

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

RAFAELA STEIMBACH FRUTEIRA

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE POR MEIO DE TÉCNICAS
DE GEOPROCESSAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA
DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR**

**IRATI
2015**

RAFAELA STEIMBACH FRUTEIRA

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE POR MEIO DE TÉCNICAS
DE GEOPROCESSAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA
DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR**

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção do título de mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, associação ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa e a Universidade Estadual do Centro-Oeste. Área de concentração: Saneamento ambiental e recursos hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho

Coorientador: Prof^a Dra. Kelly Geronazzo Martins

**IRATI
2015**

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

F945 FRUTEIRA, Rafaela Steimbach.
Análise da temperatura de superfície por meio de técnicas de geoprocessamento e sua relação com o uso e cobertura da terra no município de Ponta Grossa – PR. -- Irati, PR : [s.n], 2015.
59f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho

Co-orientador: Kelly Geronazzo Martins

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, associação ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa e a Universidade Estadual do Centro-Oeste. Área de concentração: Saneamento ambiental e recursos hídricos

1. Engenharia Ambiental – dissertação. 2. Geoprocessamento. 3. Banda termal. 4. Sensoriamento remoto. 5. Mapas temáticos. I. Oliveira Filho, Paulo Costa de. II. Martins, Kelly Geronazzo. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 20 ed. 526.982



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ASSOCIAÇÃO AMPLA ENTRE A UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE – UNICENTRO E A UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG

PARECER

Defesa Nº 1

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, em associação ampla entre a Universidade Estadual do Centro-Oeste e a Universidade Estadual de Ponta Grossa, após arguir a mestranda **Rafaela Steimbach Fruteira** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR”, é de parecer favorável à APROVAÇÃO da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental**, na Área de Concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Irati-PR, 30 de março de 2015.

Dr. Alexandre França Tetto
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador

Dr. Aparecido Ribeiro de Andrade
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Segundo Examinador

Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR
Campus CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR
Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

A maior recompensa pelo nosso trabalho não é o que nos
pagam por ele, mas aquilo em que ele nos transforma.

John Ruskin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela proteção e pela confiança necessárias para vencer os desafios da vida.

À minha família maravilhosa, porque sempre me incentivou nos meus sonhos e me ajudou a realizá-los.

À minha mãe Julita, minha fonte de inspiração como pessoa e para perseverar na vida profissional. Ao meu pai Newton, pelo exemplo de honestidade que levo sempre comigo. Ao meu marido Rodrigo, por todo o companheirismo necessário para chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho, pela orientação, paciência e pelos conhecimentos que levarei para minha carreira.

À Profa. Dra. Kelly Geronazzo Martins pela coorientação.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa – PR e à Universidade do Centro Oeste – *Campus Irati* – PR, pela oportunidade de realizar esse curso de mestrado.

Ao Conselho de Aperfeiçoamento e Capacitação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

RESUMO

Alterações na cobertura natural e o crescimento de áreas urbanizadas modificam as taxas de radiação que são absorvidas e refletidas, essa radiação, uma vez absorvida, poderá contribuir para o aumento da temperatura da superfície e do ar. Este trabalho analisou a influência dos usos e coberturas da terra no município de Ponta Grossa – PR sobre a temperatura de superfície terrestre. Imagens multitemporais do satélite Landsat 5 foram utilizadas para obtenção da classificação de uso e cobertura e para geração dos valores de temperatura. A classificação das imagens de uso e de cobertura da terra foi realizada através de um método híbrido, combinando a classificação por crescimento de regiões e a edição vetorial. Os valores de temperatura de superfície foram obtidos pela transformação dos números digitais, através da ferramenta *THERMAL*, do *software* IDRISI. Com os mapas de uso e cobertura e de classes de temperaturas, realizaram-se os cruzamentos de planos de informações. Análises de coordenadas principais foram executadas para cada ano, a fim de avaliar quais classes de temperatura eram mais significativas sobre as diferentes classes de uso. Os resultados dos cruzamentos demonstram uma diferença de temperatura entre as classes de uso. De modo geral, as classes de área urbana e solo exposto apresentaram as temperaturas mais elevadas, já as classes de floresta e cultivo florestal apresentaram temperaturas mais baixas. Através dos diagramas de ordenação gerados pela análise de coordenadas, notou-se a formação de dois grupos principais de classes. Um deles formado por classes mais antropizadas, associado aos vetores de temperaturas mais altas, outro com as classes de formações vegetais, associados aos vetores de temperaturas mais brandas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Banda termal. Análise de coordenadas principais.

ABSTRACT

Changes in the natural cover and the growth of urban areas modified the radiation rates that are absorbed and reflected, since this radiation is absorbed may contribute to the increase in surface and air temperature. This work analysed the influence of the land use and land cover in the city of Ponta Grossa – PR on the land surface temperature. Multitemporal Landsat 5 satellite images were used to obtain the land use and land cover classification and to generate temperature values. The land use and land cover classification were performed using a hybrid method, combining the regions growth classification and vector edition. The surface temperature values were obtained by the processing of digital numbers, through the *THERMAL* tool, of IDRISI software. With maps of land use and land cover and temperature classes, were compared the plans informations. Principal coordinates analysis were executed for each year, in order to assess which temperature classes were more significant on the diferent use classes. The results of compares showed a difference in temperature between land use classes. In general, classes of urban area and exposed soil showed the highest temperatures, however the natural forest and reforestation classes showed lower temperatures. Through ordination diagram generated by principal coordinates analysis, observed the formation of two major groups of class. One formed by antropic classes, associate with higher temperatures, other with forest formations, associated with the lowest temperatures.

Key-words: Remote sensing. Thermal band. Principal coordinates analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Mapa da área de estudo	21
FIGURA 2 -	Fluxograma de procedimentos metodológicos	23
FIGURA 3 -	Representação da cena 77 e sua área de abrangência do município de Ponta Grossa - PR, imagem Landsat 5 do ano de 2004	24
FIGURA 4 -	Mapa de uso e cobertura da terra do município de Ponta Grossa - PR, referente aos anos de 1985 e 1993	31
FIGURA 5 -	Mapa de uso e cobertura da terra do município de Ponta Grossa -PR, referente aos anos de 2004 e 2009	34
FIGURA 6 -	Mapas de temperatura de superfície dos anos de 1985 e 1993..	36
FIGURA 7 -	Mapas de temperatura de superfície dos anos de 2004 e 2009..	37
FIGURA 8 -	Diagrama de ordenação de classes de temperatura e do uso e cobertura da terra de Ponta Grossa - PR, no ano de 1985	40
FIGURA 9 -	Diagrama de ordenação de classes de temperatura e do uso e cobertura da terra de Ponta Grossa - PR, no ano de 1993	42
FIGURA 10 -	Diagrama de ordenação de classes de temperatura e do uso e cobertura da terra de Ponta Grossa - PR, no ano de 2004	44
FIGURA 11 -	Diagrama de ordenação de classes de temperatura e do uso e cobertura da terra de Ponta Grossa - PR, no ano de 2009	48
GRÁFICO 1 -	Dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Ponta Grossa – PR entre 1985 e 2009.	35
GRÁFICO 2 -	Resultados proporcionais do cruzamento dos planos de informações de uso e cobertura da terra e de temperatura de superfície, para o ano de 1985	38
GRÁFICO 3 -	Resultados proporcionais do cruzamento dos planos de informações de uso e cobertura da terra e de temperatura de superfície, para o ano de 1993	41
GRÁFICO 4 -	Resultados proporcionais do cruzamento dos planos de informações de uso e cobertura da terra e de temperatura de superfície, para o ano de 2004	44
GRÁFICO 5 -	Resultados proporcionais do cruzamento dos planos de informações de uso e cobertura da terra e de temperatura de superfície, para o ano de 2009	47

QUADRO 1 -	Condições meteorológicas registradas na estação de Ponta Grossa – PR	25
QUADRO 2 -	Descrição das classes de uso e ocupação da terra, coordenadas e representação gráfica	28
QUADRO 3 -	Áreas das classes de uso e ocupação no Município de Ponta Grossa - PR, no período de 1985 a 2009	32
QUADRO 4 -	Valores de <i>loadings</i> da AcoP do cruzamento de planos de informações para o ano de 1985	40
QUADRO 5 -	Valores de <i>loadings</i> da AcoP do cruzamento de planos de informações para o ano de 1993	43
QUADRO 6 -	Valores de <i>loadings</i> da AcoP do cruzamento de planos de informações para o ano de 2004	46
QUADRO 7 -	Valores de <i>loadings</i> da AcoP do cruzamento de planos de informações para o ano de 2009	49
QUADRO 8 -	Variação dos valores de temperatura mínimos e máximos registrados em 1985 e 2004 no município de Ponta Grossa – PR	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	SENSORIAMENTO REMOTO	16
3.2	IMAGENS LANDSAT 5	16
3.3	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS	17
3.4	CLIMA URBANO	18
3.5	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	19
3.6	RELAÇÕES ENTRE O USO DA TERRA E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	19
4	ÁREA DE ESTUDO	21
5	MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1	IMAGENS ORBITAIS	24
5.2	SOFTWARE	25
5.3	PRÉ-PROCESSAMENTO	25
5.4	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	26
5.4.1	Classificação por regiões	26
5.4.2	Segmentação de imagens	26
5.4.3	Classificação de imagens	27
5.5	EDIÇÃO VETORIAL	29
5.6	OBTENÇÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ...	29
5.7	FATIAMENTO DAS IMAGENS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	30
5.8	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.1	USO E COBERTURA DA TERRA	32
6.2	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA	35
6.3	CRUZAMENTOS DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES, RELAÇÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE COM OS USOS E COBERTURAS DA TERRA	38
6.3.1	Cruzamento – 1985	38
6.3.2	Cruzamento – 1993.....	41
6.3.3	Cruzamento – 2004.....	43

6.3.4	Cruzamento – 2009	46
6.4	ANÁLISE MULTITEMPORAL	50
7	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A substituição da cobertura natural da superfície para o desenvolvimento de atividades antrópicas de forma desordenada tem causado modificações no clima local. Através da análise multitemporal do uso e cobertura da terra é possível identificar as diferentes classes, suas proporções espaciais e suas alterações ao longo do tempo. Quando associada ao estudo da variação da temperatura de superfície terrestre, permite analisar a influência do uso e cobertura da terra sobre a temperatura local. Essas variações de temperatura se dão pelo fato de que cada material possui um padrão diferente de albedo, variando com isso as taxas de radiação absorvida e de calor emitido.

Centros urbanos possuem características climáticas diferenciadas de outras regiões. Vários fatores atuam nessas modificações, que vão desde a diminuição da velocidade dos ventos (TAKAHASHI et al., 2004), a inversão térmica até a degradação da qualidade do ar. Os materiais utilizados nas construções das áreas urbanas, como asfalto e concreto, possuem baixa reflectância ocasionando armazenamento de calor. Esses materiais ainda levam a um rápido escoamento superficial, acarretando a diminuição da umidade relativa e impedindo a dissipação de calor pela evapotranspiração (GARTLAND, 2011). Um efeito decorrente dessas e outras características dos centros urbanos são as formações de ilhas de calor, que se caracterizam por locais com concentração de área construída, cujos materiais levam a uma maior irradiação de calor para a atmosfera, gerando temperaturas mais elevadas nessas áreas do que das regiões vizinhas (WENG, 2003).

Os dados obtidos por sensoriamento remoto podem ser utilizados na caracterização do meio físico, gerando informações úteis para o planejamento e gerenciamento urbano (PADILHA e KURDJIAN, 1996). O uso de imagens orbitais obtidas através do satélite Landsat 5, vem se mostrando uma ferramenta eficiente na caracterização e análise do uso e ocupação da terra (RODRIGUEZ, 2000; LORENA et al., 2001; WENG, 2001). Foi o satélite da série com o maior tempo de vida útil possibilitando estudos multitemporais com uma mesma qualidade de imagem, em áreas razoavelmente grandes devido à resolução espacial de 30 metros.

Ainda, os dados do infravermelho termal gerados pela banda termal (banda 6) podem ser transformados em valores de temperatura de superfície. Essa metodologia foi utilizada anteriormente em estudos de ilhas de calor (BIAS, BAPTISTA, LOMBARDO,

2003; CAMARGO et al., 2007; NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2011) e mostrou-se eficiente na obtenção de dados de temperatura. Segundo Norman e Becker (1995, p. 153-154), “as medidas indiretas da radiação térmica são úteis para estimar a temperatura de superfícies complexas, tais como solos e coberturas vegetais”.

Produtos gerados a partir de imagens orbitais, como mapas temáticos, são úteis no monitoramento de áreas urbanas e permitem o prognóstico de cenários futuros (LOMBARDO et al, 2012). Assim sendo, baseado nos problemas levantados e nos trabalhos anteriormente citados, esta pesquisa teve como objetivo analisar a modificação do uso e cobertura da terra e suas influências na temperatura da superfície no município de Ponta Grossa - PR, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar as variações multitemporais de uso e cobertura da terra no município de Ponta Grossa – PR e sua influência na alteração da temperatura da superfície terrestre, por meio de imagens orbitais multitemporais do satélite Landsat.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Gerar mapas temáticos multitemporais de uso e cobertura da terra, identificando os tipos de usos e suas possíveis modificações ao longo do tempo.
- b) Gerar mapas temáticos de temperatura da superfície, para cada período, identificando locais com mudança de temperatura.
- c) Relacionar a proporção de ocorrência das classes de uso da terra com as classes de temperatura de superfície no período considerado por meio de análise visual e estatística.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto, através da associação de equipamentos e *softwares*, possibilita a captação de informações à distância de alvos da superfície terrestre. Para Novo (1993), o sensoriamento remoto é a utilização de sensores, aeronaves e espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das relações entre Radiação Eletromagnética (REM) e os alvos existentes na superfície terrestre.

No caso dos sensores passivos, a REM registrada é proveniente da radiação solar. Ao atingir a superfície da Terra e entrar em contato com os alvos, esta radiação pode ser fracionada em três partes: absorvida, refletida e transmitida. A fração refletida é de grande importância para o sensoriamento remoto, uma vez que a maioria das aplicações das imagens e dados de satélites se dão pela coleta, processamento e análise da radiação refletida pelos alvos (MOREIRA, 2011).

Informações geradas a partir de imagens de satélite são importantes para estudos na área ambiental. Esses produtos, segundo Sausen (2014), possibilitam melhorar o planejamento urbano e dar suporte aos planos diretores municipais; monitorar desastres ambientais; fornecer materiais para estudos de impactos ambientais; monitorar recursos hídricos, como a poluição de rios e reservatórios, áreas suscetíveis a alagamentos, lançamentos e dispersão de efluentes; levantamento de áreas de preservação permanente; avaliação do uso da terra, entre outros.

3.2 IMAGENS LANDSAT 5

Imagens do satélite Landsat 5 estão disponíveis desde o ano de 1984, o que torna possível a realização de uma análise multitemporal, um dos objetivos do presente estudo. O Landsat 5 está equipado com o sensor *Thematic Mapper* (TM) que opera em sete bandas espectrais. A faixa de imageamento é de 170 km x 185 km, a resolução temporal é de 16 dias e a resolução radiométrica é de 8 bits (USGS, 2013). A resolução espacial das bandas é de 30 m, com exceção da banda 6 (termal) que é de 120 m. As características espectrais do sensor TM estão detalhadas na Tabela 1.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM - LANDSAT 5.

Banda	Região do espectro	Faixa espectral (μm)	Resolução espacial (m)
1	Visível	0,45 – 0,52	30
2	Visível	0,52 – 0,60	30
3	Visível	0,63 – 0,69	30
4	IV próximo	0,76 – 0,90	30
5	IV próximo	1,55 – 1,75	30
6	Termal	10,40 – 12,50	120
7	IV médio	2,08 – 2,35	30

Fonte: USGS (2013) http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php

3.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

Cada alvo da superfície responde de maneira diferente quanto à reflectância da radiação para um determinado comprimento de onda, essa resposta é chamada de comportamento espectral.

