



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**ADRIANA DO PRADO ALMEIDA**

**ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ESTUDO DE  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL – ESTUDO DE CASO QUADRA 604  
SUL**

**Palmas- TO**

**2015**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

---

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005*

**ADRIANA DO PRADO ALMEIDA**

## **ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ESTUDO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL – ESTUDO DE CASO QUADRA 604 SUL**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora M.Sc. Roberta Mara de Oliveira.

**Palmas- TO**

**2015**

**ADRIANA DO PRADO ALMEIDA**

**ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ESTUDO DE  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL – ESTUDO DE CASO QUADRA 604  
SUL**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do Curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora M.Sc. Roberta Mara de Oliveira.

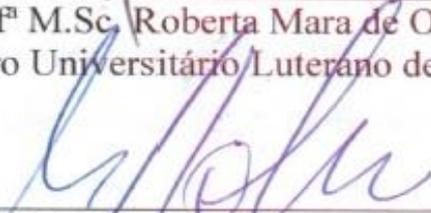
Aprovada em 17 de Novembro de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof<sup>ª</sup> M.Sc. Roberta Mara de Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof<sup>º</sup> M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof<sup>º</sup> M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas**

**2015**

## AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, pela sua fidelidade, pelo seu sustento e por seu imenso amor, por renovar o meu ânimo e a minha fé a cada dia, me dando forças para vencer! Obrigado Senhor, por ter cuidado de cada detalhe e por ter colocado pessoas em minha vida, que foram importantes na realização deste estudo.

Aos meus pais Janice e Josemir, que trabalharam muito pra que esse sonho fosse realidade na minha vida e conseqüentemente na vida deles, que sempre acreditaram que seria possível ver sua filha adquirindo um dos bens mais preciosos que é o conhecimento, e por isso investiram o que tinha de mais precioso, o amor e a confiança, por isso, serei sempre grata a eles.

Serei eternamente grata aqueles que estiveram ao meu lado durante essa caminhada, aos amigos mais chegados que irmãos, aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui. Não tenho palavras que definam a amizade e o companheirismo do meu grupo de estudo e futuros companheiros de profissão (Warlismar, Eduardo, Bruno e Jéssica), foram noites e noites de estudo, além dos feriados e finais de semana, vocês foram peças fundamentais neste processo.

Ao meu namorado Joaquim, que dedicou seu tempo, atenção, carinho e cuidado e se empenhou junto comigo neste projeto. A minha amiga Acácia que dedicou tanto do seu tempo para me auxiliar e orientar. Muito obrigada pela a disponibilidade de vocês.

A minha professora e orientadora Roberta Mara de Oliveira por cada orientação, pela paciência e sabedoria, dedicou seu tempo e compartilhou seu conhecimento, que me capacitou a defender este estudo, muito obrigado por fazer parte do sucesso deste trabalho. Também a todos aos meus professores pelo o conhecimento compartilhado, em especial aos professores Edivaldo e Carlos Spartacus por se envolverem no desenvolvimento deste estudo.

Agradeço aos profissionais que tive oportunidade de trabalhar e que de certa forma contribuíram para a minha formação profissional. Por fim, agradeço a minha família, pelas orações, pelo carinho, e compreensão, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse concluído.

*“Que darei eu ao SENHOR, por todos os  
benefícios que me tem feito?”*

*(Salmos 116: 12).*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	II
ABSTRACT .....	III
LISTA DE TABELAS .....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivos Gerais .....	2
1.1.2. Objetivos Específicos .....	2
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Estrutura do Trabalho.....	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1. escoamento Superficial.....	5
2.1.1. Definição.....	5
2.1.2. Fatores que Influenciam o escoamento superficial.....	5
2.2. Permeabilidade .....	7
2.2.1. Definição.....	7
2.2.2. Permeabilidade em áreas urbanas .....	8
2.3. Impermeabilidade.....	9
2.3.1. Reflexos da Impermeabilidade .....	10
2.4. Drenagem Urbana.....	11
2.4.1. Historia e Definição.....	11
2.4.2. Classificação de Macro e Micro Drenagem .....	12
2.5. Bacia Hidrográfica.....	12
2.6. Uso e Ocupação do Solo .....	13
2.7. Ferramentas de Geoprocessamento.....	14
2.7.1. Sistema de Informações Geográficas.....	15
2.7.2. Sensoriamento Remoto .....	17
2.8. Análises de Imagens de Satélite .....	18
2.8.1. Fotointerpretação de Imagens de Satélite .....	19
2.8.2. Classificação de Imagens.....	20
3. METODOLOGIA .....	21

3.1. AREA DE ESTUDO:.....	21
3.2. MODELO DIGITAL.....	22
3.2.1. Delimitação de Bacia:.....	22
3.3. ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DA QUADRA .....	24
3.4. DRENAGEM URBANA.....	25
3.5. FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS .....	27
3.6. CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5. CONCLUSÃO .....	40
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

## RESUMO

ALMEIDA, Adriana do Prado. **Análise de uso e ocupação do solo para estudo de escoamento superficial - estudo de caso quadra 604 sul.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, CEULP/ULBRA. Palmas – Tocantins.

Na maioria das cidades o processo de urbanização ocorreu a frente das obras de saneamento básico e sem o acompanhamento adequado do uso e ocupação do solo definido pelo o município, o crescimento das áreas urbanas gerou um incremento nas superfícies impermeabilizadas, fator que levou a um aumento no escoamento superficial gerando assim transtornos a população. O objetivo desta pesquisa é avaliar a capacidade de escoamento superficial da quadra 604 sul no município de Palmas -TO, com base no uso e ocupação do solo, com análise de imagens de satélites e o uso de ferramentas de geoprocessamento. O uso da ferramenta ArcGis tornou possível a geração do modelo digital do terreno a partir da imagem do sensor ASTER, além de possibilitar a classificação do uso do solo a partir da fotointerpretação e gerando mapas demonstrativos dos tipos de coberturas que foram identificadas. A análise dos resultados mostrou que a quadra apresenta um relevo plano, e está localizada na cota 270, no limite das Bacias Córrego da Prata e do Córrego Brejo Comprido, a quadra tem uma área de aproximadamente 0,42 km<sup>2</sup>. Os resultados da classificação mostrou que grande parte da cobertura do solo é impermeabilizada, com estes dados foi possível encontrar um coeficiente de escoamento de 0,78 e uma vazão de 20,85 m<sup>3</sup>/s, para obter os dados de intensidade de chuva foi utilizado a equação IDF (intensidade, duração e frequência) que apresentou uma intensidade média de 63,63 mm/h para um tempo de retorno (Tr) adotado de 5 anos e tempo de duração (td) de 10, 30, 60 e 120 min. Os resultados revelam que áreas impermeabilizadas, com sistema de drenagem ineficiente ou mesmo inexistente atreladas a acontecimentos de chuvas com grandes intensidades são responsáveis pelo o aumento das inundações, dos transtornos sociais e ambientais, além de alterar todo suporte de drenagem aplicado.

**Palavras chave:** Escoamento Superficial; Bacia Hidrográfica; Ferramentas de Geoprocessamento; Análise de Imagem de Satélite.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Adriana Prado. **Usage analysis and land use for runoff study - case study block 604 south**. 2015. Work Completion of course in Civil Engineering, CEULP / ULBRA. Palmas - Tocantins.

