício e correspondem à paredes de inércia térmica pesada e leve, com janelas grandes ($WWR=60\%$), porém com luz otimizada para todas as três transparências arbóreas adotadas. Com tal comportamento global o sombreamento por Flamboyant e, também para a Sibipiruna ficam diretamente condicionados pelo desempenho previsto na menor densidade de potência da iluminação artificial instalada.

Na figura 4.1 para as Sibipirunas as curvas de cor vermelha indicam a tendência de comportamento do consumo de E.E crescente com a aproximação da árvore ao edifício em salas com janelas pequenas $WWR=30\%$, com paredes leves e pesadas, e luz normal. As curvas de cor verde indicam um desempenho de consumo menor e decrescente com pequena variação com luz normal, para o caso de paredes com inércia térmica leve e pesada e com $WWR=60\%$. As curvas de cor lilás representam o desempenho crescente do consumo de E.E. com aproximação das árvores ao edifício para o caso de luz otimizada com paredes pesadas e leves e janelas pequenas ($WWR=30\%$) porém com valores de consumo menores nas Sibipirunas que nos Flamboyants. Finalmente, as curvas de cor azul apresentam um menor consumo dentre as outras com tendência levemente decrescente no caso da aproximação da árvore ao edifício e correspondem a salas com parede de inércia térmica pesada e leve, com janelas grandes ($WWR=60\%$), porém com iluminação artificial otimizada. Neste comportamento global o sombreamento por Sibipirunas fica diretamente condicionado pelo desempenho previsto na otimização da iluminação artificial da iluminação artificial. Em termos comparativos a variação de consumo de E.E. para o Flamboyant tem variações quantitativas na faixa de 800 kWh/ano a 2800 kWh/ano, a Sibipiruna apresenta a variação menor de consumo de E.E entre 900 kWh/ano a 2300 kWh/ano. Em todas as curvas na distância de 2,0m apresenta-se uma instabilidade de valores com picos de máximo e depressões de mínimo, devido provavelmente ao modelo de sombreamento adotado que se baseia na geometria da insolação. Também, apresentam-se pontos de distância ótima em 5,0 m com consumo de E.E. mínimos.