O solo possui alguns constituintes que interferem na porção de radiação que é refletida ou emitida. Dentre eles pode-se citar como os mais importantes o óxido de ferro, a umidade e a matéria orgânica (MOREIRA, 2011). Segundo Montgomery (1976), o ferro possui absorção no comprimento de onda em torno de 900 nm. Comportamento que pode ser observado em uma curva de reflectância por uma inclinação nessa região. Para Espig et al. (2005), com base nos resultados de estudo realizado em latossolos brasileiros, a inclinação na curva de reflectância entre 450 e 800 nm pode ser utilizada na estimativa de óxido de ferro. De maneira geral, a presença de matéria orgânica e de água no solo, levam a uma diminuição da resposta espectral, ou baixa reflectância (PEGORARI, 2001).

Em relação à vegetação, a radiação incidente pode ser absorvida, transmitida e refletida. Comprimentos de onda entre 0,45 – 0,70 μm são altamente absorvidos pelos pigmentos presentes nos cloroplastos, levando a uma baixa reflectância na faixa do visível (RODRIGUEZ, 2000). As características refletivas podem ser influenciadas pela densidade da cobertura vegetal, idade da planta e a quantidade de água nas folhas (MOREIRA, 2011).

A água líquida apresenta baixa reflectância, menor que 10%, na faixa espectral entre 380 e 700 nm (PEGORARI, 2001). Ainda segundo o mesmo autor, as nuvens apresentam reflectância de aproximadamente 70%, em todo o espectro óptico, destacando-se as bandas de maior absorção em 1.000, 1.300 e 2.000 nm.

Outro alvo de interesse para esse estudo são os materiais utilizados nas construções em áreas urbanas. Os mais utilizados são o cimento asfáltico (asfalto) e o concreto de cimento (concreto). Esses materiais possuem uma alta absorção da energia solar incidente. O asfalto novo possui uma reflectância de 5 a 10%, já o concreto novo reflete de 30 a 40% (GARTLAND, 2011). Ainda, segundo Berdahl e Bretz (1997), o alumínio que é utilizado em telhados apresenta um aumento da reflectância proporcional ao aumento do comprimento de onda, até os 8 μm , com reflectância variando entre 30 e 56%.

3.4 CLIMA URBANO

Modificações no clima local relacionadas às atividades humanas e ao desenvolvimento dos centros urbanos são relatadas em pesquisas como a de Howard (1818), segundo o qual, a temperatura da cidade não é para ser considerada como a do clima, ela compartilha muito de um calor artificial, induzido pela sua estrutura. Ao realizar medições de diferentes variáveis climáticas, este mesmo autor descobriu o fenômeno de ilhas de calor na cidade de Londres ao observar que o centro da cidade era mais quente do que as áreas mais periféricas. Desde então diversos estudos foram desenvolvidos a fim de identificar os locais de temperaturas mais elevadas e relacioná-los aos usos presentes. Portanto, para Oke (1973), as ilhas de calor são as mais conhecidas modificações causadas pelo homem no ambiente atmosférico.

Small (2006) determina três razões que justificam o conhecimento sobre o clima urbano, das quais vale destacar a possibilidade de influenciá-lo, positivamente ou negativamente, dependendo do uso da terra. Para o autor os padrões de reflectância urbanos, são determinantes para as condições ambientais neste meio.

Outra característica que contribui para a modificação do clima nos meios urbanos é o rápido escoamento superficial, devido aos materiais utilizados nas pavimentações, bem como as poucas áreas verdes encontradas nos centros urbanos, que fazem com que a umidade relativa do ar nesses locais seja modificada, podendo influenciar no processo de dispersão de poluentes, na qualidade do ar e na precipitação.

A qualidade do ar pode também ser afetada pela temperatura de superfície. O calor absorvido pelos materiais é transferido para o ar, aumentando a temperatura do mesmo, o que favorece a inversão térmica e a formação de *smog*. Ainda a elevação da

temperatura aumenta a demanda de energia para o arrefecimento e intensifica a poluição do ar (JUSUF et al., 2007) .

3.5 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

De acordo com a Lei de Plank, quanto maior a temperatura para um dado comprimento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro. Assim se um sensor é capaz de captar a radiação emitida de um determinado alvo, pode-se obter a temperatura do mesmo (BIAS; BAPTISTA e LOMBARDO, 2003).

As relações entre a temperatura superfície e a reflectância fornecem informações tanto sobre as propriedades da superfície (composição e emissividade), como os processos, por exemplo, a evapotranspiração e o fluxo de calor, que são fatores determinantes para o balanço de energia da superfície (SMALL, 2006).

Utilizando-se do sensoriamento remoto, a temperatura de superfície pode ser medida por sensores que captam a radiação no infravermelho termal (IV termal). No caso da banda 6, do Landsat 5, os dados coletados pelo sensor são provenientes da radiação emitida, assim os alvos com menor emissividade na faixa do IV termal irão apresentar temperaturas mais baixas, representadas por áreas mais escuras nas imagens (MOREIRA, 2011).

A partir dos dados coletados pelos sensores, segundo Nascimento e Oliveira (2011), é possível determinar a temperatura de um local ou objeto através da transformação dos níveis de cinza das imagens termais em valores de temperatura aparente, por meio da aplicação de um algoritmo. O conhecimento da temperatura de superfície é importante tanto para o conhecimento das condições climáticas do entorno, como para entender as condições ambientais necessárias ao ser humano (KAWASHIMA, et al., 2000).

3.6 RELAÇÕES ENTRE O USO DA TERRA E A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Devido às diferenças, quanto à porção refletida e/ou emitida entre os alvos da superfície, a modificação da cobertura natural por outro uso, principalmente o urbano, pode levar a incrementos da temperatura de superfície. Segundo Weng e Lu (2008), a recepção e a perda da radiação nas superfícies urbanas estão estreitamente relacionadas com o uso e ocupação da terra.

Áreas construídas utilizam materiais que favorecem o aumento da temperatura. Geralmente, as superfícies construídas são feitas de materiais escuros que absorvem e armazenam calor e são resistentes à água, impedindo a dissipação de calor pela evapotranspiração (GARTLAND, 2011).

Diversas pesquisas com o objetivo de avaliar a influência do uso e ocupação da terra sobre o clima de uma região têm sido realizadas. Watkins; Palmer e Kolokotro (2002) avaliaram as variações de temperatura do ar na cidade de Londres, utilizando uma rede de estações abrangendo áreas centrais (mais urbanizadas) e áreas rurais, onde se verificou que nas áreas com presença de edifícios mais altos e grande produção de calor antropogênico se encontravam também as áreas mais quentes. Outro trabalho com o objetivo de analisar a influência do uso e ocupação da terra sobre o clima foi realizado na cidade de Irati – PR. A temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas em vários pontos com diferentes níveis de antropização, estes dados foram correlacionados com o uso da terra da área de entorno e demonstraram influência no microclima local (ANDRADE et al., 2013).

Outra metodologia para o estudo da temperatura é o uso de técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de dados de temperatura de superfície. Barros e Lombardo (2012) analisaram a relação entre ilhas de calor e a ocupação da terra, na cidade de Recife – PE, utilizando, para obtenção da temperatura de superfície, dados de radiância da banda termal e de emissividade, obtidos por imagem do satélite Landsat 5. Nascimento e Oliveira (2011) também obtiveram bons resultados ao utilizar dados de sensoriamento remoto para geração de dados de temperatura de superfície, em estudos de ilhas de calor, neles observaram uma inversão na representatividade das classes de temperatura que inicialmente encontravam-se predominantemente abaixo de 24 °C e posteriormente encontravam-se acima desse valor.

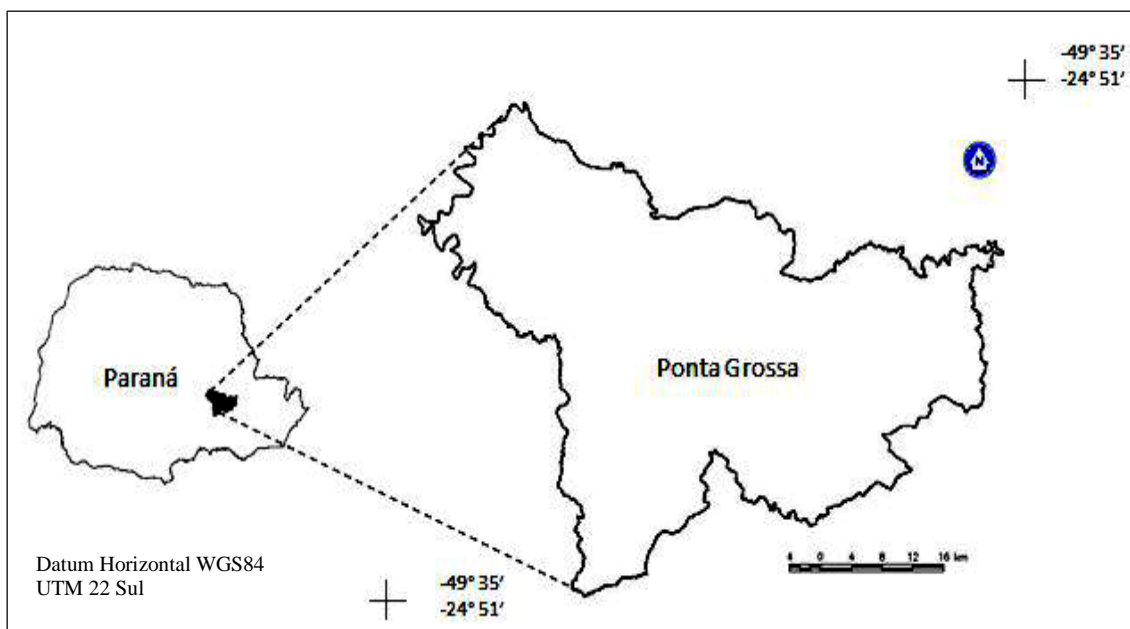
Neste sentido, Weng e Lu (2008) avaliaram as alterações da cobertura da superfície, através de três imagens Landsat de anos distintos, e as relações dessas com a ocorrência e as mudanças na temperatura de superfície, podendo concluir que a urbanização trouxe uma inversão entre as áreas cobertas por vegetação por áreas impermeáveis, causando modificações nas temperaturas de superfície.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

Localizado no segundo planalto, na região leste do Estado do Paraná, conhecida por Campos Gerais, o município de Ponta Grossa, encontra-se nas coordenadas 25° 05' 57'' S de latitude e 50° 09' 29'' W de longitude (Figura 1). Em seu limite ao norte estão os municípios de Carambeí e Castro, ao sul o município de Palmeira e Teixeira Soares, ao leste Campo Largo e a Oeste Tibagi e Ipiranga. Possui 2.067,547 km², com população de 311.611 habitantes, segundo censo de 2010 (IBGE, 2014).

FIGURA 1- MAPA DA ÁREA DE ESTUDO.



Segundo Medeiros e Melo (2001, p.109), o centro da cidade localiza-se num alto topográfico do qual divergem radialmente vários cursos d'água. Uma densa rede de drenagem, caracteriza o sítio urbano como uma superfície repleta de vales, sendo a maioria constituídos de encostas com declives acentuados.

O perímetro urbano esta localizado sobre três unidades geológicas principais: os arenitos da Formação Furnas, os folhelhos e argilitos da Formação Ponta Grossa e do Grupo Itataré, caracterizado pelos arenitos e diamictitos (Meneguzzo; Melo, 2003). À Formação Furnas estão associados os latossolos vermelho-escuro, bastante profundos (<2m), com os três horizontes bem definidos, é de boa drenagem mas de baixa fertilidade. À Formação Ponta Grossa, predominam: litossolos, latossolos escuros e

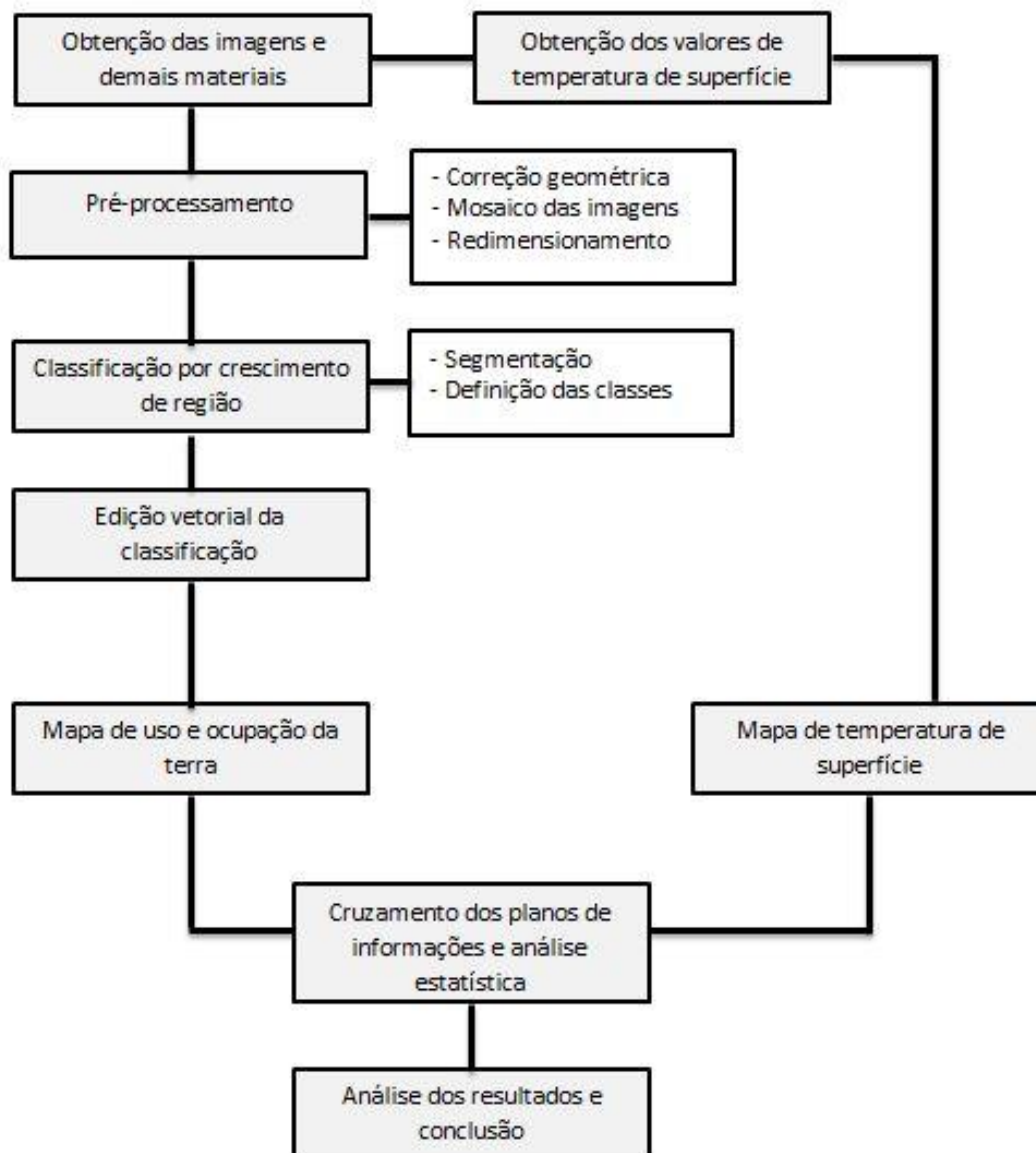
cambisolos. O primeiro é encontrado em afloramentos rochosos, sendo um solo raso, de textura arenosa e baixa fertilidade. O segundo, é arenoso e ocorre em locais de intemperismo profundo, é de boa drenagem e baixa fertilidade. Já o último é encontrado em áreas de encostas e em áreas mais elevadas, possui baixa fertilidade e alta retenção de água. O grupo Itararé ocorrem latossolos escuros da fase arenosa e terra vermelha-brunada, também cambissolos e litossolos. A terra-vermelha é um solo argiloso, com os três horizontes definidos, sendo o horizonte A rico em material orgânico. A fertilidade é baixa, porém permite a plantação de milho, batata e feijão. É o solo típico da Mata de Araucária, por isso ocorre apenas em alguns pontos do município (PREFEITURA DE PONTA GROSSA, 2015).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb. Este se caracteriza como clima temperado úmido com verão temperado, sendo a temperatura média do ar nos meses mais frios entre -3°C e 18°C e a temperatura média nos meses mais quentes abaixo de 22°C . Clima úmido, com precipitação em todos os meses, sem estação seca definida. (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2014; UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIAS, 2014). A temperatura mínima média anual se mantém entre 13 e 14°C e a máxima entre 24 e 25°C , a média mensal do mês mais frio (julho) oscila 13 e 14°C , já no mês mais quente (janeiro) fica entorno de 22°C .