In most cities the process of urbanization took place in front of the works of sanitation and no proper monitoring of the use and occupation of land defined by the municipality, the growth of urban areas led to an increase in impermeable surfaces, a factor that led to an increase in the runoff thus generating disorders population. The objective of this research is to evaluate the runoff capacity of the block 604 south in the city of Palmas -TO based on land use and occupation, with satellite image analysis and using geoprocessing tools. The use of ArcGIS tool made possible the generation of digital terrain model from the image ASTER, besides allowing the classification of land use from the photo interpretation and generating statements maps of the types of coverage that have been identified. The results showed that the court has a flat relief, and is located at an altitude of 270 within the limits of the Silver Stream Basin and Long Swamp Creek, the court has an area of approximately 0.42 square kilometers. The results of classification showed that much of the ground cover is waterproof, with this data it was possible to find a flow coefficient of 0.78 and a rate of  $20.85 \text{ m}^3 / \text{s}$ , for the rainfall intensity data was used the IDF equation (intensity, duration and frequency) which showed an average intensity of  $63.63 \text{ mm} / \text{h}$  for a round-trip time ( $T_r$ ) adopted 5 years and duration ( $t_d$ ) of 10, 30, 60 and 120 min . The results show that impermeable areas with inefficient drainage system or not at all linked to rainfall events with high intensities are responsible for the increase in floods, social and environmental disorders, in addition to changing all drain support applied.

**Keywords:** Runoff; Hydrographic basin; GIS tools; Satellite Image Analysis.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resultados do Processo de Fotointerpretação.....	36
<b>Tabela 2</b> - Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado e Área da Bacia.....	38

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Valores de Coeficiente de Permeabilidade.....	08
<b>Figura 2</b> - Blocos Vazados de Concreto.....	09
<b>Figura 3</b> - Placa drenante.....	09
<b>Figura 4</b> - Permeabilidade Urbana.....	09
<b>Figura 5</b> - Metodologia do Geoprocessamento.....	15
<b>Figura 6</b> - O SIG como Sistema de Apoio à Decisão.....	16
<b>Figura 7</b> - Principais etapas realizadas para delimitação de bacias hidrográficas a partir de dados ASTER.....	17
<b>Figura 8</b> - Diferentes tipos de coleta de dados em sensoriamento remoto.....	18
<b>Figura 9</b> - Imagem aérea da Quadra 604 Sul.....	22
<b>Figura 10</b> - Fill Sinks.....	23
<b>Figura 11</b> – Flow Direction.....	23
<b>Figura 12</b> - Flow Accumulation.....	23
<b>Figura 13</b> – Stream Definition.....	23
<b>Figura 14</b> - Stream Segmentation.....	23
<b>Figura 15</b> - Catchment Grid Delineation.....	23
<b>Figura 16</b> - Catchment Polygon Processing.....	23
<b>Figura 17</b> - Drainage Line Processing.....	23
<b>Figura 18</b> - Adjoint Catchment Processing.....	24
<b>Figura 19</b> - Drainage Point Processing.....	24
<b>Figura 20</b> - Modelo Digital da Bacia do Córrego da Prata.....	24
<b>Figura 21</b> - Comparação de ocupação do solo entre 2002 e 2015 (604 Sul).....	25
<b>Figura 22</b> - Condições de ICR.....	26
<b>Figura 23</b> - ICR das Bacias Hidrográficas Urbanas - Palmas - TO.....	26
<b>Figura 24</b> - Entrada da Quadra .....	27
<b>Figura 25</b> - Interior da Quadra (Alameda 12).....	27
<b>Figura 26</b> - Interior da Quadra (Alameda 01).....	27
<b>Figura 27</b> - Interior da Quadra (Alameda 01 e 06).....	27
<b>Figura 28</b> - Valores de C recomendados pela ASCE (1969).....	29
<b>Figura 29</b> - Valores de C' para cálculo de C para áreas rurais (Williams, 1949).....	30
<b>Figura 30</b> - Bacia Principal Córrego da Prata.....	31

<b>Figura 31</b> - Sub-Bacia Córrego da Prata.....	31
<b>Figura 32</b> - Curvas de Nível Sub-Bacia Córrego da Prata.....	32
<b>Figura 33</b> - Divisão das Bacias (PMSB).....	33
<b>Figura 34</b> - Bacias dos Córregos Brejo Comprido e da Prata.....	33
<b>Figura 35</b> - Classificação de Áreas com Cobertura.....	34
<b>Figura 36</b> - Classificação de Áreas Pavimentadas.....	35
<b>Figura 37</b> - Classificação de Áreas Permeáveis.....	36
<b>Figura 38</b> - Gráfico do Processo de Fotointerpretação.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- A** - Área da bacia
- ABNT** – Associação Brasileira de normas técnicas
- A** - Área da bacia
- C** - Coeficiente de Runoff
- I** - Intensidade de chuva
- ICR** - Índice de Cobertura por Rede de Drenagem
- INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- PMSB** - Plano Municipal de Saneamento Básico
- Q** - Vazão
- RBRH** - Plano Municipal de Saneamento Básico
- REM** - Radiação Eletromagnética
- SWIR** - Infravermelho Médio
- SIG** - Sistema de informações geográficas
- TIR** - Infravermelho Termal
- VNIR** - Visível e Infravermelho Próximo
- VOLS** - Volume de água escoada
- VOLT** - Volume de precipitação
- KM<sup>2</sup>** - Quilômetro quadrado
- MM/H** - Milímetro por hora
- MIN** - Minuto
- M<sup>3</sup>/S** - Metro cúbico por segundo
- M/S** - Metro por segundo
- TR** - Tempo de Retorno
- TD** - Tempo de Duração de chuva

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado das áreas próprias à urbanização tem levantado algumas questões que afetam o desenvolvimento sustentável das cidades, os acessos, o uso e ocupação do solo, saneamento, transporte e demais atividades econômicas, questões estas que surgiram devido a grande expansão urbana com o intenso processo de êxodo rural, o que determinou uma ocupação desordenada sobre o solo urbano.

Com isso se faz necessário estudos que evidenciem estas questões, contribuindo para um desenvolvimento ordenado e evitando desgastes ambientais e sociais, conseqüentemente a esse crescimento o nível de impermeabilização tem aumentado influenciando de forma direta no escoamento superficial. O aumento da impermeabilização, e o aumento das contribuições de volumes e vazões no sistema de drenagem, são responsáveis pelo o aumento das inundações, dos transtornos sociais e ambientais, além de alterar todo suporte de drenagem aplicado.

O reconhecimento das áreas aptas ao desenvolvimento é de suma importância, um recurso muito utilizado para este reconhecimento é a análise de imagens de satélite de alta resolução, ferramenta esta, que tornou-se indispensável para a engenharia, pois as mesmas possibilitam a rápida e acurada informações dos parâmetros de uma bacia hidrográfica.

O pleno exercício de cidadania exige o estabelecimento de uma postura crítica diante dos fatos associados ao uso dos recursos e ocupação dos espaços. Diante desta situação é que surgiu a necessidade de regulamentar o uso e ocupação do solo, ficando a cargo de cada município regular a aplicação das exigências do uso de espaços.