COMBINAÇÕES DE SIBIPIRUNA

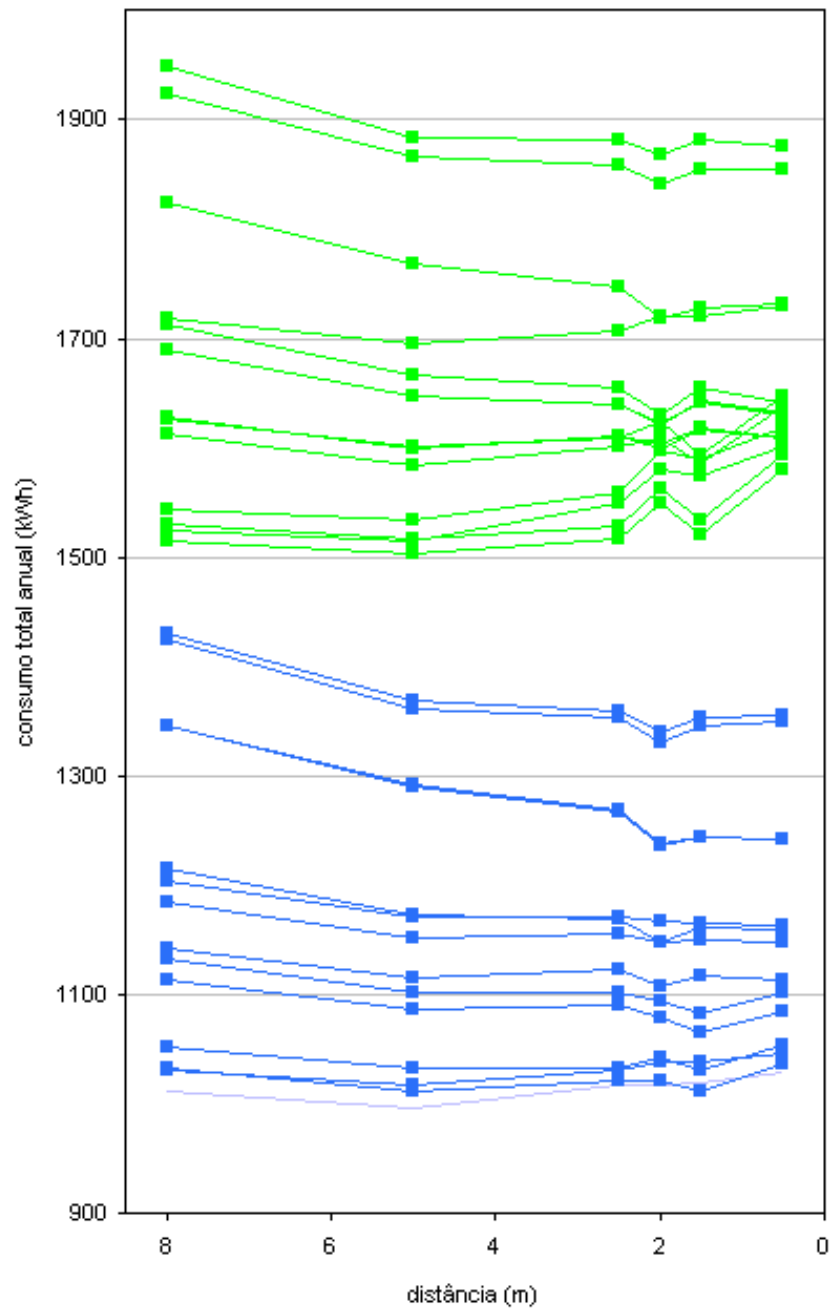


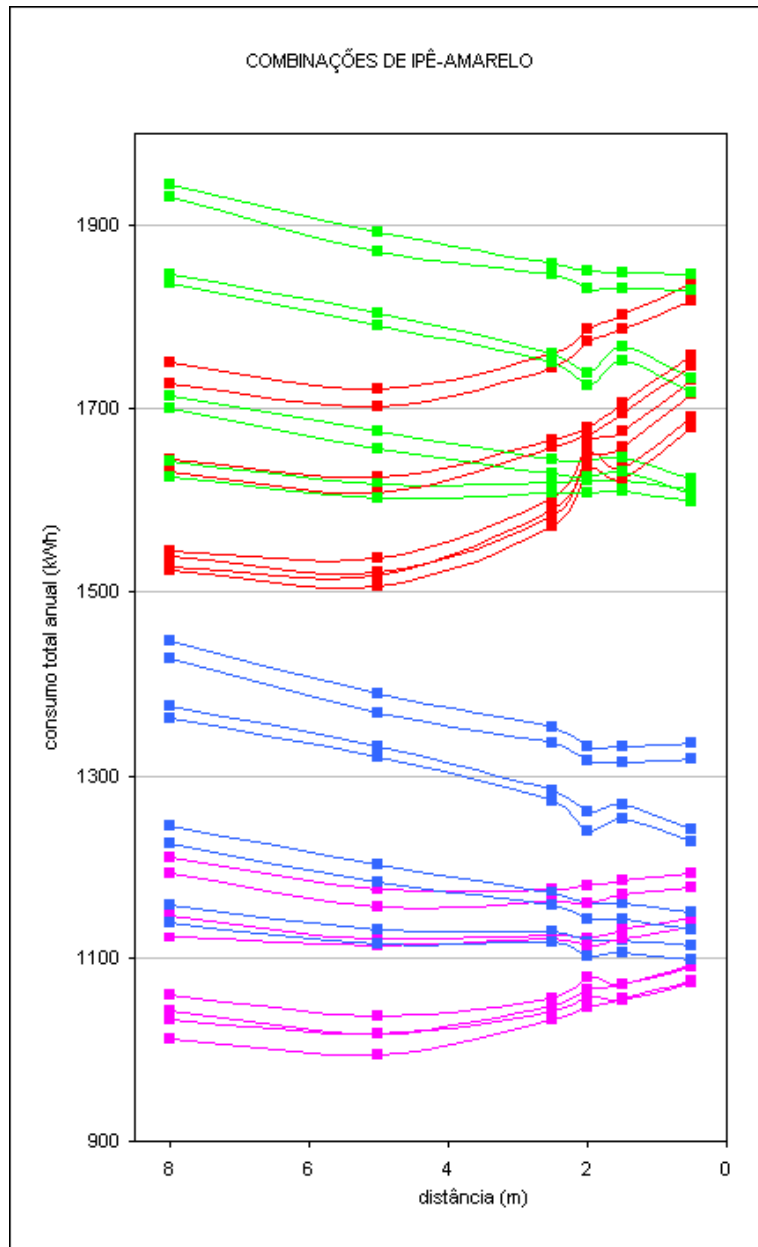


	WWR=30%		WWR=60%		WWR=30%		WWR= 60%
	Luz Normal		Luz Normal		Luz Otimizada		Luz Otimizada
	Leve/Pesada		Leve/Pesada		Leve/Pesada		Leve/Pesada
	N, S, E, W		N, S, E, W		N, S, E, W		N, S, E, W

