ANAIS XVI CICURV, 2022,P.X-Y
ISSN: 2179-0574

XVII CICURV
Congresso de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde

Caracterização mecânica de compósitos feitos a partir de resíduos de madeira

Ricardo Enrique Candia Cazon[1], Carlos Eduardo Marques de Araújo[2], Edson Roberto da Silva[3], Fabíola Medeiros da Costa[4], Nattácia Rodrigues de Araújo Felipe Rocha[5], Warley Augusto Pereira[6]

[1] Graduando do curso de Engenharia mecânica, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica – PIVIC
[2] Graduando do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica – PIBIC.
[3] Prof. Me. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[4] Profa. Ma. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[5] Profa. Dra. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[6] Orientador, Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde. warley@unirv.edu.br

Reitor:
Prof. Me. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia

Editor de Seção:
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Correspondência:
Ricardo Enrique Candia Cazon

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/ CNPq 2021-2022

Resumo: Um dos maiores problemas da indústria madeireira e moveleira é o descarte dos resíduos de madeira. Assim, o objetivo deste trabalho é verificar, do ponto de vista de propriedades mecânicas, a possibilidade do reaproveitamento destes resíduos na produção de compósitos com matriz polimérica (epóxi) e reforço de madeira. Para este estudo, foi realizado um planejamento fatorial com dois fatores, onde foi verificada a influência do tipo e da concentração do reforço sobre a resistência à tração e à ruptura por flexão do compósito produzido. Para o reforço, foram usados resíduos de ipê (Handroanthus ochraceus) e de peroba rosa (Aspidosperma polyneuron). Na determinação da densidade do material usado, obteve-se 0,984 g/cm3 para o ipê, 0,923 g/cm3 para a peroba rosa e 1,130 g/cm3 para o epóxi. A análise de variância dos ensaios de tração mostrou que houve influência significativa da fração volumétrica do reforço usado nos compósitos, mas não houve influência significativa do tipo de reforço. A análise de variância dos ensaios de flexão mostrou haver influência significativa tanto da fração volumétrica quanto do tipo de reforços. As resistências à tração e à flexão diminuíram com o aumento da fração volumétrica do reforço. Os ensaios de flexão mostraram maiores valores de resistência à ruptura por flexão para os compósitos reforçados com ipê em ambas as frações volumétricas. Os resultados mostraram baixos valores das propriedades mecânicas para os compósitos analisados, quando comparados a compensados comerciais, mas com potencial de uso destes materiais se processados sob condições industriais.

Palavras-chave: Ipê. Peroba rosa. Matriz polimérica. Compósitos reforçados por partícula. Ensaios mecânicos.

Mechanical characterization of composites made from wood waste

Abstract: One of the biggest problems of the wood and furniture industry is the disposal of wood residues. Thus, the objective of this work is to verify, from the point of view of mechanical properties, the possibility of reusing

UniRV
Universidade de Rio Verde

these residues in the production of composites with polymeric matrix (epoxy) and wood reinforcement. For this study, a factorial design with two factors was carried out, where the influence of the type and concentration of the reinforcement on the tensile strength and flexural rupture of the composite produced was verified. For reinforcement, ipe (Handroanthus ochraceus) and pink peroba (Aspidosperma polyneuron) residues were used. In determining the density of the material used, 0.984 g/cm3 was obtained for ipe, 0.923 g/cm3 for pink peroba and 1.130 g/cm3 for epoxy. The analysis of variance of the tensile tests showed that there was a significant influence of the volumetric fraction of the reinforcement used in the composites, but there was no significant influence of the type of reinforcement. The analysis of variance of the flexural tests showed a significant influence of both the volumetric fraction and the type of reinforcements. The tensile and flexural strengths decreased with increasing volumetric fraction of the reinforcement. The flexural tests showed higher values of flexural rupture strength for composites reinforced with ipe in both volumetric fractions. The results showed low values of mechanical properties for the analyzed composites, when compared to commercial plywood, but with potential use of these materials if processed under industrial conditions.