O presente trabalho é um projeto de uma pesquisa que abordará a situação do uso e ocupação do solo na quadra 604 Sul na cidade de Palmas, para estudo de escoamento superficial, tendo como parâmetro de apoio imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento, a Lei de Uso do Solo deste município e ademais exigências das Normas Técnicas Brasileiras que tratam deste assunto.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos Gerais**

Avaliar a capacidade de escoamento superficial na quadra 604 Sul na cidade de Palmas – TO, considerando a base de uso e ocupação do solo, através da análise de imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar o índice de impermeabilização por meio de imagens de satélite;
- Identificar o coeficiente de escoamento superficial;
- Elaborar modelo digital do terreno na quadra 604 Sul a partir do ASTER;
- Identificar as modificações ocorridas na quadra com base no uso e ocupação do solo;

## **1.2. Justificativa**

O desenvolvimento das cidades seja ele ordenado ou não, e os processos de impermeabilização de vias tem dificultado cada vez mais o escoamento das águas superficiais, isso tem gerado grandes transtornos a população, ao comercio e a estética da cidade.

Neste sentido, o presente estudo buscou conhecer a ocupação e analisar o índice de urbanização atual e todos os seus impactos no escoamento superficial na Quadra 604 Sul na Cidade de Palmas-TO, através da análise de imagens e ferramentas de geoprocessamento.

### 1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho aborda primeiramente uma revisão bibliográfica sobre o tema e posteriormente a metodologia e análise de resultados da pesquisa. O trabalho está dividido em sete capítulos seguintes:

**Capítulo 1:** neste primeiro capítulo faz-se uma apresentação do trabalho, com uma revisão bibliográfica que introduz ao assunto escoamento superficial, quanto a sua definição, e aos fatores que influenciam. Menciona-se ainda a permeabilidade e a impermeabilidade, suas definições, áreas de ocorrência e os seus reflexos diante a sociedade;

**Capítulo 2:** neste capítulo, segue a revisão bibliográfica sobre drenagem urbana, onde apresenta a sua historia e classificação. Faz-se também uma apresentação de bacias hidrográficas e as formas de uso e ocupação do solo dentro do meio urbano.

**Capítulo 3:** neste capítulo, finaliza a revisão bibliográfica com o assunto de ferramentas de geoprocessamento, incluindo os sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto, além de abordar os tipos de análises de imagens de satélite com a fotointerpretação e as classificações supervisionadas e não supervisionada.

**Capítulo 4:** neste capítulo, está à metodologia utilizada na pesquisa, bem como os métodos de aplicação dos materiais;

**Capítulo 5:** neste capítulo, segue a análise dos resultados obtidos no estudo de caso, os resultados dos processos no software utilizado. Ilustrações destes processos e discussões sobre os resultados obtidos.

segue as considerações e conclusões do experimento;

**Capítulo 6:** segue as considerações e conclusões do experimento;

**Capítulo 7:** este capítulo segue com sugestões para novas pesquisas sobre o assunto.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Escoamento Superficial**

#### **2.1.1. Definição**

Devido à formação das cidades e o crescimento da população aumentou a interferência do homem no meio ambiente, proporcionando desgastes que dificultam o escoamento superficial da água. O engenheiro e escritor Tucci (1998, p. 100), explica que escoamento superficial é a parte do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida.

Ainda conforme o mesmo autor, quando a água atinge a bacia rural e possui cobertura vegetal, o escoamento na superfície sofre interferência desta cobertura e grande parte dele se infiltra e o escoamento em bacias urbanas é regido pela interferência do homem através de superfícies impermeáveis e sistemas de esgoto pluviais.

A teoria dos estudiosos Garcez e Alvarez, 1988 transcrita a seguir, define escoamento superficial da seguinte maneira:

O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito da gravidade, se desloca na superfície da terra. O estudo do escoamento superficial engloba, portanto, desde a simples gota de chuva que tomba sobre o solo, saturado ou impermeável, e escorre superficialmente, até o grande curso de água que desemboca no mar. (GARCEZ E ALVAREZ, 1988, p. 211).

Conclui-se que o escoamento superficial dá-se em decorrência da dificuldade que a água encontra de infiltrar-se no terreno, devido às transformações ambientais sofridas pelo solo, assim a mesma esco pela terra até encontrar um canal onde possa vazar.

#### **2.1.2. Fatores que Influenciam o escoamento superficial**

Os principais fatores que influenciam o escoamento são de natureza climática, fisiográficos e por ações antrópicas, para Barbosa Junior, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto as definições destes fatores podem ser dadas da seguinte forma:

❖ **Fatores Climáticos** – os fatores que influenciam o escoamento superficial resultam das características de intensidade e duração da precipitação. Analisando essas características, pode-se afirmar que quanto maior a intensidade da precipitação, mais rápido o solo atinge sua capacidade de infiltração gerando assim o escoamento superficial; a duração da precipitação tem influencia direta no escoamento superficial, pois para chuva de intensidade constante, haverá tanto mais oportunidade de ocorrer escoamento quanto maior for a duração da chuva; a precipitação que ocorre quando o solo está úmido (devido a uma chuva anterior) terá maior chance de produzir escoamento superficial.

❖ **Fatores Fisiográficos** - os fatores fisiográficos mais importantes a influenciar o escoamento superficial são a área e a forma da bacia hidrográfica, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo e a topografia da bacia. A influência da área da bacia é óbvia, pois esta é a coletora da água de chuva: quanto maior a sua extensão, maior a quantidade de água que pode captar. Além disso, conforme visto no início do curso, a área constitui-se em elemento básico para o estudo das demais características físicas.

Na análise da influência da forma da bacia hidrográfica sobre o escoamento superficial gerado por uma dada chuva pode-se dizer que as bacias compactas tendem a concentrar o escoamento no canal principal que drena a bacia, aumentando os riscos de inundação. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, isto é, quanto mais permeável for o solo, maior será a velocidade com que ele pode absorver a água e, logo, maior a quantidade de água que penetrará pela superfície do solo por unidade de tempo – o que diminui o escoamento superficial. O efeito da topografia sobre o escoamento superficial se faz sentir, principalmente, através da declividade da bacia, da presença de depressões acumuladoras na superfície do solo, bem como do traçado e da declividade dos cursos d'água que drenam esta bacia. Bacias íngremes produzem escoamento superficial mais rápido e mais volumoso, por ser menor a chance de infiltração. Já a presença de depressões acumuladoras de água retarda o escoamento superficial, que passa a ocorrer somente após terem sido excedidas estas capacidades retentoras.

❖ **Fatores Antrópicos** – é definida pelo o uso do solo e obras hidráulicas realizadas nos rios e nos seus entornos. Uma comparação destas ações pode ser feita considerando uma barragem, acumulando a água em seu reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação para jusante. Já o alinhamento de um rio produz um efeito inverso ao da barragem; em um curso d'água retificado tem-se aumentada a velocidade do escoamento superficial. Ainda, a derivação de água da bacia, ou para a bacia, bem como o uso da água para irrigação ou a drenagem do terreno, podem constituir-se em fatores a considerar. Em uma dada seção transversal de um curso d'água, as variações das vazões instantâneas são tanto maiores quanto menor a área da bacia hidrográfica; Para uma mesma área da bacia de contribuição, as variações das vazões instantâneas no curso d'água serão tanto maiores e dependerão tanto mais das chuvas de alta intensidade quanto:

- maior for a declividade do terreno;
- menores forem as depressões retentoras de águas;
- mais retilíneo for o traçado e maior a declividade do curso d'água;
- menor for a quantidade de água infiltrada; e
- menor for a área coberta por vegetação.

