

IMAGENS CBERS PARA CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NA AMAZÔNIA

Silvana Amaral¹, Renata Maciel Ribeiro², Gabriel Crivellaro Gonçalves³, Ana Paula Dal'Asta⁴

^{1, 2, 3, 4}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, SJC - SP, 12227-010
¹silvana.amaral@inpe.br; ²renata@dpi.inpe.br; ³gabrielcrivellaro.g@gmail.com; ⁴anapdalasta@dpi.inpe.br

RESUMO

Três principais atores têm impulsionado a expansão das cidades Amazônicas: política pública, iniciativa privada e a população em déficit habitacional. Áreas ocupadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, loteamentos privados e ocupações desordenadas são respectivamente, expressões destes atores no território, passíveis de detecção em imagens de satélite. Neste trabalho, exploramos imagens PAN CBERS4 e RapidEye, em modelos linear de mistura espectral (MLME) para caracterizar áreas de expansão no Pará, em Santarém, Uruará e Novo Progresso, e em Mato Grosso, em Sinop, antes e depois de 2015. As componentes do MLME possibilitam a caracterização dos três padrões e a diferenciação dos atores, discutindo-se as heterogeneidades locais e regionais. Imagens CBERS4 possibilitaram o estudo dos diferentes padrões nas cidades, e podem auxiliar o monitoramento da expansão urbana na Amazônia.

Palavras-chave — Urbanização, Amazônia, CBERS, expansão urbana.

ABSTRACT

Three main actors have driven the expansion of the Brazilian Amazonian cities: public policy, private initiative and the population in housing deficit. Areas occupied by the "Minha Casa Minha Vida" Program, private allotment and informal settlements are, respectively, expressions of these actors in the territory, and thus, detectable by satellite images. In this work, we explore PAN CBERS4 and RapidEye images, with linear spectral mixture models (LSMM) to characterize the urban expansion of four Amazonian cities: Santarém, Uruará and Novo Progresso (PA) and Sinop (MT), before and after 2015. The LSMM components enabled to characterize the urban expansion patterns, identifying the actors. We also discussed local and regional heterogeneities between patterns and cities. CBERS4 images allow the study of different patterns among cities, and can help monitoring the urban expansion in the Amazon.

Key words — Urbanization, Amazon, CBERS, urban growth.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento e expansão de fronteiras urbanas geralmente resultam de um desenvolvimento econômico rápido e de natureza diversa, e são marcados por ciclos curtos de ascensão e queda da economia. Estes ciclos por sua vez acompanham interesses econômicos do mercado internacional [1], [2]. Na Amazônia, ainda que em contextos de urbanização inconclusa [3], esses mercados, associados ao modelo exportador, foram responsáveis pelas configurações de expansão de infraestrutura, sem o necessário ordenamento territorial prévio [4].

A relação entre as autoridades governamentais e as elites privadas altera o papel das cidades, que no conceito de "Máquina de Crescimento Urbano" [5], se tornam palco da competição de interesses distintos sobre a terra. Mediados pelas autoridades governamentais, diversos agentes modelam o espaço, e as relações entre estes agentes são chave para entender os padrões de crescimento e adensamento das cidades.

Alguns autores [6], [7] ressaltam a atuação da elite local na evolução recente das cidades paraenses. Regida pela economia internacional, a expectativa de implantação de grandes empreendimentos e o preço da terra, são os principais fatores para expansão. No município de Itaituba - PA, por exemplo, houve aumento de 16,3% da mancha urbana entre os anos de 2011 e 2015 [6]. Foram identificados três principais padrões de expansão urbana: conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), loteamentos privados e áreas de ocupação espontânea desordenada. Estes padrões se repetem em outras localidades do estado do Pará e são considerados os mais significativos das dinâmicas atuais de expansão e criação de áreas urbanas na Amazônia brasileira [7]. Destes padrões observáveis no território pode-se identificar os principais atores que concorrem para a remodelação do espaço urbano: o Estado, através de políticas urbanas e habitacional (PMCMV), a iniciativa privada (loteamentos), e a população carente de habitação que se dirige às cidades e ocupa suas periferias.

