

REVISTA

SODEBRAS

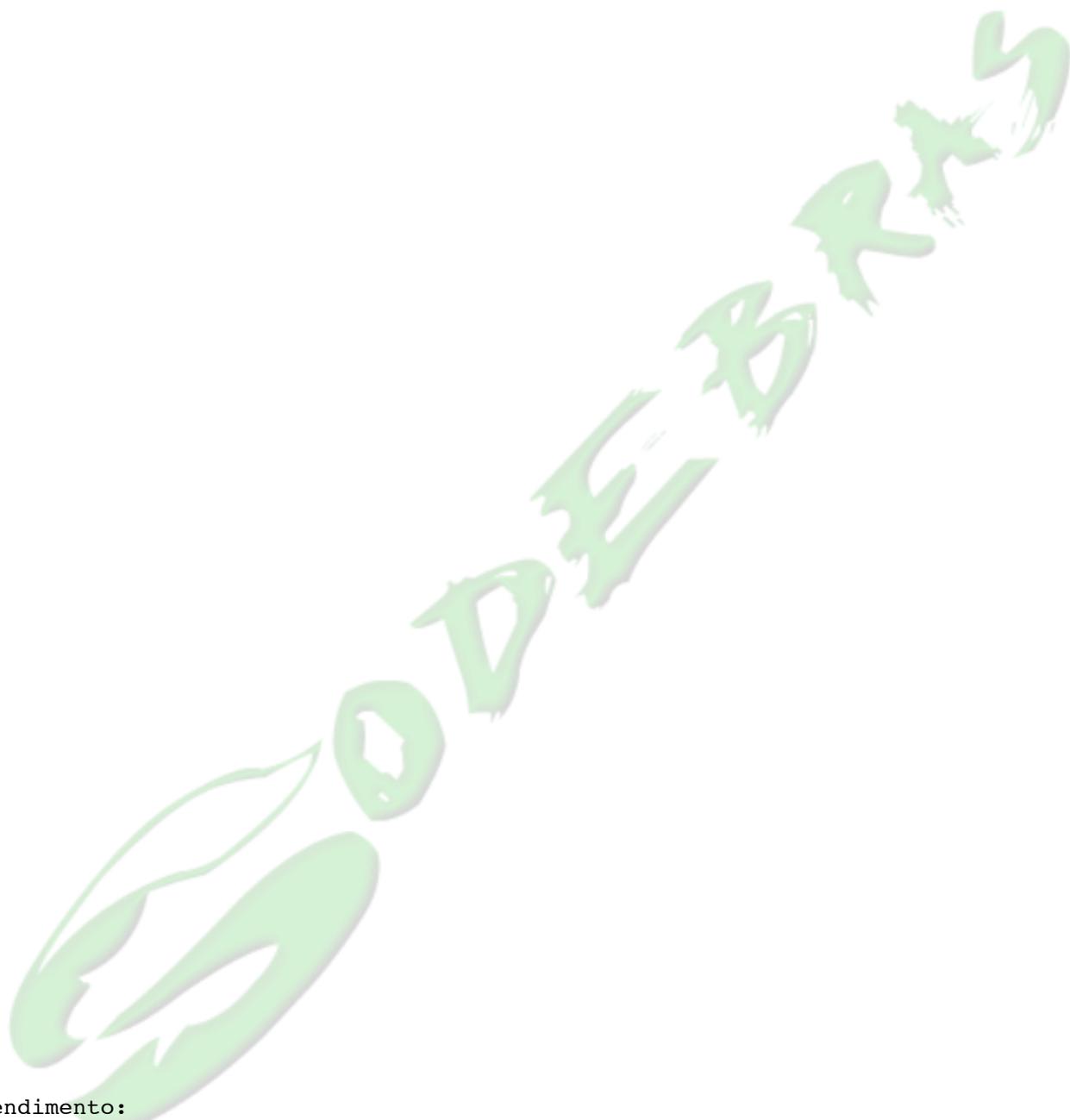
SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 6 - Nº 72 - Dezembro / 2011
ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

- PAISAGEM ILUMINADA: AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS URBANOS NOTURNOS NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA, PARANÁ – Taís Maros Afonso, Letícia Peret Antunes Hardt, Carlos Hardt 03
- PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES URBANOS: ALTERNATIVA PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - Carlos Hardt 09
- PRODUÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE VANÁDIO PARA APLICAÇÕES EM BIODIAGNÓSTICOS - Miguel Grissai Santos, Vinícius Silva De Oliveira, Franciele Renata Henrique, Daniel Hioki, Wido H. Schreiner, Arandi Ginane Bezerra Jr. 15
- ANÁLISE QUANTITATIVA E COMPARATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM REFLORETAMENTO DE EUCALIPTO COM DIFERENTES ESPÉCIES - Dayane Patrícia Vieira, Elisandro Pires Frigo, Michelle Sato Frigo, Dineia Tessaro, Deonir Secco, Rafaela Bastos 19



Atendimento:
sodebras@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>



PAISAGEM ILUMINADA: AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS URBANOS NOTURNOS NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA, PARANÁ

ISSN 1809-3957

TAÍS MAROS AFONSO, LETÍCIA PERET ANTUNES HARDT E CARLOS HARDT

Resumo – Partindo do pressuposto da representatividade da iluminação urbana como ferramenta para o planejamento e desenvolvimento das cidades, e adotando a região central de Curitiba, Paraná, como estudo de caso, o objetivo geral do estudo consiste em avaliar diferentes procedimentos metodológicos para análise da paisagem noturna de tipologias específicas de compartimentos espaciais. Com estrutura multimétodos, a pesquisa adotou procedimentos indiretos, com análise dos níveis de luminância da área de estudo, e diretos, com valoração da paisagem por usuários com base em fotografias e com interpretação da percepção da população por meio de questionários. Como resultados, diagnostica-se a forte relação entre a qualidade dos cenários noturnos interpretada pela população e os níveis de luminância medidos no local, concluindo-se pela adequação dos procedimentos metodológicos aplicados e pela necessária interação entre métodos diferenciados.

Palavras-chave – Cidade. Gestão. Iluminação. Paisagem. Percepção.

I. INTRODUÇÃO

De modo funcional, a iluminação integra a infraestrutura básica de uma cidade, envolvendo questões como segurança e percepção da paisagem noturna, dentre outras. Gradativamente, a luz assumiu novas funções, formando cenários urbanos diferenciados, com valorização de espaços públicos e privados. Atualmente, constitui uma ferramenta para a melhoria da qualidade espacial e para a garantia do conforto humano.

Nesse contexto, o objetivo geral do estudo consiste em avaliar diferentes procedimentos metodológicos para análise da paisagem noturna de tipologias específicas de compartimentos paisagísticos – ambientes construídos, espaços abertos, áreas verdes e eixos viários –, adotando a região central de Curitiba, Paraná, como estudo de caso.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A luz exerce papéis fundamentais no desenvolvimento de formas de vida, tanto primitivas quanto complexas [1]. Essencial na iluminação das cidades contemporâneas, a eletricidade configura-se como uma das suas principais fontes de energia.

A iluminação urbana é importante sob vários aspectos,

envolvendo questões como segurança, tráfego, legibilidade e percepção do ambiente noturno, dentre outras. Perante a mudança de significado do espaço público urbano, novos métodos e tecnologias inovadoras têm sido implantados, promovendo alterações significativas para a paisagem noturna e para seus usuários. Nesse contexto, a iluminação se revela como uma ferramenta para o planejamento e gestão das cidades, sendo primordial para o conforto e qualidade dos espaços urbanos à noite [2].

A iluminação pública, quando adequadamente empregada, resgata o sentimento de valorização da cidade, atuando como instrumento de cidadania e favorecendo a imagem das áreas urbanizadas para o turismo, atividades culturais, comércio e lazer noturno, com reflexos positivos no desenvolvimento social e econômico dos cidadãos [3]. Deste modo, exerce função primordial na composição da paisagem, valorizando a noite e gerando identidade à cidade. Também pode estabelecer maiores graus de utilização dos espaços no período noturno, conferindo sensações de segurança para os transeuntes, com conseqüente valorização de bairros, ruas e áreas públicas e privadas.

Especialmente caracterizada por aspectos históricos, tecnológicos, legais, econômicos e socioambientais, a iluminação urbana é fortemente vinculada a índices de desenvolvimento local [4].

Nesse âmbito, define a lógica espacial do planejamento e, por conseqüência, da estruturação e da gestão da cidade, com distribuição da luz e com determinação de significados compreendidos no arranjo espacial de seus compartimentos [5].

Ao longo do tempo, a paisagem da cidade tem refletido seus processos de transformação – planejados ou aleatórios – os quais nem sempre são adequadamente percebidos pelos seus usuários. Porém, as alterações visuais dos espaços públicos – diurnos e noturnos – são tão marcantes que as características paisagísticas nos diferentes períodos tornam-se, em geral, totalmente diversas [6].

A evolução da vida noturna na cidade está entrelaçada com ações políticas de iluminação pública. Em geral, as transformações do espaço físico acompanham a mudança das dinâmicas sociais, revelando a intensa relação entre elementos técnicos e políticos do desenvolvimento urbano [7].

A inadequação da iluminação em grande parte das

cidades brasileiras [8] determina casos em que o espaço é relegado ao esquecimento noturno, permanecendo invisível durante a noite e quase nunca frequentado, tornando-se de acesso restrito.

Destaca-se, portanto, a relevância das decisões políticas baseadas nas percepções da população, cabendo aos gestores o planejamento adequado da luz para o tratamento e destinação dos espaços urbanos, de forma que a iluminação possa conservar as qualidades e identidades dos lugares no período noturno.

Exames da espacialidade da luz podem fornecer instrumentos de análise para a compreensão dos valores e significados da paisagem urbana ao identificar funções, sentidos, formas de organização, composições etc., com setores diferenciados de uma cidade gozando de apropriações sociais diversificadas [7].

De outra forma, a iluminação urbana pode ser também associada aos recursos e à disponibilidade dos equipamentos urbanísticos que atuam para a mudança do comportamento social durante o período noturno [7], com a luz trazendo um novo sentido para as cidades e contribuindo para a criação de seu imaginário como lugar de intensa vida social.

III. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com estrutura multimétodos, a pesquisa adotou procedimentos embasados tanto em métodos indiretos, com análise da setorização espacial dos níveis de luminância das áreas de estudo, quanto diretos, com valoração da paisagem por 31 usuários com base em fotografias dos setores anteriormente definidos, em associação à interpretação de questionários de percepção da população sobre a iluminação urbana dos compartimentos considerados.

O total de entrevistados corresponde aos 31 graus de liberdade no estabelecimento de relativa heterogeneidade para a mínima confiança de resultados [9].

Para a avaliação dos procedimentos metodológicos em questão, foi selecionada a Praça General Osório, na área central de Curitiba (Figura 1), por conter, em menor escala, a variedade dos compartimentos paisagísticos considerados, além de ser intensamente utilizada durante o dia e a noite.

