

Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semi-árido paraibano

Wagner Máximo de Oliveira¹
Iêde de Brito Chaves¹
Eduardo Rodrigues Viana de Lima²

¹ Universidade Federal da Paraíba - CCA - UFPB
Departamento de Solos e Engenharia Rural
Cidade Universitária – 58.397-000 - Areia - PB, Brasil
{wagner_maximo, iedebchaves}@hotmail.com

² Universidade Federal da Paraíba – CCEN - UFPB
Cidade Universitária – 58.059-900 – João Pessoa - PB, Brasil
eduvianalima@gmail.com

Abstract. The mechanism of the remote sensing is based in the detection and conversion of the capacity of the objects of they reflect eletromagnetic radiation. To quantify a vegetation different vegetation indices are used, and several factors as angle zenital and azimutal of the luminous source, geometry of having sought and orientation of the leaves can interfere in the spectral behavior of the vegetation. The objective of that work was to evaluate the behavior of the spectral answer of the vegetation of savanna in the semi-arid paraibano in the northeast of Brazil, on different aspects with relationship to the seasonal variation, in the exhibition (north, south, east and west) and in the inclination of the land (0-6%, 0-12%). The vegetable indices were used NDVI, RVI, SAVI and EVI. For that the software was used SPRING and two digital images CCD/CBERS–2, referring to the periods evaporate and humid, respectively, of the dates of december 27, 2003 and july 22, 2004. The results demonstrated that the indexes RVI and NDVI didn't present the same efficiency in the identification of the seasonal, of the exhibition and in the inclination of the land, when compared with the indexes SAVI and EVI, once those last ones present the factor of adjustment of the specific soil for this bioma type.

Palavras-chave: Remote sensing, savanna, CBERS, sensoriamento, caatinga, CBERS.

1. Introdução

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, predominante na região nordeste, que abrange quase 10% do território nacional. Em seu aspecto fisionômico apresenta uma cobertura vegetal arbustiva à arbórea, pouco densa e geralmente espinhosa. Sua variabilidade espacial e temporal na composição e no arranjo de seus componentes botânicos é resposta aos processos de sucessão e de diversos fatores ambientais, onde a densidade de plantas, a composição florística e o potencial do estrato herbáceo variam em função das características de solo, pluviosidade e altitude Araújo Filho (1986). Apesar da sua representatividade geográfica e importância sócio-econômica e cultural, pouca importância se tem dado à pesquisa do bioma caatinga que vem sendo, ao longo dos anos, submetido a de uma intensa ação antrópica.

Por meio do sensoriamento remoto, que disponibiliza informações sobre aspectos ambientais de forma rápida e menos onerosa, imagens do satélite Sino-Brasileiro (CBERS) podem ser utilizadas a fim de monitorar e quantificar a vegetação de uma determinada área

Fonseca (2004). Das várias contribuições do sensoriamento remoto, a detecção qualitativa e quantitativa da vegetação verde é uma das mais importantes, por meio dos índices de vegetação (IV), sendo possível maximizar as características intimamente ligadas ao dossel verde e minimizar as variações não ligadas a ele.

Apesar das especificidades dos diferentes índices vegetais, vários fatores podem interferir na resposta espectral da vegetação como o ângulo de visada, a heterogeneidade das folhas, a inclinação do terreno e o tipo de solo.

O presente trabalho objetivou avaliar a resposta de diferentes índices espectrais da vegetação de caatinga, no semi-árido paraibano, sob aspectos relacionados a variação sazonal, a exposição e a inclinação do terreno em áreas de ocorrência de NEOSSOLO LITÓLICO.

2. Material e Métodos

As áreas de estudo estão localizadas nos municípios de Algodão de Jandaíra, que se encontra na mesorregião do agreste paraibano, tem altitude de 486 metros e está a 160 km de distância da capital João Pessoa; e Picuí, localizado na região centro-norte do Estado da Paraíba, mesorregião da Borborema, situando-se a 240 km da cidade de João Pessoa, como mostra a Figura 1.

Em ambos os municípios o clima é, segundo a classificação de Koppén, do tipo Bsh - Semi-árido quente e seco com distribuição irregular de chuvas em curtos períodos do ano, com precipitação média anual da ordem de 400 mm, iniciando no mês de fevereiro e terminando em agosto, com estação seca prolongada. Este clima presente na região proporciona uma vegetação típica classificada como caatinga hiperxerófila, de porte e densidade bastante variável, podendo ocorrer em pequenas áreas com solos mais favoráveis, vegetação do tipo floresta caducifólia.