Neste contexto, ao permitir a observação de extensas áreas e a identificação dos complexos usos e coberturas, as imagens de satélite são uma fonte de informação valiosa no contexto da urbanização territorial: tanto para identificar os padrões de ocupação urbana que refletem seus atores associados, como para auxiliar o monitoramento da expansão de áreas urbanizadas [8]. Imagens de resolução

espacial entre 5 e 10m, tais como as do sensor PAN CBERS4, foram anteriormente utilizadas para identificar os padrões de expansão urbana [6] na Amazônia.

Este trabalho explora o uso de imagens CBERS e RapidEye, em modelo linear de mistura espectral para estudar os principais processos de expansão urbana recente em cidades Amazônicas. Considerando os diferentes agentes transformadores e a configuração espacial que imprimem ao ocupar o espaço urbano, além da validade dos dados de sensoriamento remoto, discutimos as diferenças regionais dos processos de expansão urbana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende quatro cidades amazônicas escolhidas pela disponibilidade de informações de campo e por representarem contextos sócio-espaciais particulares: Santarém, Uruará e Novo Progresso no estado do Pará e Sinop no Mato Grosso. Segundo a Rede de Influências das Cidades [9] estas cidades expressam diferentes centralidades. Santarém (STR), com 302.667 habitantes estimados para 2018 [10], corresponde uma Capital Regional, sob influência de Belém e Manaus. Uruará (URU) é um Centro Local, sob a influência de Altamira, com 45.517 habitantes estimados para 2018, e um exemplo de ocupação associada à Transamazônica, com economia agrícola centrada na produção de cacau. Novo Progresso (NP), com 25.758 habitantes estimados (2018), também é um Centro Local, porém sob influência de Itaituba e Santarém. NP têm economia associada principalmente à pecuária e é uma região marcada por conflitos associados à posse da terra. Sinop (SNP) constitui um Centro Sub-regional sob influência de Cuiabá. Com 139.935 habitantes em 2018, se difere das cidades paraenses, pela economia associada à expansão da soja e por ser uma cidade planejada, de grande importância para prestação de serviços regionais.

2.2. Materiais e métodos

Um conjunto de imagens CBERS4 e RapidEye combinado a dados de expedições de campo foram utilizados para analisar e caracterizar a expansão urbana recente de quatro cidades amazônicas. As imagens PAN/CBERS4 foram obtidas do catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e as imagens REIS/RapidEye do catálogo de imagens do Ministério do Meio Ambiente (MMA). As imagens RapidEye foram consideradas referências iniciais, de 2011 a 2015, e as imagens CBERS foram utilizadas para detectar e descrever a condição urbana recente, 2017-2018 (Tabela 1). As informações de campo utilizadas foram obtidas pelos pesquisadores do Laboratório de Investigação

em Sistemas Sócio-ambientais - LiSS, do INPE, durante a expedição de 2017.

Tabela 1. Datas e cenas das Imagens utilizadas.

Sensor/Satélite	Órbita/Ponto - Tile	Data
PAN/CBERS 4 (10 m)	168/103	18/07/2018
	167/113	21/07/2018
	167/104	21/07/2018
	168/103	28/05/2017
REIS/RapidEye (5 m)	2135822	08/08/2011
	2135822	17/07/2015
	2133621	22/09/2011
	2133621	14/05/2015
	2237302	14/08/2012
	2137925	30/07/2011
	2137925	23/10/2015

Inicialmente, as imagens PAN/CBERS4 multiespectrais, composição 432RGB e resolução espacial de 10m, e as imagens PAN/CBERS4 pancromática, de 5m de resolução espacial, foram fusionadas através do método IHS (*Intensity, Hue e Saturation*). As imagens fusionadas foram utilizadas para identificar, por interpretação visual, as áreas de expansão urbana recente em relação às imagens RapidEye, composição 5R4G3B, de 2011. Durante a expedição de campo de 2017, essas áreas foram caracterizadas quanto à infraestrutura presente, nível de adensamento, padrão econômico da população e atores envolvidos no processo de produção desses espaços urbanizados.

