

Influência dos sistemas de transportes no crescimento e consumo do espaço urbano no município de Fortaleza – CE com base em imagens espectrais do TM/Landsat 5

Stephanny C. F. do Egito Costa¹
Madson Tavares Silva¹
Manfrini Alexandre Gondin¹
Walter Santa Cruz¹

¹Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Caixa Postal 10078 - 58109-970 - Campina Grande - PB, Brasil
stephanny_egito@hotmail.com, madson_tavares@hotmail.com,
manfrinegeo@hotmail.com, w_santa_cruz@yahoo.com

Abstract. The objective is to identify the trend of urban sprawl and analyze the transportation sector acting as an agent alongside other economic and social activities of a region. The detection of the evolution of the urban area around the municipality of Fortaleza, was made using satellite images from LANDSAT 5 TM (1988 and 2007), analysis of the transportation sector and the populace has been possible through data yearbooks of the transport ETUFOR and studies SEMACE. The results showed an expansion around the major urban southeast and southwest, which allowed the identification of vectors of a period of consumption of urban space and the demand of the road system and transportation.

Palavras-chave: remote sensing, geographic information system, transport system, urban land-use, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas, sistema de transporte, uso e ocupação urbana

1. Introdução

A configuração urbana da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) reflete uma política de ordenamento territorial vinculada com o sistema viário. A estrutura viária radial concêntrica possuía como elementos ordenadores originais, as estradas que ligavam a capital ao sertão. Parte destas estradas correspondem, hoje, às avenidas que convergem ao núcleo urbano, transformando-se nas atuais rodovias de acesso ao centro. Ao longo dessas vias se concentraram a atividade urbana de comércio, serviços, indústria e habitações, configurando o desenvolvimento de bairros (SEMACE, 1997). Como consequência desse processo de urbanização, o município de Fortaleza passou a ocupar de forma inadequada grande parte dos espaços ambientalmente sensíveis, através da implantação de favelas e bairros de variados status socioeconômicos, utilizando-se, com frequência de aterros e adaptações. Outro fator marcante na expansão territorial metropolitana foi à consolidação do crescimento da indústria na década de sessenta; nesse período passaram a existir incentivos para instalação de novas indústrias. O Município de Fortaleza, pelo seu crescimento industrial e desenvolvimento de outras atividades econômicas, sobretudo o comércio e serviços, continuou a assumir com maior força a supremacia das funções econômicas e urbanas sobre os outros municípios da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e do Estado. Atualmente, permanece atraindo a implantação de equipamentos de grande porte e expandindo consideravelmente a oferta de serviços especializados, apesar de conviver com graves problemas de crescimento econômico, de carência de infra-estrutura física e social (SEMACE, 1997).

Com 2.282.51314 no ano de 2003, Fortaleza concentrava, aproximadamente, 30% do total de habitantes do Estado e 72% de toda a população residente na Região Metropolitana, que soma mais de três milhões de habitantes (IBGE, 2009). O processo de crescimento populacional intensificou-se, principalmente, na década de 70. O município, no entanto, ainda exibe um índice crescente populacional em números absolutos. Fortaleza apresentava, no ano de 2003, uma densidade demográfica de 7.273,78 habitantes/km². Quanto à distribuição populacional por região, observa-se, de maneira geral, uma maior concentração na porção

noroeste do Município, compreendida por bairros como Pirambu e Cristo Redentor. Esta concentração diminui gradativamente em direção a sudoeste, local mais preservado e que apresenta ainda paisagens exuberantes, como a Lagoa da Precabura e o litoral.

Forster (1994) afirma que o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Esta técnica, aliada a outras tecnologias, fornece a possibilidade de monitorar, além do crescimento urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana.

Neste particular, o objetivo do presente artigo é identificar a influência dos sistemas de transportes no crescimento e consumo do espaço urbano no município de Fortaleza – CE, com base em imagens do Mapeador Temático do Landsat 5, dados de crescimento urbano e do setor de transportes.