Key words: Ipe. Pink peroba. Polymeric matrix. Particle reinforced composites. Mechanical tests.

Introdução

O setor madeireiro é um dos principais geradores de resíduos de madeira, sendo que as lascas de plaina e o pó-de-lixa e a serragem, materiais de baixa densidade, exigem espaço muito grande para a estocagem, além disso, o pó-de-lixa é um material de alto potencial explosivo. Embora possam ser utilizados em caldeiras como combustível, estes resíduos podem causar danos à sua estrutura interna, reduzindo sua vida útil. Esses resíduos também são utilizados por produtores rurais nas lavouras como cobertura de solo e forragem na criação de animais (YAMAJI, 2004). Porém, um uso mais nobre destes resíduos é na indústria madeireira, na produção de compósitos plástico-madeira ou WPC (wood-plastic composites). Segundo Ashori (2008), a produção dos compósitos plástico-madeira ou WPC está se tornando um dos setores mais dinâmicos da indústria de plástico, tendo na época, uma taxa média de crescimento anual de aproximadamente 18% na América do Norte e 14% na Europa, tornando-se o material mais importante dentro do processo da reciclagem.

De acordo com Correa et al. (2003), os resíduos de madeira podem substituir, com algumas vantagens, cargas e reforços empregadas tradicionalmente em compósitos poliméricos, principalmente os de origem mineral como talco, o carbonato de cálcio, mica e a fibra de vidro. Indústrias importantes, como a aeroespacial, automotiva, de construção ou de embalagens, têm demonstrado enorme interesse no desenvolvimento de novos materiais compostos (ECKERT, 2000 apud ASHORI, 2008).

Segundo Missagia et al. (2013) o ipê (Handroanthus) proporciona uma madeira com maiores densidade e resistência à umidade e melhores propriedades mecânicas quando comparado às das madeiras de média e baixa densidade. Por ter baixa absorção de umidade, inclusive sendo usado em decks externos, o ipê possui grande potencial para a produção da chamada madeira plástica (compósitos plástico-madeira).

De acordo com Carvalho (2004), a peroba rosa (Aspidosperma polyneuron) está presente em vários países da América do Sul e em muitos estados brasileiros, principalmente em regiões de serrado. Sua madeira possui retratibilidade e resistência mecânica médias, sendo bastante usada na indústria moveleira e na construção civil na forma de tábuas, ripas, caibros, forro, esquadrias de janelas e portas, portões, na construção naval, carrocerias, cabos de ferramentas entre outros. Porém, possui baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, além da baixa resistência a fungos e cupins.

Embora polímeros termoplásticos e termofixos sejam utilizados como matriz em compósitos, os termofixos são os mais comuns, sendo os poliésteres, os epóxis e os fenólicos os mais utilizados. A principal vantagem dos polímeros termofixos é sua baixa viscosidade, além de poderem ser introduzidos nas fibras a baixas pressões. Sua boa capacidade de adesão a vários tipos de reforços vegetais, suas características mecânicas, e seu baixo teor de umidade são atributos considerados na escolha deste tipo de resina. Outra vantagem é que os polímeros termofixos podem ser processados em baixas temperaturas, diferente da maioria dos termoplásticos que são processados em altas temperaturas, podendo causar danos aos reforços vegetais (PICKERING et al., 2015).

O processo de moldagem, assim como as dimensões e a concentração dos reforços, além da afinidade entre a matriz polimérica e o reforço em compósitos, promovem vários tipos de modificações no

compósito (BARBOSA, 2011). Sendo assim, este trabalho propõe a criação, o estudo do comportamento mecânico de compósitos reforçados com resíduos de madeira com relação ao tipo de madeira e à sua concentração na matriz polimérica de epóxi e a possibilidade do reaproveitamento destes resíduos de madeira na produção de compósitos.