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos realizados estão resumidos no fluxograma da Figura 2.

FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.



5.1 IMAGENS ORBITAIS

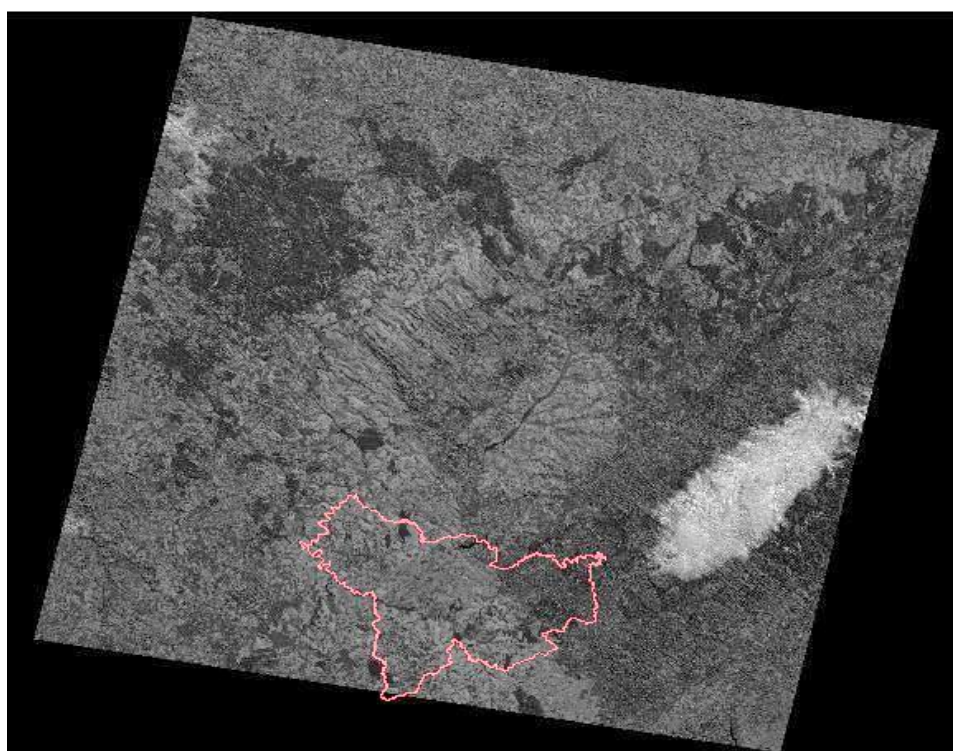
Foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5. As imagens do Landsat 5 são disponibilizadas pelo site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>). Detalhes das imagens utilizadas encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2 – INFORMAÇÕES DAS IMAGENS UTILIZADAS.

Satélite	Órbita/ponto	Ano	Bandas
Landsat 5/TM	221/77	1985	1 a 7
Landsat 5/TM	221/77	1993	1 a 7
Landsat 5/TM	221/77	2004	1 a 7
Landsat 5/TM	221/77	2009	1 a 7

A área total do município abrange duas cenas, os pontos 77 e 78. Porém, devido à dificuldade de encontrar imagens de ambas as cenas para diferentes anos considerando os critérios de escolha que foram definidos e as diferenças observadas entre as duas cenas nas imagens termais, optou-se por utilizar apenas o ponto 77 (Figura 3). Este engloba a maior área do município, inclusive a área urbana.

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DA CENA 77 E SUA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR, IMAGEM LANDSAT 5 DO ANO DE 2004.



Como critério, para a seleção das imagens, foram consideradas as seguintes características: cobertura de nuvens menor que 50%, os meses de passagem mais próximos possíveis, a fim de minimizar efeitos sazonais, e as condições meteorológicas da data de passagem do satélite, apresentadas no Quadro 1:

QUADRO 1 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS REGISTRADAS NA ESTAÇÃO DE PONTA GROSSA-PR.

Data de aquisição	Temperatura mín. (°C)	Temperatura máx. (°C)	Umidade (%)	Precipitação (mm)
14/06/1985	7,4	23,6	66,60	0
22/07/1993	8,8	24,0	68,60	0
18/06/2004	8,7	24,5	82,18	0
03/08/2009	8,1	19,5	77,45	4,6

Fonte: (SIMEPAR, 2014)

5.2 SOFTWARE

A criação do banco de dados, o processamento das imagens incluindo técnicas de contraste, a correção geométrica e a classificação para a criação dos mapas de uso e ocupação da terra, foram realizados utilizando-se o *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas 5.2.1 (SPRING) (CAMARA et al., 1996).

O SPRING é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que foi desenvolvido com o intuito de auxiliar no monitoramento dos recursos naturais e humanos brasileiros (CAMARA et al., 1996). O programa tem como objetivo operar como uma base de dados geográficos contínua, com um grande volume de dados, sem limitações quanto à escala e projeção; operar tanto dados vetoriais como matriciais e a sua integração com dados de sensoriamento remoto em um SIG.

Para a etapa de conversão dos valores digitais das bandas termais para valores de temperatura, foi utilizada a ferramenta *Thermal* do *software* IDRISI selva® (Clarck Labs).

5.3 PRÉ-PROCESSAMENTO

Inicialmente as imagens foram transformadas para o formato SPG através do módulo IMPIMA do programa SPRING 5.2.1 (CAMARA, et al., 1996).

A correção geométrica permite eliminar erros causados pelo movimento do satélite e pela curvatura da Terra, e ainda por efeitos panorâmicos, aqueles causados pelo tamanho dos *pixels* fora do nadir. Assim, a imagem é transformada de tal modo que esta assuma as propriedades de escala e projeção de mapa (MATHER, 1987).

Para a correção geométrica foi adotada a técnica de registro imagem-imagem, tendo como imagem referência as imagens ortorretificadas Geocover da NASA, disponíveis nos site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>) e da NASA (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Os pontos de controle foram distribuídos de forma homogênea abrangendo toda a área da imagem. O algoritmo de reamostragem utilizado foi o “vizinho mais próximo”, garantindo a qualidade do resultado por não alterar os valores de números digitais originais dos pixels (WENG, 2001).

Posteriormente executou-se o redimensionamento dos dados, fazendo-se o recorte da área de estudo através do arquivo *shapefile* utilizado como máscara de corte (disponível em: http://geo.pontagrossa.pr.gov.br/portal/arquivos_shp) da área dos limites do município de Ponta Grossa – PR, a fim de reduzir o tamanho dos arquivos matriciais e otimizar os procedimentos posteriores de segmentação e classificação das imagens.

5.4 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

5.4.1 Classificação por regiões

A classificação por regiões divide a imagem em regiões semelhantes, a partir das características espectrais e espaciais de cada pixel e comparando-as com seus vizinhos. A primeira etapa da classificação é a segmentação da imagem, onde são agrupadas regiões espectralmente homogêneas.

5.4.2 Segmentação de Imagens

Esta técnica agrupa apenas regiões espacialmente adjacentes e o agrupamento é feito seguindo um limiar para similaridade e outro para área. Os valores atribuídos a esses critérios devem ser definidos de modo que se obtenha o detalhamento necessário para o estudo em questão. Um exemplo é o trabalho realizado por Borges e Silva (2009), que após testar diferentes valores para a segmentação de uma imagem Landsat,

optou por valores de similaridade de 50 e área de 36, devido às características da área de estudo que apresentava pontos homogêneos extensos e pouca complexidade de classes.

O limiar de similaridade está relacionado à distância Euclidiana entre as médias dos valores de cinza de cada região. Se a distância entre as médias for superior ao limite de similaridade definido, as regiões são consideradas distintas e não são agrupadas. O limiar de área é o número mínimo de *pixels* que uma região deve possuir para que seja segmentada em uma região.

Após alguns testes com diferentes combinações de valores para os limiares de similaridade e de área, as imagens foram segmentadas adotando-se o valor 10 para o limiar de similaridade e 30 para o limiar de área. Estes valores foram adotados nas segmentações de todas as imagens utilizadas neste trabalho.

Quanto às imagens segmentadas, optou-se pelo uso de todas as bandas espectrais, exceto a banda 6, a fim de se obter um maior detalhamento da imagem.

5.4.3 Classificação de imagens

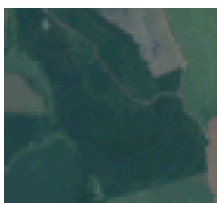

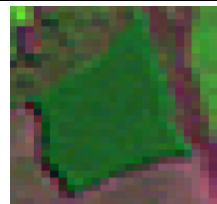

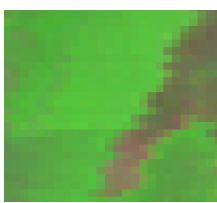
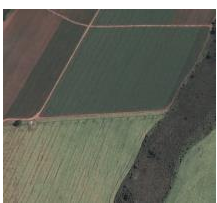
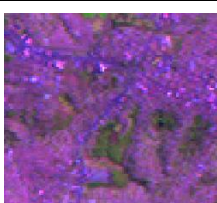



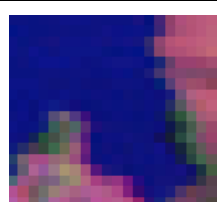
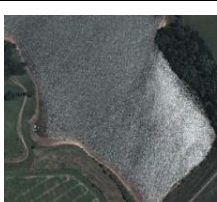
Nessa etapa ocorre a identificação e a nomeação dos polígonos, como uma classe, com mesma similaridade de níveis de cinza (MOREIRA, 2011).

Na fase de obtenção de amostras para treinamento foram escolhidas amostras representativas de cada classe anteriormente definidas. As classes foram nomeadas como: floresta, cultivo florestal, agricultura e campo, solo exposto, área urbana e corpos d'água. As classes estão descritas no Quadro 2.

As classes de uso da terra foram definidas em função da condição de interpretação limitadas à resolução espacial das imagens orbitais e também a fim de abranger os usos e ocupações presentes na área de estudo e condizentes com os objetivos do presente trabalho. Ziller (2000) registrou usos e ocupações semelhantes às adotadas neste trabalho, ao selecionar pontos para estudo na região, dentre eles estão: campo, Floresta Ombrófila Mista, áreas agrícolas, pastagens e áreas com cultivo florestal.

O algoritmo de classificação adotado foi o de *Bhattacharrya*, que utiliza as amostras de treinamento na estimativa da função densidade de probabilidade para as classes apontadas no treinamento. Posteriormente, é avaliada, para cada região a distância de *Bhattacharrya* entre as classes. A classe com distância menor é atribuída à região avaliada (MOREIRA, 2011).

QUADRO 2 - DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, COORDENADAS E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.

CLASSES	COORDENADAS		IMAGENS		DESCRIÇÃO
	X	Y	LANDSAT	GOOGLE EARTH®	
Floresta	580727.49	7233756.70			Floresta ombrófila mista ou floresta de araucária, geralmente associada a fundos de vales.
Cultivo Florestal	576959.82	7232596.06			Plantios para fins comerciais das espécies <i>Pinus</i> sp. e <i>Eucalyptus</i> sp.
Agricultura e campo	588827.04	7210573.89			Cultivo de espécies para fins comerciais como soja, milho e aveia; campos nativos com vegetação herbáceo-arbustiva.
Área urbana	581728.82	7225743.14			Áreas construídas e/ou pavimentadas.
Solo exposto	585640.62	7211075.29			Áreas de plantio após colheita ou afloramentos de rochas.
Corpos d'água	597879.78	7232596.06			Rios, lagos e reservatórios de água.

O limiar de aceitação utilizado foi de 99,9%. Após a execução da classificação, as imagens de cada ano foram comparadas com suas respectivas composições coloridas B3G4R5 e de imagens do *Google Earth*[®]. Quando identificados erros de classificação foram realizadas novas obtensões de amostras e classificações. Como produto da classificação obtiveram-se quatro imagens classificadas, uma para cada ano.

5.5 EDIÇÃO VETORIAL

Para melhorar os resultados da classificação, adotou-se a edição vetorial para a correção de possíveis erros, tornando o processo final uma classificação híbrida. Inicialmente as imagens classificadas foram submetidas ao mapeamento, onde as classes temáticas da classificação são associadas às classes temáticas definidas, possibilitando que as imagens fossem salvas em uma categoria temática.

Posteriormente foi realizada a edição vetorial, onde os polígonos classificados erroneamente eram reclassificados. Para esta reclassificação foram utilizadas como verdade terrestre as imagens do *GoogleEarth*[®], devido à ótima resolução espacial em relação às imagens multitemporais do Landsat.

5.6 OBTENÇÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Através da ferramenta de conversão de dados *THERMAL* do software IDRISI, os números digitais das imagens da banda termal 6 do Landsat foram transformados em valores de temperatura. Para isso as imagens foram transformadas do formato *.geotiff* para *raster (.rst)*, formato compatível com o IDRISI.

Para esta etapa foram utilizadas imagens apenas corrigidas geometricamente, as outras etapas do pré-processamento foram realizadas após a transformação, a fim de evitar alterações nos valores de temperatura.

Os valores de temperatura são obtidos através de transformações a partir dos números digitais. Inicialmente os valores digitais foram convertidos em radiância espectral, para isso a seguinte equação é utilizada:

(1)

$$L\lambda = 0,0056322 \times ND + 0.1238$$

onde $L\lambda$ é a radiância espectral e ND são os números digitais da imagem.

Posteriormente, a radiância foi convertida em temperatura referente a um corpo negro, com a seguinte fórmula (Landsat Science Office Project, 2003):

$$TB = \frac{K2}{\ln((K1/L\lambda) + 1)} \quad (2)$$

onde TB é a temperatura efetiva no satélite em *Kelvin* (K); $L\lambda$ é a radiância espectral; $K2$ e $K1$ são as constantes de calibração do Landsat 5, $K1 = 60,776 \text{ mW}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$, $K2 = 1260,56 \text{ K}$.

É possível ainda realizar uma correção quanto a emissividade, considerando a capacidade real de emissão de cada material. Porém esta não foi realizada, visto que o objetivo da presente pesquisa foi avaliar qualitativamente os valores de temperatura, relacionando-os com as classes de uso e ocupação da terra, ou seja, identificar as diferenças e não obter valores reais de temperatura. Ainda, segundo Gusso, Fontana e Gonçalves (2007), na região do infravermelho termal (8 a 14 μm), encontra-se a janela atmosférica, região onde ocorrem menos interferências da atmosfera com a radiação emitida ou refletida pela superfície.

Realizada a conversão para os valores de temperatura de superfície, as imagens foram salvas em formato *.geotiff*, para poderem ser importadas no SPRING.

5.7 FATIAMENTO DAS IMAGENS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Para a geração de uma imagem temática com as classes de temperatura, as imagens de TST foram fatiadas. Neste processo os valores de temperatura de superfície foram delimitados em intervalos de classes e estes foram associados a classes pré-definidas. As classes foram definidas com base nos valores de maior frequência da imagem.

5.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As relações entre o uso e cobertura do solo (floresta, cultivo florestal, agricultura e campo, solo exposto, área urbana e corpos d'água) com as classes de temperatura ($> 4 \text{ }^\circ\text{C}$ até $< 22^\circ\text{C}$), foram avaliadas por ano mediante análises de coordenadas principais - ACoP (GOWER, 1966). As correlações das variáveis originais com os escores das coordenadas da ACoP foram calculadas para discriminar que variável apresenta maior peso na coordenada. O número de coordenadas foi

determinado pela porcentagem de variação (95% de explicação). As análises foram efetuadas com auxílio do PCORD *program version 6.0* (MCCUNE e MEFFORD, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 USO E COBERTURA DA TERRA

Os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985, 1993, 2004 e 2009 do Município de Ponta Grossa - PR estão apresentados nas Figuras 4 e 5.

