

ESTUDO DA URBANIZAÇÃO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS SOBRE AS TEMPERATURAS NOTURNAS EM SINOP/MATO GROSSO

Vincent Dubreuil¹

Vincent Nedelec²

Robert Bariou³

Gilda Tomasini Maitelli⁴

RESUMO

O forte crescimento urbano associado à colonização agrícola do médio norte de Mato Grosso foi acompanhado, nos últimos trinta anos, de uma transformação importante das condições climáticas locais. As campanhas de medidas realizadas em junho de 2003 com o método de transectos móveis mostraram que, numa cidade com desenvolvimento acentuado como Sinop/MT, o gradiente térmico cidade-campo atinge 5°C no início da noite e se mantém superior a 3°C, até o nascer do sol, na estação seca. Este fenômeno pode estar relacionado com a extensão das superfícies urbanizadas conforme foram cartografadas regularmente pelo satélite Landsat: a superfície da cidade de Sinop passou de 200 hectares em 1979 para mais de 2500 hectares em 2003. Uma tal extensão (mais de 5 quilômetros) permite hoje avaliar os contrastes térmicos locais até agora pouco conhecidos numa região que era antes coberta por floresta de transição.

Palavras-chave: urbanização, ilha de calor urbana, sensoriamento remoto, transectos térmicos.

RESUMÉ

La forte croissance urbaine liée à la colonisation agricole de la moitié nord du Mato Grosso s'est accompagnée, depuis une trentaine d'années, d'une transformation importante des conditions climatiques locales. Les campagnes de mesures réalisées en juin 2003 par la méthode des transects mobiles montrent que, dans une ville à très fort développement comme Sinop, le gradient thermique ville-campagne atteint désormais 5°C en début de nuit et reste supérieur à 3°C jusqu'au lever du jour en saison sèche. Ce phénomène peut être mis en relation avec l'extension des surfaces urbanisées que permet de cartographier régulièrement le satellite Landsat: la superficie de l'agglomération de Sinop est ainsi passée de 200 hectares en 1979 à plus de 2500 en 2003. Une telle extension permet donc aujourd'hui le développement, sur des distances faibles (moins de 5 kilomètres), de contrastes thermiques locaux jusqu'ici inconnus dans cette région auparavant uniformément forestière.

Mots clés: urbanisation, îlot de chaleur urbain, télédétection, transects thermiques.

1. Introdução

O processo de urbanização no Brasil é, como em outros países, uma manifestação das transformações radicais que os homens imprimem na superfície terrestre. Assim, a vegetação foi sendo largamente substituída por zonas de cultivos agrícolas e de pastagens, não somente na Amazônia e no Centro-Oeste mas também, no século passado, nas regiões Sul e Sudeste do país. O forte crescimento da população urbana brasileira foi acompanhada de uma grande extensão de superfícies urbanizadas, o que naturalmente conduziu pesquisadores brasileiros, geógrafos, meteorologistas, arquitetos e outros especialistas, ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas às interações entre os atributos urbanos e as características da atmosfera local, ou seja, em climatologia urbana.

Este processo de transformação antrópica da paisagem é particularmente acentuado em Mato Grosso, onde a partir do final dos anos de 1970, cerca de 5 000 km² de áreas vegetadas têm sido

¹ COSTEL-LETG, UMR 6554 CNRS, Universidade Rennes 2, vincent.dubreuil@uhb.fr

² COSTEL e Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, (UnB) vincent.nedelec@uhb.fr

³ COSTEL-LETG, UMR 6554 CNRS, Universidade Rennes 2

⁴ Universidade Federal de Mato Grosso (Mato Grosso), maitelli@terra.com.br

desmatadas a cada ano, principalmente ao norte do Estado. Devido a este fato, o estudo dos ecossistemas da bacia do médio Teles Pires e dos processos de desmatamento impulsionados pela colonização agrícola foi objetivo principal do programa de trocas acadêmicas e de pesquisa do Projeto nº 96-5, desenvolvido de 1996 a 1999, em cooperação entre o Laboratório COSTEL (Climat et Occupation du Sol par Télédétection) da Universidade Rennes 2 na França e o Departamento de Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso (Dubreuil, 2002). Neste Programa de Pesquisa, os aspectos regionais foram privilegiados. Entretanto, é oportuno discutir igualmente a questão das consequências da ação do homem numa escala local e, neste aspecto, as cidades da Amazônia Mato-grossense constituem-se em exemplos significativos das modificações que as ações antrópicas provocam no meio ambiente e particularmente no clima, numa escala mesoclimática.

Entretanto, estudos climáticos relacionados ao processo de urbanização de Mato Grosso são pouco desenvolvidos porque nessa região a urbanização é recente, não existindo uma rede de medidas climatológicas densa e a mesma está distanciada dos grandes centros de pesquisas. Assim, este artigo pretende contribuir com estudos de clima urbano anteriores realizados (Maitelli et al., 2000), utilizando o exemplo de Sinop para ilustrar como a evolução da urbanização, introduziu, em trinta anos, uma modificação profunda das condições climáticas locais na escala de uma aglomeração urbana. A escolha de Sinop justifica-se pelo conhecimento adquirido nos trabalhos de campo realizados após 1996 (uma missão de trabalho em cada ano) pela equipe de COSTEL, vários estudos realizados pela equipe do Departamento de Geografia (professores e alunos) na região, que resultaram em trabalhos de conclusão de curso e tese de doutoramento, pela disponibilidade de imagens de satélites Landsat, adquiridas regularmente após 1975 e pelas características de crescimento desta cidade, que embora jovem tem uma população de mais de 100.000 habitantes e cujas funções e prestações de serviços fazem dela uma capital regional que polariza o norte do Estado de Mato Grosso e parte do sul do Estado do Pará (Vilarinho Neto, 2002). Outra utilização das imagens de satélite Landsat é a cartografia da superfície urbanizada o que permitiu utilizar, neste estudo de climatologia urbana, a metodologia dos transectos móveis com observações realizadas em junho de 2003. Esta técnica permite obter um grande número de medidas de observações com pouca quantidade de aparelhos.

2. O crescimento urbano de Sinop: uma dinâmica recente

2.1 Urbanização, ciclos econômicos e frentes pioneiras em Mato Grosso

A taxa de urbanização da população brasileira que era de 65% em 1960 passando para 80% em 2000, mostra como a transformação da população rural em população urbana foi acelerada no Brasil. Este fenômeno atribui algumas características peculiares ao Brasil, onde redes de pequenas, médias e grandes cidades desenvolveram-se rapidamente colocando em evidência, muitas vezes, os eixos de colonização dos ciclos econômicos do país. Além disso, na última década, as cidades médias devido ao acelerado crescimento, originaram o conceito de desmetropolização (Santos, 1991). Este crescimento rápido acompanhado de uma intensa industrialização, com ausência de um planejamento urbano, além de provocar fortes disparidades das condições sociais, econômicas e políticas nas cidades, contribuiu para criar ambientes caóticos, dentre os quais destacam-se o calor excessivo, a poluição do ar, as baixas taxas de umidade relativa, resultantes das alterações causadas pelo impulso urbano no sistema climático local.