## **2.2. Permeabilidade**

### **2.2.1. Definição**

Permeabilidade do solo define a capacidade de infiltração e conseqüentemente o volume de escoamento superficial, segundo Barbosa Junior, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto, quanto maior a permeabilidade do solo maior será a quantidade e velocidade da parcela de água que irá infiltrar pelo o solo em um tempo bem menor, reduzindo assim o escoamento superficial que depende diretamente da quantidade de água retida pelo o solo.

Caputo define permeabilidade da seguinte forma:

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o seu grau de permeabilidade expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade”.

O conhecimento da permeabilidade de um solo é de importância em diversos problemas práticos de engenharia, tais como: drenagem, rebaixamento do nível d’água, recalques, etc. (CAPUTO, 1988, p. 66).

O grau de permeabilidade do solo é expresso numericamente pelo o coeficiente de permeabilidade do solo, este é obtido pela velocidade de filtração da água no solo, o coeficiente mede a maior ou menor capacidade que o solo tem, quando saturado, de escoamento da água através dos vazios. (GARCEZ E ALVAREZ, 1988).

Fração de solo	K (m/s)
argilas	$< 10^{-9}$
siltes	$10^{-6}$ a $10^{-9}$
areias argilosas	$10^{-7}$
areias finas	$10^{-5}$
areias médias	$10^{-4}$
areias grossas	$10^{-3}$

Figura 1. Valores de Coeficiente de Permeabilidade

Fonte: CAPUTO, 1996.

### 2.2.2. Permeabilidade em áreas urbanas

As superfícies permeáveis deveriam estar presentes em todas as áreas, sejam urbanas ou rurais, segundo publicação do site [www.arquidicas.com.br](http://www.arquidicas.com.br), cidades e loteamentos devem ter suas áreas verdes e calçadas com canteiros gramados, o que é positivo tanto no âmbito visual quanto no de segurança a população, pois permiti que o solo drene parte das aguas da chuvas.

Já existem vários meios de contribuir com a permeabilidade urbana e reduzir também os índices de alagamento, são as pavimentações permeáveis, que podem ser de blocos vazados ou placas drenantes e também o asfalto drenante entre outros.



Figura 2: Blocos Vazados de Concreto

Fonte: ([http://www.fkct.com.br/piso\\_de\\_concreto\\_16\\_faces.html](http://www.fkct.com.br/piso_de_concreto_16_faces.html))



Figura 3: Placa drenante

Fonte: ([http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/18/placa\\_drenante\\_piso\\_drenante\\_pavimento\\_permeavel\\_concreto\\_poroso](http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/18/placa_drenante_piso_drenante_pavimento_permeavel_concreto_poroso))



Figura 4: Permeabilidade Urbana

Fonte: (<http://www.arquidicas.com.br/o-que-e-permeabilidade/2013>)

### 2.3. Impermeabilidade

A impermeabilidade segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas 9575 (ABNT) é a propriedade de um produto de ser impermeável. Já a impermeabilização é o produto resultante de um conjunto de componentes e elementos construtivos que tem como objetivo proteger as construções contra as ações destrutivas de fluidos, de vapor e da umidade.

De uma forma geral a impermeabilização consiste em tornar algo ou algum objeto impermeável, isto é, fazer com que a água ou outro fluido não penetre o material. (GARCEZ, 2013).

Nos solos quanto maior a área impermeabilizada menor a quantidade de água que penetra no solo, conseqüentemente ocorre varias mudanças no ambiente, nas bacias hidrográficas essas mudanças provocam uma queda na qualidade da água, redução nas vazões dos rios nos períodos chuvosos, o aumento do volume de resíduos sólidos e em contrapartida a poluição. (TUCCI e MARQUES, 2000).

Com crescimento da urbanização a cobertura das bacias foram em grande parte impermeabilizadas, com edificações e pavimentos, isso gera algumas alterações como a redução da infiltração no solo, onde o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial, esta redução diminui o nível do lençol freático por falta de sedimentação nos aquíferos, além da redução na evapotranspiração devido a retirada da cobertura natural do solo. (TUCCI, 2007).

### **2.3.1. Reflexos da Impermeabilidade**

As inundações ocorrem principalmente nas áreas urbanas e parte da combinação de eventos hidrológicos que ocorrem em áreas ocupadas sem planejamento urbano, a deficiência no planejamento é reflexo do crescimento acelerado nas áreas urbanas.

Segundo pesquisa realizada pelo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o crescimento populacional das grandes cidades e o conseqüente aumento de áreas impermeabilizadas nas bacias hidrográficas, assoreamento, e poluição nos corpos d'água além das deficiências no planejamento de sistemas de drenagem urbana, compõem os principais problemas que afligem a população brasileira.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) da cidade de Palmas-TO, no contexto urbano inundações podem ser causadas em decorrência da:

-Urbanização: o aumento da ocupação do solo urbano por edificações e obras de infraestrutura viária, resulta em maiores áreas impermeáveis, cuja conseqüência é o aumento das velocidades de escoamento superficial e a redução da permeabilidade.

-Áreas ribeirinhas: onde os rios possuem dois leitos, o leito menor é por onde a água escoar na maior parte do tempo e o leito maior que costuma ser inundado ao menos uma vez a cada dois anos.

## **2.4. Drenagem Urbana**

O sistema de drenagem é composto por um conjunto de medidas preventivas, minimizando os riscos de inundações para a população, diminuindo assim os prejuízos causados pelas inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica. Em síntese a drenagem urbana é o gerenciamento da água da chuva que escoar no meio urbano.

### **2.4.1. História e Definição**

As cidades e os cursos d'água sempre tiveram uma grande ligação ao longo da história. As cidades se desenvolviam próximas aos cursos d'água devido à facilidade de seu suprimento para necessidades higiênicas, como também para evacuação dos dejetos, além da facilidade para produção agrícola. Apesar dos benefícios ocorriam inundações frequentemente, fora as inundações as condições de vida foram ficando insustentáveis, pois a população vivia em meio a lama e esgotos junto ao sistema viário.

O crescimento da população só se intensificou agravando mais a situação de insalubridade, em função de grandes epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa no século XIX e dos consequentes avanços da epidemiologia, surgiram os princípios do *higienismo*. Esses princípios base dos chamados *Sistemas clássicos de drenagem*, preconizava a evacuação rápida das águas pluviais, através de condutos, preferencialmente subterrâneos, permitindo melhoria das condições sanitárias e da circulação viária. (RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 9 n.4 Out/Dez 2004, 05-19)

Com o crescimento das cidades e a urbanização, um dos sistemas mais afetados é o de drenagem, tanto pelas dificuldades de esgotamento das águas pluviais como também por interferências dos sistemas de infraestrutura, gerando cada vez problemas na qualidade de vida da população. A ausência de um sistema de drenagem pode trazer vários tipos de transtornos a população, após precipitações significativas causa inundações e alagamentos,

além de doenças como a leptospirose, diarreias, malárias entre outras. Um sistema de drenagem se faz necessário para que toda água seja drenada de forma eficiente evitando assim estes transtornos. ( FUNASA, 2004).

#### **2.4.2. Classificação de Macro e Micro Drenagem**

Os sistemas de drenagem urbana são classificados de acordo com suas dimensões, estes sistemas devem ser planejados de acordo com o planejamento urbano, para que sejam eficientes e atenda todas as necessidades da população, podem ser de acordo com a Funasa (2004):

Macro drenagem – Conjunto de obras que visa melhorar as condições de escoamento de forma a atenuar os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos trechos mais fundos dos rios. Responsável pelo o escoamento final das águas, pode ser formada por grandes galerias, canais naturais ou artificiais.