No Quadro 3, estão representadas as áreas de cada classe de uso e cobertura para cada ano.

QUADRO 3 - ÁREAS DAS CLASSES DE USO E COBERTURA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR, NO PERÍODO DE 1985 A 2009.

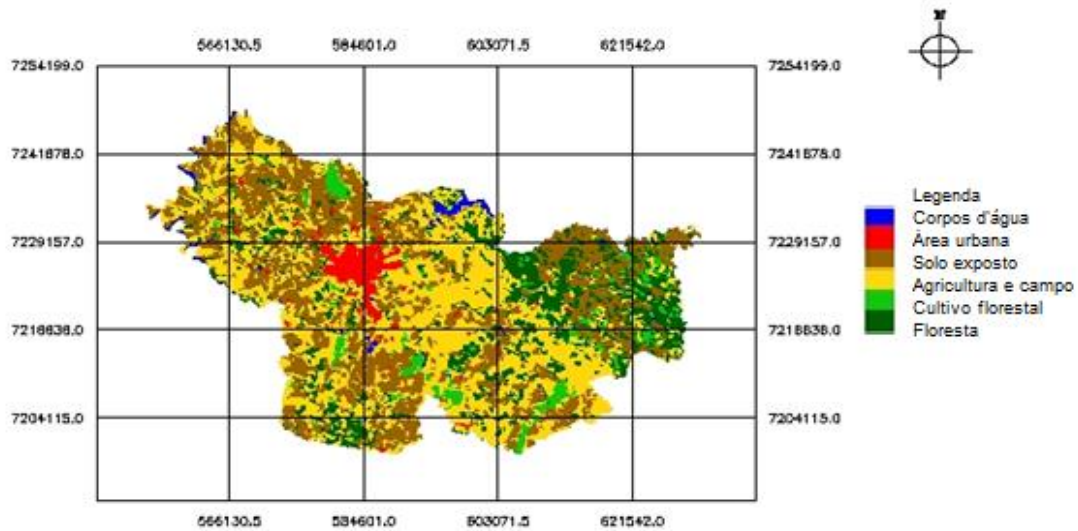
CLASSES DE USO	ANO			
	1985	1993	2004	2009
	Área (km ²)	Área (km ²)	Área (km ²)	Área (km ²)
Floresta	471,4	829,3	780,1	784,9
Cultivo florestal	89,7	95,9	57,0	88,3
Agricultura/campo	842,4	169,9	131,6	436,7
Solo exposto	482,0	802,1	941,1	547,5
Área urbana	50,4	59,1	95,9	140,4
Corpos d'água	9,8	13,8	13,4	23,7
TOTAL (km²)	1945,64	1970,10	2019,05	2021,57

As variações nos totais das áreas entre os anos ocorreram pela diferença do posicionamento da máscara do município em relação à cena analisada (Quadro 3).

Quanto ao uso e cobertura da terra no período de 1985-2009 (Gráfico 1), nota-se um aumento da área da classe “floresta” entre os anos de 1985 e 1993, onde as áreas totais analisadas não diferiram muito. A classe “cultivo florestal”, não apresentou grandes variações entre os anos analisados, com exceção para o ano de 2004, quando esta apresentou um declínio. Conforme é possível observar na região leste do mapa de uso e cobertura da terra (Figura 5) uma grande área que nos anos anteriores foi classificada como área de cultivo florestal, neste ano foi classificada como “solo exposto”, o que possivelmente está associado ao corte desta vegetação.

FIGURA 4 - MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR, REFERENTE AOS ANOS DE 1985 (A) E 1993 (B).

(A)



(B)

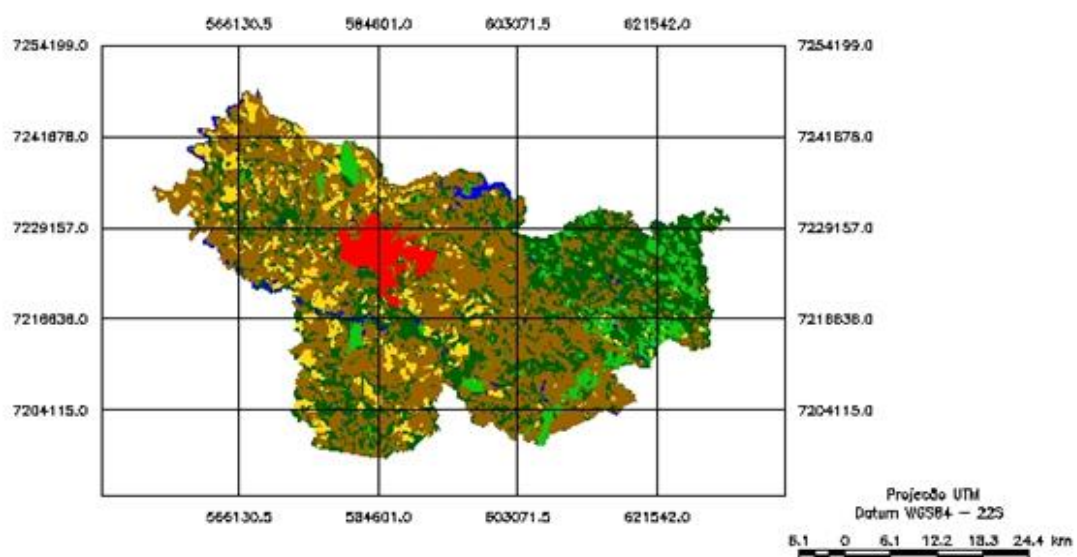
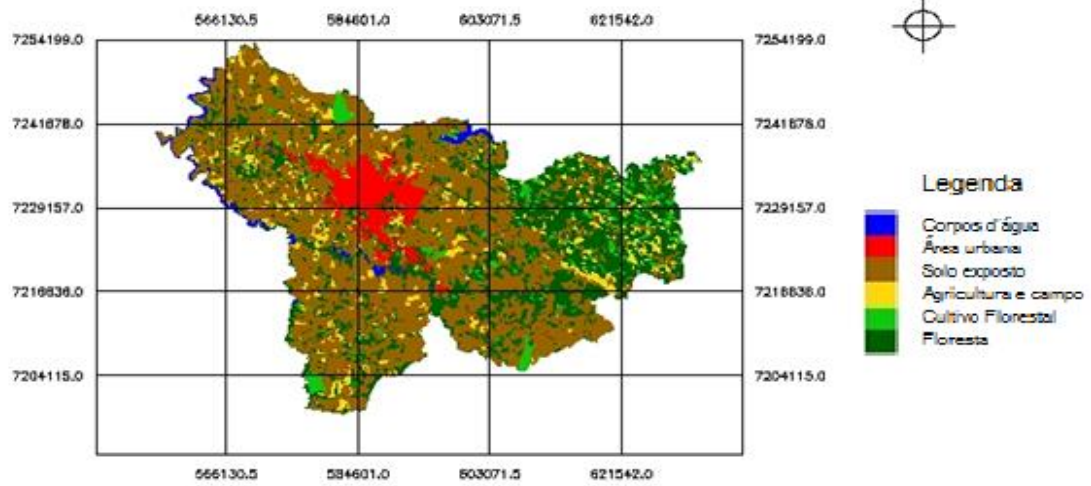
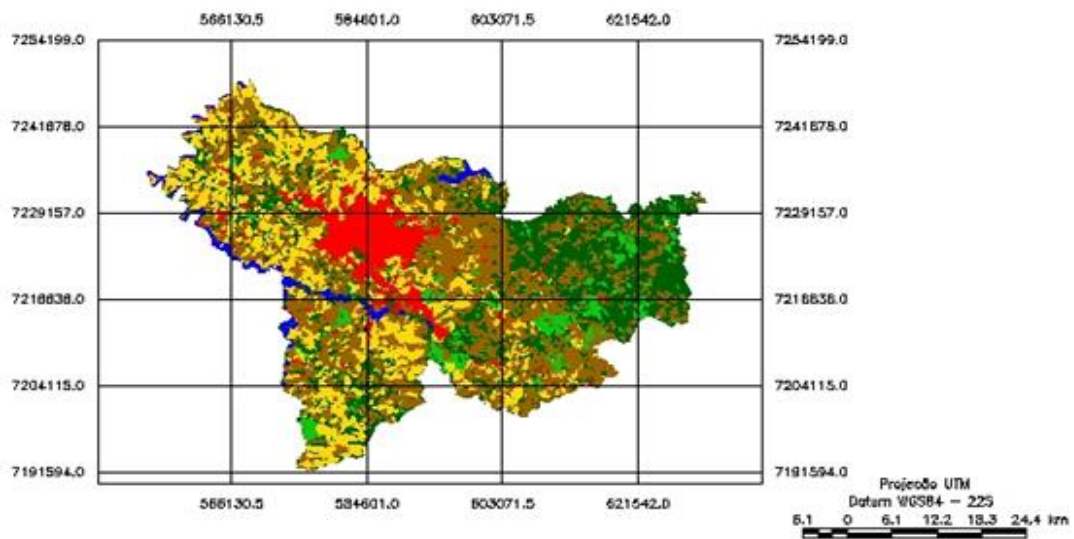


FIGURA 5 - MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR, REFERENTE AOS ANOS DE 2004 (A) E 2009 (B).

(A)

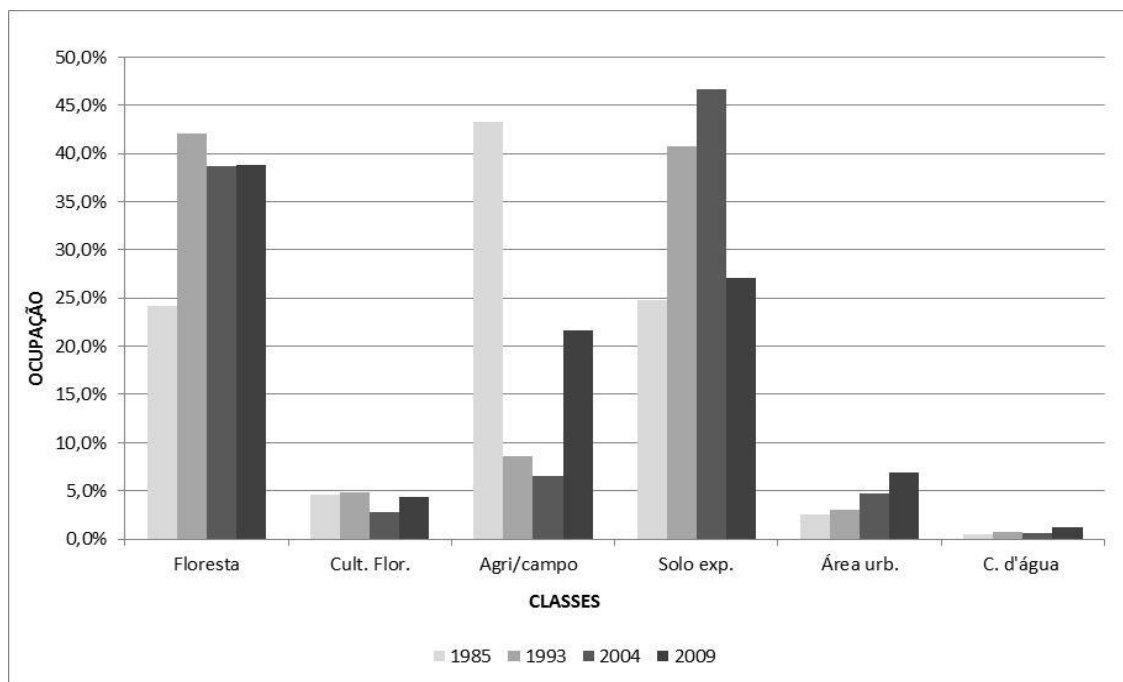


(B)



O Gráfico 1 apresenta as variações quanto a proporção do uso e cobertura da terra no município de Ponta Grossa – PR.

GRÁFICO 1 – DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR DE 1985 A 2009.



Para a classe de “agricultura e campo”, as variações de áreas encontradas entre os anos analisados, podem ser associadas com as variações da classe “solo exposto”, uma vez que nas áreas de cultivo são realizadas colheitas periodicamente.

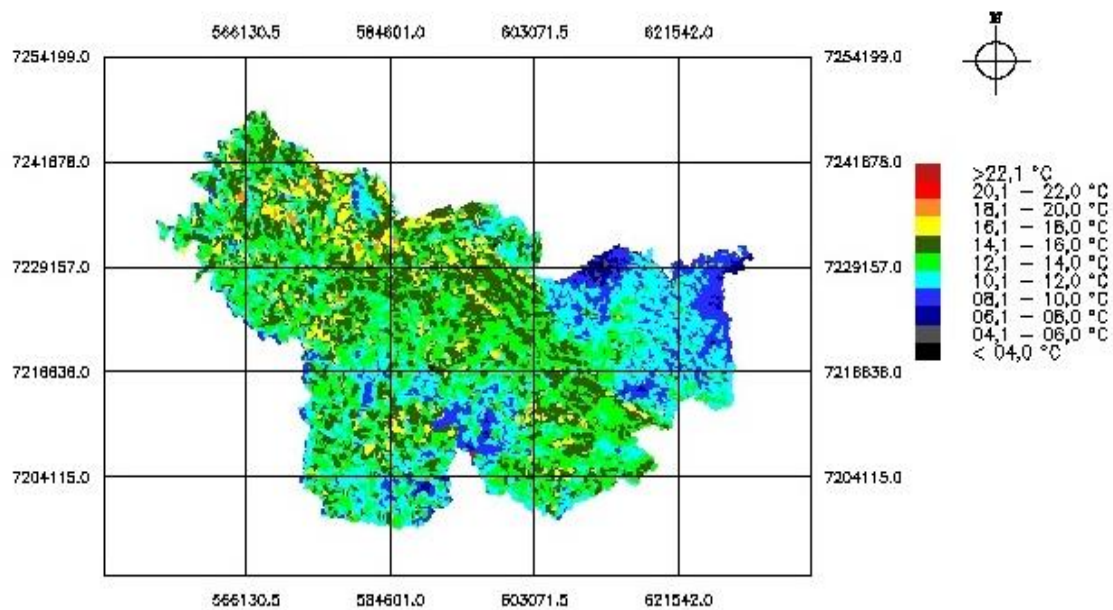
Ainda para a classe “área urbana” foi observado um crescimento de aproximadamente 90 km², que também é perceptível comparando visualmente os mapas de uso e ocupação dos respectivos anos (Figura 4 e Figura 5). Esse crescimento se deu de forma mais expressiva sobre áreas de “agricultura e campo”. Para essa classe em particular a análise multitemporal é bastante precisa, pois esta área está localizada na região central da imagem, não sendo influenciada pela diferença de tamanho entre as mesmas.

6.2 Temperatura de superfície da terra

Os resultados das conversões dos números digitais em valores de temperatura de superfície, dos quatro anos analisados, geraram um mapa para cada ano. Os valores foram agrupados em classes de temperatura que melhor representassem o conjunto de dados. Esses resultados podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

FIGURA 6 - MAPAS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DOS ANOS DE 1985(A) E 1993 (B).