Enquanto os Estados brasileiros localizados na orla atlântica tiveram um crescimento urbano rápido, influenciados pelos ciclos econômicos dos séculos XVI e XVII, o Estado de Mato Grosso conheceu um desenvolvimento mais tardio, sendo que os primeiros núcleos apareceram no início do século XVIII, relacionados ao ciclo do ouro e dos diamantes. A fundação de cidades teve diferentes momentos históricos (XVIII, XIX e XX), traduzindo a variedade de causas deste impulso urbano: as minas de ouro nos primeiros tempos da colonização, em Cuiabá, Vila Bela ou Diamantino, criação de gado em Poconé, extração de diamantes mais tarde, em Poxoréu. Os diferentes episódios históricos que originaram as fases da ocupação do território tiveram uma grande influência sobre a toponímia dos municípios e suas denominações que estavam relacionadas a personalidades (Rondonópolis, Peixoto de

Azevedo, Santo Antônio de Leverger), aos rios da região, (Jauru, Juruena), à religião (Nossa Senhora do Livramento), a nomes indígenas (Poxoréo), às empresas de colonização (Sinop, Nova Mutum) às cidades ou localidades de onde se originavam os imigrantes (Porto dos Gaúchos, Nova Maringá), aos recursos naturais (Acorizal, Diamantino, Água Boa, Itaúba) etc.

Sobretudo a partir do início de 1960, a região Centro-Oeste brasileira foi considerada pelos poderes públicos como uma região propícia para resolver grande parte dos problemas sociais, fundiários, econômicos do país. A fundação de Brasília em 1960 e a construção dos grandes eixos rodoviários ligando Belém a Brasília (Norte-Sul), Cuiabá a Porto Velho e a Santarém (Sudeste e Noroeste e Sul-Norte), integrantes do quadro do Programa de Integração Nacional, deveriam dar um impulso à ocupação humana e ao desenvolvimento econômico espontâneo.

Após o insucesso da colonização ao longo da rodovia Transamazônica, os programas referentes à Amazônia, foram reorientados em 1970, com zonas prioritárias para a criação de infraestrutura tais como a Polamazônia e a Polonoroeste. Assim, entre 1970 e 1974 o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) privilegia a instalação de colonos nos Estados de Rondônia e Mato Grosso, com o objetivo de frear o êxodo rural e reorientar o fluxo que se dirigia para as grandes metrópoles do Sudeste e para a Amazônia. Os cerrados, zonas onde os solos eram considerados pobres e impróprios para a agricultura até 1970, receberam fortes investimentos e conheceram o desenvolvimento das comunicações e da agricultura: após vinte anos a soja dos cerrados atinge o sudeste como uma locomotiva de agro-indústria de exportação.

Uma fase de forte urbanização acompanhou o processo de colonização a partir da década de 1970, e numerosas vilas e cidades foram criadas ao longo dos eixos rodoviários integrando Mato Grosso ao mercado nacional e internacional. Entretanto, a agro-indústria mais recente (Distritos Industriais de Rondonópolis, Cuiabá etc.), atinge as populações tradicionais (ribeirinhos, garimpeiros etc.) que, afastados dos projetos de colonização, transformam-se em mão-de-obra urbana. Este processo vai contribuir para a edificação de um meio urbano degradado com as consequências diretas sobre a vida, sobretudo, para a população mais pobre que ocupa a periferia das cidades.

No início da década de 70 o povoamento estava concentrado em Cuiabá e nos seus arredores, conhecido como Velho Mato Grosso. Existiam, na época, 30 cidades, sedes dos municípios. No final da década de 80 o número de municípios era de 95, depois 117, 127 no início da década de 90, 127 em 1998 e atualmente, mais de 140. A população urbana mato-grossense passou de 655 000 em 1980 para 2,5 milhões hoje: a taxa de urbanização do Estado passa igualmente de 57% para 80% aproximadamente. Com a emancipação dos municípios, foram criadas as prefeituras que se estruturaram com administração, comércio e serviços para servirem à população.

A rede urbana incha com a continuação do movimento migratório e o número de cidades de mais de 10 mil habitantes passa de 8 em 1975 para 32 em 1996. A população de Cuiabá dobra a cada 15 anos e o Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande passa a ter 757.921 habitantes, no ano de 2003, segundo estimativas do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano (IPDU), da Prefeitura Municipal de Cuiabá. No total, na parte norte de Mato Grosso, foram fundados mais de cinquenta novos núcleos urbanos entre 1970 e 1990: 10 dentre eles já possuem mais de 10 mil habitantes.

2.2- Colonização e fases de desenvolvimento da Gleba Celeste

Na região norte de Mato Grosso, o desenvolvimento da Gleba Celeste, depois Sinop, é exemplo da colonização privada na década 70. A BR-163 marca a rota fundamental: é a via dos migrantes, a estrada dos colonos, verdadeiro cordão umbilical que liga essa área à civilização e serve de ponto de ancoradouro aos povoados. Sua abertura pelos militares, no início da década 70, é seguida pouco depois, pela implantação da Sociedade Imobiliária do Noroeste do Paraná (SINOP), localizada na floresta de transição. Esta última sociedade, criada no fim dos anos 40, já havia fundada 11 cidades no Paraná e em 1972, Enio Pepino comprou, em acordo com o INCRA, 645 mil hectares na localidade, que foi denominada a Gleba Celeste. Foi então realizado o desmatamento, que foi lento e difícil e realizado por uma equipe de 400 homens, seguido pela distribuição dos lotes aos colonos que vinham,

em sua maioria, do Sul do país: do Paraná (67% dos que chegaram primeiro), de Santa Catarina, do Rio Grande do Sul aqueles que substituíram os índios Xingus que foram deslocados para o Parque Nacional do Xingu. Foi um período de abertura de pistas em terra batida que eram, inicialmente, perpendiculares a BR, e depois foram se expandindo de forma sistemática com desmatamento da floresta de entorno. Em Sinop, as terras eram repartidas em 3754 lotes de tamanhos variados, mas 60% eram inferiores a 120 hectares. Um certo número desses lotes foram adquiridos de forma especulativa para serem revendidos em seguida. Durante esta fase, foram criadas as cooperativas como a Cooperativa Mista Celeste (COMICEL). Os núcleos de povoados ou centros urbanos foram fundados igualmente nas bordas da rodovia e das pistas principais, núcleos mais ou menos importantes, com um plano em tabuleiro e uma subdivisão em quarteirões administrativos, residenciais, comerciais, industriais. Assim, nasceram as cidades de Vera em 1971, Santa Carmem em 1972, Sinop em 1974, Claudia dentre outras. (Clairay et Dubreuil, 2002).

Desde a sua fundação a cidade de Sinop teve poucas ruas asfaltadas, com plantação de árvores e de flores ao longo das avenidas principais, um plano urbano que assemelha-se a uma casa, as ruas com nomes de árvores ou de flores, ou de rios, com os principais quarteirões com nomes femininos. Na entrada da cidade, zonas industriais, cooperativas e serrarias: inicialmente havia 700 serrarias em Sinop, no ano 2000 restavam aproximadamente 400, com 15 mil empregados diretos ou indiretos. Nos quarteirões situados nos arredores do centro ocorriam cinturões verdes, eram as chácaras, com 5 a 50 hectares, onde se instalaram os primeiros colonos que dedicavam-se a cultivos agrícolas variados, destinados no início, para fornecer alimentos aos habitantes da cidade. Entretanto, o processo acelerado de colonização foi acompanhado de intenso desmatamento da floresta: as taxas de cobertura de floresta do município de Sinop (3142 km²) passaram de 76% em 1992 para 57% em 1999, representando uma diminuição de 600 km² de vegetação em 7 anos. Em 2003, esta taxa aumentou 45% e agora são cerca de 1500 km² de floresta que desapareceram em 10 anos. O processo de desmatamento e o desenvolvimento da extensão espacial da superfície urbanizada do município de Sinop podem ser visualizados com utilização de imagens de satélite (figura 1).