Figura 4.1 Combinações de consumo de E.E. global para Sibipiruna e Flamboyant

COMBINAÇÕES DE IPÊ-ROXO





	WWR=30%		WWR=60%		WWR=30%		WWR= 60%
	Luz Normal		Luz Normal		Luz Otimizada		Luz Otimizada
	Leve/Pesada		Leve/Pesada		Leve/Pesada		Leve/Pesada
	N, S, E, W		N, S, E, W		N, S, E, W		N, S, E, W

Figura 4.2 Combinações de consumo de E.E. global para Ipê Roxo e Ipê Amarelo.

Finalmente, os resultados indicam para as árvores semicaducifólias e caducifólias, a saber, o Flamboyant e a Sibipiruna apresentam tanto para luz normal quanto para luz otimizada, com janelas de $WWR=30\%$, em todas as orientações, uma tendência de aumento de consumo de E. E ao se aproximar a árvore do edifício, indicando que

quando a transparência das árvores é muito baixa causam um comportamento de consumo de E.E indesejável e anômalo no caso de iluminação artificial controlada por *on-off*. Depreende-se dessa afirmação que as funções das janelas devem ser especializadas em iluminação e ventilação e, também, mudando-se a tipologia do bloco para iluminação bilateral que propiciaria ventilação cruzada.

Na figura 4.2 apresentam-se as combinações de Ipê Roxo de todas as simulações paramétricas, na qual as curvas verdes indicativas do consumo de E.E. variam levemente decrescentes à medida que se aproximam as árvores da sala. Na distância de 2,0m apresentam-se pequenos picos ou depressões no consumo. Todas as tendências de consumo são levemente decrescentes e estão definidas em dois blocos, de 1500kWh/ano a 1900kWh/ano onde se situam as faixas de consumo referentes a luz normal, representadas em cor azul. Na faixa de 900kWh/ano a 1400kWh/ano situam-se as curvas de consumo referentes à adoção de iluminação otimizada, representadas na cor verde. A inércia térmica das paredes externas ocasiona pouca variação no perfil de comportamento sendo que as de maior inércia térmica consomem mais energia para climatização que as de inércia térmica leve, além disso, a faixa de variação de consumo de E. E é menor que em ambas as árvores anteriormente citadas.

Na figura 4.2 apresentam-se as combinações de Ipê Amarelo de todas as simulações paramétricas na qual as curvas representativas do consumo de E. E, em cor vermelha indicam um crescimento com aproximação da árvore ao edifício com luz normal e $WWR=30\%$. Variam levemente decrescentes à medida que se aproximam as árvores da sala como indica a cor verde para luz normal e $WWR=60\%$. Para a luz otimizada, o consumo de E.E. ao se aproximar do edifício apresenta-se crescente para a cor lilás que representa janelas pequenas de $WWR=30\%$. As curvas de cor azul indicam um decréscimo de consumo de E.E. na situação de luz otimizada e $WWR=60\%$. Na faixa de consumo de E.E. entre 1500kWh/ano e 2000kWh/ano situam-se as curvas de consumo referentes a luz normal. Na faixa de 900kWh/ano a 1500kWh/ano situam-se as curvas de consumo referentes à otimização da iluminação artificial. A inércia térmica das paredes externas causa pequena variação no perfil de comportamento sendo que as de maior inércia térmica consomem mais energia que as de inércia térmica leve, além disso, a faixa de variação de consumo de E. E é menor que nas árvores caducifólias do que nas árvores de folhas perenes.

Na figura 4.1 nota-se um comportamento similar na variação no consumo de E.E. conforme a distância da árvore ao prédio. No caso dessas figuras que correspondem respectivamente ao Flamboyant, a Sibipiruna pode-se afirmar que o elemento diferenciador no desempenho energético deve-se principalmente a otimização do sistema de iluminação artificial, que formam blocos distintos com maior consumo no caso da luz normal consumindo mais energia e com a luz otimizada consumindo menos energia. Em cada bloco as árvores de folhas perenes (Flamboyant e Sibipiruna) apresentam tendência crescente de consumo de E.E. nas quatro orientações cardeais sendo que para $WWR=30\%$ (janelas pequenas) o consumo é crescente com aproximação da árvore ao edifício, e $WWR=60\%$ a tendência é levemente decrescente. No caso de iluminação otimizada repete-se essa tendência com valores de consumo menores que as anteriores. A adoção de inércias térmicas leves e pesadas apresentam pouca influência devido a pequena dimensão do peitoril que acompanha o comportamento anteriormente descrito sendo que as paredes de inércia térmica baixa e isolamento térmica alta consomem menos E.E que as pesadas pois para edificações

condicionadas artificialmente o isolamento térmico é mais eficiente que a inércia térmica.