Micro drenagem – Definida como sistema de condutos pluviais a nível de loteamento ou rede primaria urbana, este sistema se adapta ao sistema de circulação viária, são as bocas de lobo, sarjetas, poços de visitas, condutos e tubos de ligações.

“O sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. Inclui ainda a hidrografia e os talwegues.” (PMSB Palmas, 2014, p. 4).

#### **2.5. Bacia Hidrográfica**

Bacia Hidrográfica pode ser definida como o conjunto de áreas com declividade voltada para um determinado curso de água, fechada topograficamente em um determinado ponto do curso d'água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através deste ponto. A cobertura e o uso da bacia hidrográfica tem um papel muito importante em relação ao comportamento hidrológico da bacia. O acelerado crescimento populacional e a ocupação desordenada do solo fez com que o tipo de cobertura do terreno das bacias se

modifique, o que pode alterar até as características das bacias no decorrer do tempo. (GARCEZ E ALVAREZ, 1988).

Devido suas características naturais, as bacias hidrográficas tem se tornado uma unidade espacial de grande importância para gerenciamento de atividades de uso e de conservação dos recursos naturais, ainda mais diante da nossa situação atual onde a pressão sobre o ambiente em função do crescimento populacional e o desenvolvimento das cidades tem só aumentado. (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2004).

De acordo com o Artigo 1º, inciso V da LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997, bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

## **2.6. Uso e Ocupação do Solo**

A lei de uso e ocupação do solo segundo o Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios elaborado pelo o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Fundação Estadual do Meio Ambiente, 1995 regulamenta a utilização do solo em todo o território municipal, é de competência e interesse total do município. É um instrumento de controle de uso da terra, da densidade populacional, da localização e finalidade.

Na lei de uso e ocupação do solo são fixadas as exigências fundamentais de ordenação do solo, o que pode evitar a degradação do meio ambiente e atividades indevidas no meio urbano, sendo assim é abordado alguns aspectos como, controle de densidade demográfica em relação ao tipo de ocupação do terreno, definição de critérios de paisagismos evitando poluição visual, controle de desmatamento nos leitos de rios, evitando assoreamento dos rios, entre outros.

O uso e ocupação do solo é uma forma de planejamento urbano, podendo-se construir o conceito de que o Uso do Solo é o processo de produção e reprodução social no espaço urbano e a Ocupação do Solo é a forma que a edificação pode ocupar o terreno urbano. O termo uso e ocupação do solo são definidos conforme normas relativas à densidade, regime de atividades e dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo, estes configuram o regime urbanístico. (TAKEDA, 2013).

O uso e ocupação do solo do município de Palmas é regido pela Lei nº. 17 de Fevereiro de 1993, essa lei define a organização e controle do uso do solo como sendo a área da sede urbana do município de Palmas delimitada em zonas de uso que se especificam de acordo com a sua destinação predominante. Essas zonas resultam do relacionamento entre o exercício das funções da cidade e a ocupação urbana, definindo, conforme a destinação do solo urbano, as atribuições programadas com relação ao seu uso e ocupação. (PALMAS, 1993).

## **2.7. Ferramentas de Geoprocessamento**

A necessidade de informações do nosso meio geográfico, para planejamento urbano, obras de engenharia, transporte entre outros sempre teve grande importância para um bom desenvolvimento da sociedade. O desenvolvimento da tecnologia possibilitou o conhecimento e armazenamento destas informações passando então a existir o geoprocessamento que é um conjunto de coleta de dados, que trata, manipula, e distribui informações a partir de um banco de dados.

Simplificadamente pode-se dizer que, com o advento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas. A ligação técnica e conceitual destas ferramentas levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada Geoprocessamento. (ROCHA, 2000, p. 17).



Figura 5: Metodologia do Geoprocessamento

Fonte: (<http://www.betim.mg.gov.br>)

### 2.7.1. Sistema de Informações Geográficas

O sistema de informações geográficas (SIG) é uma ferramenta apoiada pelos princípios metodológicos do Geoprocessamento, para Delazari, 2011 SIG é um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que por meio de técnicas, integra dados. O que torna possível coletar, armazenar, tratar, analisar e disponibilizar a partir de dados georreferenciados e de informações obtidas através de aplicações, visando maior agilidade e facilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento.

Os SIG são sistemas criados para trabalhar dados referenciados através de coordenadas geográficas, é um sistema de banco de dados com capacidades específicas para os dados referenciados geograficamente. (MENDES E CIRILO, 2001).

Segundo Rocha (SIG) é definido da seguinte maneira:

Um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos. (ROCHA, 2000, p. 48).

Ainda segundo Rocha (2000), as características de um SIG são bastante variadas, pois possuem vários tipos de estrutura de dados, modelos de bancos de dados, sistemas de análises entre outras, além das habilidades que possui existem alguns sistemas integrados na ferramenta, como:

- ❖ Sistema de Aquisição – São constituídos de programas ou funções de um programa que possuem capacidade de importar os formatos de dados disponíveis.
- ❖ Banco de Dados – São formados pelos os bancos de dados espaciais, descrevendo a forma e posição das características da superfície do terreno, e pelo o banco de dados de atributos, que descreve os atributos e qualidades destas características.
- ❖ Sistema de Gerenciamento – São as principais ferramentas disponíveis atualmente para o armazenamento, manipulação e organização de grandes volumes de informações.



Figura 6: O SIG como Sistema de Apoio à Decisão.

Fonte: ROCHA (2000)

## 2.7.2. Sensoriamento Remoto

### 2.7.2.1. ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), sensor que está a bordo do satélite Terra, este sensor representa um avanço em termos de resolução espectral. O sensor ASTER é fruto da cooperação entre Japão e os Estados Unidos da América, onde o Japão foi responsável pela construção do sensor e os Estados Unidos pelo o satélite. A plataforma Terra que carrega o sensor ASTER, foi lançada em 18 de dezembro de 1999, em órbita sol-síncrona, altitude de 705Km, período orbital de 98,9 minutos e cobertura total da terra em 16 dias.

As cenas imageadas pelo sensor ASTER tem dimensões de 60 x 60km. O ASTER é formado pelos seguintes subsistemas: Visível e Infravermelho Próximo (VNIR), com três bandas e resolução espacial de 15 metros; Infravermelho Médio (SWIR), com seis bandas e resolução espacial de 30 metros; e Infravermelho Termal (TIR), com cinco bandas e resolução espacial de 90 metros.

#### 2.7.2.2. Delimitação Automática por ASTER

Os dados provenientes do ASTER apresentam elevado potencial de utilização, e o processamento destes dados em ambiente SIG apresenta vantajosos resultados, permitindo de forma rápida e eficiente a delimitação de áreas de bacias hidrográficas.

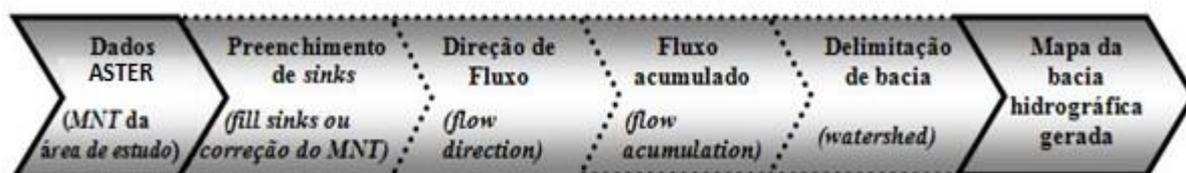


Figura 7: Principais etapas realizadas para delimitação de bacias hidrográficas a partir de dados ASTER.