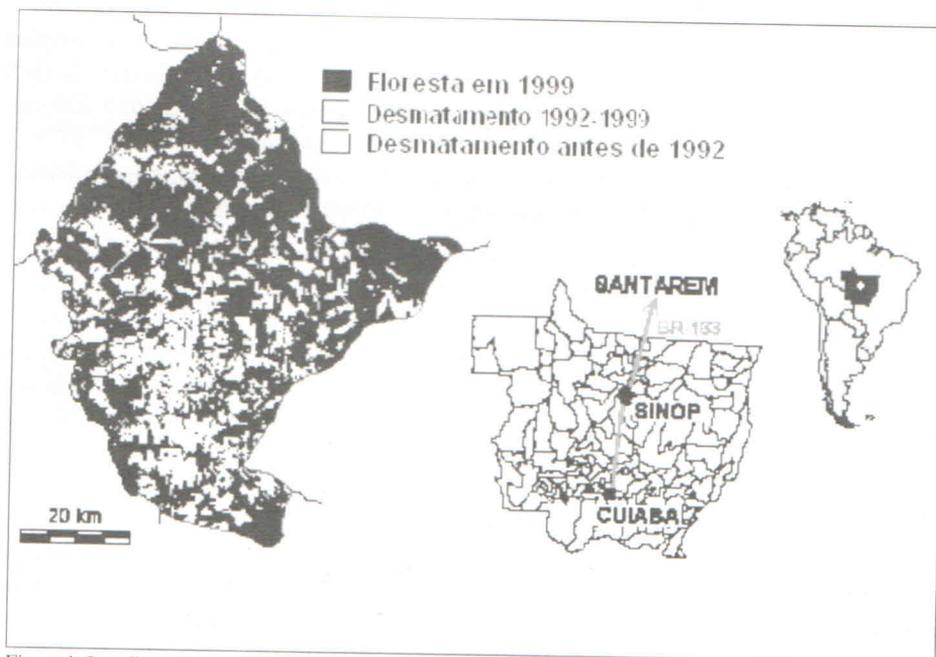


Figura 1: Localização e evolução do desmatamento no município de Sinop

2.3 Cartografia por sensoriamento remoto da área urbana de Sinop

A fundação e as primeiras fases de crescimento das cidades do norte de Mato Grosso são contemporâneas da colocação em órbita dos primeiros satélites de observação da Terra (Landsat 1 em 1972). Assim, as diferentes missões deste programa (MSS, TM, ETM+) permitiram o monitoramento regular do crescimento urbano destas cidades. Para este estudo foram utilizadas as imagens fornecidas pelo TRFIC (Tropical Rainforest Information Center) da Universidade de Michigan e pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As cenas utilizadas são imagens MSS de 13 de junho de 1975 (WRS 243-068) e de 8 de julho de 1986 (WRS 226-068), a imagem TM de 19 de maio de 1992 (WRS 226-068) e as imagens ETM+ de 19 de agosto de 1999 (WRS 226-68) e de 10 de fevereiro de 2003 (WRS 227-68).

As fotografias aéreas do programa RADAMBRASIL foram igualmente utilizadas para definir os limites da urbanização de 1978-79. Em todas as situações (exceto no ano de 2003), as observações se referem aos períodos correspondentes à estação seca, que permitem distinguir bem a floresta dos solos nus e das culturas. A separação entre a zona urbanizada e o espaço agrícola foi obtido a partir de uma interpretação visual das composições coloridas clássicas em vermelho-verde-azul: canais 7, 4, 5 para o MSS e canais 4, 5, 3 para TM e ETM+. Todas as imagens foram em seguida corrigidas geometricamente para serem superpostas numa mesma referência cartográfica de um Sistema de Informação Geográfica, afim de comparar as superfícies concernentes à urbanização em diferentes datas. A análise conjunta destas operações foram realizadas com o software IDRISI-32.

A figura 2 e a tabela 1 mostram o resultado do trabalho de fotointerpretação realizado a partir das imagens Landsat. No início da década 70 e 80, as taxas de crescimento relativo são muito elevadas: a superfície urbanizada quintuplicou de 1975 a 1979 e quadruplicou ainda de 1979 a 1986. Durante a década de 80, o aumento médio anual da área urbana de Sinop foi da ordem de 80 hectares.

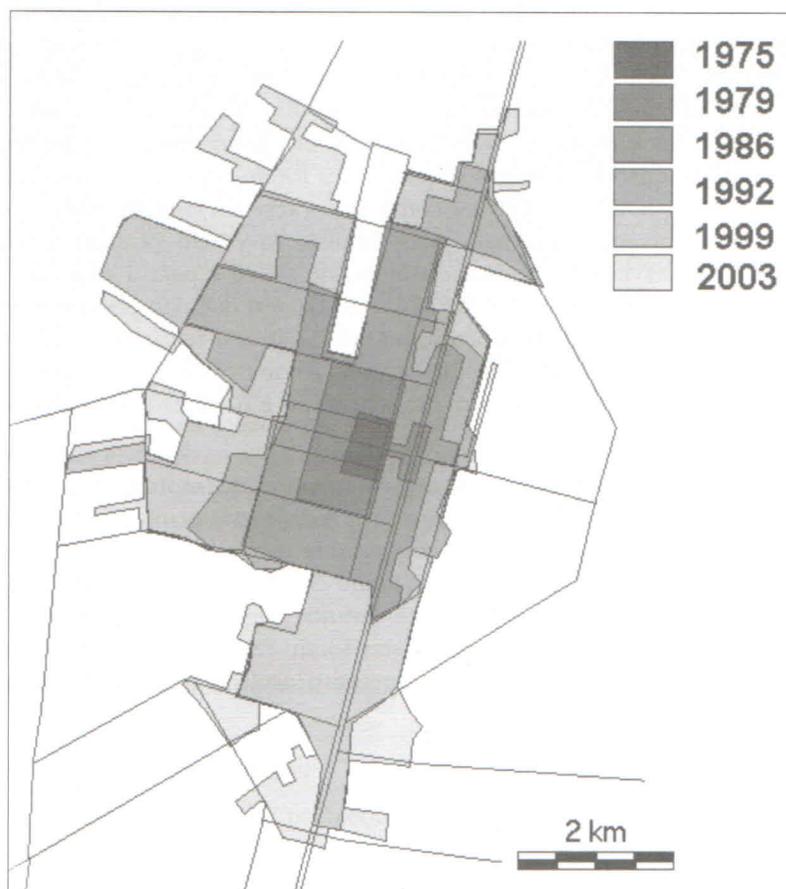


Figura 2: Cartografia da evolução da área urbana de Sinop

TABELA 1 - Evolução da superfície urbanizada e da população de Sinop

Anos	Superfície (ha)	Anos	População
1975	40		
1979	200	1980	19886
1986	750	1991	38327
1992	1200	1996	54306
1999	2130	2000	74761
2003	2560	2003	82989

Fonte: IBGE, Prefeitura Municipal de Sinop

Entretanto, o fato mais marcante ainda foi a intensificação do processo durante a década de 90:: em termos de valor relativo, a superfície urbanizada dobrou de 1992 a 1999, correspondendo a um aumento médio de 130 hectares por ano. Por outro lado, este ritmo de crescimento foi alterado até 2003, uma vez que, nas duas últimas datas, 108 hectares foram incorporados a cada ano na aglomeração urbana de Sinop. No início, embora não tenha sido possível ver nas imagens Landsat, devido a uma resolução muito baixa (80 metros para MSS, 30 metros para TM), sabe-se que algumas habitações eram de madeira e o espaço estava longe de ser preenchido; entretanto, pouco a pouco, enquanto o núcleo tornava-se cada vez maior, o « coração » da cidade era preenchido com lojas de arquitetura moderna e parques floridos. As ruas foram asfaltadas, e nos quarteirões do entorno do centro, mais pobres, as construções pesadas tendiam a suplantar as previsões.