2. Metodologia de Trabalho

Para verificar a influência dos sistemas de transportes no crescimento e consumo do espaço urbano no município de Fortaleza – CE o estudo compreendeu as seguintes etapas: (I) Aquisição e processamento digital de imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5; (II) Aquisição de bases geográficas e dados referentes as características da malha viária, densidade demográfica e principais sistemas de transportes do município; e (III) Análise multitemporal dos resultados por meio da integração entre as informações obtidas (Figura 1).

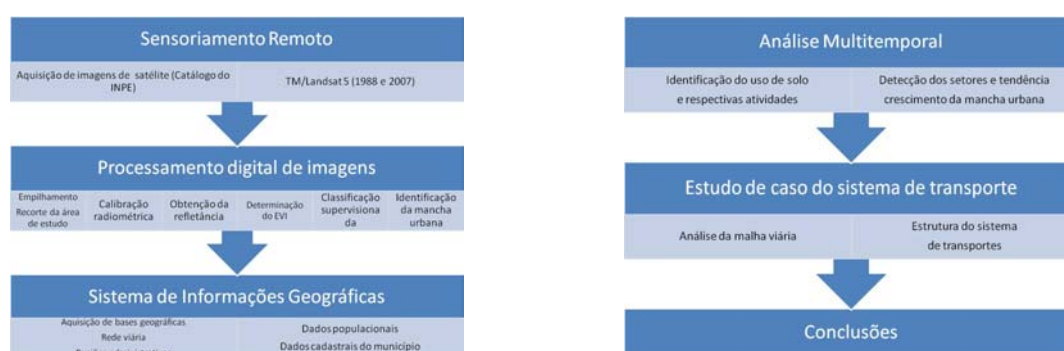


Figura 1. Fluxograma de resolução do estudo

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o município de Fortaleza, CE, que tem as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 3° 43' 1" sul; longitude: 38° 32' 34" oeste e altitude: 21 metros (IBGE, 2009). Na classificação de (Köppen & Geiger, 1928), Fortaleza possui tipo climático C₂W₂A'a'. Caracteriza-se por ser um clima úmido a sub-úmido, com grande deficiência no inverno, megatérmico, e a concentração dos três meses de verão responsável por 25,4% da evapotranspiração potencial normal. O regime climático apresenta uma média pluviométrica anual de 1600 mm; com temperatura média de 27,3 °C e umidade relativa do ar média de 76%.

2.2 Processamento digital de imagens

Para a realização deste estudo foram utilizadas duas imagens geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5, compostas de sete bandas espectrais, cujas principais características estão descritas na Tabela 1. Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 5 – TM sobre a área de estudo, nos dias 13 de agosto de 1988 (Dia Juliano = 225) Figura 2 e para o dia 3 de setembro de 2007 (Dia Juliano = 246) Figura 3, na órbita 217 e

ponto 63. Neste estudo foi utilizado o software ERDAS 9.2, para obtenção do EVI e na construção do banco de dados geográficos e na integração de todas as informações disponíveis da área de estudo.



Figura 2. Imagem TM/Landsat 5 em composição das bandas (RGB342) referente à área de estudo no dia 13/08/1988



Figura 3. Imagem TM/Landsat 5 em composição das bandas (RGB342) referente à área de estudo no dia 03/09/2007

Tabela 1. Descrição dos canais do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - *a* e máxima - *b*) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Descrição dos Canais	Comprimento de onda - μm	Coeficientes de calibração $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$		$K_{\lambda}(\lambda_i)$ - $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}$
		<i>a</i>	<i>b</i>	
Banda 1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52	152,1	1957
Banda 2 (verde)	0,53 - 0,61	-2,84	296,8	1829
Banda 3 (vermelho)	0,62 - 0,69	-1,17	204,3	1557
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78 - 0,90	-1,51	206,3	1047
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57 - 1,78	-0,37	27,19	219,3
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4 - 12,5	1,238	15,30	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10 - 2,35	-0,15	14,38	74,52

Calibração radiométrica e reflectância - A radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$) representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e foi obtida pela Equação (1), proposta por (Markham & Baker, 1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times \text{ND} \quad (1)$$

em que *a* e *b* são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), respectivamente, detectadas pelo TM - Landsat 5, cujos valores constam na Tabela 1; ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255, inclusive) e *i* corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do TM -Landsat 5.

A reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a Equação (2) (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{L_{\lambda} \times \pi}{K_{\lambda} \times \cos Z \times d_r} \quad (2)$$

em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiancia solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), *Z* é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois índices de vegetação: o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*; Huete, 1988) e o ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*; Kaufman & Tanré, 1992); tendo a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, de acordo com a Equação (3):

$$EVI = G * \frac{(NIR - Vermelho)}{(L + NIR + C1 * Vermelho - C2 * Azul)} \quad (3)$$

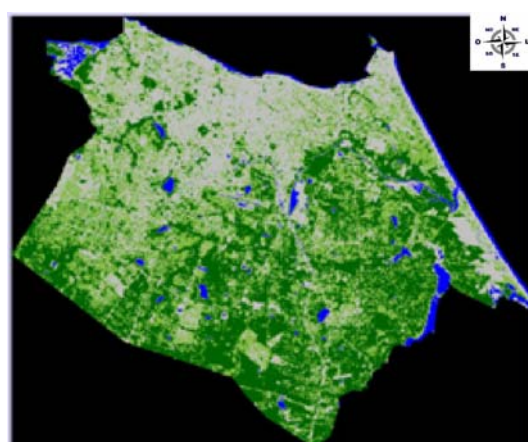
em que, NIR = reflectância no infravermelho próximo; Vermelho = reflectância no vermelho; Azul = reflectância no azul; C1 = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho (6); C2 = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo (1); G = fator de ganho (2,5). Os coeficientes C1 e C2 podem ser alterados de acordo com condições regionais.

Classificação das Imagens - Para a classificação das imagens foi adotado o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER), essa classificação considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes (Leão et al., 2007). Para o mapeamento temático do estudo em questão, quatro classes foram definidas: Água superficial, área urbana, vegetação e área de preservação. Consideraram-se áreas urbanas como as áreas que compreendem maior densidade populacional, incluindo núcleos urbanos. As Figuras 4 e 5 apresentam os produtos finais do processamento digital das imagens.

3. Resultados e Discussão

Bittencourt & Brizon (2006) consideram o setor de transporte como uma atividade complementar às demais atividades econômicas e sociais de uma região, porém de presença constante no cotidiano das pessoas que se deslocam motivadas por trabalho, saúde, estudos, compras ou lazer. A eficiência de um sistema de transporte depende da integração entre os diversos tipos de planejamento tais como o social e o urbano. Nesses termos a atratividade de uma região é tanto melhor quanto maior for seu acesso às demais.

De acordo com as Figuras 4 e 5 é possível observar a expansão da área urbana do município de Fortaleza-CE entre o período de 1988 e 2007. Observa-se maior adensamento urbano na região norte. As Figuras 4 e 5 também permitem a análise conjunta do desenvolvimento urbano e/ou populacional do município, pois, sabe-se que a ocupação do solo é fator determinante para a caracterização do espaço urbano e diretrizes das necessidades de planejamento e infra-estrutura de transportes.