(A)



(B)

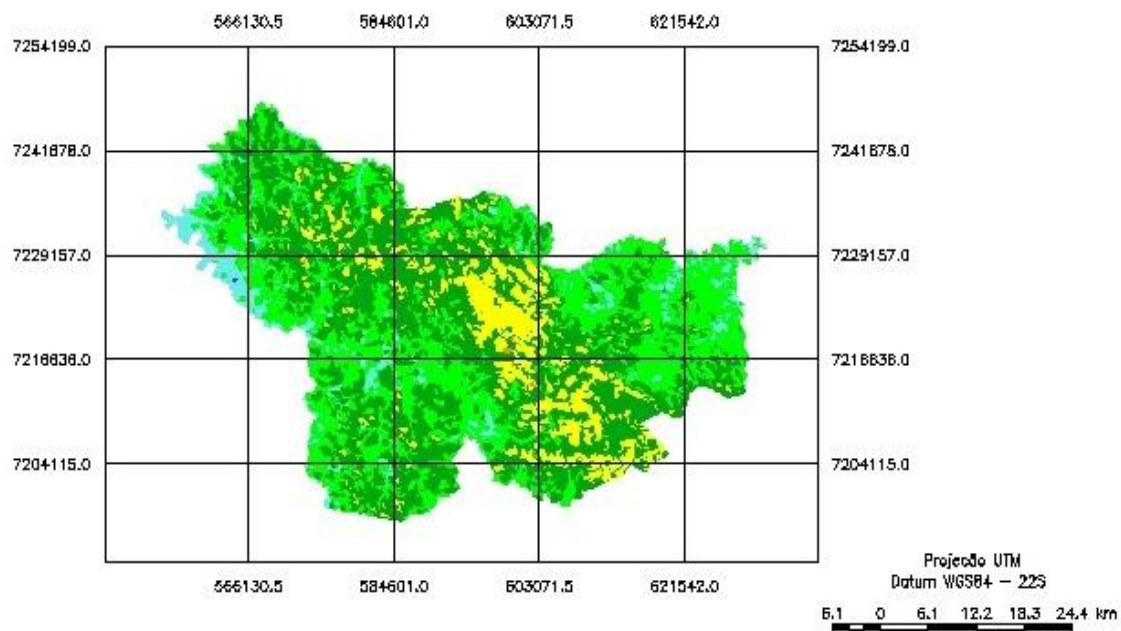
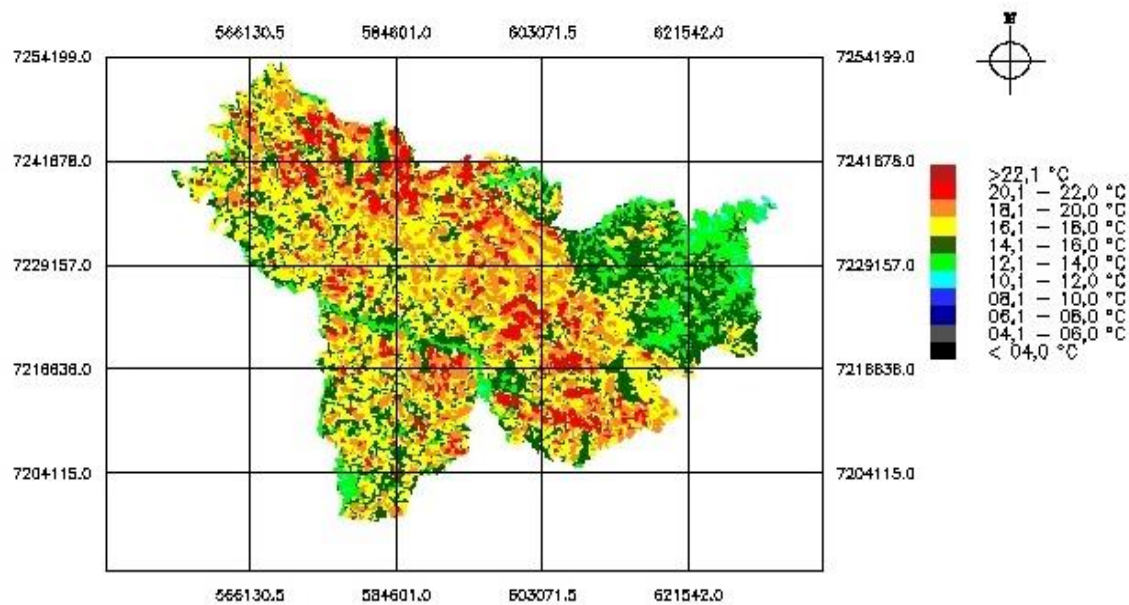
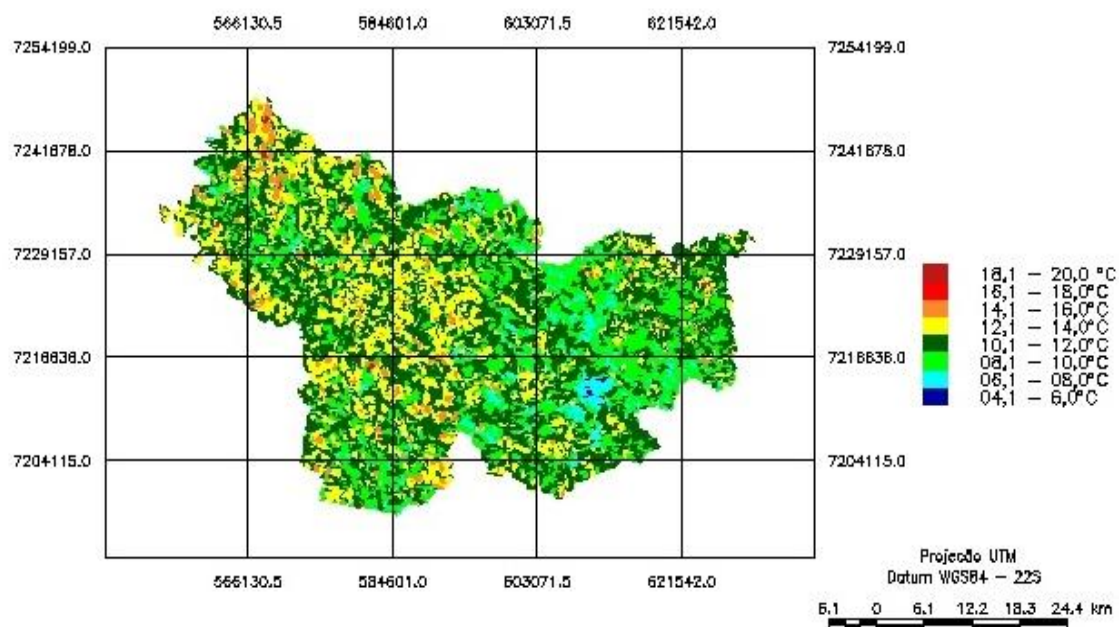


FIGURA 7 - MAPAS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DOS ANOS DE 2004(A) E 2009 (B).

(A)



(B)

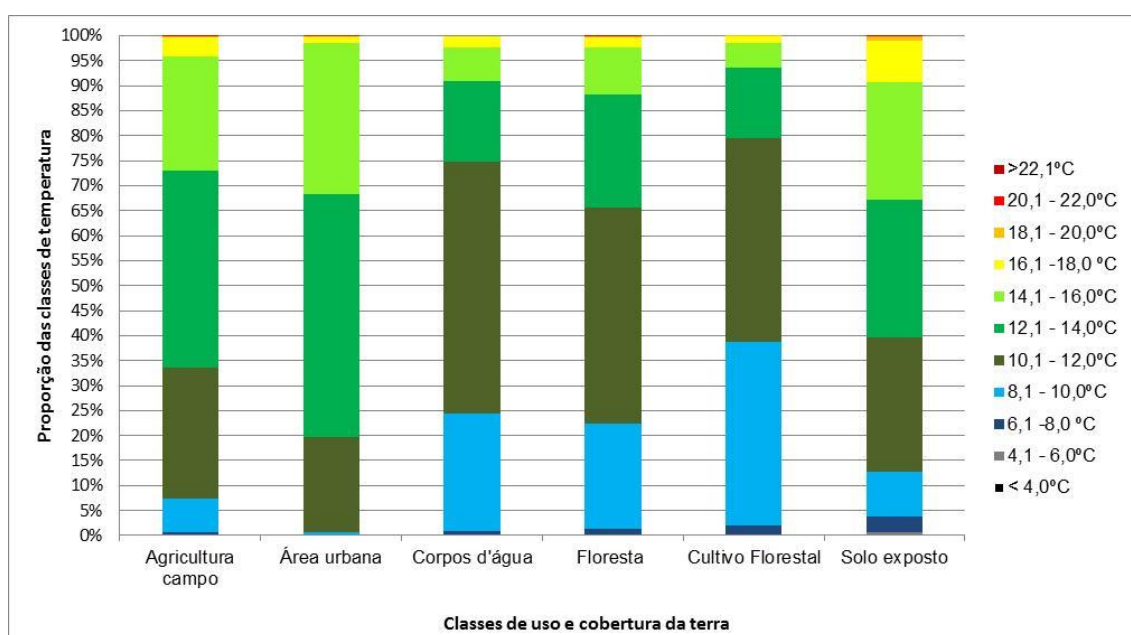


6.3 CRUZAMENTOS DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES, RELAÇÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE COM OS USOS E COBERTURAS DA TERRA

6.3.1 Cruzamento 1985

No Gráfico 2 estão apresentados os resultados proporcionais provenientes do cruzamento entre os planos de informações de uso e cobertura da terra com as classes de temperatura de superfície, registradas na data analisada no ano de 1985.

GRÁFICO 2 – RESULTADOS PROPORCIONAIS DO CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE, PARA O ANO DE 1985.



No ano de 1985, a classe “agricultura e campo” teve 88,44% das áreas com TST entre 10,1 e 16,0°C, sendo a classe de TST 12,1-14,0°C (39,34%) a de maior representatividade para esta classe de uso e cobertura. A classe “área urbana” teve a maior concentração de área nas classes com valores de 10,1 a 16,0°C, representando 97,82% dos dados, onde a classe de TST de maior ocorrência foi 12,1 - 14,0 °C (48,56%). Com base nesses dados, pode-se observar que as classes “agricultura e campo” e “área urbana” apresentaram a maior parte de suas áreas com ocorrência nas mesmas classes de TST e também a mesma classe de maior frequência de TST. Porém, observando o Gráfico 2, é possível visualizar que a classe “área urbana” tem maior representação pela classe 12,1 - 14,0 °C, do que “agricultura e campo”. Já esta última, apresentou mais áreas com valores de TST de 16,1 a 18,0°C, do que “área urbana”.

A classe “solo exposto” apresentou para a maioria das áreas valores de TST de 10,1 a 16,0°C, estando neste intervalo 77,84% dos dados. No entanto, as três classes 10,1 - 12,0; 12,1 - 14,0 e 14,1 - 16°C, possuem praticamente a mesma representatividade da área (Gráfico 2), com 26,71; 27,71 e 23,45%, respectivamente. Já para “corpos d’água”, valores de temperatura de 8,1 a 14,0°C representam 89,90% da área para essa classe, sendo a de maior representatividade a de 10,1 - 12,0°C (50,44%).

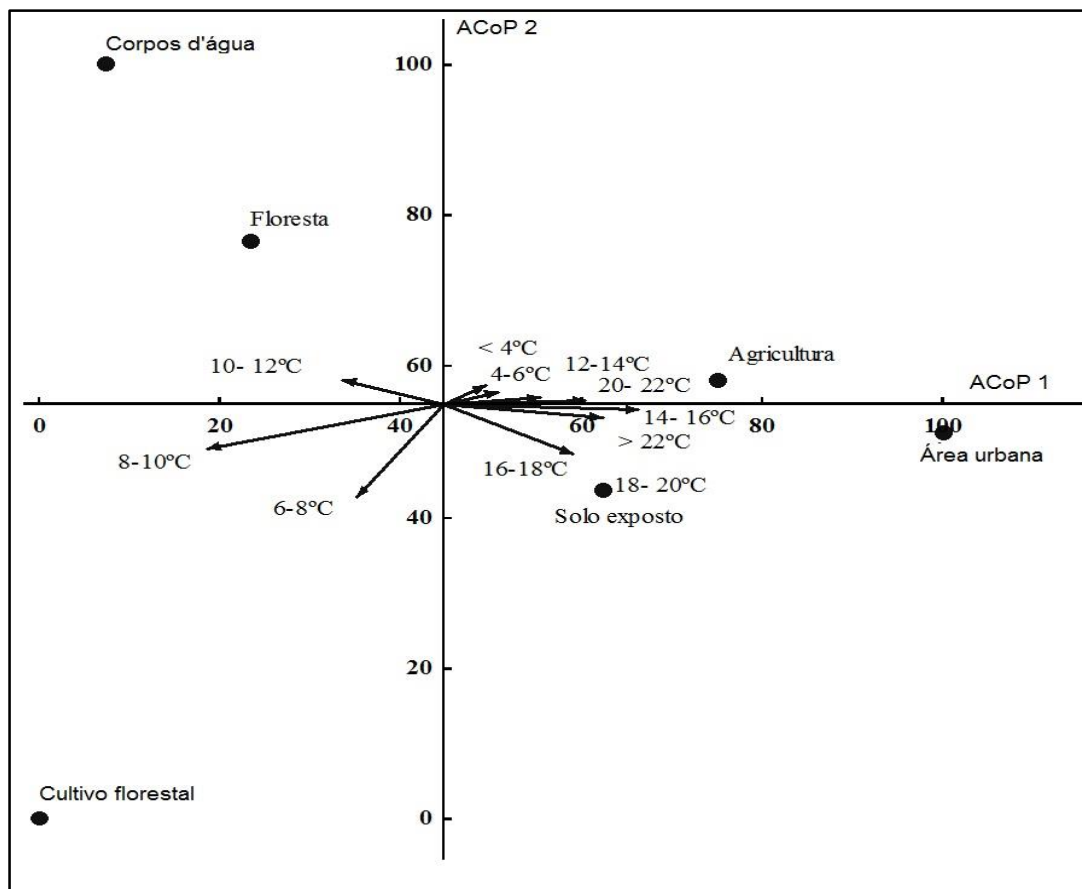
A classe “floresta” registrou 87,04% da sua área com valores de temperatura de 8,1 a 14,0°C, com maior ocorrência para a classe de 10,1 - 12,0°C, representando 43,04%. Na classe “cultivo florestal”, 91,64% dos dados de temperatura estão compreendidos entre 8,1 e 14 °C, sendo a classe de maior ocorrência 10,1 - 12,0°C (40,92%). Para essas duas classes de uso e cobertura do solo as classes de temperatura mais representativas foram as mesmas, no entanto, como é possível observar no gráfico 2, a classe de “cultivo florestal” possui mais áreas com valores menores de temperatura, representadas pela classes 6,1 - 8,0 e 8,1 - 10,0°C, quando comparada com a classe “floresta”.

A Figura 6 mostra o diagrama de ordenação onde os dois eixos principais explicam 96,52% da variação total. O eixo 1 (ACoP 1), representa 92,01% da variação dos dados. A esse eixo os maiores pesos (*loadings*) (Quadro 4) estão associados às classes de temperatura 8,1 - 10,0°C (-0,959) e 10,1 - 12,0°C (-0,943), 12,1 - 14,0°C (0,973) e 14,1 - 16,0°C (0,991). O eixo 2 (ACoP 2) representa 4,51% da variação total.

A análise de coordenadas principais separa as classes de uso e cobertura da terra em dois grupos principais, sendo que um deles é formado pelas classes “agricultura”, “solo exposto” e “área urbana”, as quais estão associadas às classes de temperatura com valores mais elevados. Também essas três classes apresentam maior variação de valores de temperatura, representadas pela maior quantidade de vetores apontados para esta região.

O contrário é observado para as classes de “corpos d’água”, “cultivo florestal” e “floresta”, onde há uma maior homogeneidade quanto aos valores de temperatura e uma associação a valores de temperatura mais baixos. Como observado no gráfico de proporção (Gráfico 2), o diagrama de ordenação (Figura 8) mostra os valores de temperatura mais baixos associados à classe “reflorestamento”, classes 6,1 -8,0 °C e 8,0 - 10,0 °C, em comparação com a classe “floresta”.

FIGURA 8 – DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DE CLASSES DE TEMPERATURA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DE PONTA GROSSA-PR, NO ANO DE 1985.