A partir de uma malha geométrica das ruas, depois rodovias asfaltadas, o desenvolvimento da cidade efetuou-se prioritariamente em dois eixos. Um dos eixos era sul-norte correspondente a BR-163, rodovia que liga Cuiabá ao norte do Estado de Mato Grosso e que prossegue na direção norte até o Pará, ligação rodoviária esta que é estruturada não somente na escala regional mas também numa escala local, sendo a maior parte dos estabelecimentos comerciais e de serviços instalados ao longo desta BR. Um outro eixo de urbanização desenhou-se para oeste e na verdade, desde o início, os quarteirões residenciais foram implantados a oeste da BR, sendo uma parte reservada para as indústrias (inicialmente relacionadas exclusivamente à madeira): um esquema muito próximo deste pode ser observado nos núcleos urbanos de Sorriso ou Lucas do Rio Verde mais ao sul. Em Sinop, esta extensão na direção oeste (na direção do Teles Pires e de um novo aeroporto) foi muito importante, principalmente nos anos 90 quando numerosos quarteirões foram organizados para receber imigrantes que vinham do Sul do país. Além disso, cidades como Sinop serviam também como “refúgios” para os migrantes que não encontravam terras para suas famílias (que não podiam acompanhá-los para loteamentos isolados onde havia falta de infraestrutura, de saúde e para a educação); eram também refúgios para os colonos de frentes pioneiras do norte do Estado que não podiam mais manter-se nos seus lotes, que eram expulsos por alguma doença, ou devido ao seu fracasso econômico ou depois de vender o seu lote. Por outro lado, na colonização privada, a compra de um lote urbano estava ligada à compra de um lote rural: os colonos não viviam nas suas terras e o mercado do trabalho rural estava na cidade.

Ao lado do aspecto puramente quantitativo desta urbanização, as imagens Landsat permitem em grande parte apreciar a sua natureza. Para analisar com precisão esta ocupação do solo foi selecionada para tratamento, a imagem de 1999 que é mais contrastante (estação seca) e para a qual dispomos de importantes levantamentos de campo realizados em junho de 1999 e maio de 2000. Estas observações in loco, em 2002 e 2003, permitiram igualmente levantar algumas ambigüidades e confirmar as tendências reveladas a partir da imagem Landsat. Estas foram realizadas a partir de uma interpretação visual da composição colorida Landsat de 1999 que permite localizar as diferentes formas de ocupação do solo relacionados com a urbanização (figura 3).

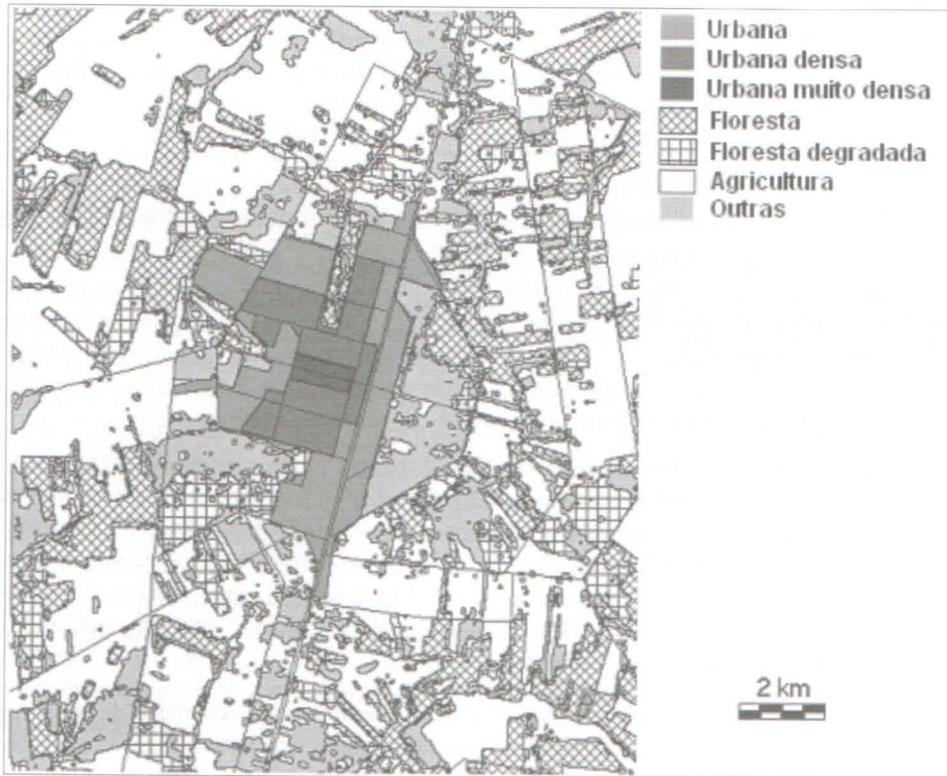


Figura 3: Ocupação do solo na área urbanizada de Sinop e no seu entorno em 1999 (conforme imagem Landsat-ETM+)

O coração urbano denso de Sinop corresponde a ruas asfaltadas e construções verticais (dois andares ou mais) geralmente unidos e com o andar térreo ocupado somente pelo comércio: temos então um centro da cidade bastante clássico na sua forma e nas suas funções essencialmente terciárias. O entorno do setor urbano denso corresponde a um setor mais residencial, mas onde a maioria das construções são de alvenaria e onde as ruas são asfaltadas; os prédios não são contínuos e são permeados de numerosos lotes urbanos, conservando espaço verde entre eles. Em seguida, encontram-se bairros urbanos, mas com urbanização mais aberta e as habitações são, na sua maioria, de madeira. As avenidas são largas, todas servidas pela energia elétrica e com numerosas praças circulares para organização dos fluxos de veículos. Mais ao longe começa o espaço rural com setores agrícolas onde, após alguns anos, o arroz cede lugar para as culturas especulativas (soja, algodão) e onde a floresta ocupa um lugar muito reduzido (menos de 20% da superfície de Sinop) e com uma forma muito degradada. No entorno da cidade, em vários setores, a floresta aparece em parte derrubada e recentemente queimada; certamente estes setores já foram ocupados pelas indústrias e por outro lado parecem prometidos a uma futura urbanização notadamente a leste (nos arredores do campus da UFMT) e na direção oeste, próximo à catedral em construção.

Uma tal transformação antrópica da superfície da região traz alterações no balanço de energia e conseqüentemente no clima local.