Atualmente, conta com ampla arborização, apresentando usos variados, viabilizados pelos diversos elementos urbanos presentes (Figura 2).



Figura 1. Imagem aérea da Praça Osório.
Fonte: Google Maps (2011).

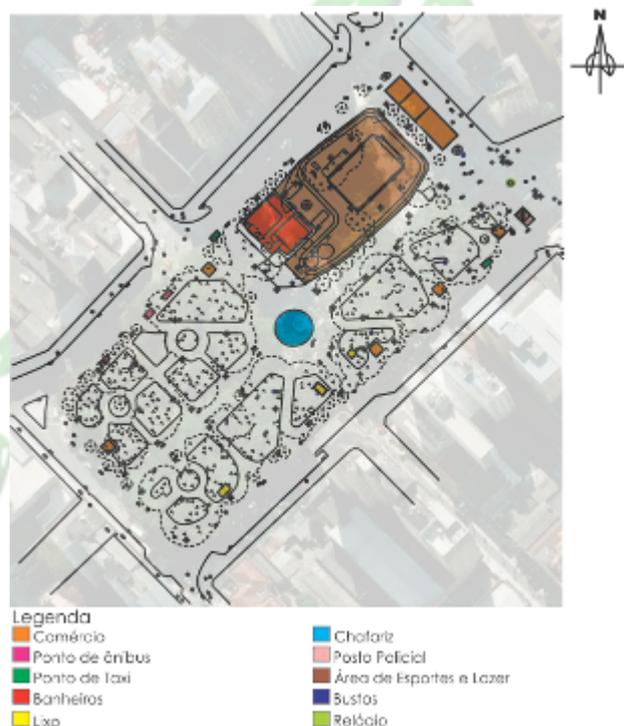


Figura 2. Mapa de localização de elementos e equipamentos presentes na Praça Osório.
Fonte: Elaborada com base em pesquisa de campo.

Pelo mapeamento dos equipamentos noturnos nas áreas pesquisadas, foram levantados dados como: tipos de iluminação utilizada para o tratamento de áreas, superfícies e volumes, e distribuição da luz em locais e objetos especiais. Também se observou o tipo de luminárias e lâmpadas, buscando a identificação das temperaturas de cores e dos índices de sua reprodução.



- Legenda
- Postes modelo republicano com 2 luminárias com uma lâmpada vapor de sódio 400w.
 - Postes modelo republicano com 5 luminárias com uma lâmpada vapor de sódio 400w
 - Poste desativado modelo não identificado
 - Refletor com lâmpada e reator vapor metálico luz branca

Figura 3. Mapa de localização de pontos de iluminação na Praça Osório.
Fonte: Elaborada com base em pesquisa de campo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram o adequado mapeamento da área de pesquisa segundo diferentes setores de luminância (Figura 4), ordenados por espaços de relevante interesse ou de uso constante pelos cidadãos.

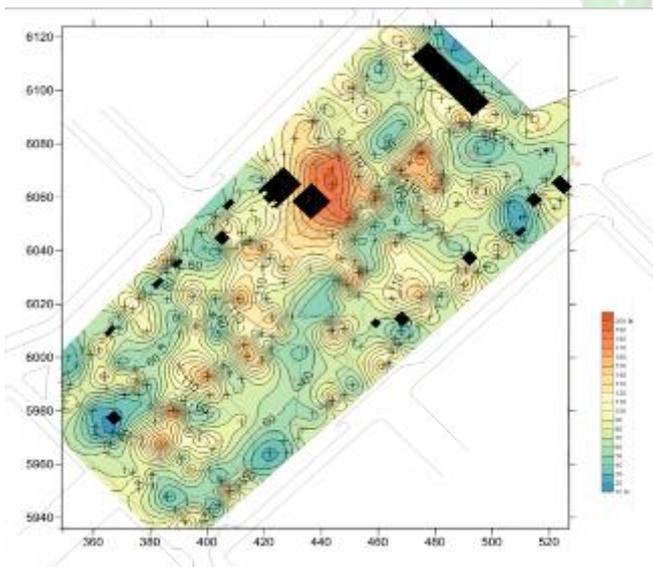


Figura 4. Mapa de níveis de luminância na Praça Osório.
Fonte: Elaborada com base em pesquisa de campo.

Para representação dos níveis de luminância medidos, foi escolhida a escala divergente de cores, de modo a evidenciar as diferenças dos níveis mais altos, em vermelho, dos mais baixos, em azul, e dos medianos, em amarelo. Os elementos em preto correspondem a componentes urbanos relevantes na área.

Os resultados encontrados também evidenciam a maior valoração, pelos usuários da praça, das fotografias de espaços mais iluminados e menos (Figura 5) e, portanto, com maior identificação de elementos paisagísticos.

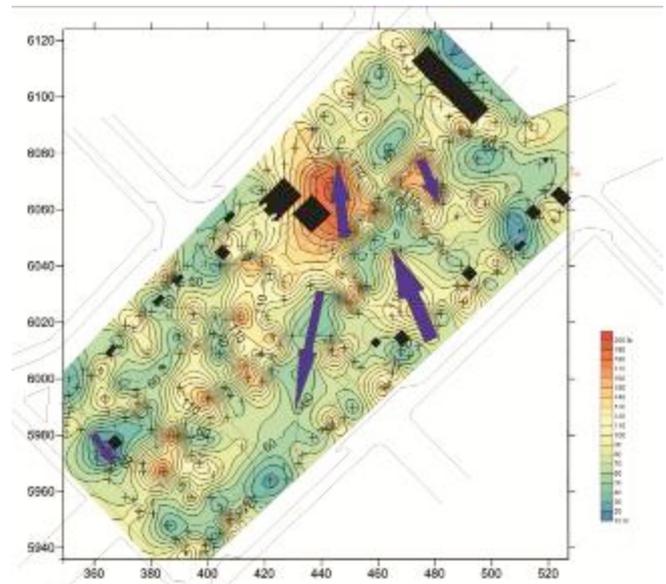


Figura 5. Mapa de identificação das fotos tiradas sobre as faixas de luminância medidas na Praça Osório.
Fonte: Elaborada com base em pesquisa de campo.

A Figura 6 revela que o cenário de alta luminância foi interpretado como médio bom em termos de qualidade visual pela maior parte dos respondentes, evidenciando a possível interferência da luz na sua avaliação.



Figura 6. Gráfico de classificação do nível de qualidade do cenário noturno na faixa de alta luminância (200 a 170 lux) na Praça Osório pelos seus usuários.

Fonte: Elaborada com base nas respostas dos questionários aplicados.

Para os cenários de média alta e média luminância (Figuras 7 e 8), a avaliação dos entrevistados também se referiu a classes superiores de qualidade paisagística, reforçando a possibilidade da interferência da luz na atribuição de maiores valores às áreas analisadas.

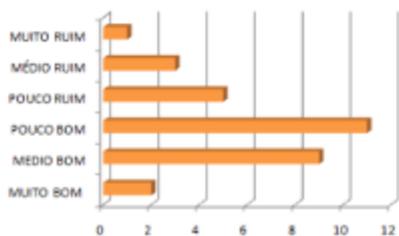


Figura 7. Gráfico de classificação do nível de qualidade do cenário noturno na faixa de média alta luminância (170 a 130 lux) na Praça Osório pelos seus usuários.

Fonte: Elaborada com base nas respostas dos questionários aplicados.

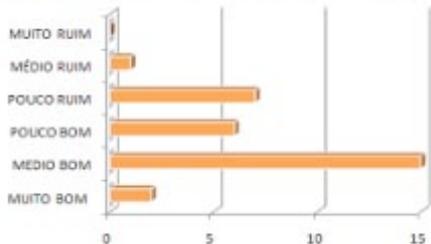


Figura 8. Gráfico de classificação do nível de qualidade do cenário noturno na faixa de média luminância (130 a 90 lux) na Praça Osório pelos seus usuários.

Fonte: Elaborada com base nas respostas dos questionários aplicados.

De outra forma, os cenários de média baixa e baixa luminância (Figuras 9 e 10) foram enquadrados prioritariamente em intervalos de reduzido padrão visual, mais uma vez reforçando a influência dos níveis de luminância na percepção dos usuários da praça.

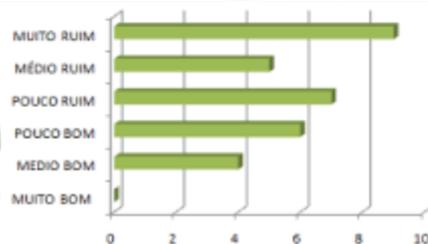


Figura 9. Gráfico de classificação do nível de qualidade do cenário noturno na faixa de média baixa luminância (90 a 50 lux) na Praça Osório pelos seus usuários.

Fonte: Elaborada com base nas respostas dos questionários aplicados.

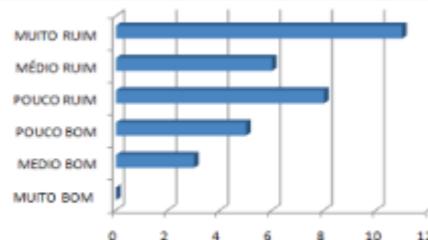


Figura 10. Gráfico de classificação do nível de qualidade do cenário noturno na faixa de baixa luminância (50 a 10 lux) na Praça Osório pelos seus usuários.

Fonte: Elaborada com base nas respostas dos questionários aplicados.

Evidencia-se, portanto, a forte relação entre a qualidade dos cenários noturnos interpretada pela população e os níveis de luminância medidos no local.

A análise dos dados coletados nos questionários definiu o perfil dos usuários e os motivos de utilização da área à noite. Em uma amostra aleatória, foram entrevistados 15 homens e 16 mulheres, com destaque para a faixa etária de 25 a 30 anos, sendo que 40% frequentam a praça apenas como passagem.

A maior parte dos respondentes citou o local como desconfortável, estabelecendo a falta de segurança como o principal ponto negativo da área no período noturno. A iluminação foi citada como fator positivo, sendo a praça considerada bem iluminada pelos transeuntes.

Como elemento de identidade da praça à noite, foi mais citado o tratamento dispensado à vegetação.

Desta maneira, diagnostica-se que os procedimentos metodológicos se prestam à avaliação da percepção de cenários urbanos noturnos, observando-se a conveniência de associação de métodos diferenciados para a devida confrontação dos resultados.

V. CONCLUSÃO

Pelos estudos realizados, verifica-se que a iluminação passou por diversos momentos na história e hoje representa um importante avanço para a qualidade de vida urbana. Suas características tecnológicas progrediram para novos equipamentos que visam poupar o gasto energético, melhorando a eficiência e levando em conta as condições ambientais.