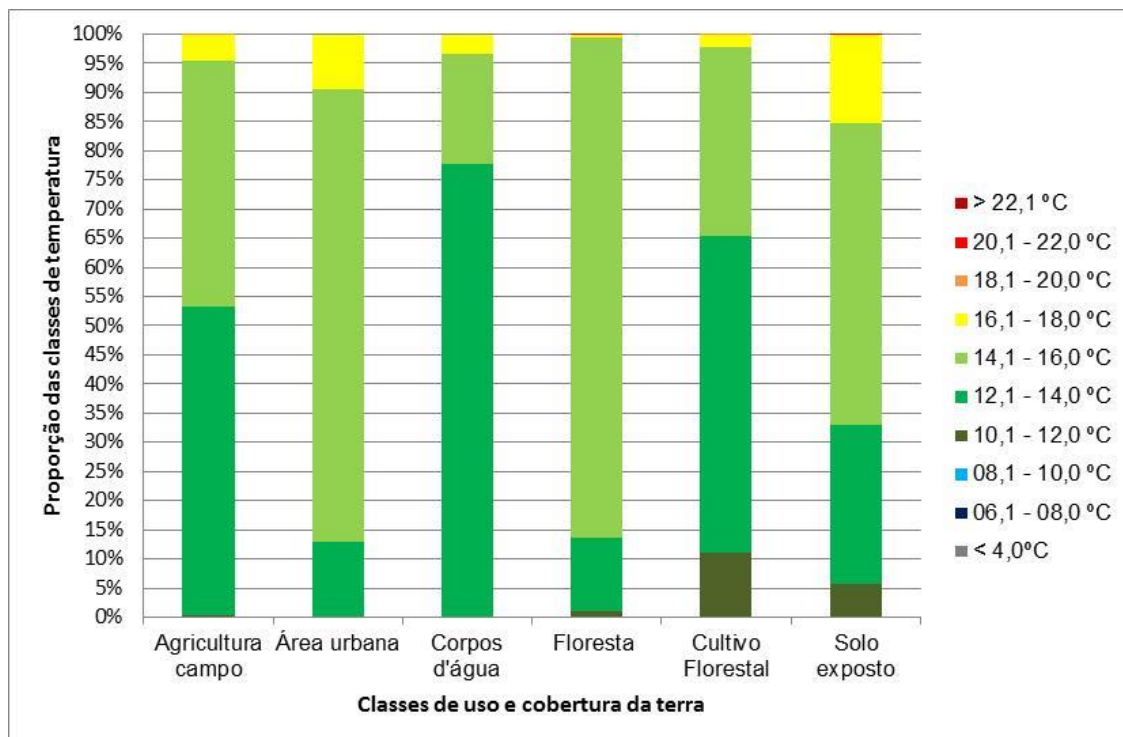
QUADRO 4 – VALORES DE *LOADINGS* DA ACoP DO CRUZAMENTO DE PLANOS DE INFORMAÇÕES PARA O ANO DE 1985.

Classes de Temperatura	Correlação (r/loading)	
	Eixo 1	Eixo 2
<4,0°C	0,206	0,063
4,1 - 6,0°C	0,091	0,059
06,1 - 08,0°C	-0,299	-0,461
08,1 - 10,0°C	-0,959	-0,259
10,1 - 12,0°C	-0,943	0,327
12,1 - 14,0°C	0,973	0,034
14,1 - 16,0°C	0,991	-0,037
16,1 - 18,0°C	0,267	-0,008
18,1 - 20,0°C	0,323	-0,179
20,1 - 22,0°C	0,272	0,030
>22,1°C	0,402	0,049

6.3.2 Cruzamento 1993

No Gráfico 3 estão apresentados os resultados proporcionais do cruzamento entre os planos de informações de uso e cobertura da terra com as classes de temperatura de superfície, registradas na data analisada no ano de 1993.

GRÁFICO 3 – RESULTADOS PROPORCIONAIS DO CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE, PARA O ANO DE 1993.



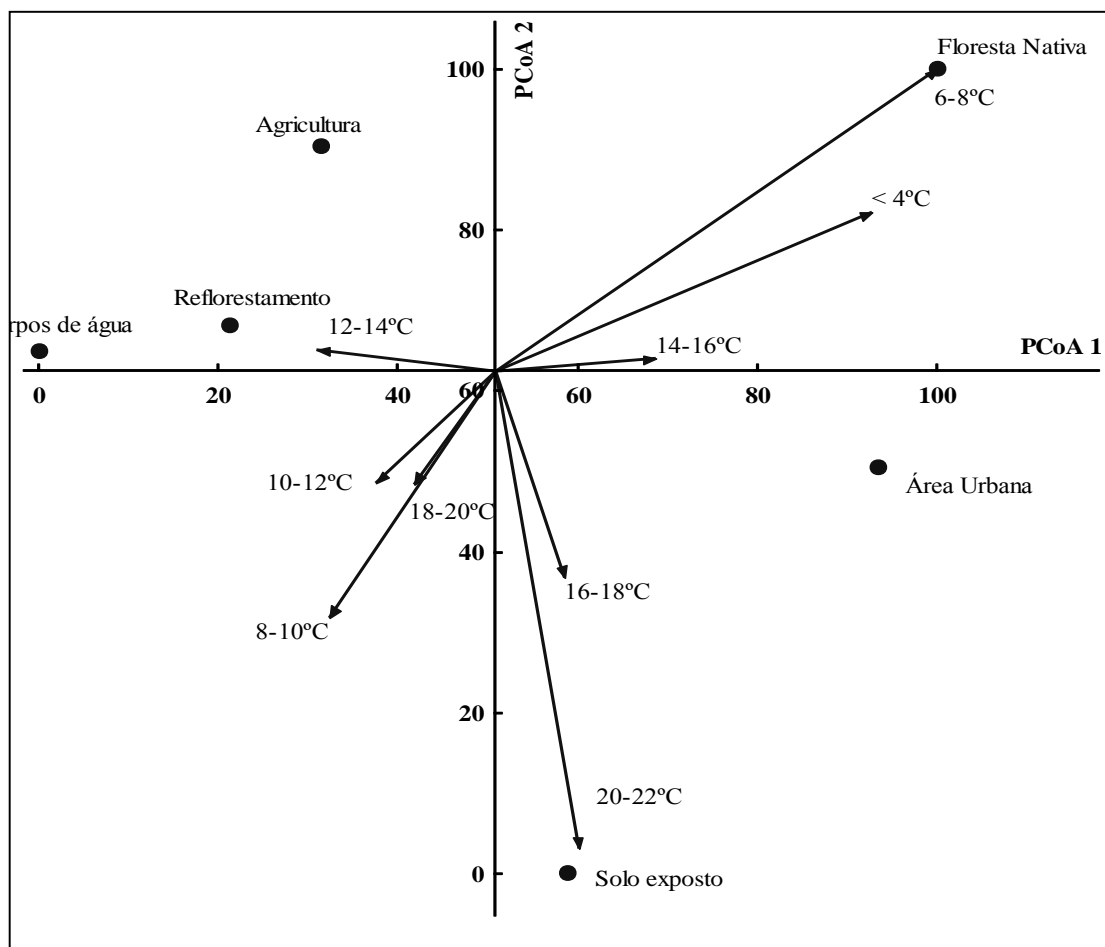
Conforme se observa no Gráfico 3, a classe “agricultura campo” no ano de 1993, apresentou a maior parte dos valores de TST nas classes 12,1-14,0°C e 14,1-16,0 °C, totalizando 95,13% dos valores registrados. Sendo que a primeira, concentra 53,08% da área de “agricultura campo”. Para “área urbana”, a classe 14,1 - 16,0°C compreende 77,66% dos dados de TST. Semelhantemente a classe “solo exposto” também possui a maior ocorrência dos dados registrados representados pela classe 14,1 - 16,0°C, porém com menor porcentagem (51,82%). Essa classe apresentou ainda, mais áreas com valores pertencentes à classe 12,1-14,0°C (27,23%), quando comparado com “área urbana” (12,81%). No entanto “solo exposto” apresentou maior área com temperatura entre 16,1 - 18,0°C (15,05%), do que “área urbana” (9,49%).

Para a classe “floresta”, as classes de TST 12,1-14,0°C e 14,1-16,0°C representaram 98,59% dos dados registrados para este uso, sendo a segunda de maior

representatividade (85,93%), como é possível observar no Gráfico 3. Para “cultivo florestal” as classes de TST de maior representação (86,70%) foram as mesmas da classe “floresta”, mas com uma inversão na proporção, onde 12,1 - 14,0 °C é a de maior representação (54,43%). Ainda vale ressaltar o registro de uma maior área da classe “cultivo florestal” com TST entre 10,1 - 12,0 °C, comparando-a com “floresta nativa”. Para “corpos d’água” 77,62% dos valores registrados então dentro da classe de TST 12,1 - 14,0 °C.

A análise de coordenadas principais para o cruzamento de 1993 está representada na Figura 9. O eixo 1, explica 94,53% da variação total dos dados e o eixo 2 representa 3,64%. Ao primeiro eixo estão mais associadas às classes de temperatura 12,1 - 14,0 °C (-0,986) e 14,1 - 16,0 °C (0,993) (Quadro 5). Já ao segundo eixo, as maiores correlações foram para as classes 16,1 - 18,0°C (-0,906) e 20,0 - 22,1°C (-0,850).

FIGURA 9 – DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DE CLASSES DE TEMPERATURA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DE PONTA GROSSA-PR, NO ANO DE 1993.



A partir do eixo 1 um grupo foi formado com as classes “área urbana” e “solo exposto”, comprovando a semelhança dessas duas classes quanto aos valores de TST. No quadrante superior esquerdo observa-se que a classe “agricultura” está mais associada à classe “cultivo florestal” e “corpos d’água”, revelando que para este ano essas classes apresentaram valores de temperatura muito semelhantes, principalmente quanto às temperaturas de superfície compreendidas entre 12,1 e 14,0°C. Esse resultado vai de encontro com o que pode ser observado no Gráfico 3, que demonstrou uma proporcionalidade bastante parecida entre essas classes quanto aos valores de TST.

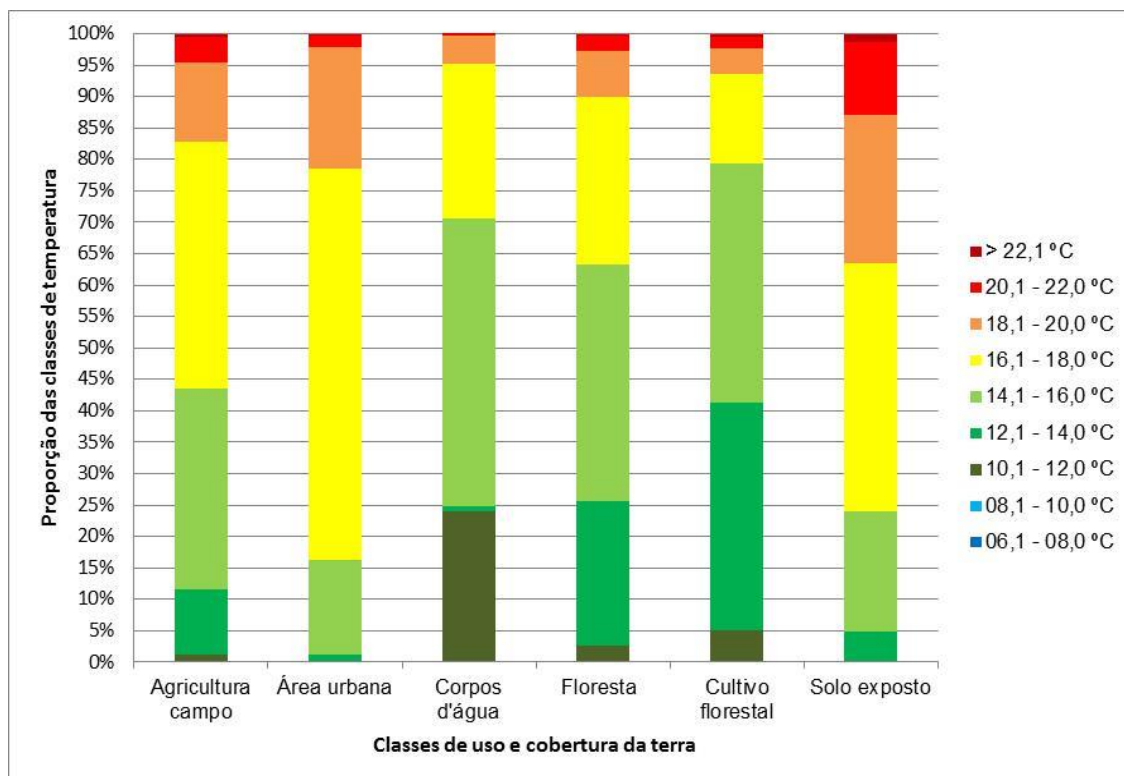
QUADRO 5 – VALORES DE *LOADINGS* DA ACoP DO CRUZAMENTO DE PLANOS DE INFORMAÇÕES PARA O ANO DE 1993.

Classes de Temperatura	Correlação (r/loading)	
	Eixo 1	Eixo 2
<4,0°C	0,631	0,341
06,1 - 08,0°C	0,597	0,521
08,1 - 10,0°C	-0,373	-0,701
10,1 - 12,0°C	-0,252	-0,312
12,1 - 14,0°C	-0,986	0,153
14,1 - 16,0°C	-0,993	0,109
16,1 - 18,0°C	0,238	-0,906
18,1 - 20,0°C	-0,241	-0,423
20,1 - 22,0°C	0,117	0,850

6.3.3 Cruzamento 2004

No Gráfico 4 estão apresentados os resultados proporcionais provenientes do cruzamento entre os planos de informações de uso e cobertura da terra com as classes de temperatura de superfície, registradas na data analisada no ano de 2004.

GRÁFICO 4 – RESULTADOS PROPORCIONAIS DO CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE, PARA O ANO DE 2004.