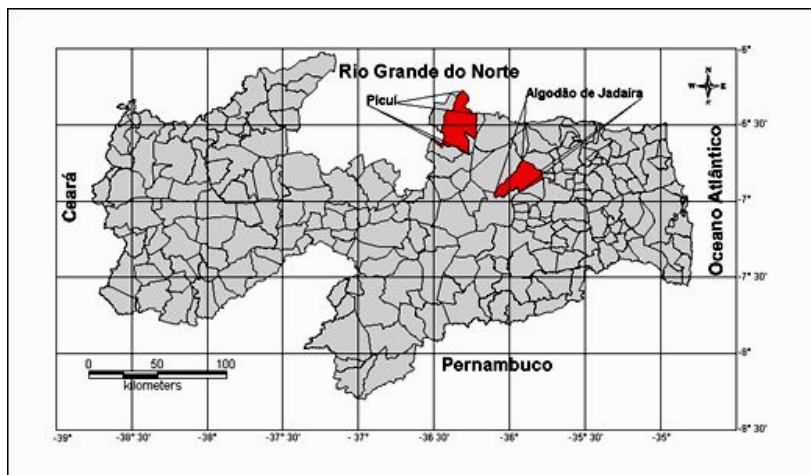


Figura 1 – Localização da área de estudo.

As informações espectrais foram extraídas de imagens orbitais, pertencentes ao sensor CCD (Charge-Coupled Device) do satélite CBERS-2 (Chine-Brazil Earth Resources Satellite), fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-MCT), órbita-ponto 147/108, correspondendo ao município de Algodão de Jandaíra, e 147/107 ao município de Picuí. As imagens utilizadas correspondem às bandas 3 e 4 dos períodos seco

e úmido, respectivamente, das datas de 27 de dezembro de 2003 e 22 de julho de 2004, escolhidas em função dos períodos sazonais por meio das médias das precipitações pluviométricas dos municípios, fornecidas pelo boletim do tempo da Agência Executiva de Gestão das Águas Aesa (2007).

Foi utilizado o programa SCORADIS - Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Sensoriamento Remoto, Zullo (1994), para a correção atmosférica e conversão das imagens originais em reflectância real. A partir das imagens-reflectância Figura 2, utilizando-se como ferramenta o software SPRING versão 4.3.2, foram geradas as imagens índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Ratio Vegetation Index (RVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI).

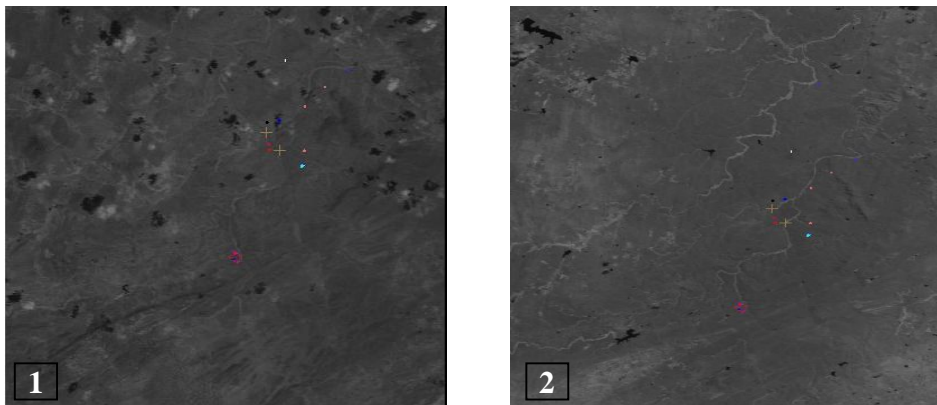


Figura 2 - 1) Imagem de Dez_2003. 2) Imagem de Jun_2004.

Com objetivo de se comparar o comportamento das respostas espectrais da vegetação de caatinga nas diferentes imagens índice de vegetação e a capacidade de identificação da vegetação por essas, foi utilizada a banda 4 como testemunha. As variáveis utilizadas para a análise comparativa foram os fatores período sazonal (úmido e seco), a exposição da caatinga nos sentidos norte, sul, leste e oeste e a inclinação do terreno.

Para homogeneizar as parcelas e controlar as variáveis diferenciadoras para cada exposição, foram selecionadas parcelas com padrão de vegetação de caatinga arbustiva aberta, descrita de acordo com a classificação proposta por CHAVES et al. (2006), e declividade média (6 a 20%). Para análise da inclinação do terreno foi definido que seriam utilizadas apenas unidades de caatinga com exposição a leste e porte de vegetação arbustiva aberta, tendo dois intervalos de inclinação 0 - 6% e 6 - 20%. Todas as parcelas foram analisadas com quatro repetições, totalizando um número de 20 parcelas com área mínima de 50m x 50m em solo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico, Brasil (1972).