3. As temperaturas noturnas na cidade de Sinop

3.1 Estudo dos climas urbanos no Brasil

O crescimento urbano e os seus problemas (transporte, poluição, segregação social, etc.) têm despertado o interesse dos geógrafos e dos climatologistas por ambientes particulares (Oke, 1986; Lombardo, 1989; Escourrou, 1991; Sant'Anna, 2002). A complexidade dos processos físicos na cidade e a agravação da queda da qualidade de vida urbana, notadamente nas grandes cidades e nas zonas

metropolitanas, conduziram os climatologistas urbanos a aperfeiçoar seus estudos na direção de uma interação direta com os urbanistas, integrando o clima ao planejamento urbano (Monteiro, 1992; Mendonça, 1998). Os diferentes trabalhos privilegiam três tipos principais de estudos, que são diferenciados, mas intrinsecamente associados:

- O *domínio termo-higrométrico* - no qual são evidenciadas as ilhas de calor e o frescor urbano, o conforto e desconforto térmico, as inversões térmicas etc. Na área tropical continental, a ilha de calor é mais marcante na estação seca: em Cuiabá, a diferença média entre a área central da cidade e as áreas suburbanas, em julho, era de 3.8°C enquanto que na estação chuvosa era de 1.8°C (Maitelli et al., 1990) e de 5°C na estação seca quatro anos mais tarde (Maitelli, 1994). Outros trabalhos mais recentes (Duarte, 1998; 2000) mostraram diferenças médias de até 6.0°C, entre os mesmos setores e na mesma estação; este fenômeno é sobretudo devido ao aumento do fluxo de calor sensível na zona urbana enquanto que na zona mais afastada, na direção do setor rural, predomina o fluxo de calor latente oriundo da vegetação e que mantém o ar atmosférico mais frio na camada limite.

- O *domínio físico-químico ou dispersão* - tomando como base a análise da dinâmica do ar e de sua interação com a cidade, coloca em evidência a poluição do ar, a ocorrência de chuva ácida, a relação entre a circulação do ar e os ventos com a estrutura urbana etc. A rugosidade da superfície urbana traz como consequência uma redução da velocidade média do vento de 10 a 30% (localmente estes efeitos de canalização e aceleração dos fluxos são observados e sentidos): a baixa velocidade do vento e a forte concentração de gases e de partículas originam os episódios de intensa poluição urbana que são frequentes em São Paulo, por exemplo.

- O *domínio hidrometeorológico* - relacionado com estudos das precipitações urbanas e de seus impactos, tais como os fenômenos de inundação nas cidades. A maior parte dos estudos realizados no Brasil mostra que as precipitações intra-urbanas são de 5 a 10% superiores àquelas das zonas rurais dos arredores e os valores da umidade relativa são inferiores, em torno de 6% (Tarifa, 1977; Mendonça, 1995). Em Manaus, a umidade relativa na cidade é inferior de 5 a 9% em relação a pastagens mais distantes e à noite é superior em 3% da floresta próxima; ao meio dia a umidade relativa é idêntica na cidade e na pastagem, sendo que na floresta é superior de 3 a 6% (Maitelli e Wright, 1996).

Entre os três tipos de estudos de clima urbano preconizados por Monteiro (1976), o domínio termodinâmico é o mais frequentemente estudado. Neste tema é colocado em destaque a similaridade com os países desenvolvidos, onde se observa também uma maior preocupação pelas condições térmicas e higrométricas da cidade. Nas cidades desses países, os estudos mostram a importância da formação da ilha de calor noturna no inverno, fenômeno que diminui o frio e produz em consequência uma sensação de conforto térmico. Nas cidades dos países tropicais esses estudos visam propor soluções para limitar a formação de ilhas de calor e procurar formas de refrigeração: de fato, o forte calor da tarde e da noite nas cidades tropicais, geram um desconforto considerável e trazem inúmeros problemas de saúde (Besancenot, 1995).

Estes fortes aquecimentos estão relacionados à extensão das aglomerações urbanas. Assim em Cuiabá, a temperatura média observada, aumentou em torno de 1.2°C de 1920 a 1990 (Maitelli, 1994): esse aumento está diretamente relacionado ao crescimento da cidade evidenciado pelo número de habitantes que era de 56.000 habitantes em 1960, passando para 109.000 em 1970 e para mais de 400.000 em 1990. A média das temperaturas mínimas (geralmente observadas no fim do período noturno) também tiveram um acréscimo de 1° para o mesmo período, enquanto que as temperaturas médias máximas não mostraram elevação significativa. De maneira geral, Sansigolo et al. (1990) observaram um aumento médio anual da temperatura entre 0.01°C e 0.04°C (com valores estatisticamente significativos de 95%) para algumas cidades brasileiras.

A cidade de Londrina, onde a população passou de 19.000 habitantes em 1940 para mais de 350.000 em 1991, é igualmente representativa das cidades brasileiras que tiveram um crescimento extremamente rápido. Os trabalhos de Bobroff (1994) a partir de imagens de satélite Landsat e de mapeamentos antigos permitiram medir o aumento da zona urbanizada: a cidade cobria 8,3 km² em 1957, as zonas urbanizadas ocupavam 34,6 km² em 1970, 58 km² em 1980 e 109 km² em 1993. As observações pluviométricas e sobretudo térmicas de 1961 a 1991 foram afetadas pela expansão da zona

urbana, as temperaturas mínimas médias aumentaram em torno de 2°C neste período. As campanhas de medidas realizadas em 1993 (método de transectos com mais de 17 pontos de medidas fixas) mostraram que a diferença entre a cidade-campo poderia ser de até 10°C (Mendonça, 1995). Entretanto, se tais estudos são numerosos nos países desenvolvidos e no Sul e Sudeste do Brasil, trabalhos similares são ainda pouco numerosos nas cidades recentes do Norte e Centro-Oeste do país.

3.2 Contexto climático e metodologia utilizada: transectos térmicos móveis

Como muitas regiões de ocupação recente, Mato Grosso não dispõe ainda de uma importante rede de observações meteorológicas. Da mesma forma que os oceanos ou as altas latitudes, áreas cobertas pela floresta Amazônica são ainda relativamente mal conhecidas no plano climatológico devido ao pequeno número de estações climatológicas em funcionamento nessas áreas. Este fato é particularmente verdadeiro no caso do norte de Mato Grosso, onde a implantação humana sedentária e permanente é muito recente e está relacionada com os processos de colonização agrícola. Assim, o conhecimento climatológico desta região ficou limitado, uma vez que existem poucos postos de medidas (Sette, 2000) e que apenas poucas cidades, entre as mais antigas, como Cuiabá e Cáceres, possuem séries históricas superiores a 50 anos. Dessa forma, não é possível, com a atual rede de medidas (uma dezena de estações sob a coordenação do INMET), de propor um mapeamento climatológico detalhado sem recorrer aos dados de sensoriamento remoto (Dubreuil et al., 2000). Além disso, os dados de série histórica referem-se a períodos muito curtos uma vez que, as estações climatológicas existentes na região foram instaladas paralelamente ao avanço das frentes pioneiras como por exemplo as estações de Vera (início das medidas em 1973 época da fundação do povoado) e Alta Floresta (1978).