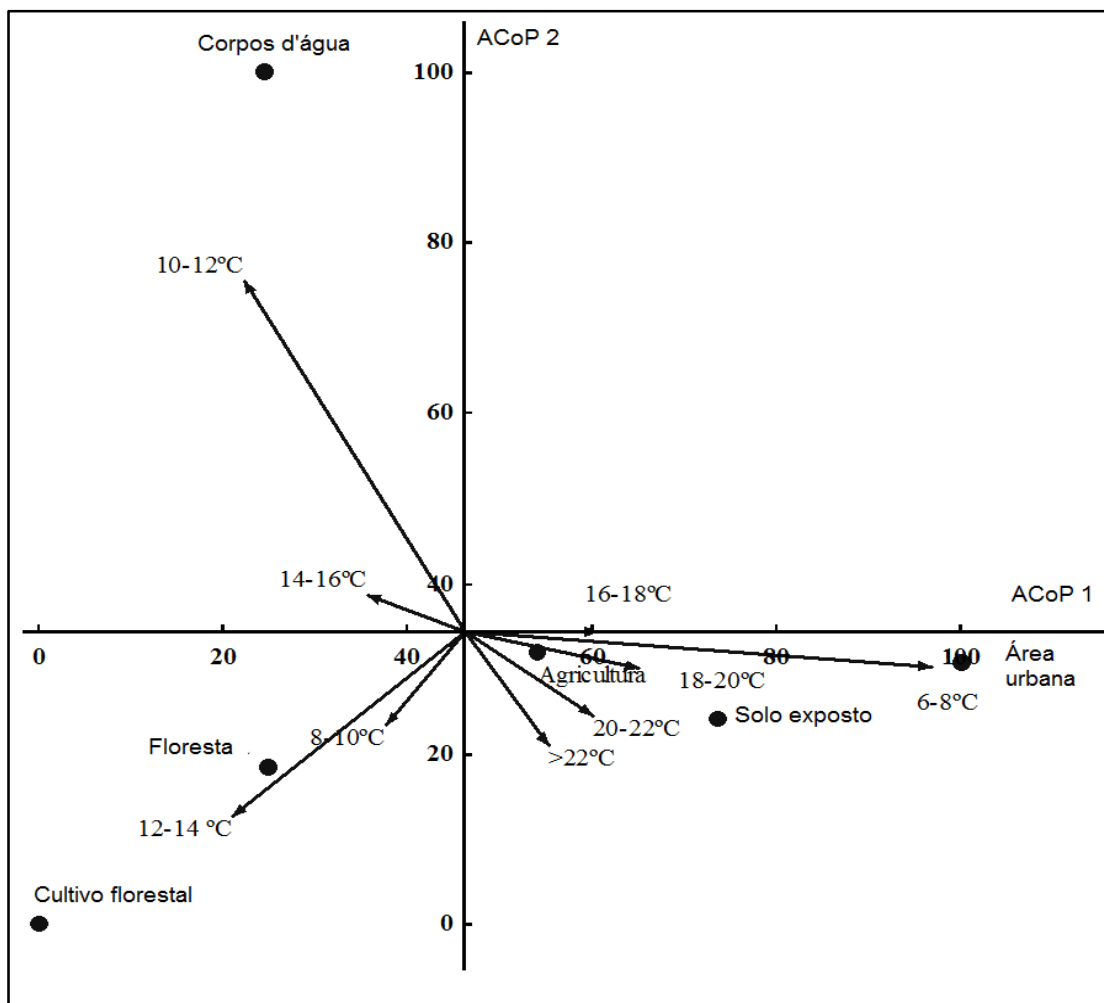
No ano de 2004, a classe “agricultura campo” registrou para a maioria das áreas (71,07%), valores de TSTs compreendidos entre as classes 14,1 - 16,0 °C e 16,1 - 18,0 °C, com 31,87% e 39,20% respectivamente (Gráfico 4). A classe “área urbana” teve na maioria das áreas temperaturas entre 16,1 - 18,0 °C, sendo 62,20%, porém também apresentou 19,44% das áreas com temperaturas entre 18,1 e 20,0 °C. Para a classe “solo exposto” os valores de TSTs mostraram-se mais distribuídos, sendo que as duas classes de maior proporção foram 16,1 - 18,0 °C (39,47%) e 18,1 - 20,0 °C (23,73%). Ainda, dentre todas as classes de uso e cobertura, essa classe foi a que apresentou mais áreas para as TSTs mais elevadas, com 11,48% para a classe 20,1 - 22,0 °C e 1,27% para a classe com valores maiores que 22,1 °C.

A classe “floresta” apresentou 87,28% dos dados de TST nas classes 12,1 - 14,0°C (23,08%); 14,1 - 16,0 °C (37,62%) e 16,1 - 18,0°C (26,58%). Para “cultivo florestal”, as classes mais representativas das TSTs registradas, foram 12,1 - 14,0°C (36,24%); 14,1 - 16,0 °C (38,05°C) e 16,1 - 18,0 °C (14,35%). Ao comparar essas duas classes observou-se que ambas apresentaram temperaturas semelhantes, no entanto “cultivo florestal” registrou mais áreas de temperaturas mais baixas. “Corpos d’água” registrou 45,87% das áreas com temperaturas entre 14,1 e 16,0 °C, mas também

apresentou maior proporção para a classe 10,1 - 12,0 °C (24,08%), dentre todas as classes de uso e cobertura analisadas.

Na análise de coordenadas principais (Figura 10), o eixo 1 explica 70,84% da variação total dos dados. Esse eixo está mais relacionado com as classes 16,1 - 18,0 °C (0,97) e a classe 18,1 - 20,0 °C (0,90) (Quadro 6). Já o eixo 2 explica 22,99% da variação, estando mais relacionado à esta a classe 10,1 - 12,0 °C (0,86).

FIGURA 10 – DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DE CLASSES DE TEMPERATURA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DE PONTA GROSSA-PR, NO ANO DE 2004.



Observou-se a formação de dois grupos principais, um deles é formado pelas classes “área urbana”, “solo exposto” e “agricultura”. Essas classes estão mais correlacionadas ao eixo 1 e também as classes de TST com valores mais elevados, representados pelos vetores. Embora na Figura 8, a classe 6,1 - 8,0 °C aparente estar relacionada à “área urbana”, os valores dos *loadings* deste vetor, para os dois eixos, é baixo (0,59 e 0,52), mostrando que essa classe de temperatura não contribui para a

ordenação e que a correlação entre essas duas classes é baixa. Ainda, considerando os dados resultantes do cruzamento observou-se uma pequena área com essa classificação (TST entre 6,1 e 8,0°C), com apenas 0,01% do total da “área urbana” da imagem, pode-se concluir que esse resultado foi em decorrência de um erro na classificação ou uma falha na imagem, ocasionando essa associação.

No quadrante superior esquerdo a classe “corpos d’água” mostrou-se menos correlacionada às demais. Ainda o vetor apresentando a classe 10 – 12 °C, demonstra uma maior correlação desta com “corpos d’água”.

Ainda, a análise de componentes principais revelou uma correlação entre as classes “floresta” e “cultivo florestal” e a forte associação dessas à classe 12,1 - 14,0 °C.

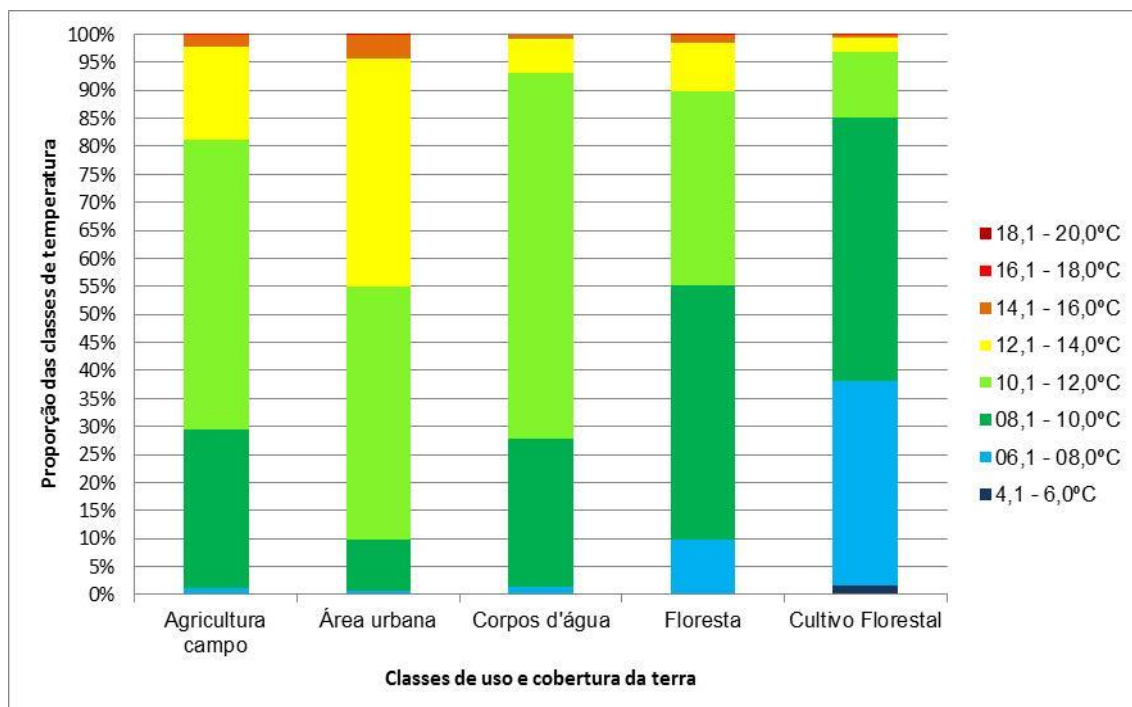
QUADRO 6 – VALORES DE *LOADINGS* DA ACoP DO CRUZAMENTO DE PLANOS DE INFORMAÇÕES PARA O ANO DE 2004.

Classes de Temperatura	Correlação (r/loading)	
	Eixo 1	Eixo 2
06,1 - 08,0°C	0,709	-0,061
08,1 - 10,0°C	-0,210	-0,285
10,1 - 12,0°C	-0,463	0,861
12,1 - 14,0°C	-0,731	-0,670
14,1 - 16,0°C	-0,896	0,396
16,1 - 18,0°C	0,974	0,002
18,1 - 20,0°C	0,901	-0,215
20,1 – 22,0°C	0,413	-0,306
>22,1°C	0,295	-0,462

6.3.4 Cruzamento 2009

No Gráfico 5 estão apresentados os resultados proporcionais provenientes do cruzamento entre os planos de informações de uso e cobertura da terra com as classes de temperatura de superfície, registradas na data analisada no ano de 2009.

GRÁFICO 5 – RESULTADOS PROPORCIONAIS DO CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE, PARA O ANO DE 2009.



No ano de 2009 (Gráfico 5), a classe “agricultura campo” apresentou 85,88% dos valores de TST nas classes 08,1 - 10,0 °C (28,41) e 10,1 - 12,0 °C (51,64%). Para “área urbana”, as classes que compreenderam a maioria das TSTs registradas foram 10,1 - 12,0 °C (45,19%) e 12,1 - 14,0 °C (40,70%). As duas classes de uso e cobertura apresentaram valores semelhantes de temperatura, porém a classe “área urbana” registrou mais áreas com valores de temperatura mais elevados, inclusive para as classes mais quentes, como 14,1 - 16,0 °C e 16,1 - 18,0 °C.

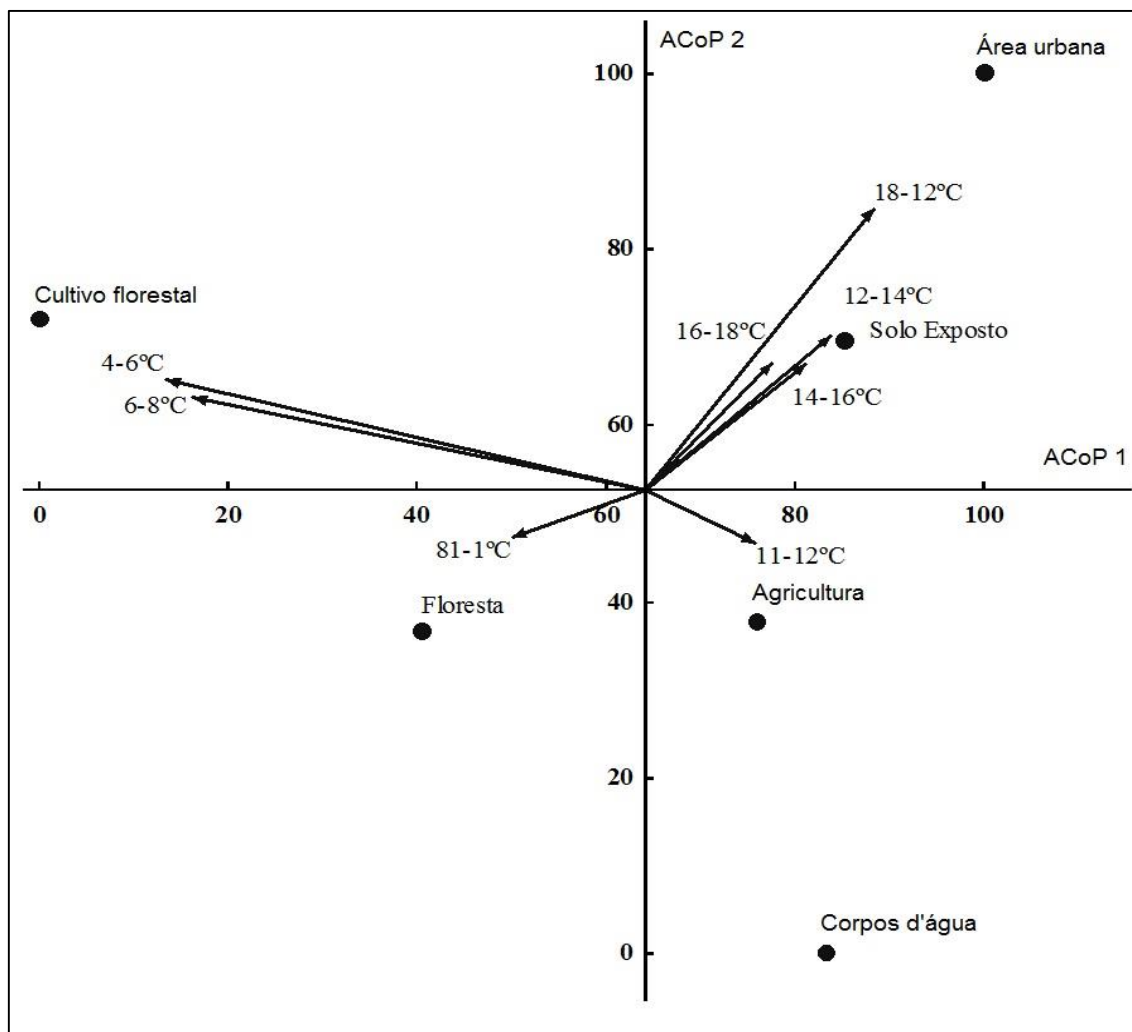
“Solo exposto” teve 90,08% das TSTs representadas pelas classes 08,1 - 10,0°C (17,81%), 10,1 - 12,0 °C (45,90%) e 12,1 - 14,0 °C (26,37%). Também foi a classe que apresentou mais áreas com temperaturas entre 14,1 - 16,0°C.

Para “floresta” as classes de maior representatividade das TSTs foram 08,1 - 10,0 °C, com 45,36% dos dados, e 10,1 - 12,0 °C, com 34,79%. Na classe “cultivo florestal”, 36,38% das TSTs registradas estão representadas pela classe 06,1 - 08,0 °C e 47,15% pela classe 08,1 - 10,0 °C. Como observado nos outros anos, a classe “cultivo florestal” apresentou mais áreas com TST mais baixas, em comparação à “floresta”.

A classe “corpos d’água” apresentou 91,77% dos valores de TST, distribuídos nas classes 08,10°C (26,65%) e 10,1-12,0°C (65,12%).

A análise de coordenadas principais está representada na Figura 11. O eixo 1 representa 70,84% da variação total dos dados, ao qual estão mais correlacionadas as classes 06,1 - 08,0 °C (-0,943) e 08,1 - 10,0 °C (-0,904) (Quadro 7). O eixo 2 representa 23,04% da variação total dos dados, e apresentou maior correlação com a classe 12,1 - 14,0 °C (0,68).

FIGURA 11 – DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DE CLASSES DE TEMPERATURA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DE PONTA GROSSA-PR, NO ANO DE 2009.



A ACoP formou um agrupamento das classes “área urbana”, “solo exposto” e “agricultura e campo”. Também foi possível observar através dos vetores a associação dessas classes de uso às classes de TST que representam os valores mais altos registrados. Ainda a ACoP1, separa “agricultura e campo” de “área urbana” e “solo exposto”, pois esta classe apresentou maior associação com as TST entre 10,1 - 12,0 °C, com loading de 0,87.

Como observado na Figura 11, a ACoP demonstra a correlação entre as classes de “cultivo florestal” e “floresta” e ainda através dos vetores e dos valores de *loadings*, foi possível confirmar a maior associação das TSTs de valores mais baixos à essas classes de uso e cobertura, com *loading* de -0,861 (QUADRO 7) para TST 4,1 - 6,0 °C e -0,943 para TST 6,1 - 8,0 °C .

QUADRO 7 – VALORES DE *LOADINGS* DA ACoP DO CRUZAMENTO DE PLANOS DE INFORMAÇÕES PARA O ANO DE 2009.

Classes de Temperatura	Correlação (r/loading)	
	Eixo 1	Eixo 2
04,1 - 06,0°C	-0,861	0,224
06,1 - 08,0°C	-0,943	0,218
08,1 - 10,0°C	-0,904	-0,364
10,1 - 12,0°C	0,869	-0,490
12,1 - 14,0°C	0,726	0,678
14,1 - 16,0°C	0,570	0,502
16,1 - 18,0°C	0,332	0,375
18,1 - 20,0°C	0,511	0,717

6.4 ANÁLISE MULTITEMPORAL

As três classes de uso e ocupação representantes dos ambientes mais antropizados, “área urbana”, “solo exposto” e “agricultura e campo”, apresentaram-se na maioria dos anos bastante semelhantes quanto aos valores de temperatura de superfície. As classes “área urbana” e “solo exposto” mostraram-se ainda mais parecidas, estando estas duas classes sempre associadas aos valores mais altos de temperatura registrados em cada ano analisado.