Fonte: (<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1/2010>)

## 2.8. Análises de Imagens de Satélite

As imagens de satélite são obtidas a partir do sensoriamento remoto, este pode ser definido como “a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da terra, sem contato físico com eles.” (ROCHA, 2000, p. 115). Como não há contato com os objetos a obtenção de dados é feita pela radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida pelo o objeto em estudo.



Figura 8: Diferentes tipos de coleta de dados em sensoriamento remoto

Fonte: (<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>)

Alguns elementos são necessários para o funcionamento do sistema de sensoriamento remoto:

- ❖ Radiação Eletromagnética (REM) - Energia eletromagnética que se propagam por meio de ondas eletromagnéticas ou partículas, é o meio através do qual os dados dos objetos são transmitidos ao sensor.
- ❖ Sensor - Equipamentos que focalizam e registram a radiação eletromagnética proveniente dos objetos.

### 2.8.1. Fotointerpretação de Imagens de Satélite

Conforme a teoria de Rocha (2000) a fotointerpretação é definida como o ato de examinar uma imagem com o propósito de identificar objetos e determinar seus significados. Na engenharia civil este processo é muito utilizado, bem como em outras áreas.

Ainda conforme o mesmo autor, o uso de um passo a passo é a chave para este processo, que ajuda na identificação das características fotográficas e auxilia os fotointérpretes na seleção de diferentes exemplos que convergem com as características a serem identificadas. A tonalidade fotográfica (cor), forma, padrão ou modelo, densidade, textura, tamanho, sombra, posição e adjacências, são fatores de reconhecimento que direcionam a interpretação das imagens.

Os elementos de reconhecimento segundo nota de aula da Universidade Federal do Paraná (UFPR), podem ser definidos da seguinte forma:

- ❖ Tonalidade e Cor – Intensidade de energia eletromagnética refletida por um tipo de alvo na superfície terrestre, em uma determinada banda do espectro eletromagnético.
- ❖ Forma e Tamanho – Definida através da geometria dos objetos onde o tamanho é diretamente proporcional à escala. É um elemento importante que facilita o reconhecimento de alguns alvos na superfície terrestre.
- ❖ Padrão – É um elemento de grande importância que está associado ao tipo de solo, rochas e estruturas geológicas na área em estudo.
- ❖ Textura – São os arranjos de tons de uma imagem, resulta na mudança do aspecto, onde pode ser suave ou rugoso dependendo da escala utilizada.
- ❖ Associação – Elementos ou objetos que estão regularmente associados, nos quais um tende a ocorrer em função do outro.
- ❖ Sombra – É outro elemento, não menos importante, mas na maioria das vezes dificulta a interpretação das imagens, porque esconde a informação onde ela esta sendo projetada.

## 2.8.2. Classificação de Imagens

A classificação de imagens se dá pelo o processo de extração de informações em imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos que são utilizados para mapear áreas da superfície terrestre que correspondam aos temas de interesse.

A classificação de imagens é subdividida em Supervisionada e Não Supervisionada, dependendo do algoritmo utilizado. As duas classificações passam por duas fases, a fase do treinamento e a fase da classificação. (MOREIRA, 2003)

❖ Classificação Supervisionada – Nesta classificação o usuário define alguns pixels que irá gerar os padrões na amostra de modelação, e o software executa a tarefa de identificar os demais pixels pertencentes a cada padrão, considerando algumas regras pré-estabelecidas.

A classificação supervisionada exige um conhecimento prévio de alguns aspectos das áreas de estudo, o que são consideradas verdades terrestres, essas áreas serão os padrões de comparação para os pixels desconhecidos.

❖ Classificação não Supervisionada – Nesta classificação os padrões de treino não se encontram definidos, neste caso o software decide, com base em estatísticas, quais estruturas serão encontradas nos dados que permitirá a divisão em grupos.

Na classificação não supervisionada o usuário não se preocupa com a homogeneidade das classes ao definir as áreas de classificação, as áreas escolhidas devem ser heterogêneas para garantir que todas as possíveis classes estejam incluídas na classificação.

### **3. METODOLOGIA**

Considerando a análise de uso e ocupação do solo para estudo do escoamento superficial e a necessidade de obter informações sobre a área de estudo fez-se o uso da ferramenta SIG ArcGis 10.2.2 e da imagem do município de Palmas do satélite SPOT com uso de uma rotina específica para obtenção dos dados. Na seção a seguir, é apresentada a metodologia aplicada para a realização dessa pesquisa, em um estudo de caso pelo método descritivo quantitativo.

#### **3.1. AREA DE ESTUDO:**

A quadra 604 Sul na cidade de Palmas- TO, foi escolhida como amostra para a realização de um estudo de investigação do índice de permeabilidade do solo e o coeficiente de escoamento superficial, a quadra em estudo apresenta alagamentos em pontos específicos durante o período chuvoso, principalmente na entrada da quadra, onde percebemos uma diferença de nível em relação a área total da quadra. O estudo na quadra 604 Sul buscou identificar problemas pontuais que tem interferido na infiltração das águas pluviais, o que reduz a capacidade de absorção da água e aumentando o escoamento superficial, estes estudos foram realizados a partir da fotointerpretação e a classificação de imagem.

A imagem a seguir mostra a área do estudo de caso a ser trabalhado nesta pesquisa científica:

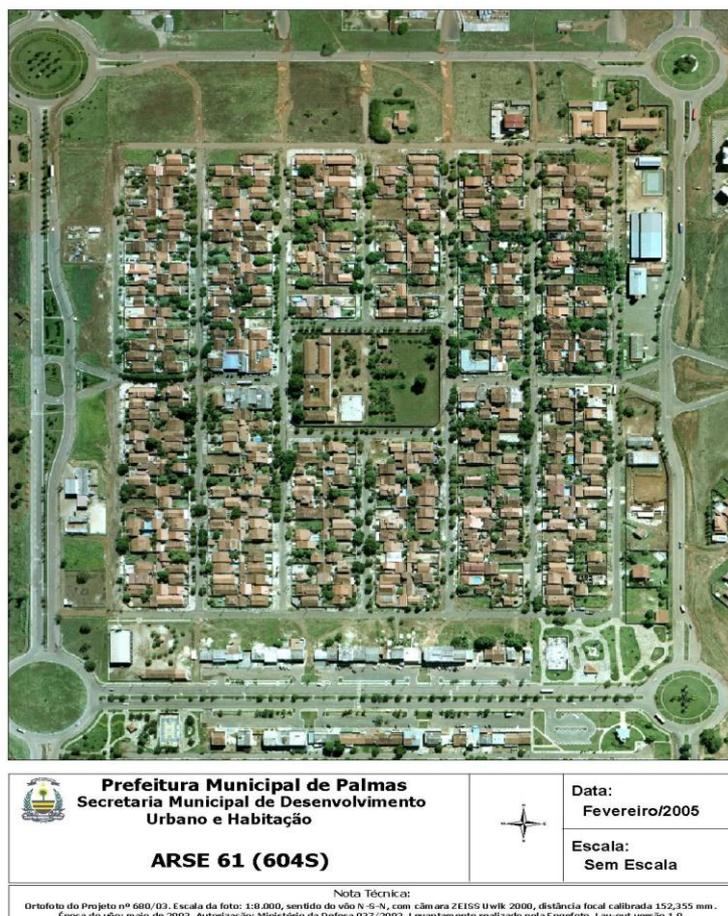


Figura 9: Imagem aérea da Quadra 604 Sul

Fonte: <http://srvsefin.palmas.to.gov.br/portalprefeitura/servicos/seduh/>

## 3.2. MODELO DIGITAL

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi realizados processos de produção de dados digitais utilizando imagem ASTER, dados de uso e ocupação do solo da cidade de Palmas. Estas informações foram manipuladas usando o software ArcGis, além de suas extensões como o ArcHydro que foi utilizado para delimitação de Bacia.