Assim, para compreender o contexto climático deste estudo contamos apenas com os dados históricos de uma única estação instalada na cidade de Vera, que situa-se a uma distância de 50km a sudoeste de Sinop. As coordenadas geográficas da estação, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), são 12°17'07" de latitude sul e 55°17'47" de longitude oeste, situada na altitude de 370m. O contexto geográfico das duas cidades é muito homogêneo do ponto de vista topográfico e biogeográfico: trata-se de uma região situada entre a margem norte do Planalto dos Parecis e o sul da Depressão Amazônica e onde a vegetação nativa predominante é a Floresta de Transição (mesófila) que está sendo pouco a pouco destruída pela exploração da madeira, práticas agrícolas e implantação dos centros urbanos. O clima da região é do tipo tropical quente e úmido com duas estações bem definidas: uma seca, de maio a setembro, e uma outra chuvosa, de outubro a abril (Maitelli & Dourado, 2002). A pluviosidade média anual é de 2060 mm, a temperatura média anual é de 24.2°C, a média das temperaturas máximas observadas foi de 31.6°C (compreendidas entre 30.7°C em janeiro e 33.7°C em agosto) enquanto aquela das temperaturas mínimas corresponde a 18.6°C (compreendidas entre 15.5°C em julho e 21.2°C em dezembro).

Esta caracterização climática geral pode ser enriquecida com estudos da formação e amplitude da ilha de calor urbano, contribuindo para avaliar a influência da urbanização no clima local.

Entretanto, para propor uma cartografia da ilha de calor urbano é necessário instalar uma rede de medidas específicas. O custo das estações meteorológicas e a disponibilidade de locais apropriados limitam a instalação de numerosos pontos de coletas. Assim, muitas pesquisas foram realizadas com medidas térmicas itinerantes, os transectos móveis, instalando sensores em um abrigo adequado, sobre um veículo e estabelecendo um roteiro que contemple áreas com diferentes tipos de uso do solo, atravessando a cidade e atingindo áreas rurais. Alguns cuidados são importantes para garantir as medidas (Maitelli, 1994; Lombardo, 1997): os sensores devem estar instalados a uma altura adequada (varia com o tipo de veículo) acima do teto do veículo para não receber a influência direta do motor e da liberação de calor pelos canos de descarga e a velocidade na qual o veículo trafega deve permitir aos sensores registrarem a temperatura do ar ambiente, com dados que mostrem variações médias do percurso (devido a inércia dos instrumentos). As observações não devem ocorrer em tempo muito longo para não caracterizarem as variações normais da temperatura, que podem estar desacopladas com a superfície, devido às condições sinóticas do tempo meteorológico.

Neste estudo foi mantida a velocidade de 20km/h e realizados vários transectos completos com medidas em vários momentos, registrando assim medidas térmicas do ar ambiente da área onde o veículo passava, sempre com roteiros que privilegiassem medidas na área central, em áreas menos densamente construídas e locais afastados do centro comercial, com vegetação abundante e edificações pouco numerosas. Para a realização destas observações foi utilizada uma estação climatológica automática, tipo Weather Monitor 2 de Davis Instruments, com registros contínuos da temperatura ao longo de todo o percurso. Tendo em vista que a ilha de calor urbana é mais marcante no período noturno, momento em que o tecido urbano libera o calor armazenado durante o dia, as observações foram realizadas à noite. Esta campanha, que vem complementar os primeiros estudos realizados por Maitelli (1999) visa observar mais detalhadamente e com utilização de imagens de satélite, os efeitos da cidade de Sinop, localizada na Amazônia Mato-grossense, sobre o clima local.

Poucos estudos foram realizados em Mato Grosso usando este método além de Maitelli et al (1990) e Maitelli (1994) em Cuiabá: Zamparoni e Lombardo (1997) realizaram medidas em abril e julho de 1993 nas cidades de Tangará da Serra (40.000 habitantes) e Barra do Bugres (19.000 habitantes). A diferença média entre a área central e os arredores foi de 2°C para Barra do Bugres e 4°C para Tangará da Serra, cujos contrastes ocorreram no período da noite e na estação seca, com maiores diferenças atingindo 3.6°C e 5.4°C; Maitelli (1999) que realizou o primeiro trabalho de ilha de calor na Amazônia Mato-grossense nas cidades recentes de Sinop e Lucas do Rio Verde, com observações realizadas em março de 1999, durante o final da estação chuvosa. As diferenças térmicas encontradas entre as áreas centrais e suburbanas das duas cidades atingiram valores de 3.6°C em Sinop e de 2.3°C em Lucas do Rio Verde.

3.3 Resultados das medidas de junho de 2003

As medidas foram realizadas em 22 e 23 junho de 2003: as temperaturas máximas diurnas passaram dos 30°C em situação de vento fraco (menos de 2 m/s), com céu claro e poucas nuvens que favoreciam os contrastes climáticos locais (Carrega, 1992). Todos os transectos privilegiaram o eixo de maior crescimento da cidade (de sul a norte, ao longo da BR 163), atravessando diferentes setores de urbanização conforme definição contida na figura 3. Os transectos mostrados nas figuras 4 e 6 foram também realizados de leste a oeste após um reposicionamento rápido do veículo no trajeto selecionado. A duração das medidas dos dois primeiros transectos foram relativamente curtos (20 minutos) para corresponder a períodos onde as variações temporais da temperatura são importantes (após a descida do sol): assim, em menos de uma hora, a temperatura observada no centro da cidade baixou em torno de 3°C entre as 22 e as 23 horas. Entre os sete transectos realizados entre 21 e 24 horas, de um lado, e entre 5 e 6:30 horas de outro, foram selecionados aqueles que mostraram as temperaturas vizinhas da zona rural nas duas extremidades para garantir medidas que mostrassem os efeitos da urbanização isentos das variações diárias da temperatura.

Foi no início da noite (figura 4), que as máximas diferenças entre a cidade e os arredores foram observadas: as diferenças térmicas foram superiores a 5°C tanto na direção norte como na sul. A presença de áreas de floresta no sudoeste explica por que a temperatura observada às 22 horas foi inferior a 20°C (19.5°C ao sudoeste e 19°C a leste). Neste horário, a zona rural já se esfriou consideravelmente (mais de 10°C) enquanto que o coração da cidade conserva uma temperatura ainda elevada: a radiação infravermelha das superfícies asfaltadas e da massa de construções liberando o calor armazenado, mantém o ar mais aquecido do que nas zonas rurais. O gradiente térmico era marcante na direção nordeste (diminuiu 4°C em menos de um quilômetro) e menor na direção sudoeste (diminuiu em torno de 3°C em 4 quilômetros), o que pode ser explicado pela presença de um vento dominante de nordeste, típico dessa estação; a ilha de calor urbana é então deslocada noutra direção “sob o vento” (Hufty, 1997).

A figura 5 mostra que, meia hora mais tarde, as temperaturas variaram pouco na zona rural (queda de 1°C ao sudoeste, estabilidade ao norte) enquanto que o resfriamento noturno ficava mais evidente no centro da cidade. O contraste tornava-se então mais forte, na ordem de 3°C em relação à zona rural e de 4°C, se levado em consideração a medida de 18.5°C, observada nas bordas da floresta.

Os gradientes eram cada vez mais fracos e não se observava mais uma ruptura tão nítida, como se a ilha de calor urbana ficasse diluída em relação aos bairros periféricos. Os gradientes mais marcantes (na ordem de apenas 1°C) encontravam-se assim no extremo sudoeste e extremo norte.