Porém, observa-se que, apesar desse desenvolvimento tecnológico, bem como da sua evolução na utilização em espaços internos e externos, o mesmo processo não ocorreu em relação às teorias sobre o assunto, pois, apesar dos recentes avanços, ainda prevalece, em nível nacional, a insuficiência de conceitos e teorias relativos ao tema, destacando-se a maior produção de estudos internacionais.

Como consequência, o uso da luz como estruturador do cenário urbano encontra-se pouco difundido e estudado no Brasil, principalmente no que se refere à percepção à noite da paisagem urbana por seus usuários.

Os procedimentos metodológicos propostos têm a vantagem de estabelecer relações entre levantamentos sobre a iluminação existente da área estudada e a percepção da população por meio de análise de suas preferências visuais e da aplicação de questionários, constatando-se que a maior parte dos usuários percebe os níveis de iluminação incidente, evitando espaços mal iluminados que causam, em geral, sensações de insegurança.

Devido ao anteriormente exposto, sugere-se, em pesquisas futuras, a análise perceptual em relação a outras tipologias espaciais, visando ao aprofundamento e à

interação de resultados.

No mesmo sentido, em novos estudos sobre áreas urbanas centrais, recomenda-se a ampliação e diferenciação do público para a aplicação de questionários, com a inclusão de turistas, por exemplo, considerando que muitos destes locais são pontos de referência para visita na cidade de Curitiba, por exemplo.

Por fim, destaca-se a importância de estudos dessa natureza, tanto para a formulação de subsídios ao processo de planejamento e gestão de cidades, quanto para a determinação de fundamentos para a conservação de energia e valorização da luz no espaço urbano.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Rosito, L. H. “Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil”. *Revista O Setor Elétrico*, v.01, pp.30-36, jan. 2009.
- [2] Mosser, S. “Éclairage urbain: enjeux et instruments d’actions”. Thèse Docteur. Institute Français d’Urbanisme – École Doctorale Ville et Environnement, Université Paris 8 – Vincennes-Saint-Denis, 2005.
- [3] Matias, A. G. “Iluminação urbana – estudo de caso em Curitiba, Paraná”. Monografia (Especialização em Gestão Técnica do Meio Urbano) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR; Université de Technologie de Compiègne – UTC, 2008.
- [4] Silva, O. W. F. “A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos”. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, 2006.
- [5] Velloso, V. P. “A eletricidade no Brasil sob a perspectiva da história social”. *História, Ciências, Saúde, Manguinhos*; v.9, n.3, pp.705-709, dez. 2002.
- [6] Hardt, L. P. A. and Hardt, C. “Contexto histórico de intervenção na paisagem e espaços urbanos”. In: *Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil, VIII, 2006, São Paulo*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU-USP, 2006. pp.1-9.
- [7] Góis, M. P. F. “Cenários noturnos: sobre a espacialidade e os significados da iluminação urbana na cidade do Rio de Janeiro”. *Revista de Geografia*, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, v.27, pp.40, 2010.
- [8] Mascaró, L. “A iluminação do espaço urbano”. 2006. Arqtexto 8 – Pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura – PROPAR – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2006. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos/PDFs_revista_8/8_Lucia%20Mascar%C3%B3.pdf> Acesso em 30 mar. 2011.
- [9] Carzola, I. M. and Silva, C. B. “Educação estatística”. Glossário. Disponível em: <http://www.socio-estatistica.com.br/Edestatistica/glossario.htm>. Acesso em: 01 jun. 2011.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

GOVERNOS



PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES URBANOS: ALTERNATIVA PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

ISSN 1809-3957

CARLOS HARDT

Resumo – Frente ao crescimento acentuado das cidades brasileiras e aos seus decorrentes e significativos problemas de mobilidade e de energia, o estudo apresenta aspectos estruturantes da Região Metropolitana de Curitiba e do planejamento e gestão da sua metrópole. Apesar do reconhecimento – inclusive internacional – das soluções adotadas pela capital paranaense em termos urbanísticos e de mobilidade, assim como da sua preocupação com a sustentabilidade socioambiental do meio urbano – em cujo contexto estão inseridas ações destinadas à conservação de energia –, ainda não são suficientes as articulações com organismos desse setor, à semelhança do que ocorre com aqueles relacionados ao uso e ocupação do solo e aos sistemas viário e de transporte público. Como conclusão, recomenda-se, dentre outros aspectos, a integração mais intensa de Curitiba à sua região metropolitana, assim como a colaboração institucional entre os diversos setores envolvidos, inclusive na área energética.

Palavras-chave – Energia. Gestão. Metrôpole. Planejamento. Transporte.

I. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

No período de 1950 a 2008, a população brasileira teve um crescimento de mais de 130 milhões de habitantes, saltando de 52 milhões para 182 milhões. Em 1950, apenas 35% pessoas viviam na área urbana, proporção que alcançou, em 2008, o patamar de 82% [1].

O maior crescimento se deu após a década de 1970, com uma concentração maior nas regiões Sul e Sudeste. Atualmente, 55% da população urbana habita 8% das cidades do país, estando Curitiba entre as 12 capitais de maior concentração populacional [1].

O processo de ocupação do solo urbano no Brasil se deu, de modo geral, de forma relativamente desordenada, com parcelamentos do solo em regiões distantes dos centros das cidades, mantendo densidades baixas em grande parte do tecido urbano, resultando em custos exponenciais dos serviços públicos, em especial, do sistema de transportes [2].

Como importantes características do processo de urbanização, têm-se a segregação urbana, com crescimentos desproporcionais das cidades. Se a população brasileira tem crescido, nos últimos anos, a taxas próximas a 1,4% ao ano, a população brasileira que vive nas áreas metropolitanas tem aumentado a valores superiores a 7,6% ao ano [1].

A situação da mobilidade urbana no Brasil pode ser avaliada ao se analisar a Tabela I, quando se percebe que os deslocamentos motorizados em sistemas coletivos praticamente equivalem aos individuais. Esta situação, em razão da relativa estabilidade econômica, tem sofrido tendência de aumento significativo dos transportes individuais [3]. Certamente, essa situação exige soluções emergenciais em termos de conservação de energia, especialmente nos grandes centros urbanos brasileiros.

Tabela I. Número de viagens/ano, por modalidade de deslocamento no Brasil – 2005.

Mobilidade	viagens		%
	(milhões/ano)		
Sem motorização	A pé	19.667	38,9%
	Bicicleta	1.363	2,7%
	Subtotal	21.030	41,6
Coletiva	Ônibus municipal	11.283	24,2%
	Ônibus regional	2.047	4,4%
	Metrô	1.501	3,1%
	Subtotal	14.831	31,8%
Individual	Carro	13.762	28,9%
	Moto	995	2,1%
	Subtotal	14.757	31,1%
TOTAL		50.618	100,0%

Fonte: ANTP (2005).

Curitiba localiza-se na região Sul do Brasil, no estado do Paraná e na região metropolitana homônima. A configuração da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) foi alterada ao longo de seus 38 anos de existência, por diversas ocasiões, todas elas por motivação política e não por indicação técnica (Figura 1) [4].

Ao ser criada, em 1973, por lei federal, era composta por 14 municípios. Atualmente, abrange 26 municípios, com uma população de aproximadamente 3,3 milhões de habitantes [5].

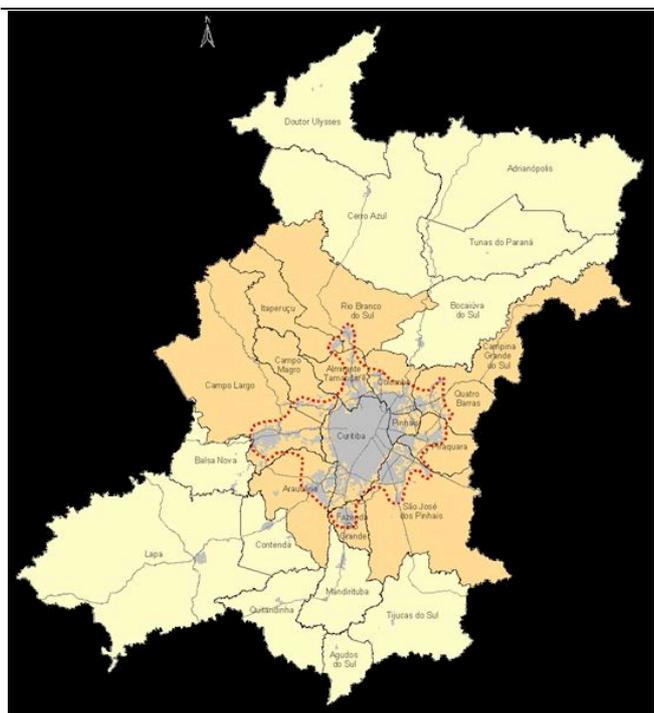


Figura 1. Mapa do Núcleo Urbano Central (NUC) da Região Metropolitana de Curitiba (RMC).
Fonte: COMEC (2006)

Devido à heterogeneidade de seu território, com vastas áreas rurais e cidades com população variando de 500 a 1,8 milhões de habitantes, a RMC foi subdividida em diversas categorias de ocupação, destacando-se o Núcleo Urbano Central (NUC), que concentra a principal área urbana contínua ao pólo – Curitiba. Este espaço, integrado por parte dos 14 municípios originais da região metropolitana, abriga quase 95% da população da RMC [5], e, por conseguinte, seus principais problemas urbanos (ver Figura 1).

O município de Curitiba está cercado por áreas que compõem os mananciais hídricos da RMC, o que constitui um dos principais problemas físico-territoriais da gestão do NUC, pois restringe fortemente as opções de crescimento, bem como de desenvolvimento de atividades econômicas, pois os recursos hídricos são fundamentalmente de superfície, o que exige importantes ações de controle do uso do solo [4].

A relevância deste cuidado é ampliada em razão da região estar situada nas nascentes dos principais rios do Paraná, tendo, portanto, escassa disponibilidade de água, inclusive para aproveitamento energético.

A ocupação do território ocorreu em função tanto do relevo quanto da forte influência das vias de acesso a Curitiba. No início, existiam núcleos relativamente isolados, que, com o crescimento da ocupação, passaram a se constituir na grande mancha urbana que conforma atualmente o NUC [6].

Com base no Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba (PDI-RMC), concluído em 2006, foram diagnosticados os principais vetores de crescimento urbano do NUC, que são resultantes de um conjunto de fatores, dentre os quais podem ser destacados: a

oportunidade de emprego, a existência de áreas com relevo mais favorável, a permissividade legal e a disponibilidade de glebas para a implantação de loteamentos [6] (Figura 2).

Nesses termos, as tendências acompanham, de modo parcial, as diretrizes de desenvolvimento metropolitano ao se dirigirem no sentido sudeste e sul. Porém, o vetor na direção norte não é desejável, tendo em vista as dificuldades topográficas e de proteção dos mananciais [6].