Material e Métodos

Neste trabalho foram realizados testes para verificar a influência do tipo de reforço e da concentração do reforço sobre a resistência à tração e à ruptura por flexão de compósitos produzidos com matriz de epóxi e reforço de resíduos de madeira, mais especificamente de ipê e de peroba rosa, sobre sua resistência à tração e à ruptura por flexão.
Para isso, foi feito um planejamento fatorial de dois fatores, sendo dois tipos de madeira (ipê e de peroba rosa) e dois níveis de concentração do reforço (fração volumétrica) no compósito (primeira e segunda fração), com cinco réplicas para cada combinação de parâmetros. Como variável de resposta, o limite de resistência à tração, na primeira etapa. Na segunda etapa, um planejamento semelhante ao da primeira foi realizado, sendo a variável dependente o limite de ruptura por flexão dos corpos de prova. A confirmação da influência dos parâmetros sobre as resistências à tração à ruptura por flexão foi feita a partir de uma análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%.
Primeiramente foi medida a densidade das amostras de resíduos dos dois tipos de madeira através do método de Arquimedes (deslocamento de líquido), isto é, mediu-se a massa das amostras em balança de precisão (± 0,001 g) e colocou-se cada amostra dentro de uma proveta graduada com 70 ml de água, depois se deixou as amostras por 24 horas imersas na água para que houvesse enxarcamento dos resíduos de madeira das amostras, após esse período, verificou-se o deslocamento da água (volume deslocado) dentro da proveta, sendo esse volume deslocado o próprio volume das amostras de madeira. Tendo-se a massa e o volume das amostras, realizou-se o cálculo das densidades. Para que não houvesse evaporação da água durante o período de enxarcamento das amostras, as provetas foras vedadas com filme plástico.
Para o cálculo da densidade do epóxi utilizado, confeccionaram-se amostras de prismas retangulares. Na sequência mediu-se a massa destas amostras na mesma balança de precisão usada nas amostras de madeira, e depois foi feita a medida do volume das amostras com um paquímetro (largura, comprimento e espessura), por fim, calculou-se as densidades. Tanto na medida da densidade das madeiras, quanto nas de epóxi foram usadas três amostras de cada e calculada a médias destas medidas.
Para a confecção dos corpos de prova dos compósitos, foi usada a resina epóxi 2001 PT e endurecedor 3154 BB da marca Redelease, com diluição de 100% de resina para 50% de endurecedor em massa, conforme orientação do fabricante. Após a preparação da resina, os resíduos de madeira foram acrescentados dentro do epóxi até que fosse obtida a proporção adequada para cada concentração planejada. Os resíduos da madeira (lascas) foram obtidos através de aplainamento de tábuas de ipê, usadas na confecção de móveis, e de peroba rosa usada na confecção de estruturas de telhados.
Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizado um molde de borracha de silicone, onde a mistura epóxi-madeira foi despejada no molde e, a seguir, foi feita uma prensagem leve com pesos apenas para homogeneizar as superfícies e retirar bolhas e vazios das placas obtidas dos compósitos. Posteriormente, a placa foi cortada para confeccionar os corpos de prova de seção retangular, de acordo com a norma ASTM D3039/D3039M:17 (2017) (ensaio de tração para polímeros e compósitos) e com a norma D7264/D7264M (2021) (ensaio de flexão para polímeros e compósitos). Os corpos de prova para ambos os tipos de ensaio foram feitos da mesma forma, obedecendo apenas às dimensões, conforme a norma para cada modalidade. Também foram realizados cinco ensaios de tração para verificar a resistência à tração do epóxi usado.
Com os corpos de prova finalizados, a próxima etapa foi a realização dos ensaios de tração e flexão. Os corpos de prova para ambos os tipos de ensaio possuem seção transversal retangular. No caso do ensaio de flexão, este foi do tipo guiado a três pontos. Para ambos os tipos de ensaio, foi usada uma máquina universal de ensaios, modelo BME-20kN da Oswaldo Filizola em combinação com o software DynaView.
Após os resultados obtidos pelos ensaios mecânicos, foi feita a análise estatística, para determinação do efeito do tipo e da fração volumétrica do reforço no compósito sobre as resistências à tração e à ruptura por flexão dos compósitos criados a partir de resíduos de ipê e peroba rosa em resina epóxi.