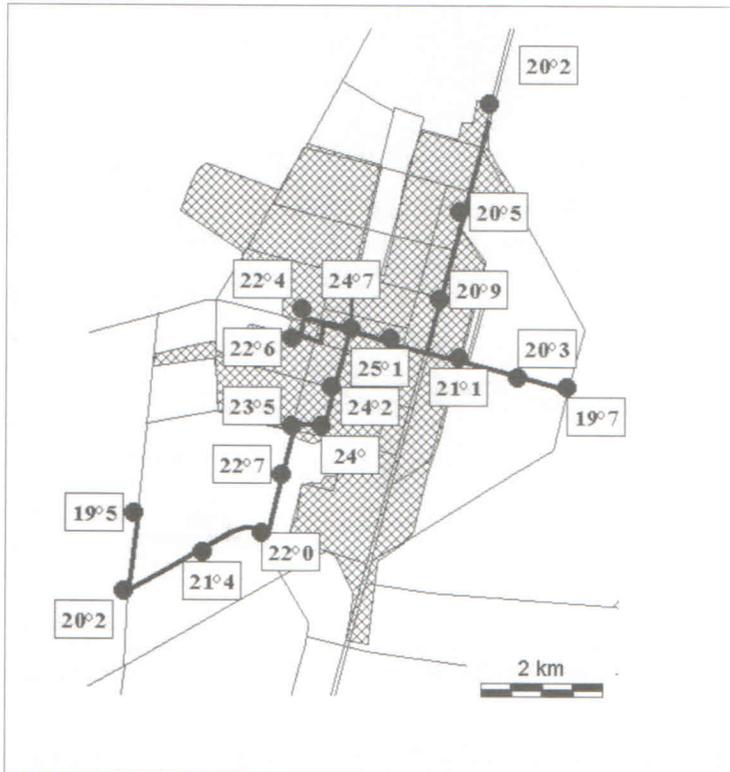


Figura 4: Transecto térmico de 22/06/03 em SINOP-MT: observações realizadas nos horários locais de 21:53h às 22:12h (zona urbanizada em hachuras)

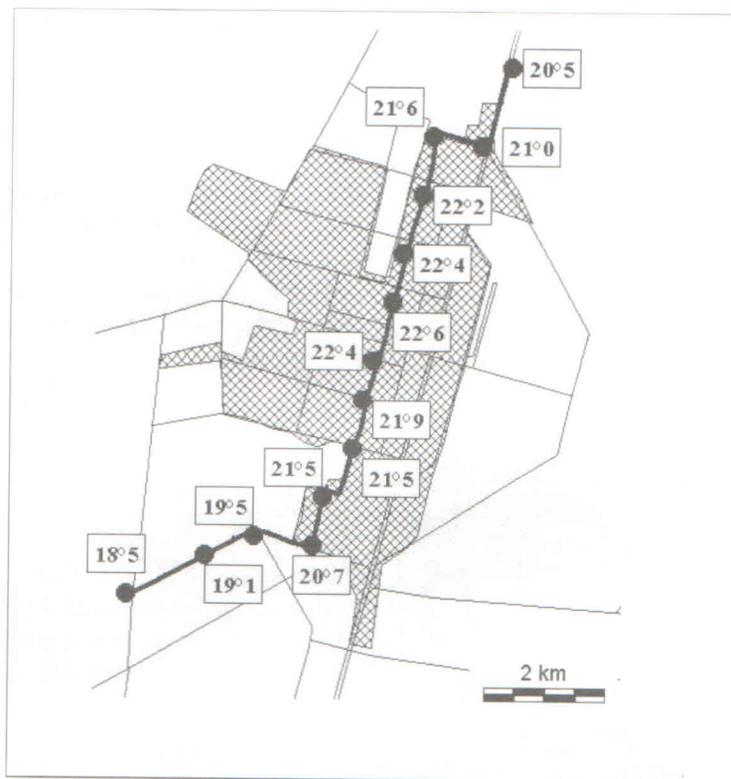


Figura 5: Transecto térmico de 22 de junho de 2003 em SINOP-MT: observações realizadas nos horários locais de 22:22h às 22:47h (zona urbanizada em hachuras)

A figura 6 representa os resultados dos dois transectos realizados em 23 de junho pela manhã, antes do nascer do sol. Como este período é geralmente marcado por uma queda temporária da variação da temperatura, a duração do transecto foi estendida para mais uma hora, com velocidade do veículo inferior a 20km/h e os resultados dos dois trajetos foram justapostos, uma vez que foram realizados em horários próximos. A diferença máxima observada entre a cidade e a zona rural foi da ordem de 3°C (entre 17 e 20°C); para concentrar as medidas sobre a área urbana as medidas não foram realizadas até a floresta, ao sudoeste, mas é provável que seriam encontrados valores próximos de 16°C, uma vez que em todos os outros locais, a temperatura do ar diminuiu em torno de 2°C entre as 23 e 6 horas. Pode-se assumir que a temperatura do ar era homogênea sobre toda a superfície urbanizada, compreendida entre 18 e 19°C. Era necessário ir até o limite da área urbana para observar temperaturas inferiores a 18°C, ou seja, do setor de urbanização densa no centro da cidade para obter (sobre uma queda da extensão espacial) 20°C. A situação observada de manhã lembra as condições do início da noite em termos de estrutura espacial e a situação observada às 22:30h pela amplitude dos gradientes observados.

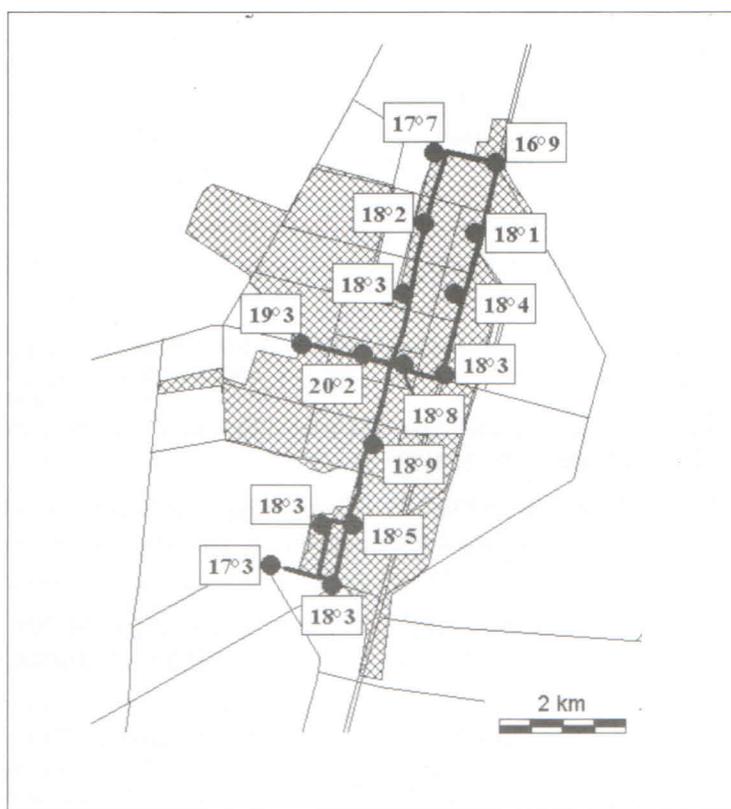


Figura 6: Transecto térmico de 23/06/03 em SINOP-MT: observações realizadas nos horários locais de 5:19h às 6:15h (zona urbanizada em hachuras)

Conclusão

O fenômeno mais marcante na Geografia contemporânea de Mato Grosso reside na urbanização acelerada desta fronteira agrícola a partir dos projetos de colonização dos anos 70. O nascimento de novos municípios e o aumento da população são traduzidos por uma grande modificação da paisagem rural originando uma antropização da paisagem associado a um alto grau de degradação, mostrando claramente a operação inadequada dos programas de colonização. No caso dos projetos de colonização, quando os processos de urbanização foram de grande amplitude como é o caso de Sinop, a transformação radical da ocupação do solo foi acompanhada de uma importante modificação das condições locais do balanço de energia originando grandes contrastes térmicos locais. As diferenças de temperatura observadas entre o centro da cidade, onde se localizam as transformações mais radicais, e as áreas vizinhas (entre 3 e 5°C) são comparativamente superiores aos valores médios encontrados na metade norte de Mato Grosso antes dos desmatamentos e da urbanização. Assim, levando-se em consideração as eventuais implicações climáticas globais dos desmatamentos observados na Amazônia depois de 30 anos, as ações antrópicas já produziram transformações radicais do clima numa escala local.