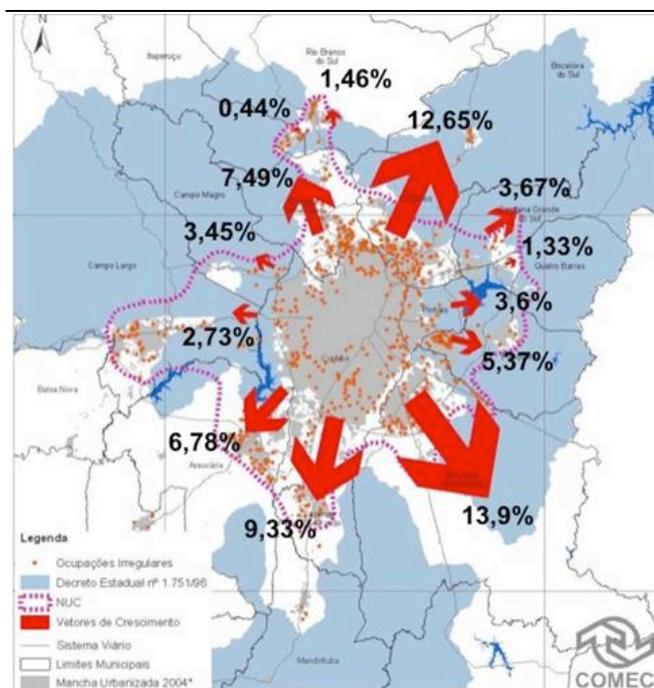


Figura 2. Mapa de vetores de crescimento urbano da Região Metropolitana de Curitiba (RMC).
Fonte: COMEC (2006)

Sob o ponto de vista socioeconômico, a RMC abriga os maiores e os menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado do Paraná (Figura 3). Três municípios têm IDH superior a 0,8, enquanto que cinco se situam abaixo de 0,7. Estes dados demonstram o alto grau de diversidade entre os municípios da região, sendo, no caso daqueles com menor IDH, todos de pequeno porte e quatro deles localizados na mesma região geográfica: o Vale do Ribeira, que não faz parte do NUC.

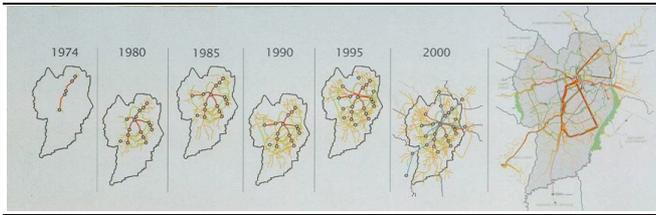


Figura 3. Mapas de evolução da rede transporte coletivo de massa em Curitiba – 1974-2000.
Fonte: URBS (2008).

Como corolário desse processo de planejamento, a cidade de Curitiba, ao longo de sua história recente, foi planejada sobre estruturas urbanas com diferentes configurações básicas. O desenho do primeiro plano urbanístico (Plano Agache), de 1943, de estrutura radioconcêntrica, foi alterado significativamente com o Plano Diretor de 1966, coordenado pelo urbanista Jorge Wilhelm, que linearizou a cidade, por intermédio de eixos estruturais que concentram alta densidade demográfica, usos comerciais e residenciais, infraestrutura e serviços públicos, estruturas viárias e a base principal do sistema de transporte público de passageiros. Nesta nova configuração, as demais áreas da cidade teriam densidades menores, tanto em relação à ocupação do solo como com referência à verticalização das construções [9]. Estas densidades são decrescentes a partir do eixo estrutural, formando um perfil que acompanha esta graduação de altura (Figura 4).

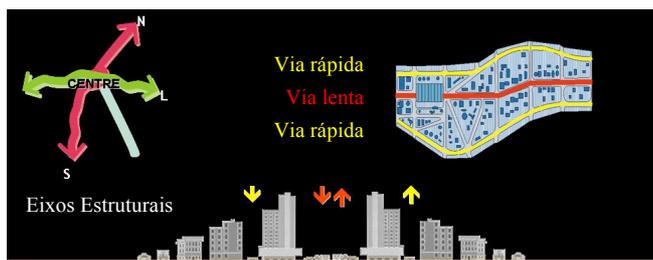


Figura 8. Esquema urbanístico básico dos eixos estruturais de Curitiba.
Fonte: IPPUC (2011).

Durante o período de 1966 a 2000, a proposta não sofreu alterações significativas, sendo sucessivamente adaptada a pequenos ajustes propostos pela municipalidade.

III. CONFIGURAÇÃO URBANA ATUAL DE CURITIBA E SUA RELAÇÃO COM O TRANSPORTE PÚBLICO

A partir dos anos 2000, com a revisão do Plano Diretor, a estrutura da cidade sofreu nova reorganização, concluída em 2004, em função da necessária adaptação à nova legislação urbana brasileira, denominada de Estatuto da Cidade, quando se propôs a incorporação de mais um eixo com características estruturais, denominado originalmente de Eixo Metropolitano e mais recentemente de Linha Verde [10].

Essa iniciativa transformou o desenho da cidade em uma estrutura multilinear e demonstrou, pela primeira vez de forma mais evidente, a preocupação da cidade com a dinâmica de metropolização. O planejamento e a gestão de cidades têm conformado grandes desafios dos urbanistas,

principalmente a partir do final do século XX. Um dos problemas atuais mais comuns consiste na setorização das diversas ações de gestão e planejamento, o que, invariavelmente, resulta em desperdício de esforços e recursos, inclusive nos aspectos relacionados à otimização dos transportes e à conservação de energia. No caso de Curitiba, o planejamento e a gestão se deram formalmente por intermédio da integração do uso do solo, do sistema viário e do sistema de transportes. Cada setor foi concebido considerando os demais, em suas diversas relações. Assim, ao se reestruturar um dos temas, os outros são ajustados àquele. Cabe ressaltar, porém, que essa sistemática ainda é insuficiente em relação aos procedimentos junto à área de energia.

A última reformulação, e a mais importante após 1966, novamente respeitou este princípio ao criar o novo eixo de desenvolvimento da Linha Verde, a qual consiste na transformação em via urbana de uma rodovia de caráter nacional (BR-116), destinada originalmente ao tráfego de carga e de passagem, mas que, com o passar do tempo, também abrigava fluxos locais e de passageiros, configurando fortes conflitos viários e urbanísticos.

Ao se deslocar as características rodoviárias – tráfego de carga e de passagem – para outro traçado, mais distante do centro da metrópole, a estrutura remanescente está sendo alterada para se caracterizar num grande eixo de interligação de municípios metropolitanos com 20 bairros da cidade de Curitiba, tendo como premissa a separação do tráfego local daquele de passagem e do transporte coletivo de passageiros do individual (Figura 5).

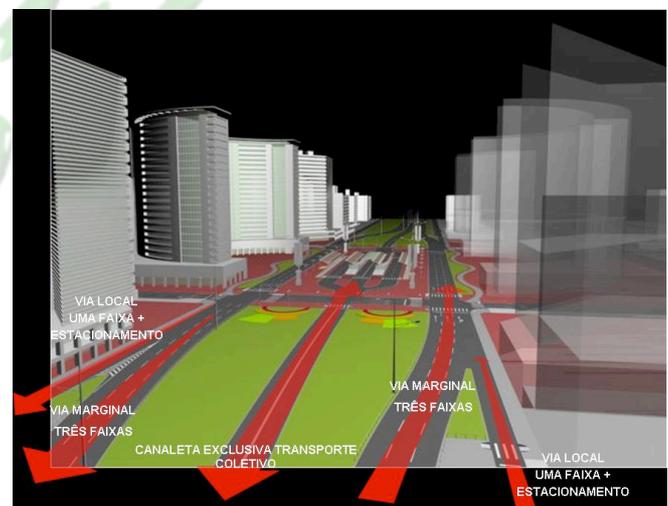


Figura 5. Esquema viário do projeto da Linha Verde.
Fonte: IPPUC (2008).

A Linha Verde compreende cinco pistas, com um total de 12 faixas de tráfego, sendo duas marginais para o tráfego local, duas pistas com três faixas de tráfego para o fluxo de maior velocidade e deslocamento de maior distância e uma pista central com duas faixas de tráfego destinadas ao transporte coletivo (Figuras 6 e 7).

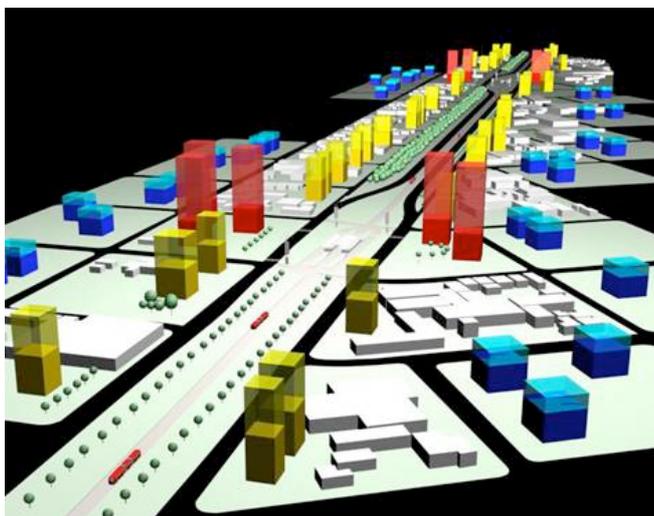


Figura 6. Maquete eletrônica simplificada da Linha Verde.
Fonte: IPPUC (2008).

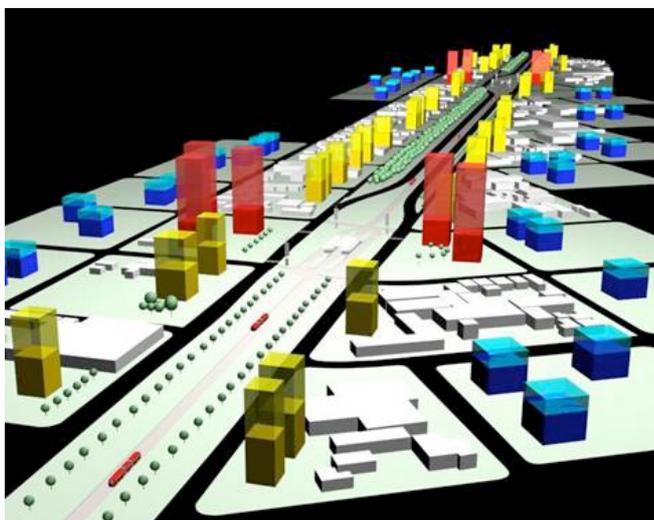


Figura 7. Perfil da ocupação programada para a Linha Verde.
Fonte: IPPUC (2008).

Ao longo de seus 20 km, além das funções viárias, também abrigará usos comerciais e residenciais de alta densidade. Em alguns trechos, ocorrerão parques lineares integrados ao sistema existente de áreas verdes urbanas, com espaços ajardinados que possibilitarão a implantação de ciclovias, pistas para pedestres e locais de lazer.