Uma vez convertidas as imagens reais em imagens índice de vegetação dos períodos seco e úmido, foram extraídos os valores dos pixels de cada parcela, para relacionar os índices espectrais de vegetação e os dados das variáveis levantadas por meio de análise estatística convencional, procurando avaliar a precisão das respostas obtidas pelos índices de vegetação e a banda 4.

3. Resultados e discussão

3.1 - Análise dos períodos

Neste trabalho foi possível observar pelos resultados apresentados na Tabela 1, para os diferentes índices espectrais empregados, que as diferenças entre as leituras foram significativamente maiores no período úmido. Demonstrando que todos os índices e mais a banda 4 foram sensíveis às mudanças que ocorrem na paisagem semi-árida do período seco para o úmido. Isso porque a recomposição da folhagem verde se dá de forma repentina e intensa, uma vez que sobre os solos férteis, as chuvas de inverno favorecem o desenvolvimento das plantas.

Tabela 1: Comparação dos valores médios dos pixels das imagens nos períodos seco e úmido

Imagem	Períodos	
	Seco	Úmido
Banda 4	58,83dB	66,35cA.
EVI	84,31bB	174,56bA.
SAVI	77,99cB	190,85aA.
NDVI	146,17aB	174,63bA.
RVI	145,88aB	171,39bA.

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas e maiúsculas entre colunas.

Ao analisar as imagens apenas no período seco, a banda 4 apresentou menores valores, já os índices EVI e SAVI, valores intermediários, estatisticamente diferentes e os índices NDVI e RVI expressaram valores semelhantes e bem mais altos que os demais, resultado similar encontrado por Guimarães (2008) em áreas de caatinga no Curimataú Ocidental da Paraíba. A banda 4 e as imagens EVI e SAVI expressaram valores estatisticamente divergentes entre si para este período.

No período úmido os valores encontrados nas imagens foram mais altos se comparados aos valores encontrados nas imagens do período seco. A banda 4 novamente apresentou o menor valor, com uma diferença bastante significativa em relação às demais imagens, que apresentaram valores próximos entre si. As imagens-índice RVI e NDVI, novamente apresentaram resultados estatisticamente similares, sendo que nesse período foi acrescentada a imagem-índice EVI com resultado semelhante. Esse aumento dos valores no período úmido pode ser explicado pela maior presença de biomassa vegetal, se comparado com a situação da vegetação no período de estiagem, que é de déficit hídrico, quando a mesma perde parte da folhagem para reduzir as perdas excessivas de água pelos estômatos, mudando a arquitetura do dossel. Esse comportamento é explicado pelo aumento da reflectância na banda 4 (infravermelho próximo) e a diminuição da reflectância na banda 3 (vermelho) Moreira (2004), imagens utilizadas para a geração dos índices.

De acordo com Moreira e Assunção (1997), dentre os diversos órgãos vegetais a estrutura de maior importância é a folha, dado que nela ocorre a interação da radiação

eletromagnética para a conversão da energia solar em energia química na produção de carboidratos. No período úmido, com a presença da água, ocorre desenvolvimento do mesófilo, a alta produção da fotossíntese pelos cloroplastos e o aumento do dossel. Segundo Resendo (2005), na região espectral do infravermelho uma vegetação verde e sadia é caracterizada por alta refletância, alta transmitância e baixa absorvância quando comparada ao visível, o que reforça a explicação sobre os altos valores para os pixels nas imagens-índice do período úmido. Dessa forma a diferença nos valores dos pixels entre o período seco e úmido nos permite separar facilmente o comportamento da fitofisionomia da caatinga. Para o primeiro período, a vegetação com menor biomassa foliar, e para o segundo período, o aumento da atividade fotossintética, resultado da maior quantidade de biomassa foliar

3. 2 - Análise dos valores quanto as exposições da vegetação

No período seco as médias expressas na Tabela 2 demonstraram que a imagem da banda 4, assim como as imagens-índice NDVI e RVI, não apresentaram diferenças significativas entre as diferentes exposições, ou seja, não permitiram distinguir as diferentes exposições para este tipo de porte e inclinação. Por outro lado, a imagem-índice EVI possibilitou diferenciar as exposições norte e sul, e a SAVI apenas a exposição sul.

Tabela 2: Comparação dos valores médios dos pixels quanto à exposição no período seco.