### 3.2.1. Delimitação de Bacia:

Para delimitar a bacia hidrográfica onde está localizada a quadra em estudo foi utilizado a ferramenta ArcHydro Tools, onde a geração da bacia exige uma DEM (Digital Elevation Model) e os seguintes passos:



Figura 10: Fill Sinks;  
Fonte: Próprio Autor

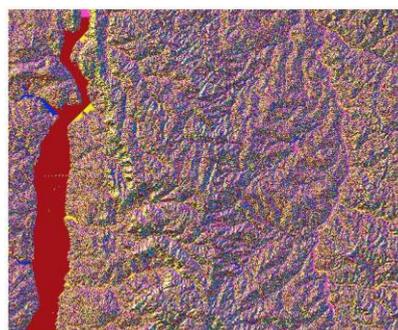


Figura 11: Flow Direction;  
Fonte: Próprio Autor

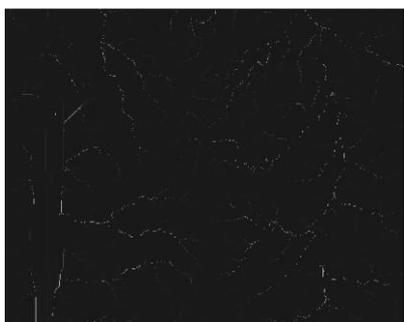


Figura 12: Flow Accumulation;  
Fonte: Próprio Autor

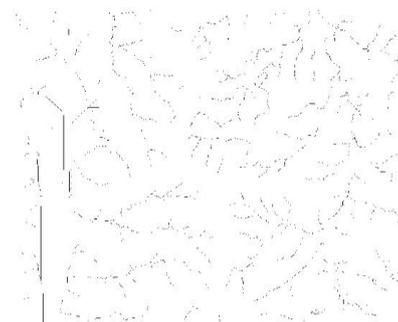


Figura 13: Stream Definition;  
Fonte: Próprio Autor



Figura 14: Stream Segmentation;  
Fonte: Próprio Autor

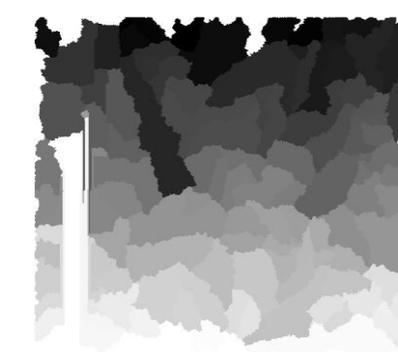


Figura 15: Catchment Grid Delineation;  
Fonte: Próprio Autor

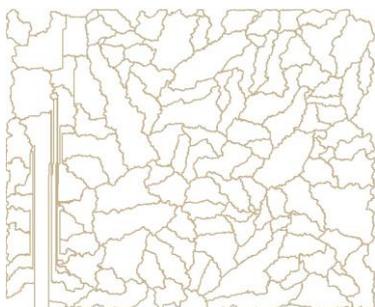


Figura 16: Catchment Polygon Processing;  
Fonte: Próprio Autor

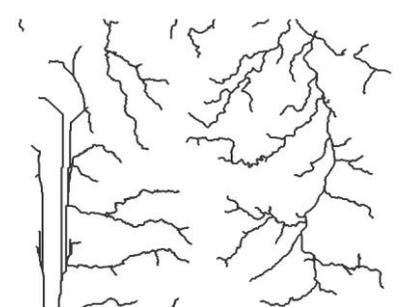


Figura 17: Drainage Line Processing;  
Fonte: Próprio Autor

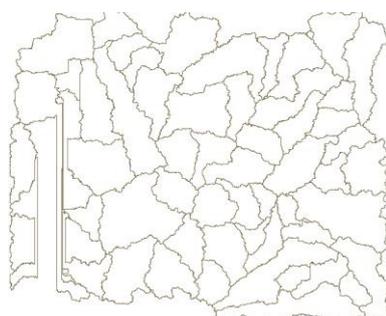


Figura 18: Adjacent Catchment Processing;  
Fonte: Próprio Autor

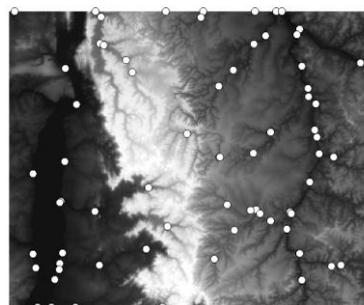


Figura 19: Drainage Point Processing;  
Fonte: Próprio Autor

Seguindo este passo a passo é possível obter a Bacia Hidrográfica, definindo o ponto inicial com o Batch Point Generation e gerando a bacia com a função Watershed Delineation.