O relativo êxito do processo de planejamento dos transportes e da gestão urbana de Curitiba pode ser atribuído a alguns fatores, tais como: a existência a longo prazo de um projeto urbanístico estruturante, a assimilação dessa proposta pela população, a persistência da gestão da cidade sobre o seu desenho original independentemente da linha política do governante e, finalmente, a integração do planejamento entre os diversos setores relacionados ao processo, notadamente aqueles vinculados ao uso do solo, ao sistema viário e ao transportes (Figura 8). Nesse último aspecto recaem as principais reflexões desse estudo, pois apesar de muitas soluções visarem à conservação de energia, ainda existem importantes lacunas com relação à atuação interinstitucional para a garantia de melhores resultados em termos energéticos. Essa última assertiva torna-se essencial

no momento atual, quando estão sendo estudadas, de forma definitiva, as alternativas para a implantação do metrô.

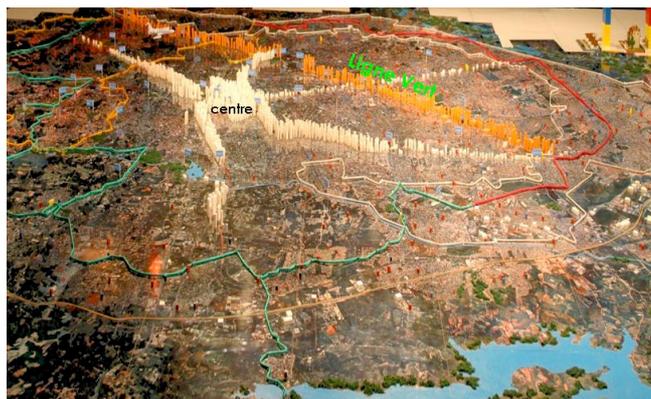


Figura 8. Maquete eletrônica simplificada da Linha Verde e dos Eixos estruturais de Curitiba.
Fonte: IPPUC (2008).

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O forte crescimento demográfico e a acentuada ampliação da frota de veículos circulantes, que, a cada mês, incorporam-se às ruas da cidade, a freqüência acentuada de engarrafamentos; o crescimento exponencial dos municípios metropolitanos, a defasagem de tempo entre as grandes intervenções urbanísticas e a baixa capacidade de investimentos, principalmente das prefeituras no entorno de Curitiba, resultaram em problemas que compõem um conjunto de desafios às autoridades públicas.

Em nível local, busca-se intervir no sistema de mobilidade urbana, visando, de um lado, incentivar o uso do transporte público, que atualmente representa cerca de 45% dos deslocamentos diários, e de outro, incorporar inovadoras soluções tecnológicas, inclusive novos modais para que este objetivo seja atingido. Evidentemente, essas inovações devem necessariamente incorporar questões relativas à conservação energética.

A sustentabilidade socioambiental da cidade é dependente do sistema de transporte público, podendo ser ampliada por medidas como o planejamento adequado dos deslocamentos da população e pela colaboração institucional entre os diversos setores envolvidos.

Cabe ressaltar que a administração da cidade de Curitiba deverá se integrar mais intensamente à sua região metropolitana, pois a dinâmica urbana resultante desse processo exige que as intervenções tenham objetivos comuns.

As projeções demográficas indicam que a região metropolitana deverá abrigar, até o ano de 2020, o acréscimo de 1 milhão de habitantes, que demandarão mais de 17.000 de hectares. Estas áreas não poderão estar localizadas em regiões de restrição à ocupação em função de limitações ambientais, mas preferencialmente nos territórios mais apropriados, previstos no planejamento metropolitano [6].

Portanto, Curitiba, apesar das iniciativas já adotadas

visando tornar a cidade mais sustentável e com melhor qualidade de vida, incluindo preocupações com questões energéticas, ainda se depara com importantes desafios a serem enfrentados, de cujo êxito de soluções o futuro urbano é diretamente dependente.

V. REFERÊNCIAS

- [10] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Cidades”. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br/cidades>> Acesso em: 30 out. 2011.
- [11] Hardt, C. “Les Interactions entre l’aménagement urbain et la planification de transports a Curitiba (Brésil)”. In: Diab, Youssef (org.). *La ville durable: urgences et utopies*. Paris: L’Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris, 2009. pp. 123-137.
- [12] ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. “Transportes”. 2005. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/transportes>> Acesso em: 30 maio 2008.
- [13] Hardt, C. “Gestão metropolitana: conseqüências dos paradigmas das políticas públicas na qualidade ambiental do Compartimento Leste Regional da Região Metropolitana de Curitiba”. 2004. 313f. Tese. (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- [14] COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. “Região Metropolitana de Curitiba”. Disponível em: <<http://www.comec.pr.org.br/RMC>>. Acesso em: 30 out. 2008.
- [15] COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. “Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba”. Curitiba, 2006.
- [16] IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. “Histórico”. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/informando/index_informando.htm>. Acesso em: 05 maio 2008.
- [17] URBS – Urbanização de Curitiba. “Transporte”. Disponível em: <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/Portal/transporte>>. Acesso em: 05 maio 2008.
- [18] IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. “Informando o cidadão”: Curitiba em dados. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/informando/index_informando.htm>. Acesso em: 30 out. 2008.
- [19] IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. “Linha Verde”. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/informando/index_informando.htm>. Acesso em: 05 maio 2008.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O autor é o único responsável pelo material incluído no artigo.



PRODUÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE VANÁDIO PARA APLICAÇÕES EM BIODIAGNÓSTICOS

ISSN 1809-3957

MIGUEL GRISSAI SANTOS¹, VINÍCIUS SILVA DE OLIVEIRA², FRANCIELE RENATA HENRIQUE², DANIEL HIOKI¹, WIDO H. SCHREINER², ARANDI GINANE BEZERRA JR.^{1*}

¹UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR, CURITIBA-PR. ²UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR, CURITIBA-PR.

*AUTOR CORRESPONDENTE: ARANDI@UTFPR.EDU.BR

Resumo – Neste trabalho apresentamos a técnica de ablação a laser como forma eficiente para geração de nanopartículas. Damos destaque à produção e caracterização de nanopartículas de óxido de vanádio (V_2O_5) em meio aquoso. Estas nanopartículas apresentam grande potencial de aplicação em bioensaios, dentre outras. A ablação a laser desponta como uma técnica promissora para a síntese verde de nanopartículas para diversas aplicações.

Palavras-chaves – nanopartículas; ablação a laser; biofotônica; nanofotônica; nanomateriais; biosensores; “síntese verde” de materiais.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se no contexto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Diagnósticos em Saúde Pública, o INDI-Saúde. O objetivo do INDI-Saúde é o desenvolvimento e a implantação de novas tecnologias para o diagnóstico de doenças causadas por microorganismos relevantes para a saúde pública. O foco inicial adotado são as doenças ditas negligenciadas, como a doença de Chagas e a dengue, além das patologias cujo diagnóstico é compulsório para o sangue, como o HTLV1, HTLV2, HIV1, HIV2, hepatite B, hepatite C e a sífilis [1]. Busca-se o desenvolvimento de tecnologias do tipo *point-of-care* [2, 3] e também a pesquisa e o desenvolvimento de

bioensaios [2-4] com potencial para aplicações em biologia, saúde e medicina.

Recentemente, demonstramos a possibilidade de utilizar nanopartículas (NPs) de um óxido de vanádio, o V_2O_5 , para detecção de moléculas biológicas. Foi determinado que a sua interação com moléculas biológicas é seletiva, especificamente com a cisteína, um dos vinte aminoácidos encontrados nas proteínas. Dessa forma as NPs de V_2O_5 podem ser utilizadas como eficientes sensores de cisteína [5].

O objetivo do presente trabalho é aprimorar a produção de NPs de V_2O_5 por meio da técnica LaSiS (*Laser*

ablation synthesis in solution) [6]. Especificamente, busca-se determinar uma metodologia para quantificar a produção de NPs, tendo em vista a potencial utilização destas.

II. PRODUÇÃO DE NANOPARTÍCULAS

A produção de nanopartículas pode ser dividida em dois tipos: os que fazem com que átomos se agreguem para formar a nanoestrutura (*bottom up*), e os em que há remoção de material para se obter a estrutura desejada (*top down*) [6, 7]. As técnicas de agregação são mais usadas por serem de fácil reprodução e apresentarem pouca dispersão quanto ao tamanho das partículas obtidas. Normalmente, usam substâncias químicas para fazer com que o crescimento das partículas não ocorra desordenadamente. Porém, estes métodos têm rendimento restrito e podem conter vestígios das substâncias que são usadas na síntese, ademais, carregando o meio ambiente. Alternativamente, a ablação a laser é uma maneira de se fabricar nanopartículas diretamente, quase sempre sem a adição de substâncias que possam inviabilizar suas aplicações científicas e tecnológicas. A ablação a laser é uma técnica bem estabelecida em diversos campos, como na remoção de tecidos em cirurgias médicas; na ionização de alvos para deposição de filmes em alto vácuo (PLD - *pulsed laser deposition*) e para espectrometria de massa. Atualmente, é uma técnica que vem se estabelecendo como alternativa eficiente para a produção de nanopartículas [6]. Assim, a produção de NPs de V_2O_5 por ablação em meio líquido apresenta-se como alternativa interessante para se fabricar estas nanopartículas diretamente, sem a adição de substâncias que possam inviabilizar suas aplicações [5].

A técnica consiste em focalizar a luz de um laser pulsado sobre um material sólido que é submerso em meio líquido. A luz laser é focalizada na superfície do material e a energia absorvida produz sua vaporização, seguida de uma pluma de plasma de alta temperatura. Nesse processo ocorre simultaneamente a vaporização, explosão e fotoionização do material o que resulta na formação das nanopartículas [6].

III. O EXPERIMENTO

Um esquema do experimento realizado é ilustrado na Figura 1. Foi utilizado o harmônico fundamental (1064 nm) de um laser de Nd:YAG operando em regime Q-switched, com pulsos de 200 ns e taxa de repetição de 1 KHz, a energia por pulso sendo da ordem de 1mJ.

A. Ablação a laser

O feixe de luz é guiado até a amostra por meio de espelhos e focalizado em sua superfície com uma lente de 5 cm de distância focal. O alvo de vanádio (*Williams Advanced Materials 2N7*) é colocado em um recipiente preenchido com 2 ml de água deionizada. O diâmetro do feixe ao atingir o alvo é da ordem de 30 μm . O recipiente é apoiado sobre uma plataforma móvel que pode ser movimentada mecanicamente ou manualmente. Os movimentos são realizados a fim de não deixar o feixe de luz incidir na mesma parte da superfície, evitando o aprofundamento de crateras em somente alguns locais da amostra. Desta forma, a remoção do material superficial será mais uniforme e haverá um melhor aproveitamento do alvo.