Na figura 4.2 esta tendência modifica-se para o Ipê Roxo tendo comportamento diferenciado, ou seja, a variação de consumo de E.E. com a aproximação ao edifício. Esta variação indica que o desempenho energético é praticamente constante sendo dividida apenas em função da luz normal e otimizada que formam blocos distintos, ou seja, os fatores diferenciadores são a otimização da iluminação artificial que induz a um menor consumo que a iluminação normal, além da influência que recebe da inércia a isolamento térmica do edifício, sendo que as de inércia pesada também consomem mais energia que as com isolamento térmica.

Na figura 4.2 que corresponde ao desempenho energético do Ipê Amarelo na aproximação da árvore ao edifício o comportamento é similar ao do Flamboyant e da Sibipiruna e a faixa de consumo de E. E é similar a do Ipê Roxo conforme figura 4.2. Para sombreamento com Sibipiruna, o consumo de E.E. está acima deste consumo e os maiores valores ocorrem no Flamboyant da figura 4.1. Convém salientar que as afirmações acima descritas incluem árvores das quatro orientações cardeais (N, S, E e W) indicando que a proteção arbórea como agente sombreador induz a uma relativa independência da orientação.

5 Conclusões

Os parâmetros variados nesta simulação computacional paramétrica que mais induzem a variações no perfil de desempenho de comportamento no consumo de E.E. são por ordem de importância: A adoção de controle de iluminação artificial em *on-off* e a tipologia de lâmpadas otimizadas ou não, além de associadas às cores claras do edifício; a variação da distância da árvore ao edifício, que origina desempenhos de consumo de E.E. diferenciados por árvore; o tipo e a transparência da árvore adotada; caducifolia ou não caducifolia; as dimensões das janelas variando de $WWR=30\%$ e $WWR=60\%$, que induzem quando sombreadas, a um perfil de consumo de E.E. crescente ou decrescente conforme o tipo e a distância da árvore ao edifício; a orientação do edifício, em relação aos quatro pontos cardeais; a inércia térmica das paredes externas e a sua isolamento térmica.

Além disso, menciona-se a eficiência de cada uma das árvores adotadas, salientando-se de antemão que as árvores caducifólias são mais indicadas para climas compostos como os da localidade em pauta. As variações de consumo de E.E, são condicionantes para a escolha das árvores mais eficientes a fim de sombrear o modelo de sala de aula adotado: IPÊ AMARELO – com variação de consumo de E.E de 16,7 kWh/ m² ano a 31,7 kWh/ m² ano (47,4%); IPÊ ROXO - com variação de consumo de E.E. de 16,7 kWh/ m² ano a 33,3 kWh/ m² ano (50%); SIBIPIRUNA - com variação de consumo de E.E. de 16,7 kWh/ m² ano a 38,3 kWh/ m² ano (56,5%); FLAMBOYANT - com variação de consumo de E.E. de 13,3 kWh/ m² ano a 46,7 kWh/ m² ano (71,4%).

6 Referências Bibliográficas

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (1978): **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná**, Londrina: IAPAR, 38p.

MILANO, M. S. (1988): **Avaliação Quali-Quantitativa e Manejo da Arborização Urbana: Exemplo de Maringá-Pr**, Curitiba: UFPR, 120p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Florestais).

PIETROBON, C.E. (1999): **Luz e Calor em Ambiente Construído Escolar e o Sombreamento Arbóreo: Conflito ou Compromisso com a Conservação de Energia?** Florianópolis: UFSC, v.1, 356 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção)

SANTOS, J. W. M. C.; RIBEIRO. A. G. A. (1991): A Definição de Ambientes Microclimáticos na Cidade de Maringá-PR, In: III ENESMA, Londrina: UEL, **Anais...**, p.553-560.

SANTOS, J. W. M. C.; TARIFA, J. R. (1992): O Clima Urbano de Maringá-PR: Investigações Preliminares, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGICA GEOGRÁFICA, Rio Claro: UNESP: IBGE, **Anais...**, p.38.