Exposições	Imagens				
	Banda 4	EVI	SAVI	NDVI	RVI
Leste	59,20aD	87,45aB	80,12aC	146,83aA.	146,10Aa
Norte	59,58aC	83,20abB	80,33aB	145,95aA.	145,83Aa
Oeste	58,00aC	84,75aB	80,50aB	147,10aA.	145,87aA.
Sul	59,33aD	78,37bB	72,58bC	144,37aA.	146,00aA.

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas e maiúsculas entre colunas.

Contudo, quando comparados os valores médios dos pixels referentes à banda 4 e às imagens-índice EVI, SAVI, NDVI e RVI, em cada exposição, observou-se que as imagens NDVI e RVI apresentaram comportamento semelhante estatisticamente, fato não observável na banda 4 e nas imagens-índice EVI e SAVI. Os valores tão discrepantes entre as imagens-índice NDVI, RVI e, EVI e SAVI, ocorre devido ao fato dos índices EVI e SAVI apresentarem o fator de ajuste do solo, cujo papel é de minimizar seu efeito, o que reduz consideravelmente os valores dos pixels no período seco, expressando uma maior sensibilidade às propriedades do solo em exposição. Isso ocorre, supostamente, porque a expressão matemática utilizada para gerar as imagens EVI e SAVI, apresenta fator de ajuste do solo, que provoca o aumento do valor do pixel no vermelho e conseqüentemente gera um valor final mais baixo, se comparado com as imagens NDVI e RVI, que não utilizam esse fator de ajuste do solo. No período seco, quando a vegetação não se encontra uniformemente distribuída, e em caso de dosséis esparsos, a resposta do solo vai predominar em relação a resposta da vegetação. Por isso, a homogeneidade nos valores para este período, entre as diferentes exposições, tanto para a banda 4 como para as imagens-índice, ocorre devido a redução do dossel, como já comentado anteriormente, proporcionado pelo déficit hídrico.

Para o período úmido os valores das médias dos pixels são diferentes quando comparados ao período seco, pois além de apresentarem valores mais altos, o comportamento das imagens-índice deu-se de forma muito heterogênea, ou seja, nas diferentes exposições para a mesma imagem e entre as diferentes imagens na mesma exposição. Os valores mostraram na Tabela 3, nas diferentes exposições para a mesma imagem, que não houve diferença significativa na banda 4. As imagens-índice EVI, SAVI, NDVI e RVI se apresentaram, para norte e oeste, semelhantes estatisticamente, algo ocorrido também para as exposições leste e sul, e os dois grupos se apresentaram diferentes significativamente entre si.

Tabela 3: Comparação dos valores médios dos pixels quanto à exposição no período úmido

Exposições	Imagens				
	Banda 4	EVI	SAVI	NDVI	RVI
Leste	66,00aC	164,37bB	176,25bA	170,00bAB	167,10Bb
Norte	69,37aC	181,42aB	202,45aA	177,71aB	175,25aB
Oeste	64,58aD	184,12aB	203,21aA	178,10aBC	174,87aC
Sul	65,44aC	168,33bB	181,50bA	172,75bAB	168,38bAB

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas e maiúsculas entre colunas.

Diferente do que ocorreu na análise anterior, quando se comparou as imagens-índice para cada exposição, os valores das médias dos pixels apresentaram um comportamento discrepante entre as mesmas. Na exposição leste os valores dos pixels encontrados na banda 4 diferem de todas as outras imagens-índice, apresentando os menores valores. A imagem-índice SAVI apresentou maior valor dos pixels, diferente de todas as imagens-índice e da banda 4. Contudo, as imagens-índice EVI e RVI apresentaram valores não significativos, ou semelhantes, porém os valores encontrados na imagem-índice NDVI apresentaram-se próximos das imagens-índice EVI e RVI.

O comportamento discrepante nos valores dos pixels das imagens-índice, principalmente no período úmido, se comparados aos valores encontrados nas imagens do período seco, está no fato de que para a maioria dos objetos existentes na superfície terrestre, a reflectância não ocorre uniformemente em todas as regiões do espectro eletromagnético Rosendo (2005). A explicação mais plausível para encontrar flutuações de valores de pixels para o mesmo tipo de vegetação em diferentes exposições, pode estar relacionado com os ângulos zenital e azimutal da fonte luminosa (Sol), da geometria de visada (satélite), ou da orientação das folhas. Pois, de acordo com Novo (2002), esses são parâmetros que interferem na iluminação da cena e conseqüentemente nas medidas de reflectância dos objetos.