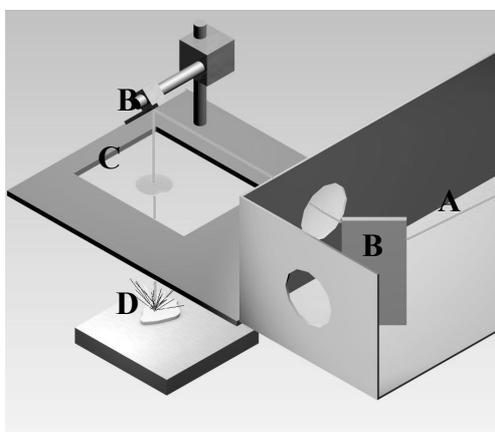


Figura 1 – Montagem experimental para ablação a laser. A: feixe de luz laser; B: espelhos; C: lente focalizadora; D: amostra imersa em meio líquido.

Depois de realizada uma série de experimentos preliminares, foi escolhido um tempo total de 5 minutos para irradiação do alvo e produção dos colóides. Após cerca de 2 min do início da ablação, já é possível perceber a presença de nanopartículas pela coloração da solução. As amostras produzidas pelo procedimento acima descrito são constituídas de V_2O_5 , segundo resultados obtidos com a técnica de espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS) [5].

B. Caracterização das amostras

A fim de aperfeiçoar o processo da produção de nanopartículas de V_2O_5 , precisa-se determinar a quantidade de NPs que são produzidas durante a ablação. Assim, podemos incluir melhorias no bioteste que desenvolvemos em [5], quantificando melhor as relações de massa entre NPs de V_2O_5 e a cisteína. Além disso, é importante determinar as taxas de produção de NPs (em unidades de

mg/min) para que se avalie a viabilidade da técnica do ponto de vista da síntese verde de nanomateriais [8].

Para determinar a massa produzida durante a ablação, foram selecionados 6 recipientes de vidro idênticos, para os quais mediu-se a massa em uma balança de precisão Shimadzu – AY220. Após as ablações, 4 ml da solução de NPs foram adicionados a cada um dos recipientes e o líquido foi evaporado em ambiente de temperatura controlada ($T=60^\circ\text{C}$). Mediu-se a massa resultante (vidro mais NPs restantes) novamente. Dessa forma, por uma medida de diferença, foi possível determinar a quantidade de nanopartículas produzidas (vide seção RESULTADOS).

Para melhor caracterizar as NPs, foi utilizada a técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS) [9], com a qual é possível obter a distribuição de tamanhos (diâmetro médio e dispersão). Também foram medidos os espectros de absorção óptica das amostras com um espectrômetro UV-Vis-NIR USB 2000 (Ocean Optics). A partir dos dados obtidos por DLS, usando o equipamento Nanotracer NP 253 (Microtrac), e com as medidas de massa efetuadas, podemos realizar uma análise da distribuição de massa em relação ao tamanho e quantidade de NPs presentes no colóide. Considerando as NPs como esferas, temos que:

$$m_n = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho \quad (1)$$

onde m_n é a massa da NP, d é o seu diâmetro e ρ é a densidade do V_2O_5 (3350 kg/m^3).

Considerando que a massa medida (ΔM) é igual à massa total de NPs presentes na solução de 24 ml, distribuídas nas 6 cubetas:

$$\Delta M = \frac{1}{6} \pi \rho \sum d^3 \quad (2)$$

onde o somatório se estende para todas as partículas da amostra. Usaríamos a equação (2) se as NPs na solução fossem monodispersas, mas existe uma dispersão (que pode ser medida por meio da técnica de DLS) que deve ser levada em conta nos cálculos. Assim, a equação fica:

$$\Delta M' = \frac{1}{6} \pi \rho \sum f_n \times d_n^3 \quad (3)$$

onde f_n é a frequência com que cada diâmetro aparece e d_n é o diâmetro correspondente (dados pelo DLS). $\Delta M'$ corresponde, assim, à massa de 100 NPs, pois a distribuição de tamanho encontrada pelo DLS é apresentada de modo percentual.

IV. RESULTADOS

Na Figura 2 é mostrado o espectro de absorção de luz (UV-Vis) do colóide. A banda que se estende a partir da região do azul até o UV é característica de semicondutores e, neste caso, corresponde à coloração amarelada das amostras de V_2O_5 produzidas. A Figura 3, por sua vez, mostra o gráfico da dispersão dos tamanhos das

nanopartículas de V_2O_5 , segundo dados de DLS. Note-se uma faixa principal de distribuição centrada na região em torno de 120 nm. Nanopartículas com diâmetros menores podem ser obtidas caso a potência do laser e as condições de focalização sejam modificadas.

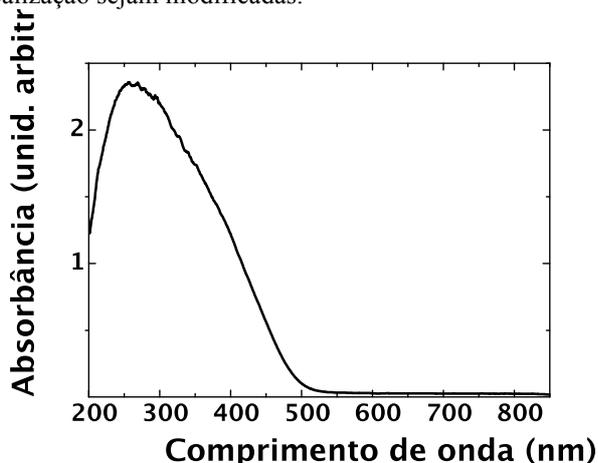


Figura 2 - Espectro de absorção linear da solução aquosa de V_2O_5 produzida por ablação a laser.

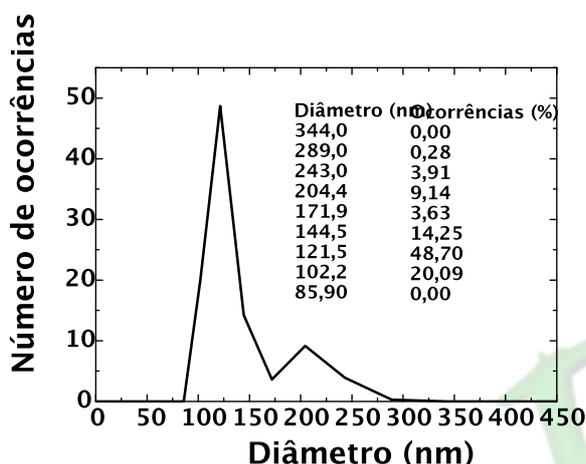


Figura 3 – Distribuição de tamanhos da solução de NPs de V_2O_5 . Os valores obtidos na análise de DLS (diâmetro e ocorrências, ou d_n e f_n) utilizados na Equação 3 também são apresentados no gráfico.

A partir dos dados de DLS (Figura 3) e da Equação 3, pode-se determinar a quantidade ΔM . A massa de cada um dos 6 recipientes de vidro, conforme discutido anteriormente, foi medida antes da ablação (m_a), com os recipientes vazios. Após inserir 4 ml de colóide em cada recipiente - e provocar a evaporação da água -, foi medida a massa dos recipientes secos (m_d). Com isso, foi estimada a massa de nanopartículas produzidas (ΔM). Os respectivos valores de ΔM são apresentados na Tabela 1.

Massa de NPs de V_2O_5 (ΔM) em cada recipiente de vidro. Nota: m_a é a massa dos recipientes vazios e m_d é a massa correspondente ao recipiente acrescido das NPs.

Recipiente	m_a (g)	m_d (g)	ΔM (g)
1	3,90050	3,90153	0,00103
2	3,80650	3,80746	0,00096
3	3,83030	3,83143	0,00113
4	3,83110	3,83223	0,00113
5	3,85250	3,85360	0,00110
6	3,81460	3,81600	0,00140
Média			0,001125

TABELA 1

O desvio padrão correspondente à distribuição da Tabela 1 é $\sigma = 0,000150$ g, o que espelha o fato de as amostras serem homogêneas.

Utilizando uma simples regra de três podemos encontrar a quantidade total de NPs presentes na solução (n):

$$n = \frac{\Delta M}{\Delta M'} \times 100 \quad (4)$$

Dessa forma,

$$n = 2,06 \times 10^7 \quad (5)$$

Ao analisarmos a massa e a frequência de cada tamanho, vemos que as partículas menores que o tamanho médio (124,7 nm) correspondem a 68,79% do total das NPs. Além disso, podemos estimar a taxa de produção como sendo da ordem de 0,1mg/minuto. Este valor qualifica a técnica de ablação a laser como apresentando bom rendimento para a produção de NPs de V_2O_5 de modo a que possa ser considerada uma síntese verde.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, descrevemos o processo de produção de NPs de V_2O_5 por meio da técnica de ablação a laser. As NPs obtidas foram caracterizadas usando espectroscopia UV-Vis e DLS. Também desenvolvemos uma metodologia para medir a quantidade de NPs produzidas e o método para quantificação se mostrou adequado para o controle da produção de NPs.

A técnica de ablação a laser tem sido empregada por nosso grupo para a produção em escala de NPs de diversos materiais. Com o controle da produção e a quantificação das NPs, podemos aperfeiçoar o processo de fabricação tendo em vista nossos objetivos específicos, por exemplo, a utilização de NPs de V_2O_5 em sensores de cisteína. Este controle significa poder determinar com mais precisão tanto a massa quanto a quantidade de NPs produzidas por ablação. Assim, podemos desenvolver protocolos para aperfeiçoar a referida técnica e, deste modo, ampliar e aprofundar o potencial de aplicação das NPs em biodiagnósticos.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro recebido do CNPq por meio do Instituto Nacional para Diagnósticos em Saúde Pública, INDI- Saúde.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] INDI-Saúde: Instituto Nacional Para Diagnósticos em Saúde Pública, projeto aprovado no edital MCT/CNPq 014/2008 (Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia - INCT). Disponível em: <http://www.cnpq.br/programas/inct/_apresentacao/inct_dia_g_saude.html>. Acesso em: 7 de outubro de 2011.
- [2] P. N. Prasad, *Introduction to Biophotonics*, New Jersey: Wiley – Interscience, 2003.
- [3] D. A. Giljohann; C. A. Mirkin, “Drivers of biodiagnostic development” *Nature*, 462, 461-464, 2009.
- [4] L. M. Araújo, V. S. Oliveira, A. G. Bezerra, Jr, F. K. Schneider, P. M. Gewehr, D. A. Turchetti, and L. C. Akcelrud, "Optical Characterization of the Molecule Lapps34m for use as a New Fluorophore," in *Latin America Optics and Photonics Conference*, OSA Technical Digest (CD), Optical Society of America, paper MC4, 2010.
- [5] W. Celestino-Santos, A. G. Bezerra-Jr., A. B. Cezar, N. Mattoso and W. H. Schreiner, “Vanadium Oxide Nanoparticles as Optical Sensors of Cysteine”; *J. Nanoscience and Nanotechnology*, 11, 4702-4707, 2011.
- [6] V. Amendola and M. Meneghetti, “Laser ablation synthesis in solution and size manipulation of noble metal particles”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 11, 3805-3821, 2009.
- [7] S. Eustis and M. A. El-Sayed, “Why gold nanoparticles are more precious than pretty gold: Noble metal surface plasmon resonance and its enhancement of the radiative and nonradiative properties of nanocrystals of different shapes,” *Chem. Soc. Rev.*, 35, 209-207, 2006.
- [8] J. A. Dahl, B. L. S. Maddux, and J. E. Hutchison, “Toward Greener Nanosynthesis”, *Chem. Rev.*, 107, 2228-2269, 2007.
- [9] B. J. Berne and R. Pecora, *Dynamic Light Scattering*, New York: Dover, 2000.