Em estudo realizado na cidade de Paris (DOUSSET et al., 2009), utilizando imagens do satélite NOAA-AVRHR, temperaturas mais elevadas foram obtidas nas áreas urbanizadas, centro e área industrial. O centro da cidade quando comparado à região de parque, apresentou diferenças de temperatura entre 1,5 e 2,2°C, ao longo do dia. O autor destaca ainda, que mesmo sendo pequena a amplitude térmica, temperaturas mínimas com valores mais elevados contribuem para a formação de ondas de calor.

Em todas as imagens analisadas, foi possível observar que, de modo geral, as classes de “floresta” e “cultivo florestal” registraram temperaturas semelhantes, sendo que a segunda apresentou maior ocorrência de áreas com temperaturas mais baixas do que a primeira. Isso pode ter ocorrido, pois em muitas áreas a vegetação nativa encontra-se degradada, com poucas espécies arbóreas, apresentando menor densidade e menor área de extensão. Já as áreas de reflorestamento possuem maior adensamento de espécies arbóreas e maior extensão, o que colaboraria para uma temperatura de superfície menor.

Malcom (1998), ao analisar os efeitos da fragmentação florestal sobre a temperatura da mesma, através de um modelo numérico, observou que fragmentos de floresta com áreas vizinhas com corte raso, tiveram alterações de temperatura próximo à borda. Um aumento de 5°C na temperatura da área de corte raso levou a um aumento de cerca de 2°C no extrato médio da floresta, e um aumento de quase 4°C próximo ao chão a um aumento de aproximadamente 5°C no dossel superior. Ainda, quanto ao efeito da densidade da vegetação sobre a medição da TST, Weng et al. (2004) relata que pixels de uma imagem que não são ocupados unicamente por uma vegetação homogênea ou por solo exposto, têm em seus valores de TST uma mistura da temperatura do solo e da temperatura do dossel.

Os resultados de temperatura em relação as diferentes superfícies foram semelhantes aos resultados obtidos por Giongo (2008), em estudo realizado no município de Santa Rita do Passa Quatro, Estado de São Paulo, com o objetivo de avaliar o balanço de radiação a partir de imagens Landsat 5. Onde as maiores temperaturas de superfície foram registradas em áreas descobertas ou de solo exposto e as menores temperaturas em áreas de maior cobertura vegetal e alagas.

Analisando comparativamente os mapas de temperatura de superfície (Figura 6 e Figura 7), pode-se observar uma tendência ao aumento da temperatura. Essa elevação é mais visível quando comparamos as proporções das áreas de cada classe de uso (Gráficos 1, 2, 3 e 4) em relação à temperatura registrada.

Observou-se uma elevação mais significativa dos valores de temperatura no ano de 2004, onde inclusive o menor valor de temperatura registrado estava entre 6,1 e 8,0 °C, o qual nos demais anos, mesmo que em baixa frequência, encontrava-se entre 4,1 e 6,0°C. O resumo das variações da temperatura de 1985 e 2004 das classes analisadas estão apresentadas no Quadro 8.

QUADRO 8 – VARIÇÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMOS E MÁXIMOS REGISTRADOS EM 1985 E 2004 NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR.

CLASSES DE USO	TST EM 1985	TST EM 2004
ÁREA URBANA	97,82% → 10-16°C	96,81% → 14-20°C
SOLO EXPOSTO	77,84% → 10-16°C	82,27% → 14-20°C
AGRICULTURA	88,44% → 10-16°C	83,71% → 14-20°C
FLORESTA	87,04% → 8-14°C	87,28% → 12-18°C
CULTIVO FLORESTAL	91,64% → 8-14°C	88,63% → 12-18°C
CORPOS D'ÁGUA	89,98% → 8-14°C	70,50% → 14-18°C

Inicialmente, no ano de 1985, a classe “área urbana” apresentava 97,82% de sua área com temperatura entre 10 e 16 °C, já em 2004 os valores mais representativos variaram entre 14 e 20 °C. Gerando uma amplitude de 4°C entre as temperaturas mínimas, mais representativas, entre 1985 e 2004. Outra classe que, entre o primeiro ano analisado e 2004, registrou um aumento das áreas com temperaturas mais elevadas, foi “solo exposto”, onde inicialmente as temperaturas mais frequentes variavam entre 10 e 16°C aumentaram para 16 a 20°C. Para “agricultura” a faixa de temperatura inicial

mais representativa foi a mesma de “solo exposto” já em 2004, a maior frequência dos valores de temperatura ficou entre 14 e 18°C. As classes “floresta” e “cultivo florestal” tiveram suas temperaturas modificadas com valores entre 8 a 14 °C em 1985 para 12 a 18 °C em 2004, e de 8 a 14 °C para 12 a 18°C, respectivamente.

Nas áreas de “corpos d’água”, as temperaturas seguiram a mesma tendência de incremento na temperatura, no primeiro ano analisado (1985) a maior área de corpos hídricos registrou temperaturas entre 8,1 e 12 °C, em 1993 as temperaturas já variavam entre 12 e 14 °C , já em 2004 os valores mais significativos encontravam-se entre 14,1 e 16°C. Giongo (2008), ao analisar valores de temperatura de superfície de um lago para o ano de 2005, obteve valores em torno de 18°C para o mês de agosto.

Ao analisar os registros de temperatura na cidade de Ponta Grossa (PR) de 1954 a 1996, Silva e Guetter (2003) observaram uma tendência de aumento nas temperaturas mínimas e uma redução nas temperaturas máximas, neste período. Segundo os autores, o fato pode estar associado à modificações regionais na nebulosidade que interfere na quantidade de radiação de ondas longas que é emitida para o espaço, contribuindo para o aumento das temperaturas mínimas.

No ano de 2009 uma redução nos valores de temperatura de superfície foi observado para todas as classes de uso e cobertura da terra. Ao considerar as condições meteorológicas do dia do registro da imagem (Quadro 1), nota-se que a temperatura máxima registrada nesse dia foi consideravelmente inferior aos demais dias analisados, gerando uma temperatura média de 13,8°C, uma diferença de 5°C da temperatura média de 2004. Ainda, houve um registro de precipitação de 4,6 mm, que pode ter interferido no registro da radiação através da alteração na atmosfera. No entanto, mesmo com valores de temperaturas inferiores, os padrões nas relações entre temperatura e uso e cobertura da terra se manteve como nos demais anos, onde valores de TST foram registrados para as classes mais antropizadas e temperaturas menores nas áreas com cobertura vegetal. Essa relação pode ser facilmente constatada através dos resultados da ACop (Figura 11).

Identificar e caracterizar áreas de maior temperatura de superfície fornecem dados que podem ser utilizados na busca de melhorias quanto ao conforto térmico e visando a economia de energia. Uma medida, segundo Berdahl e Bretz (1997), seria aumentar a reflexão solar ou a emissão de infravermelho, reduzindo assim a temperatura da superfície exterior. Nesse sentido, os resultados de Parker et al. (1993), demonstram

que a aplicação de revestimentos de alta reflectância em telhados, gerou uma economia de energia em refrigeração entre 10 e 43%.

7 CONCLUSÃO

Através dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra, gerados para cada ano, identificaram-se os principais usos e coberturas presentes no município de Ponta Grossa – PR, sendo eles: área urbana, agricultura e campo, solo exposto, reflorestamento, floresta nativa e corpos d'água. As alterações ao longo do tempo estavam mais relacionadas às proporções das áreas, principalmente para área urbana que apresentou um crescimento de quase 9 km².

Os mapas temáticos de temperatura da superfície demonstraram as alterações de temperatura ao longo do tempo. Ao passar dos anos certa tendência na elevação da temperatura foi observada, porém com resultados distintos para o último ano analisado. Nesse crescimento, tanto o aumento das temperaturas mínimas foi observado como o aumento das temperaturas máximas.

O cruzamento dos planos de informações gerou polígonos com informações de área, combinando as classes de uso e cobertura e com as classes de temperatura de superfície, o que tornou a análise das relações uso x temperatura muito mais precisas.

A análise de coordenadas principais comprovou que há diferença significativa entre a temperatura de superfície em função dos diferentes usos e coberturas da terra. Através dos diagramas de dispersão pode-se observar a formação de dois grupos principais quanto à diferença de temperatura. Em um dos grupos encontram-se as classes mais antropizadas, como áreas de ocupação urbana e áreas com desenvolvimento de atividades agrícolas, associadas às temperaturas mais elevadas. No outro as áreas com coberturas vegetais, associadas às temperaturas mais baixas.

A análise multitemporal do uso e ocupação da terra e dos valores de temperatura de superfície no Município de Ponta Grossa – PR, mostrou-se eficiente na identificação das áreas de temperaturas mais elevadas. Portanto, os resultados deste trabalho associados a outras informações, como o estudo mais detalhado das áreas impermeabilizadas, auxiliarão no planejamento da ocupação de novas áreas e no desenvolvimento de ações para melhoria das áreas já ocupadas, no sentido de atenuar os efeitos negativos quanto ao uso e ocupação da terra de forma desordenada associado às modificações no clima urbano.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. R.; POTTKER, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MACHADO, A. L. F. Influence on land use on urban climate of small town. **ActaScientiarum**, v. 35, n. 2, p. 349-361, abr/jun. 2013.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. **Revista Geonorte**, ed. Especial 2, v. 2, n. 5, p. 65-76. 2012.
- BERDHAL, P. BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2. p. 149-158. 1997.
- BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1741-1748.
- BORGES, E. F.; SILVA, A. B. Técnicas de segmentação de imagens e classificação por região: mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, Mucugê-BA. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v.8, n. 17, p. 209-220, set./dez. 2009.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO II, F. SPRING: integrating remote sensing and gis by object oriented data modeling. **Journal Computers & Graphics**, v. 32, n. 3, p. 395-403, maio/jun. 1996.
- CAMARGO, F. F; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; OLIVEIRA, L. G. L.; ADAMI, M. Análise multitemporal da evolução urbana e sua influência na modificação no campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993 e 2003. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 5127-5134.
- DOUSSET, B.; GOURMELON, F.; LAAIDI, K.; ZEGHNOUN, A.; GIRAUDET. E.; BRETIN,P.; VANDENTORREN, S. Satellite monitoring of summertime heat waves in the Paris metropolitan area. **The seventh International Conference on Urban Climate**, n. 7, Yokohama - Japão. 2009.
- ESPIG, S. A.; REIS, I. A.; ARAUJO, E. P.; FORMAGGIO, A. R. Relação entre o fator de reflectância e o teor de óxidos e ferro em latossolos brasileiros. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 371-379.
- GARTLAND, G. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 256 p.

GIONGO, P. R. **Estimativa no balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

GOWER, J.C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. **Biometrika**, v.53, p. 325–338.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 2, p. 231-237. 2007.

HOWARD, L. **The Climate of London**. v. 1, 1818. Disponível em: <http://urban-climate.com/wp3/wp-content/uploads/2011/04/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 08 maio 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIAS. Disponível em: <http://portais.ufg.br/uploads/68/original_Classifica_o_Clim_tica_Koppen.pdf>. Acesso: 08 maio 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411990&search=paranaponta-grossa>. Acesso em: 10 mar. 2014.

JUSUF, S. K.; WONG, N. H.; HAGEN, E.; ANGGORO, R.; HONG, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. **Habitat International**, n. 31. p. 232 – 242. 2007.

LANDSAT PROJECT SCIENCE OFFICE. Landsat 5 Science Data User's Handbook. Disponível em: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/L5TMLUTIEEE2003.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2013.

LOMBARDO, M. A.; SILVA FILHO, D. F.; FRUEHAUF, A. L.; PAVAN, D. C. O uso de geotecnologias na análise de ilha de calor, índice de vegetação e uso da terra. **Revista Geonorte**, ed. Especial 2, v. 2, n. 5, p. 520-529. 2012.

LORENA, R. B.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANT'ANNA, H. M.; SANT'ANNA, H. S. S.; MENEZES, R. S. Dados multitemporais de sensoriamento remoto para a análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra na região do Peixoto (AC). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1653 – 1656.

MALCOM, J. R. A modelo of conductive heat flow in forest edges and fragmented landscapes. **Climactic Change**, n. 39, p. 487 – 502. 1998.

MATHER, P. M. **Computer processing of remote sensed images**: na introduction: Chichester: Wiley, 1987. 325 p.

McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.0MjM Software, Glenden Beach, Oregon, U.S.A.2011.

MEDEIROS, C.V.; MELLO, M. S. de. Processos erosivos no espaço urbano de Ponta Grossa. In: DITZEL, C. H. M.; LÖWEN SAHR, C. L. (Orgs). **Espaço e cultura: Ponta Grossa e os Campos Gerais**. Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2001. 518 p.

MENEGUZZO, P. M. MELO, M. S. de. Carta de suscetibilidade a processos geoambientais no espaço urbano de Ponta Grossa, PR: cabeceiras do arroio Olarias. **Geociências**, v. 8, n. 6, p. 30-43, dez. 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

MONTGOMERY, O.L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils. Lafayette, 1976. 147p. (PhD - Purdue University).

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim Goiano de geografia**. Goiânia, v. 31, n. 2, p. 113-127, jul./dez. 2011.

NORMAN, J. M.; BECKER, F. Terminology in termal infrared remote sensing of natural surfaces. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 77, p. 153-166. 1995.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações. 2Ed. São Paulo: E. Blücher, 308p., 1993.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, p.769-779. 1973.

PADILHA, R. C. B. L. A.; KURDJIAN, M. L. N. O. Aplicação da técnica de segmentação em imagens HRV/SPOT para discriminação dos vazios urbanos. **Investigaciones Geográficas Boletín**, n. 5, p. 93-103, 1996.

PARKER, D.S., CUMMINGS, J.B., SHERWIN, J.S., STEDMAN, T.C. AND MCILVAINE, J.E.R. Measured Air Conditioning Electricity Savings from Reflective Roof Coatings Applied to Florida Residences, FSEC-CR-596-93, **Florida Solar Energy Center**, Cape Canaveral, FL. 1993.

PEGORARI, M. R. B. **Determinação de bandas espectrais a partir de dados hiperspectrais**.2001, 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, Presidente Prudente, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. Plano diretor participativo. Disponível em: http://geo.pontagrossa.pr.gov.br/portal/plano_diretor. Acesso em: 15 abr. 2015.

RODRIGUEZ, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião - SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM - Landsat e HRV – Spot.** 2000, 85 f. Trabalho publicado como requisito para obtenção do título de Especialista em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

SAUSEN, T. M. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#tania>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

SILVA, M. E. S; G, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra livre**, ano 19, v. 1, n. 20, p. 111-126, jan-jul. 2003.

SMALL, C. Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature. **Remote Sensing of Environment**, n. 104, p. 168-189, 2006.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php>. Acesso em: 9 dez. 2013.

VELOSO, H P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: **IBGE**, 123 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaoovegetal.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2014.

ZILLER, S. R. **A estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica.** 2000, 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KAWASHIMA, S.; ISHIDA, T.; MINOMURA, M.; MIWA, T. Relations between Surface Temperature and Air Temperature on a Local Scale during Winter Nights. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, p. 1570-1579, set. 2000.

WATKINS, R.; KOLOKOTRONI, M.; LITTLEFAIR, P. The London heat island: results from summertime monitoring. **Bulding Serv. Eng. Res. Technol**, v. 23, n. 2, p. 97-106. 2002.

WENG, Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. **Journal of Environmental Management**, v. 64, p. 273-284. 2001.

_____. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engeneering & Remote Sensing**, v. 69, n. 5, p. 555-566, maio. 2003.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surfasse temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environmental**, v. 89, p. 467-483. 2004.

WENG, Q.; LU, D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 10, p. 68-83. 2008.