Legenda
■ Água superficial ■ Área urbana ■ Vegetação ■ Área de preservação (vegetação densa)

Figura 4. Classificação supervisionada do EVI referente à área de estudo no dia 13/08/1988

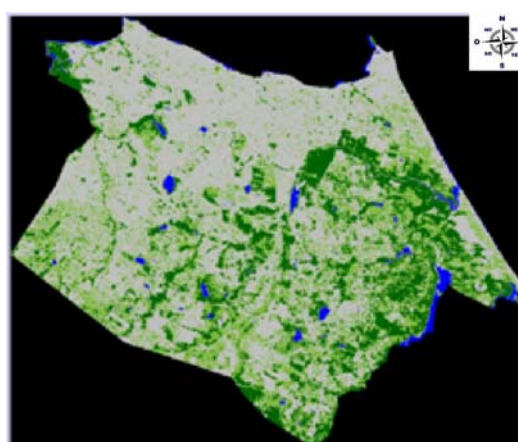


Figura 5. Classificação supervisionada do EVI referente à área de estudo no dia 03/09/2007

Observa-se pela Tabela 2 a evolução da população do município de Fortaleza-CE para o período de 1970 a 2003. A população na década de 70 estava em torno de 857.980 hab. resultando numa densidade demográfica de 2.555,51 hab. km⁻²; já para ano de 2003 estes mesmos indicadores apresentam-se na ordem de 2.282.513 hab. e 7.273,78 hab. km⁻², respectivamente.

Tabela 2. Evolução da população do município de Fortaleza - CE

Ano	Nº habitantes	Taxa média anual de crescimento (%)	Habitante/km ²	Varição hab/km ² (%)
1970	857.980	-	2.555,51	-
1980	1.307.611	4,3	3.891,70	52,41
1991	1.768.638	2,78	5.661,45	35,26
2000	2.141.402	2,13	6.854,68	21,08
2003	2.282.513	-	7.273,78	-

Fonte: IBGE Censos de 1970, 1980, 1991 e 2000
Plano Plurianual (2004-2007) Governo do Estado do Ceará

A partir do mencionado por Bittencourt & Brizon (2006), pode-se verificar pelas Figuras 6 e 7, que a dinâmica de ocupação do espaço urbano dá-se de forma organizada. Na zona norte a atividade comercial é o principal mecanismo de ocupação do espaço. Verifica-se acentuado desenvolvimento industrial, nas zonas oeste e nordeste sido oriundas da proximidade dos Portos do Pecém e Mucuripe, respectivamente. Este mesmo tipo de ocupação deu-se no setor sudoeste devido a criação do 1º Distrito Industrial do Ceará na década de 60, todavia a ocupação se intensificou com a implementação da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) na década de 70 e por fim na década de 80 pela efetiva implantação das indústrias (Almeida & Souza, 2005), contando com a Estrada de Ferro Baturité e a Estrada do Algodão (Figura 6). A zona sudeste caracteriza-se pela ocupação residencial em potencial crescimento e a presença de um núcleo comercial.



Figura 6. Esquema da expansão da cidade de Fortaleza-CE

Fonte: Bittencourt & Brizon (2006)



Figura 7. Características da ocupação do solo do município de Fortaleza-CE

Fonte: Rocha, 2003

É possível correlacionar as Figuras 8 e 9 no que se diz respeito à necessidade de locomoção da população com as mais diversas finalidades, sendo elas relacionadas a atividades de trabalho, educação, lazer, saúde, entre outros. Zonas com maior densidade demográfica necessitam, conseqüentemente, de implantação de vias mais modernas ou reestruturação das existentes para que a malha viária seja capaz de proporcionar mobilidade e acessibilidade das zonas produtoras para as atrativas de viagens (deslocamento de uma

determinada **zona A** para uma **zona B** realizada por indivíduo maior que 5 anos). Na figura 8 observa-se que a faixa litorânea do setor Oeste, apresenta a segunda maior densidade demográfica calculada para o referido município, sendo de 300 a 600 hab. km⁻²; outros setores desta mesma zona, principalmente próximos ao pólo industrial, também estão enquadrados nesta situação. De forma geral, as zonas norte, oeste e sudoeste apresentam taxa de densidade demográfica de 50 a 150 hab.km⁻², enquanto nas zonas leste e sudeste este mesmo índice está entre 20 e 50 hab.km⁻².