A construção metodológica parte do pressuposto que cada ator de produção do espaço urbano (público, privado ou espontâneo) está associado a configurações espaço-temporais particulares, bem como com a presença efetiva de mecanismos de ordenamento territorial. Assim, as análises consideraram os atores, o tempo de implantação e a localização (UF), com base na contribuição das frações sombra, solo e vegetação do modelo linear de mistura espectral (MLME) [11] [12] em cada nova área. Cada polígono de expansão foi associado a um ator: **público** - áreas destinadas ao interesse público, como as do programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV; **privado** - áreas particulares convertidas em uso urbano, como loteamentos e condomínios; e **espontâneo** - áreas que são ocupadas de forma espontânea, sem ordenamento e organização, que podem no futuro ser legalizadas e receber serviços, equipamentos e infraestrutura urbana.

Na dimensão temporal, analisou-se o período de abertura das novas áreas urbanas adotando 2015 como referência. Com base nas imagens RapidEye, composição 5R4G3B, do ano de 2015, foram identificadas as áreas de expansão detectadas antes e após 2015. Considerou-se também a UF de pertencimento de cada cidade - MT ou PA.

O MLME foi aplicado nas imagens CBERS4 fusionadas com o objetivo de caracterizar o arranjo dos componentes "solo", "vegetação" e "sombra" nas áreas de expansão recente associadas a atores e períodos diferentes. Um MLME com três componentes foi gerado para cada

imagem e após analisou-se a contribuição de cada fração em cada área de expansão recente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 exemplifica as imagens CBERS4 fusionadas e o respectivo MLME para três unidades associadas a cada um dos atores de produção do espaço urbano (público, privado e espontâneo). Os resultados obtidos, a partir das imagens fusionadas, foram compatíveis com as observações e descrições de campo.

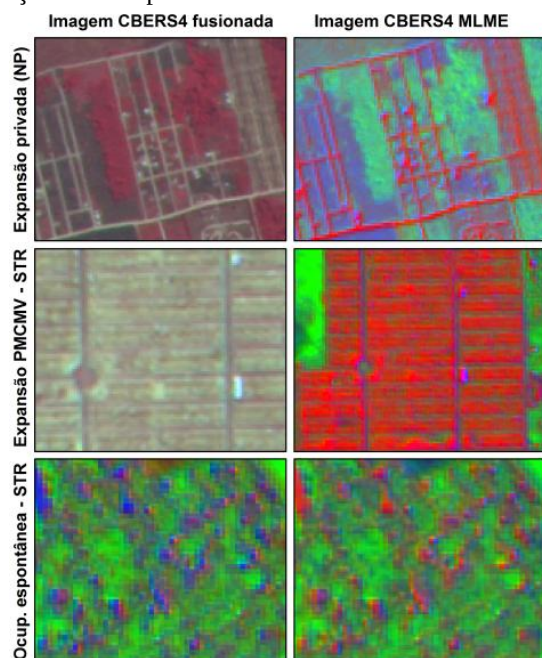


Figura 1. Imagens CBERS - fusionada e MLME.

Do número de áreas de expansão recente mapeadas, tem-se NP crescendo em função apenas de investimentos privados (Figura 2) por grandes empreiteiras que atuam no nível nacional, que foram implementados antes (6) e depois (7) de 2015. A iniciativa pública provendo novas moradias, com o programa PMCMV, ocorre em número menor que as outras iniciativas, e está ausente em NP. Apenas em STR e URU foram mapeadas áreas de ocupação espontânea, e SNP tem investimentos privados comandando a expansão urbana, sendo a maioria (21) implementada após 2015.

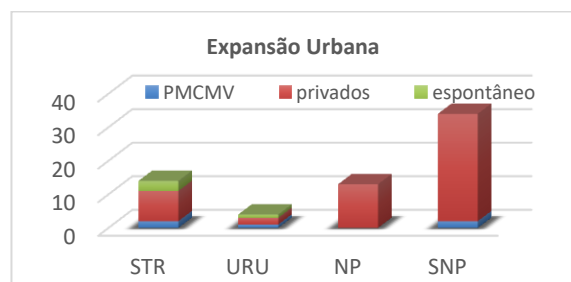


Figura 2. Unidades de expansão urbanas por tipo, obtidos em Santarém, Uruará, Novo Progresso e Sinop.