Resultados e Discussão

Os valores médios das densidades medidas das fibras e das resinas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Densidade das fibras e da matriz polimérica

Material	Densidade (g/cm^3)
Ipê	0,984 ± 0,062
Peroba Rosa	0,923 ± 0,073
Epóxi	1,130 ± 0,300

Fonte: autoria própria

A Tabela 1 mostra que ambas as madeiras possuem baixa densidade, sendo que a peroba rosa é 6,2% menos densa que o ipê. Para comparação, as principais fibras sintéticas usadas como reforços em compósitos, a fibra de carbono possui densidade de 1,80 g/cm3 e a de vidro 2,54 g/cm3 (BARBOSA, 2011). Observa-se que os reforços de madeira são menos densos que a matriz de epóxi, mas considerando o desvio padrão, os valores são quase os mesmos. Essa baixa densidade dos reforços podem produzir compósitos quase tão leves quanto às madeiras naturais.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de tração dos compósitos de epóxi reforçados com lascas de madeira. São apresentados os valores médios e o desvio padrão das propriedades mecânicas de cinco amostras para cada fração volumétrica e tipo de reforço. Foram feitas duas frações de cada tipo de madeira, sendo que o compósito de ipê teve em sua primeira fração 11,7% de reforço e 33,1% na segunda fração. O compósito de peroba rosa foi feito com 13,8% de reforço na primeira fração e 38,6% na segunda.

Tabela 2 - Propriedades de tração dos compósitos de ipê e peroba rosa e matriz de epóxi para uma e duas frações

Material	Força máxima (N)	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento na ruptura (%)
Ipê (1ª fração)	911,2 ± 92,3	8,28 ± 0,93	12,26 ± 1,11	0,601 ± 0,06	2,62 ± 0,47
Ipê (2ª fração)	89,8 ± 14,5	0,27 ± 0,03	0,83 ± 0,14	0,054 ± 0,01	1,11 ± 0,15
Peroba Rosa (1ª fração)	1138,0 ± 58,1	2,12 ± 0,50	11,63 ± 0,86	0,349 ± 0,07	2,92 ± 0,46
Peroba Rosa (2ª fração)	143,8 ± 22,4	0,33 ± 0,07	1,13 ± 0,12	0,072 ± 0,01	3,65 ± 1,25
Epóxi	2,7 ±0,3	13,7 ± 0,7	60,5 ± 2	2,228 ± 0,4	6,6 ± 1,1

Fonte: autoria própria

A análise de variância não apresentou influência significativa do tipo de madeira sobre a resistência à tração dos compósitos criados, mas apresentou influência da fração volumétrica da fibra. Também não houve interação entre os dois fatores analisados.

Uma observação que pode ser feita é que na primeira fração, o compósito reforçado com ipê apresentou uma resistência ao escoamento média 74,4 % maior que a dos compósitos reforçados com peroba rosa. Na segunda fração a diferença foi de apenas 18,2% em favor do compósito reforçado com peroba rosa.

A partir da superfície de resposta (Figura 1) é possível verificar o comportamento da resistência à tração em função dos dois fatores analisados.