VIII. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



ANÁLISE QUANTITATIVA E COMPARATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO COM DIFERENTES ESPÉCIES

ISSN 1809-3957

DAYANE PATRÍCIA VIEIRA¹, ELISANDRO PIRES FRIGO², MICHELLE SATO FRIGO³,
DINEIA TESSARO⁴, DEONIR SECCO⁵, RAFAELA BASTOS⁶

¹FOZ DO IGUAÇU – PR, BRASIL, DAYAVIEIRA@GLOBO.COM, ²UFPR, CAMPUS PALOTINA – PR, BRASIL, EPFRIGO@GMAIL.COM, ³UFPR, CAMPUS PALOTINA – PR, BRASIL, MSFRIGO@GMAIL.COM, ⁴UTFPR – CAMPUS DOIS VIZINHOS; DINEIATESSARO@UTFPR.EDU.BR, ⁵UNIOESTE– PR, BRASIL DEONIR.SECCO@UNIOESTE.BR, ⁶UFPR, CAMPUS PALOTINA – PR, BRASIL, RAFAELAKBASTOS@HOTMAIL.COM

Resumo: Em virtude do aquecimento global, as atividades de reflorestamento tem sido propostas na minimização deste efeito, considerando que as florestas são sumidouros de carbono. O trabalho teve por objetivo avaliar o estoque de carbono em área reflorestada com eucalipto das *E. grandis* e *E. cinerea*. Para a avaliação determinou-se uma unidade amostral de diâmetro e altura média para ser abatida, sendo calculado a quantidade de biomassa e carbono nos compartimentos. A quantidade de carbono por unidade encontrada na espécie *E. cinerea* foi maior, já a espécie *E. grandis* apresentou um maior número de árvores por área, contabilizando na área total um maior estoque. Os resultados demonstram a potencialidade na redução da quantidade de carbono na atmosfera minimizando assim, os efeitos causados pelo homem no planeta.

Palavras-chave: Aquecimento global, biomassa, sequestro de carbono

I. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural que, devido ao aumento na concentração de gases, ocorre uma diminuição do retorno da radiação infra-vermelha para o espaço. Em consequência há um aumento na temperatura, queda na produção agrícola e doenças. Um dos principais gases que contribuem para este efeito é o dióxido de carbono (SCARPINELLA, 2002; GROSSI e FREITAS, 2007). Em 1992, foi realizada uma conferência chamada Rio-92, com a participação de 154 países com o objetivo de estabilizar a concentração destes gases (BALBINOT, 2004; FINCO e REZENDE, 2004). Desde que a convenção entrou em vigor países se reúnem para levantar problemas e buscar soluções para as mudanças climáticas, estes encontros são

denominados Conferência das Partes (COP's) (LAMARCA JUNIOR e SILVA, 2008). Em 1997, na COP 3 foi firmado um compromisso entre as partes, chamado Protocolo de Quioto, estabelecendo-se metas de redução de emissões para os países desenvolvidos. Na COP 9 foram aprovadas alternativas para que os países desenvolvidos conseguissem atingir suas metas através de projetos, como por exemplo os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que auxiliam os países desenvolvidos através da compra de créditos de carbono (reduções comprovadas de emissões) realizados por países em desenvolvimento (CHANG, 2002; TOMASELLI, 2005). Duas linhas de projetos são possíveis para os MDL, a redução de emissão de gases e o resgate e fixação de carbono através de florestamento e reflorestamento, considerando as florestas como sumidouros de carbono. Na COP 9 foi estabelecido que, para o primeiro período de compromisso, só serão válidas áreas que estavam desmatadas até dezembro de 1989 (BALBINOT, 2004; ALCÂNTARA *et al.*, 2007;

LAMARCA JUNIOR e SILVA, 2008). Biomassa é a matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal que, através de sua análise pode-se obter o teor de carbono, nos componentes das árvores (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). Maestri *et al.* (2004) observou em seu estudo com *Eucalyptus* que, uma quantidade maior de carbono é encontrado nas árvores quando há mais precipitações e que no decorrer do seu desenvolvimento haverá um acúmulo maior de carbono nos seus compartimentos. Paixão *et al.* (2004) verificou que o maior acúmulo de carbono é encontrado no fuste (tronco), seguido pelos galhos e por último as folhas. Sanquetta (2009) em seu

estudo com *Eucalyptus* encontrou uma fixação de 19,87 toneladas de carbono por hectare durante um ano. O valor da tonelada de CO₂ removida da atmosfera através de projetos de MDL varia entre US\$ 10 e US\$ 20 (BALBINOT, 2004).

II. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Matelândia, situado na Zona Rural Linha Ouro, pertencente à região Oeste do Paraná, em uma propriedade na qual existem duas espécies de eucaliptos: *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cinerea*. Para a quantificação da área total do reflorestamento e a área em cada espécie estudada foi utilizado um GPS marca Garmin, modelo Etrex Legend. Segundo os dados obtidos no Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER (2009) o clima da região é classificado como subtropical muito variável, com secas e inverno rigoroso. A temperatura média varia entre 10 e 30°C. O solo é classificado como latossolo vermelho amarelo distroférico, de horizonte A a B. A grande maioria são áreas declivosas, onde as áreas agricultáveis apresentam de 3 a 15% de declividade. O relevo é levemente ondulado, passando a ondulado e fortemente ondulado. Sobre as práticas silviculturais, não são feitos desbaste na área. A finalidade para a madeira é a matéria-prima energética, estes dados foram obtidos de acordo com entrevista com a proprietária, com base no roteiro de produção da EMBRAPA Florestas e as observações no local. Para a determinação da altura foi utilizada como base a metodologia do Esquadro de Leduc citado por Silva e Paula Neto (1979). Para a obtenção dos dados, empregou-se o método já adaptado na qual o observador utilizou-se de um esquadro de 30°, segurando-o junto ao rosto para a visualização do topo da árvore. Uma vez avistado o topo da árvore, foi medida a distância entre o observador e a árvore com uma trena. Foi necessário ainda identificar a que altura o esquadro se encontrava do solo. Foi elaborado um sistema de baliza com canos de PVC que serviu como suporte para o esquadro com uma altura conhecida de 1,60 m. A determinação da altura foi baseada no seguinte cálculo: obteve-se a distância do observador até a árvore (AO), multiplicou-se pela tangente de 30° - verificada de acordo com o esquadro com dois ângulos opostos de 30° e 60° - e somou-se a altura do esquadro até o solo (OB), conforme mostra a figura 1.

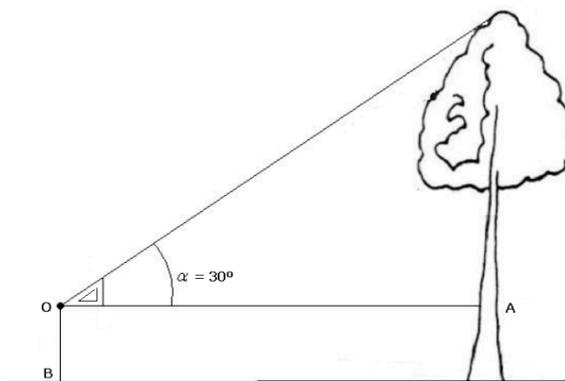


Figura 1: Método do esquadro de Leduc adaptado

O DAP (altura conhecida de 1,30 m do solo) foi determinado através de um paquímetro com precisão de 0,5 mm. O espaçamento entre as árvores foi determinado com uma trena, onde se pôde estimar quantas árvores de cada espécie existem na área estudada. Para a definição das árvores-amostra Foi realizada, aleatoriamente, uma amostragem de 50 árvores para cada espécie, onde foram medidos o DAP e altura em toda a extensão da área. Com os dados de DAP e altura das 50 amostras estabeleceu-se uma média entre estas amostras, encontrando o DAP médio e altura média de cada espécie. Observou-se uma árvore de cada espécie com estas características e foram abatidas para as análises em laboratório. Na determinação da biomassa através do método destrutivo depois de abatidas as duas árvores-amostras, foram retirados todo conjunto de folhas e galhos das árvores, levados ao laboratório da faculdade Dinâmica das Cataratas, logo após a coleta e pesados para obtenção do peso total úmido (Puc). Após a pesagem, foram retiradas amostras de folhas e galhos localizados em diferentes posições da copa e pesados novamente para a obtenção da amostra de peso conhecido (PUa). Com as amostras separadas e classificadas foi realizada a secagem em uma estufa de circulação forçada de ar com a temperatura constante de 40°C, para a estabilização do peso e a obtenção do peso da matéria seca (PSa). De posse dos dados, a biomassa nos galhos e nas folhas foi determinada pela equação 1 (SOARES *et al.*, 2006).

$$PSc = (PUC \cdot PSa) / Pua \quad (\text{eq.1})$$

Para a determinação da biomassa do fuste foram retirados discos a 0%, 50% e 100% da altura do fuste comercial, que pode ser obtida através da equação 2, multiplicando-se o volume da madeira pela densidade básica média.

$$PSc = V \cdot DBMT \quad (\text{eq.2})$$

Segundo Soares *et al.* (2006) a utilização do método indireto para a determinação da biomassa consiste na utilização de

equações e modelos de regressão lineares ou não-lineares. Para Sanquetta e Balbinot (2004) este método não pode ser utilizado sem o ajuste e a calibragem prévia das equações. Portanto deve ser empregado em conjunto com os métodos diretos ou destrutivos. Para a determinação do teor de carbono considerou-se que 50% do peso seco da biomassa é carbono (SOARES *et al.*, 2006). Para a obtenção da quantidade de CO₂ retirado da atmosfera, Balbinot (2004) utilizou o valor encontrado de carbono multiplicado pelo peso atômico do carbono 3,6667, que é encontrado através da divisão do peso atômico da molécula de CO₂ 44 pelo peso atômico do carbono 12. Com os resultados de carbono encontrado entre as espécies foi desenvolvido uma planilha no aplicativo Excel que serviu de base para a elaboração de gráficos, visando à comparação da quantidade de carbono armazenado nos compartimentos da planta e qual das espécies estoca mais carbono. Utilizando-se dos estudos desenvolvidos pelos autores abordados, verificou-se a possibilidade da propriedade em estudo participar de um projeto de MDL e se haverá uma boa rentabilidade com o comércio dos créditos de carbono.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área total encontrada na propriedade é de 1 ha dividida em 5.000 m² para cada espécie estudada. Conforme Tabela 1, foi encontrado o DAP médio e a altura média para a espécie *E. cinerea* respectivamente: 7,82cm e 7,25m e para a espécie *E. grandis* 6,55cm e 6,77m observando que a espécie *E. cinerea* possui maior desenvolvimento considerando que as duas espécies são da mesma idade.