A Figura 9 mostra a malha viária em ordem classificatória, e pode-se notar que duas das vias expressas possuem formato de semicircunferência contornando, com raios distintos, o centro tradicional do município em estudo. A área interior à primeira e menor das vias expressas é composta basicamente de vias arteriais que se caracterizam por suportar altos volumes de tráfego ligando centros de grande densidade populacional e estas crescem radialmente, sendo interceptadas pelas vias coletoras que facilitam o acesso dentro das zonas. Todo esse conjunto é responsável pela mobilidade no município de Fortaleza-CE. É importante frisar que a maior densidade dessas vias coincide com as zonas de maior densidade demográfica, mas nem sempre suportam o tráfego de forma satisfatória.

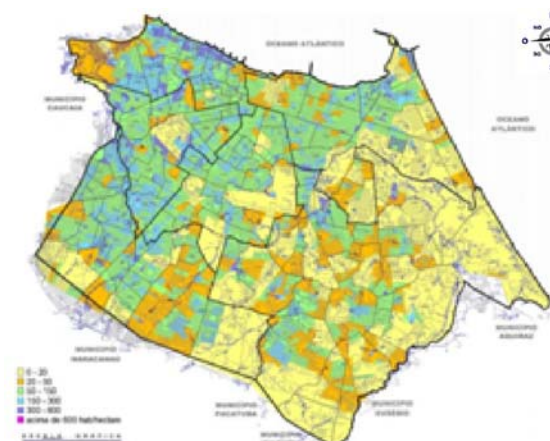


Figura 8. Densidade demográfica do município de Fortaleza-CE, segundo o censo de 2000

Fonte: SEINF/PMF – Equipe de circulação e transporte



Figura 9. Sistema viário do município de Fortaleza-CE, segundo dados de 2003

Fonte: SEINF/PMF – Equipe de circulação e transporte

Segundo (Sousa Neto & Lima, 2010) estudos sobre áreas metropolitanas indicam que os deslocamentos pendulares tornam-se indicador da centralização de atividades numa região, comunidade, isto é, da dinâmica da vida social, econômica e cultural. São tais deslocamentos que caracterizam a vida urbana atual, acentuando a importância dos transportes para viabilizar tal processo.

A Figura 10 exibe a tendência de consumo do espaço urbano mostrado pelas setas, sendo resultado da análise conjunta da Figuras 4 e 5. De tal modo que é possível verificar que a integração entre a ocupação do espaço e o planejamento de transporte não acontece de forma coesa, tendo em vista que a distribuição do sistema de transporte (Figura 11) não contempla de forma satisfatória ainda a região sudeste do município, que possui o maior potencial para o desenvolvimento residencial, justificado pela falta de espaço nas demais áreas.

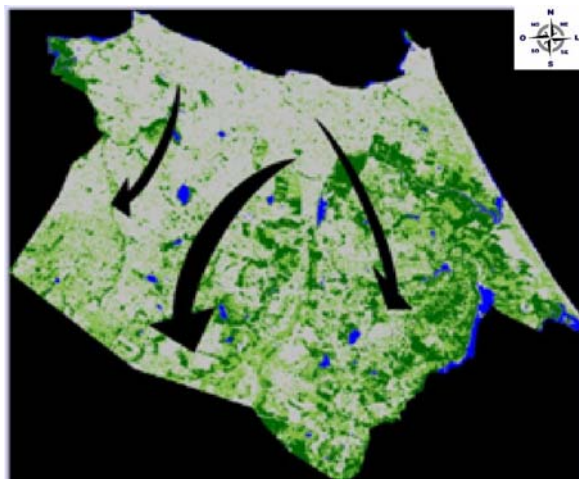


Figura 10. Tendência de consumo do espaço urbano no município de Fortaleza-CE entre os anos de 1987 e 2007



Figura 11. Sistema de transportes por ônibus no município de Fortaleza – CE para o ano de 2002