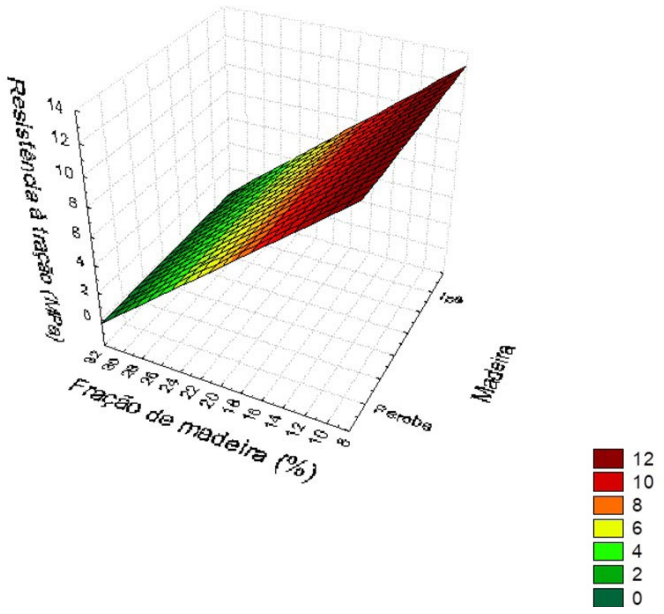

Figura 1 – Superfície de resposta mostrando a influência do tipo de reforço e da fração volumétrica de reforço sobre a resistência à tração dos compósitos
Fonte: autoria própria

O gráfico mostra que o tipo de madeira não influencia na resistência à tração. No caso do efeito da fração volumétrica, percebe-se uma redução do seu valor conforme se eleva a fração de madeira no compósito.

Como o epóxi utilizado possui resistência à tração de 60,5 ± 2 MPa, maior que a resistência dos compósitos, fica claro que o aumento da fração do reforço provocou a redução da resistência à tração dos compósitos, o que fica claro no gráfico da Figura 1.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de flexão. São apresentados os valores médios e o desvio padrão das propriedades mecânicas de ruptura por flexão de cinco amostras para cada fração volumétrica e cada tipo de reforço.

Tabela 3 - Propriedades de ruptura por flexão dos compósitos de ipê e peroba rosa e matriz de epóxi para uma e duas frações

Material	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Deflexão central na ruptura (%)
Ipê (1ª fração)	34,00 ± 4,58	0,52 ± 1,11	10,36 ± 2,04
Ipê (2ª fração)	9,80 ± 1,79	0,09 ± 0,02	10,46 ± 1,77
Peroba Rosa (1ª fração)	27,60 ± 3,05	0,32± 0,03	4,20 ± 0,62
Peroba Rosa (2ª fração)	4,40 ± 1,67	0,04 ± 0,01	6,26 ± 1,13

Fonte: autoria própria

A análise de variância apresentou influência significativa dos dois fatores (tipo e fração volumétrica de reforço) sobre a resistência à ruptura por flexão dos compósitos, além disso, mostrou haver interação entre os dois fatores.
A superfície de resposta, apresentada na Figura 2 mostra o comportamento da resistência à ruptura por flexão em função dos dois fatores analisados.

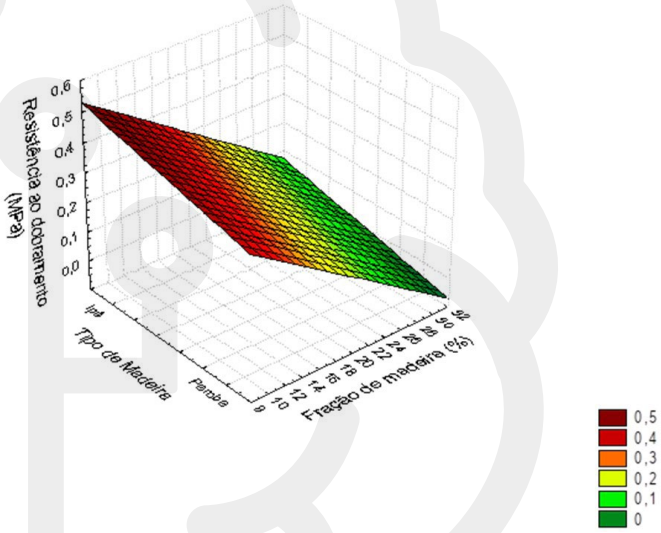

Figura 2 – Superfície de resposta mostrando a influência do tipo de reforço e da fração volumétrica de reforço sobre a resistência à ruptura por flexão dos compósitos
Fonte: autoria própria