Para evidenciar a intensidade, mas também para espacializar os limites da ilha de calor urbana, o método dos transectos móveis é particularmente bem adequado (embora não se tenha feito medições em condições rigorosas) para as medidas, porque permite multiplicar o número de observações em vários setores com a utilização de instrumental mínimo. Nesta campanha de medidas ficou evidente que seria interessante dispor de uma estação instalada em ponto fixo para melhor identificar os parâmetros da variação térmica relacionada ao ciclo diurno. Para obter-se um mapeamento mais detalhado, seria adequado realizar uma série de medidas utilizando dois veículos, deslocando-se ao mesmo tempo, em trajetos diferentes (perpendiculares por exemplo), afim de afinar ainda mais a cartografia das temperaturas do ar. Dessa forma, seria possível mostrar, por outro lado, ilhas de frescor, no coração da cidade, correspondentes aos parques ou nos quarteirões onde a densidade das

construções é menor, fato que foi observado, embora levemente, ao redor do parque urbano localizado ao norte da cidade (variações fracas na ordem de 0.1 a 0.2°C). Os resultados e o método empregado são encorajadores e conduzem à realização de novas campanhas de medidas em horários diferentes e épocas do ano que contemplem dias da estação seca e da estação chuvosa.

Referências Bibliográficas

- BESANCENOT, J. P. *Climat, pollution atmosphérique, santé*. Hommage à Gisèle Escourrou, Dijon, GDR Climat et Santé, 1995. 243 p.
- BOBROFF, S. A. *Occupation du Sol et Evolution Urbaine par Télédétection: Application au Cas de Londrina/Brésil*. Mémoire de D.E.A. de Géographie. COSTEL, Université Rennes II, 1994.
- CARREGA, P. *Topoclimatologie et habitat*; Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université de Nice, et numéros 35-36 de la Revue d'Analyse Spatiale, 1992 et 1994.
- CLAIRAY, M.; DUBREUIL, V. Etude de l'évolution diachronique de la Gleba Celeste (Mato Grosso) a partir d'images Landsat. *Espaço & Geografia: geoprocessamento*, Universidade de Brasília, vol. 5, n.1, p.119-138, 2002.
- DUARTE, D. H. S. *O Clima como Parâmetro de Projeto para a Região de Cuiabá*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1995. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura).
- DUARTE, D. H. S. *Padrões de Ocupação do solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2000. (Tese, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo).
- DUBREUIL, V.; LECAMUS, A.; DAGORNE, D.; MAITELLI, G. T. Apport des satellites géostationnaires GOES pour l'étude du climat du Mato Grosso, Brésil, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol.13, p.401-409, 2000.
- DUBREUIL, V. (Ed.). *Environnement et télédétection au Brésil*; Presses Universitaires de Rennes, 2002. 200 p.
- ESCOURROU, G. *Le climat et la ville*. Nathan, coll. Géographie d'aujourd'hui, 1991. 191p.
- HUFTY, A. Les climats urbains. In: Dubreuil, V., MARCHAND, Ed., *Le climat, l'eau et les hommes*, Presses Universitaires de Rennes, 1997. 333 p.
- LOMBARDO, M. A. *A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*, São Paulo, Hucitec, 1985. 244 p.
- LOMBARDO, M. A. Metodologia e técnicas de análise do clima urbano. *Boletim Climatológico*, FCT-UNESP, 3-2, p.36-39, 1997.
- MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P.; LOMBARDO, M. A. Ilha de Calor em Cuiabá -MT: uma abordagem de clima urbano, In: *Anais do 3º Encontro Nacional de Estudos do Meio Ambiente*, Londrina-PR, p. 542-552, 1991.
- MAITELLI, G. T. *Uma abordagem tridimensional do clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1994. 210p. (Tese, Doutorado em Ciências: Geografia Física).
- MAITELLI, G. T.; WRIGHT, I. R. The climate of a riverside city in the Amazon Basin: urban-rural differences in temperature and humidity. In: Gash et al (Ed.), *Amazonian deforestation and climate*, Wiley, p.193-206, 1996.
- MAITELLI, G. T. Urban Heat Islands in the Amazon Basin: the cities of Sinop and Lucas do Rio Verde, Mato Grosso/Brasil, In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium*, ICB-

ICUC'99, Sidney, Austrália, 8-12 november, 1999, CD ROM, Papers in the Poster Sessions, ICUC PO 2.15, 1999.

MAITELLI, G. T.; SOUZA, S. D. Tendances climatiques dans la bassin moyen du Têles Pires, Amazonie matogrossense. In: Dubreuil et al (Ed), *Environnement et télédétection au Brésil*, Universitaires de Rennes, Rennes, France, p. 43-48, 2002.

MENDONÇA, F. A. *O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: Proposição metodológica e sua aplicação à cidade de Londrina/PR*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1995. (Tese, Doutorado em Ciências: Geografia Física).

MENDONÇA, F. A. O clima no planejamento da cidade: Um desafio aos urbanistas na defesa da qualidade ambiental. In: *Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2. Resumos e CD-Rom (texto expandido)*. Salvador: UFBA, 1998.

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo, IGEO/USP, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. A interação homem-natureza no futuro da cidade. *Geosul*, v.7, n.14, p.07-48, 1992.

OKE, T. *Boundary layer climate*. London, Methuen & Co, 1986.

SANSIGOLO, C. A.; ROGRIGUES, R. C. M.; ETCHICHURY, P. C. Tendências nas temperaturas médias do Brasil. *Climanálise*, v.5, n.9, p.33-41, 1990.

SANT'ANNA NETO, J. L. (Ed.). *Os climas das cidades brasileiras*, UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 227 p, 2002.

SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. São Paulo, Hucitec, 1991.

SETTE, D. M. *O holorrítmo e as interações tropico-extratropico na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2000. 375p. (Tese, Doutorado em Ciências: Geografia Física).

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP) Brasil, *Geografia*, v.2, n.4, p.59-60, 1977.

VILARINHO NETO, Cornélio Silvano. *Metropolização regional, formação e consolidação da rede urbana do Estado de Mato Grosso*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2002. 367p. (Tese, Doutorado em Ciências: Geografia Humana).

ZAMPARONI, C. A. G. P., LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em cidades de pequeno porte nos tropicos. *Boletim Climatológico*, FCT-UNESP, 3-2, p.40-42, 1997.

Fonte das imagens de satélite Landsat

TRFIC: Tropical Rain Forest Information Center, Basic Science and Remote Sensing Initiative, Michigan State University.

www.bsrsi.msu.edu/trfic

INPE: Instituto Nacional das Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP - Brasil, www.inpe.br