3.3 – Influência da declividade nas respostas espectrais dos alvos

Na Tabela 4 os valores das médias dos pixels para o período seco, nas declividades de 0 a 6% e 6 a 20%, mostraram que não houve diferenças significativas na banda 4 e nas imagens-índice EVI, NDVI e RVI. Apenas a imagem-índice SAVI apresentou diferença estatística ao nível de significância de 1%.

Tabela 4: Comparação dos valores médios dos pixels em terrenos com diferentes declividades no período seco.

Declividade	Imagens				
	Banda 4	EVI	SAVI	NDVI	RVI
0 – 6%	60,79 Ad	86,5 aB	73,79 bC	143,54 aA .	143,91 aA
6– 20%	59,20 Ad	87,45 aB	80,12 aC	146,83 aA	146,08 aA

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas e maiúsculas entre colunas.

Entretanto, quando comparados os valores médios dos pixels referentes à banda 4 e às imagens-índice EVI, SAVI, NDVI e RVI, dentro de cada classe de declividade, observou-se que as imagens NDVI e RVI apresentam comportamento semelhante.

No período úmido as médias expressas na Tabela 5 demonstram que a banda 4, assim como as imagens-índice EVI, NDVI, RVI e SAVI, não apresentaram diferenças significativas entre as duas declividades.

Tabela 5: Comparação dos valores médios dos pixels em terrenos com diferentes declividades no período úmido.

Declividade	Imagens				
	Banda 4	EVI	SAVI	NDVI	RVI
0 – 6%	69,16 Ab	163,16 aA	171,00 aA	169,16 aA .	166,16 aA
6 – 20%	66,00 aC	164,37 aB	176,25 aA	170,00 aAB	167,10 aB

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas e maiúsculas entre colunas.

Mas, quando as imagens são comparadas para a declividade de 0 a 6%, os valores das imagens-índice EVI, SAVI, NDVI e RVI se apresentaram semelhantes estatisticamente. Na classe de declividade 6 a 20%, apenas os valores das imagens-índice SAVI e NDVI apresentam semelhança estatística. Na classe de declividade 0 a 6% os valores são mais próximos, pelo fato de que nas áreas mais planas ocorre uma homogeneidade da reflectância do dossel pela geometria de iluminação e o ângulo de visada, uma vez que esses são fatores influenciadores do comportamento espectral da vegetação.

4 – Conclusões

Com os dados obtidos a partir da aplicação dos diferentes índices de vegetação, ficou evidenciado que os índices RVI e NDVI não apresentaram a mesma eficiência na identificação da caatinga arbustiva levando em consideração as variações de sazonalidade, da exposição e da inclinação do terreno, quando comparados com os índices SAVI e EVI, uma vez que esses últimos apresentam o fator de ajuste do solo específico para esse tipo de bioma.

5 – Referências Bibliográficas

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2007. Disponível em: www.aesa.pb.gov.br, acessado em outubro de 2007.
- Araujo Filho, J. A. A. Manipulação da vegetação lenhosa da Caatinga com fins pastoris. In.: Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional (SCER), 1984. Feira de Santana. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DDT 1986.
- Brasil, Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimento. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola, dos solos do Estado da Paraíba.** (Boletim Técnico. 15, SUDENE. Série Pedologia, 8), Rio de Janeiro, 1972. 683p.
- Chaves, I. B.; Chaves, L. H. G.; Vasconcelos, A. C. F. Descrição da vegetação e estimativa da biomassa da Caatinga. In: XVI Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 2006, Aracaju. p. 1-4.
- Fonseca, E. L. Uso de dados de sensoriamento remoto para monitoramento do estresse das culturas agrícolas. In: II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju, 2004. **Anais...** Disponível on line <<http://64.233.179.104/scholar?hl=pt-BR&lr=&q=cache:DRSnkcWYRiYJ:www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgrs2/pdfs/palestra6.pdf+uso+de+dados+de+sensoriamento+remoto+para+monitoramento+do+estresse+das+culturas+agr%C3%ADcolas>>.
- Guimarães, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na sub-bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e água) – Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2008.
- Moreira, M. A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos.** 142 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1997.
- Moreira, M. A.; Assunção, G. V. Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura. INPE: São Jose dos Campos, 1984. 138p.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e Aplicações.** São Paulo - 2ª. Ed.: Edgard Blucher LTDA, 2002. 308p.
- Rosendo, J. S. **Índice de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG utilizando dados do sensor MODIS.** 2005. 152. p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) – Universidade de Uberlândia, MG, Uberlândia, 2005.
- “SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- ZULLO Jr. J. **Correção atmosférica das imagens de satélites e aplicações.** 1994. 191 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1994.
-