O gráfico mostra que a fração volumétrica do reforço influencia mais do que o tipo de madeira sobre a resistência à ruptura por flexão. No caso do efeito da fração volumétrica, percebe-se uma redução do seu valor conforme se eleva a fração de madeira no compósito, independente do tipo de madeira usada, comportamento similar ao observado nos ensaios de tração.
Quanto ao efeito do tipo de madeira usada como reforço, os compósitos reforçados com ipê apresentaram resistência média à ruptura por flexão 38,5% superior às dos compósitos reforçados com peroba rosa na primeira fração e 55,6% superior na segunda fração.

Conclusão

As duas madeiras usadas possuem baixa densidade, característica buscada nos materiais usados na maioria das aplicações, principalmente em veículos.
As análises de variância dos resultados dos ensaios de tração mostraram haver influência significativa da fração volumétrica do reforço usado nos compósitos, mas não mostraram influência significativa do tipo de reforço. Também não houve interação entre os fatores.
Os ensaios de tração mostraram uma tendência de maior resistência dos compósitos reforçados com ipê na primeira fração volumétrica e dos compósitos reforçados com peroba rosa na segunda fração.
Os resultados dos ensaios de tração e de flexão mostraram que, conforme se aumenta a fração de reforço, reduz-se as resistências à tração e à ruptura por flexão, respectivamente.
As análises de variância dos resultados dos ensaios de flexão mostraram haver influência significativa tanto da fração volumétrica quanto do tipo de reforço usado nos compósitos, além de mostrar que houve interação entre os fatores.
Os ensaios de flexão mostraram maiores valores de resistência à ruptura por flexão para os compósitos reforçados com ipê em ambas as frações volumétricas.
Embora os valores de resistência à tração à ruptura por flexão dos compósitos criados tenham apresentado valores bem abaixo dos apresentados em compensados comerciais, 43,1 Mpa de resistência à tração e 44,6 Mpa de resistência à ruptura por flexão (MAGALHÃES, 2005), em condições de produção industrial, com controle maior de material e processamento, realizando-se prensagem para compactação maior das chapas, é possível que estes resíduos de madeira possam ser aproveitados como matéria prima para confecção de chapas de compósitos para uso diverso como substituto para chapas de madeiras e compensados.

Agradecimentos

À Universidade de Rio Verde e ao Programa de Iniciação Científica.

Referências Bibliográficas

ASHORI, A. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. Bioresource Technology, v. 99, nº 11, p. 4661–4667. Jul. 2008.

ASTM D3039/D3039M:17, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, West Conshohocken, PA, United States, ASTM International, 2017.

ASTM D7264/D7264M-21, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, West Conshohocken, PA, United States, ASTM International, 2021.

BARBOSA, A. P. Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti. 2011, 141f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011.

CARVALHO, P. E. R. Peroba-Rosa - Aspidosperma polyneuron. Circular Técnica 96, 1 ed., p. 1-12, 2004.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S., et al. Compósitos termoplásticos com madeira. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003.

MAGALHÃES, L. N. Estudo teórico e experimental de vigas “I” de madeira com alma de compensado (VCMC). 2005. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MISSAGIA, Z. M. V.; SANTOS, J. C.; PANZERA, T. H.; BRANDÃO, L. C.; SILVA, D. A. L.; CHRISTOFORO, A. L. Materiais compósitos particulados em matriz epóxi reforçados com serragem, cimento e silicato de magnésio. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 285-302, jul./set. 2013.

PICKERING, K.L.; EFENDY, M.G.A.; LE, T.M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites: Part A, v. 83, pp. 98–112, Sep. 2015.

YAMAJI, F. M. Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira. 2004. 182f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.