Na tipologia associada aos atores responsáveis pela expansão recente das quatro cidades, o MLME permitiu caracteriza-los conforme apresenta a Figura 3. As áreas de expansão recentes de ocupação espontânea ou associadas ao setor privado, em geral loteamentos ou condomínios com dimensões variadas, entre 1,5 e 170 ha, apresentaram grande variabilidade no comportamento das três componentes.

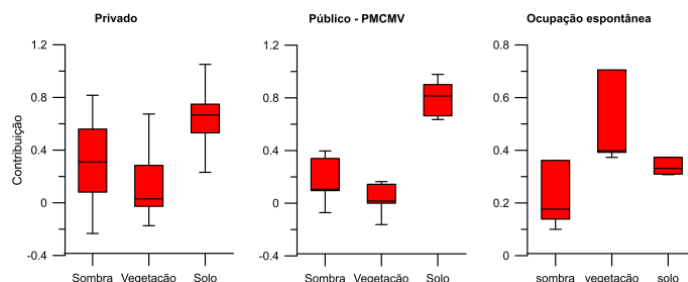


Figura 3. Contribuição das componentes Sombra, Solo e Vegetação nas áreas associadas a cada ator.

Em se tratando da natureza do setor privado, nem sempre a demanda por novas áreas, especialmente pelos loteamentos, é para moradia, mas pode significar reserva de terras (apenas com áreas piquetadas e arruamento definido e o interior dos lotes com vegetação). Se a origem das áreas fomentadas pelo Estado ou de ocupação espontânea é a demanda por moradia imediata, o padrão espacial de ocupação é diferenciado. As áreas do PMCMV seguem o mesmo padrão em todo o país: espaço completamente transformado, com alta densidade de construções, predomínio da fração solo (em geral acima de 60%), ausência ou pouca vegetação que com o passar do tempo vai se estabelecendo (até 20%).

Em contrapartida, nas áreas de ocupação espontânea, que ocorrem de maneira desordenada, as construções apresentam-se entremeadas à cobertura anterior à ocupação. Tem-se a fração solo variando entre 26 e 42%, fração vegetação entre 35 e 62% e fração sombra até 35%.

Sendo que os investimentos privados configuram-se como o principal motor da expansão das cidades amazônicas, ao explorar o padrão observado nessas áreas em Sinop e nas cidades paraenses observa-se comportamentos distintos entre as unidades da federação (Figura 4). As áreas recentes de origem privada apresentam maior variabilidade no comportamento das frações, em especial da vegetação, cuja contribuição pode chegar a mais de 90%. Essas áreas referem-se a loteamentos que em um primeiro momento tiveram seu arruamento definido, porém os lotes não foram ocupados, mantendo a vegetação em seu interior. Nas áreas de Sinop, há uma maior contribuição das frações sombra e solo em detrimento da fração vegetação. Não raro nas cidades paraenses observam-se loteamentos sem nenhuma infraestrutura urbana, apenas com o arruamento sem asfalto. Por sua vez, em Sinop o controle municipal normatiza e fiscaliza a abertura de novos

loteamentos, requisitando a implantação da rede viária, esgotamento e iluminação.

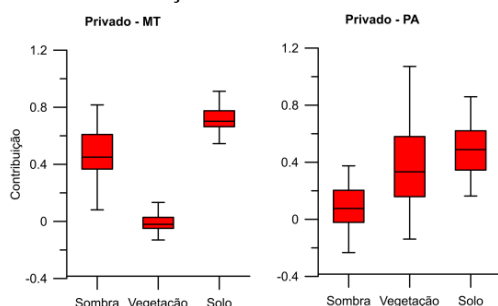


Figura 4. Contribuição das componentes Sombra, Solo e Vegetação por ator "privado" em função da UF.

Ao analisar o comportamento das frações em função do ator e período de implantação das áreas com base na Figura 5, observa-se que a menor variabilidade associa-se aos loteamentos privados implantados após 2015 e aos empreendimentos do PMCMV anteriores a 2015.