Tabela 1: Dados obtidos das espécies

	<i>E. cinerea</i>	<i>E. grandis</i>
DAP	7,82	6,55
ALTURA	7,25	6,77
ESPAÇAMENTO	3m x 3m	2m x 2m
ÁREA	5.000 m ²	5.000 m ²
IDADE	1 ANO	1 ANO

Na análise de biomassa dos galhos e folhas através do método destrutivo; para os galhos foram encontrados para a espécie *E. cinerea* 1,65kg e para a espécie *E. grandis* 1,74kg; para as folhas foram encontrados 0,756g para a espécie *E. cinerea* e 0,512g para a espécie *E. grandis*, observando que, a maior quantidade de biomassa nos galhos é encontrada na espécie *E. grandis* e nas folhas na espécie *E. cinerea*, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Peso da biomassa das folhas e dos galhos

	<i>E. cinerea</i>	<i>E. grandis</i>
GALHOS	1,65kg	1,74kg
FOLHAS	0,756g	0,512g

GALHOS	1,65kg	1,74kg
FOLHAS	0,756g	0,512g

Com o volume e a densidade básica da madeira pode-se obter o valor de 15,23kg de biomassa para a espécie *E. grandis* e 21,32kg para a espécie *E. cinerea*. A execução do método indireto tornaria o trabalho excessivamente dispendioso e caro, fatores estes que poderiam vir a inviabilizar a realização desta pesquisa devido há necessidade de uma amostragem abatida mínima de 30 árvores de cada espécie (SANQUETTA, 2003). Considerando que, 50% do peso da biomassa é carbono foi encontrado o estoque por compartimento e em cada espécie conforme Tabela 3.

Tabela 3: Estoque de carbono obtidos no fuste, galhos e folhas.

	<i>E. cinerea</i>	<i>E. grandis</i>
FUSTE	10,66kg	7,615kg
GALHOS	0,825kg	0,87kg
FOLHAS	0,378kg	0,256kg

Considerando a área de cada espécie e o espaçamento do plantio, estima-se que, a espécie *E. grandis* possua 1250 plantas e a espécie *E. cinerea* 833 plantas, obteve-se os dados expressos na Tabela 4, obtendo também a quantidade de carbono retirado da atmosfera.

Tabela 4: Quantidade de carbono encontrada no estudo

FUSTE/GALHOS/FOLHAS	<i>E. cinerea</i>	<i>E. grandis</i>
CARBONO POR UNIDADE	11,863kg	8,746kg
CARBONO POR ÁREA	9,88t	10,93t
QUANTIDADE DE CO ₂ eq.	36,23t	40,08t

O compartimento da árvore que mais retém carbono nas duas espécies foi o fuste, concordando com as estimativas realizadas por Paixão *et al.* (2004) e Maestri *et al.* (2004). Devido ao espaçamento de plantio, a espécie *E. grandis* possui mais plantas que a espécie *E. cinerea* em uma mesma área, apresentando uma quantidade maior de carbono estocado. Para uma área de 1ha de cada espécie, teríamos um valor de US\$296,4 para a espécie *E. cinerea* e US\$601,2 para a espécie *E. grandis*. Para a área total, considerando que possua o valor real de 5.000m² para cada espécie, teríamos o valor de US\$448,8 no estágio inicial de seqüestro de carbono com *Eucalyptus* de 1 ano de idade.

Segundo Lelis *et al.* (2007) estes valores poderiam ser negociados através do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões, que tem por objetivo criar um mercado nacional para estes créditos.

IV. CONCLUSÃO

Durante o estudo, verificou-se que a área de plantio é pequena, com o objetivo final de matéria-prima energética, as práticas silviculturais não são empregadas o que pode refletir diretamente no diâmetro à altura do peito e na altura das árvores. Na área onde o espaçamento utilizado era maior, a espécie desenvolveu mais o seu diâmetro e altura, influenciando diretamente na quantidade de biomassa e estoque de carbono, porém, obteve um número menor de árvores por área. As características variadas em cada compartimento da planta fizeram diferença com relação à quantidade de carbono em estoque e retirado da atmosfera. A espécie *E. cinerea* apresentou maior quantidade nas folhas e no fuste. Já a espécie *E. grandis* nos galhos. Em um balanço geral, devido ao diâmetro, a altura e característica das folhas, a espécie *E. cinerea* apresentou maior quantidade de carbono por planta. Quando se observado o número de árvores em uma mesma área, devido ao espaçamento, a espécie *E. grandis* apresentou maior quantidade de árvores o que, interferiu diretamente no estoque total de carbono seqüestrado por área, representando assim o maior estoque quando comparado a outra espécie. A utilização do método indireto para determinação do estoque de carbono tornaria a pesquisa dispendiosa, com custos excessivos e com maior impacto na área estudada, no entanto somente a utilização do método destrutivo, com uma única unidade amostral representativa, possibilitou a execução da pesquisa de forma suficiente e satisfatória, encontrando valores e parâmetros que, conforme os autores abordados são significativos e confiáveis. A área estudada não pode ser elegível a um projeto de MDL, pois, não atende as exigências estabelecidas na COP 9 – que determina o reflorestamento em áreas que tenham sido desmatadas até o ano de 1989 –. A área estudada foi desmatada somente em 2008, para o cultivo do *Eucalyptus*. Foi analisada também a quantidade de carbono seqüestrada, os CO₂ equivalentes (CO₂eq.), que é uma unidade padrão estabelecida pelo IPCC para a comercialização pelo mercado de redução de emissões. Em todos os casos, a quantidade de carbono retirado se mostra superior a quantidade de carbono estocado. De acordo com o crescimento, este estoque tende a ser maior. Os valores por tonelada de carbono removido ainda é muito baixo: cerca de US\$10 a US\$15, obtendo assim, para a área estudada um total de US\$448,8 para as duas espécies. Considerando que a área mede apenas 1ha, grandes áreas de reflorestamento seqüestrariam e manteriam em estoque uma quantidade bem maior de carbono. Dentro das propostas de minimizar as ações humanas degradantes, este trabalho

propôs-se a verificar a aplicação de projetos que visem à redução das emissões de poluentes. Verificou-se que a rentabilidade de um projeto de MDL para a área estudada é pouco, porém, como o objetivo é a produção da madeira, esta renda poderia ser considerada como um adicional aos lucros da propriedade. Além desta oportunidade de geração de renda, há os benefícios ao meio ambiente decorrentes desta preservação e a remoção de carbono. Somente através destas discussões é que se poderá tentar obter uma alternativa para os problemas ambientais, pois se a ação humana apenas degradar e não procurar alternativas para recuperar, não só o futuro do ambiente estará comprometido, mas também a própria vida humana.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALCÂNTARA, C. D. *et al.* Potencial do mercado de crédito de carbono no Ceará. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará**. Fortaleza, n. 41, 2007. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_41.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2009.
- BALBINOT, R. **Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono**: estudo de viabilidade no Sul do estado do Paraná, Brasil. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/4111/1/Disserta%e3%a7%e3%a3o%20Rafaelo%20Balbinot%20PPGEF%202004.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2009.
- CHANG, M. Seqüestro de carbono florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Rede de Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n. 102, p.85-101, jan./jun., 2002. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/pdf/revista_PR/102/manyu.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2009.
- EMATER - Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. Matelândia, PR, 2009.
- FINCO, M. V. A.; REZENDE, D. O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) como alternativa de desenvolvimento local sustentável: a geração de créditos de carbono no estado do Pará. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Palmas, TO, 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/169.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2009.
- GROSSI, M. F. C. De A.; FREITAS, M. A. V. de. (Coord.). Contribuição da base florestal ao ciclo do carbono. Rio de Janeiro: **Câmara Técnica de Energia e Mudança do Clima do CEBDS**, 2007. Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/mcpublicacoesfiles/Publica%C3%A7%C3%A3o_Floresta_portugues.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2009.
- LAMARCA JR, M. R.; SILVA, C. R. L.da. **O mercado de carbono como instrumento de conservação da floresta amazônica**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 66, 2008, Rio Branco. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/149.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2009.
- LELIS, R. A. B. *et al.* **Mecanismos de desenvolvimento limpo e os impactos sobre o desenvolvimento sócio-ambiental**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BELO HORIZONTE, 16, 2007. Belo Horizonte.

Disponível em: <
http://www.conpedi.org/manaus/arquivos/anais/bh/jamile_bergamaschine_mata_diz.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2009.

MAESTRI, R. *et al.* Viabilidade de um projeto florestal de eucalyptus grandis considerando o seqüestro de carbono. **Florestas**. Curitiba, PR, 34, p.347-360, set./dez., 2004. Disponível em: <
<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/viewFile/2421/2023>>. Acesso em: 25 abr. 2009.

PAIXÃO, F. A. *et al.* Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Sociedade de investigações florestais**. Viçosa, MG, v. 30, n.3, p.411-420, 2004. Disponível em: <
<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n3/a11v30n3.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2009.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**, Curitiba, 2003.

SANQUETTA, C. R. **Créditos de carbono**: Base científica para formulação de projetos. 1 ed. Curitiba: Gerson Martins Treinamentos Profissionais Ltda, 2009, 143p.

SCARPINELLA, G. D' Almeida. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto**. 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:<
http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2002/Teses/Disserta%E7%E3o_Scarpinella.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2009.

SILVA, J. A. A. da; PAULA NETO, F. de. **Princípios básicos de dendrometria**. Pernambuco: Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos, 1979. 198 p. Disponível em: <
<http://www.arvorelab.ufam.edu.br/usc/library/PrincipiosDendrometria.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2009.

SOARES, C. P. B. *et al.* **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.

TOMASELLI, Amador. **Determinação de Biomassa e Carbono em Povoamentos de Araucária Angustifolia (Bert.) O. Ktze. Em Caçador, Santa Catarina**. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau, URB, Blumenau, 2005. Disponível em: <
http://proxy.furb.br/tede/tda_arquivos/5/TDE-2006-11-16T074625Z144/Publico/Diss%20Amador%20Tomaselli.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2009.

VI. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.