Fonte: Anuário de Transportes Urbanos de Fortaleza da ETUFOR - 2002

Observa-se pela Tabela 3 as características do sistema de transportes por ônibus no município de Fortaleza – CE para o ano de 2002. Os terminais da zona sudoeste concentram o maior número de linhas, 44,7% do total das linhas, cerca de 53% das viagens por ano e 46,6% dos passageiros transportados por dia. No entanto o Terminal Messejana situado na região sudeste do município, apresenta 12,7% das linhas e 11,5% dos passageiros transportados por dia. As informações referentes ao sistema de transporte são de grande importância para o entendimento do deslocamento e a eficiência de cobertura quanto ao tipo de ocupação do espaço, pois conhecida a demanda de determinada atividade, pode-se implantar um sistema de transporte mais eficaz e mais barato.

Tabela 3. Característica do sistema de transportes por ônibus no município de Fortaleza – CE para o ano de 2002

Terminais	Nº linhas	Nº de veículos/ dia útil	Viagens/ dia	Passageiros/ dia
Terminal Antônio Bezerra	34	345	3.327	199.368
Terminal Conjunto Ceará	17	128	1.317	67.324
Terminal Siqueira	35	294	3.222	153.527
Terminal Lagoa	25	168	2.010	96.933
Terminal Parangaba	46	356	3.879	203.686
Terminal Messejana	35	227	2.313	128.741
Terminal Papicu	40	455	3.607	268.836
Praça Coração de Jesus	25	-	-	-
Praça da Estação	18	-	-	-

Fonte: Anuário de Transportes Urbanos de Fortaleza da ETUFOR - 2002

4. Conclusões

As ferramentas de sensoriamento remoto mostraram-se eficazes no estudo de comparação multitemporais do consumo de espaço urbano. Foi possível então a elaboração de cenários da região, como também a associação de informações pontuais do sistema de transporte urbano do município e dados referenciados permitiu a análise conjunta das características do crescimento urbano, da dinâmica do transporte e da deficiência da cobertura em alguns setores da região de estudo. Os resultados apontaram uma expansão urbana em torno dos

eixos sudeste e sudoeste, o que permitiu a identificação de vetores de um período de consumo do espaço urbano e de demanda do sistema viário e de transportes.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R.; BASTIAANSSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – Advanced training and users manual, v.01, 2002. 97p.

ALMEIDA, L. Q.; SOUZA, M. J. N. Análise geoambiental como subsídio ao planejamento territorial de Maracanaú (CE). Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal, v. 06, n. 01, p. 7-19, 2005.

BITTENCOURT, F. S.; BRIZON, L. C. Transporte metroferroviário e desenvolvimento urbano. II Concurso de Monografia CBTU 2006 – A cidade nos trilhos, 2006. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/monografia/2006/trabalhos/fernandodesenna.pdf>> Acesso em: 20 set. 2010.

ETUFOR. Anuário de Transportes Urbanos de Fortaleza - 2002. Disponível em: <<http://www.etufor.ce.gov.br/anuarios/2002/anu%c3%a1rio2002-texto.pdf>> Acesso em: 20 set. 2010.

FORSTER, B. C. An examination of some problems and solutions in urban monitoring from satellite platforms. International Journal of Remote Sensing, v.06, n.01, p.139-151, 1985.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. International Agrophysics, v.04, n.04, p.367-376, 1988.

IBGE. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 20 set. 2010.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospheric resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 30, p. 261-270, 1992.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis: INPE, p. 939-946, 2007.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. International Journal of Remote Sensing, v.08, n.03, p.517-523, 1987.

ROCHA, Carolina. O impacto do metrô no espaço urbano – o caso do MetroRec, 2003. Campinas, São Paulo.

SEMACE – 1997 – Diagnóstico Sócio-ambiental, Macrozoneamento Costeiro e Uso Projetado do solo da costa leste do estado do Ceará. Inédito, Fortaleza.

SOUZA NETO, F. O.; LIMA, M. C. Deslocamentos cotidianos no espaço metropolitano: as trajetórias Maracanaú – Fortaleza. In. Anais do XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre: AGB, 2010.