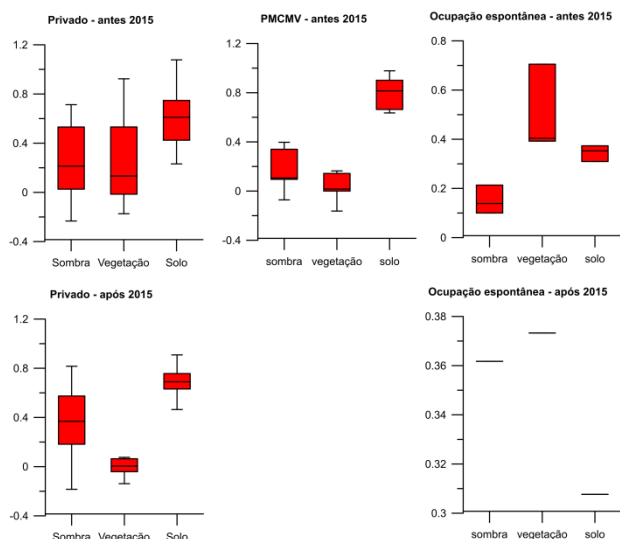


Figura 5. Contribuição das componentes Sombra, Solo e Vegetação em função do ator e período de implantação.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho utiliza imagens CBERS fusionadas com imagens RapidEye para identificar padrões de crescimento urbano em cidades Amazônicas. A técnica de MLME permitiu identificar os padrões associados aos atores de ocupação do espaço urbano: privado, público e espontâneo.

As características regionais, e os diferentes processos históricos associados à evolução recente das cidades ficaram evidentes ao se observar os mapeamentos realizados em dois momentos do tempo. Sinop difere das cidades paraenses em função dos padrões de loteamentos que determinam sua expansão urbana. E dentre as cidades paraenses, Novo Progresso se destaca por apresentar apenas o padrão associado aos agentes privados.

A disponibilidade de imagens CBERS para uma região de intensa cobertura de nuvens como a Amazônia, aliada à resolução espacial, e integração com outros dados, como imagens RapidEye, possibilitam a construção de séries temporais consistentes. Recomenda-se assim o uso de imagens CBERS como fonte de dados relevantes para estudar e monitorar a expansão urbana na Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao suporte do Projeto MSA-BNDES (Processo: 1022114003005) e do CNPq (Processo: 300435/2018-5).

5. REFERÊNCIAS

- [1] BECKER, B. K.; STENNER, C., "Um Futuro para a Amazônia", Oficina de Textos, São Paulo, 2008.
- [2] BECKER, B., "Urbe Amazonida", Garamond, Rio de Janeiro, 2013.
- [3] SANTOS, M., "A urbanização brasileira", HUCITEC, São Paulo, 1996.
- [4] BECKER, B., "Amazônia: geopolítica na virada do III milênio", Garamond, Rio de Janeiro, 2009.
- [5] Moloth, H., "The City as a Growth Machine: Toward a Political Economy of Place", *The American Journal of Sociology*, v. 82, n. 2, pp. 309–332, 1976.
- [6] Dal'Asta, A. P.; Amaral, S.; Arcanjo, J. S., "O loteamento urbano da Amazônia: inferências a partir do sensoriamento remoto no Sudoeste Paraense", In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, SP, Anais, 2017.
- [7] Cardoso, A. C. D.; Negrão, M. R. G., "Das máquinas autoritárias de planejamento do Século XX, às máquinas de crescimento urbano do Século XXI: o caso do Sudoeste do Pará", In: Encontro Nacionais da ANPUR, 15, Recife. Anais, 2013.
- [8] Patino, J.E., Duque, J.C., "A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings", *Computers, Environment and Urban Systems*, 37(1), pp. 1-17, 2007.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. "Regiões de Influências das Cidades 2007". IBGE, Rio de Janeiro, 2008.
- [10] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE-Cidades < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil>>, acesso em: 05 out. 2018.
- [11] Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Ponzoni, F.J. "Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.
- [12] Wu, C.S.; Murray A.T., "Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis", *Remote Sensing of Environment*, 84(4):493–505, 2003,