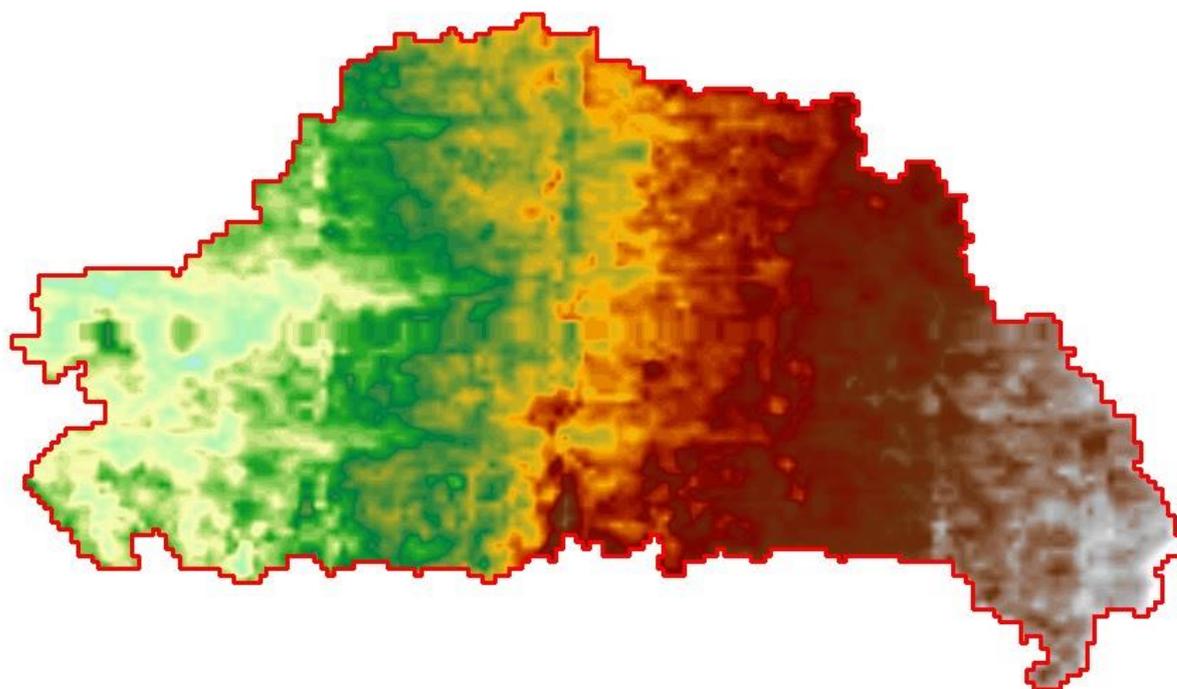


Figura 20: Modelo Digital da Bacia do Córrego da Prata  
Fonte: Próprio Autor

### 3.3. ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DA QUADRA

A análise de ocupação da quadra 604 Sul foi realizada de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo do município de Palmas, onde estabelece as zonas de uso. Considerando as modificações ocorridas na quadra, foi possível analisar suas condições reais, avaliando os tipos de edificações construídas.

Por meio dos recortes das imagens extraídas do Google Earth, pode se observar a ocupação ocorrida na quadra no período de 2002 a 2015:



Fonte: Google Earth 2002

Fonte: Google Earth 2015

Figura 21: Comparação de ocupação do solo entre 2002 e 2015 (604 Sul)

A imagem posicionada à esquerda mostra a situação da Quadra 604 Sul no ano de 2002 e à esquerda mostra a situação da mesma Quadra no ano de 2015. Conforme se pode observar nas imagens, houve um considerável aumento das edificações, impermeabilização do solo e conseqüente redução das áreas verdes.

### 3.4. DRENAGEM URBANA

Conforme o Decreto 700/2014, Anexo III – Drenagem Urbana do município de Palmas, o sistema de drenagem é o conjunto da infraestrutura para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais de uma cidade, podendo ser classificado como microdrenagem e macrodrenagem.

A necessidade de sistemas de redes de drenagem é identificada a partir do Índice de Cobertura por Rede de Drenagem (ICR), ainda conforme mesmo Decreto 700/2014, Anexo III – Drenagem Urbana do município de Palmas, o ICR considera duas variáveis para atendimento do sistema, sendo a área onde existe drenagem implantada e em carga e a área urbanizada da bacia analisada, para a análise dos resultados considera-se as seguintes informações mostradas na figura 22:

- ICR acima de 1,15: cobertura ideal com 15% de folga do sistema para o adequado espaçamento e planejamento de obras futuras de acordo com o crescimento da urbanização na bacia hidrográfica;
- ICR entre 1,00 e 1,15: nível em que se torna desejável a existência de obras e projetos em andamento afim de se evitar no curto prazo problemas decorrentes da falta de drenagem;
- ICR entre 0,75 e 1,00: neste intervalo é possível a existência de problemas no sistema de drenagem, o que implica a necessidade de serem adotadas medidas com efeito no curto prazo;
- ICR abaixo de 0,75: os locais com índice abaixo de 0,75 provavelmente apresentam episódios relacionados a problemas no sistema de drenagem. Neste intervalo, as ações mais críticas deverão ser adotadas de forma emergencial.

Figura 22: Condições de ICR.

Fonte: [http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB\\_Palmas\\_Volume\\_03\\_Drenagem\\_Urbana\\_Versao\\_Final\\_1.pdf](http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf)

Os índices de cobertura encontrados por bacias hidrográficas urbanas existentes no Município de Palmas estão relacionados na Figura 23, em destaque as bacias do Córrego Brejo Comprido e Córrego da Prata.

<b>BH</b>	<b>ICR (atual)</b>
BH - Ribeirão Água Fria	0,79
BH - Córrego Sussuapara	0,79
BH - Córrego Brejo Comprido	0,87
BH - Córrego Prata	0,39
BH - Ribeirão Taquaruçu	0,49
BH - Córrego Machado	0,52
BH - Córrego Taquari	0,48
BH - Córrego Cipó	0,50
BH - Córrego Pé do Morro	0,10

Figura 23: ICR das Bacias Hidrográficas Urbanas - Palmas - TO.

Fonte: [http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB\\_Palmas\\_Volume\\_03\\_Drenagem\\_Urbana\\_Versao\\_Final\\_1.pdf](http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf)

A partir de visita na quadra 604 Sul foi possível identificar a ausência de drenagem na entrada e no interior da quadra, como mostra as figuras a seguir:



Figura 24: Entrada da Quadra  
Fonte: Autor/04 de Setembro de 2015



Figura 25: Interior da Quadra (Alameda 12)  
Fonte: Autor/04 de Setembro de 2015



Figura 26: Interior da Quadra (Alameda 01)  
Fonte: Autor/04 de Setembro de 2015



Figura 27: Interior da Quadra (Alameda 01 e 06)  
Fonte: Autor/04 de Setembro de 2015

### 3.5. FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Por meio da interpretação de imagens de satélite, foi possível colher informações que possibilita a interpretação e avaliação da ocorrência de áreas permeabilizadas e impermeabilizadas e calcular o escoamento superficial da Quadra 604 Sul.

O processo de fotointerpretação foi realizado de forma a se obter os percentuais de áreas permeáveis, áreas com cobertura e áreas pavimentadas ou calçadas. Considerando lotes e polígonos determinados dentro da quadra de estudo. A classificação foi feita por números que definiam as características do polígono, foi adotada 01 (um) para áreas permeáveis, 02 (dois) para áreas com cobertura, 03 (três) para áreas pavimentadas ou calçadas.

### 3.6. CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O conhecimento do escoamento superficial se dá através das seguintes formulas.

**Coefficiente de Runoff ( C ):** Coeficiente de Runoff, ou Coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume total de água precipitado.

$$C = \frac{\text{Vol}_s}{\text{Vol}_T} . \quad (01)$$

Onde:

C = Coeficiente de Runoff;

Vols = Volume de água escoada;

Volt = Volume de precipitação.

**Equação do Escoamento:** Para o calculo do coeficiente de escoamento superficial de uma bacia de superfícies variáveis, como bacias urbanas que podem apresentar superfícies permeáveis e impermeáveis é possível estimar o coeficiente a partir de uma ponderação dos coeficientes adotados, isso se da pela seguinte equação:

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t} . \quad (02)$$

Onde:

Cp e Ci = Coeficiente de escoamento da área da bacia permeável e impermeável;

Ap e Ai = área da bacia permeável e impermeável (m<sup>2</sup>);

At = área total da bacia (m<sup>2</sup>).

**Vazão (Q) - Método racional:** A vazão calculada pelo o método racional e expressa em metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s), é representada da seguinte forma:

$$Q = \frac{CiA}{3,6}$$

(03)

Onde:

Q = vazão superficial (m<sup>3</sup>/s);

C = coeficiente de Runoff (-);

i = intensidade de chuva (mm/h);

A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

Os coeficientes de escoamento ou Coeficiente de Runoff adotado foram retirados das imagens 28 e 29, onde contém as tabelas para obtenção dos coeficientes. Onde a primeira tabela é utilizada para áreas urbanizadas e a segunda para áreas rurais, considerando também as áreas permeáveis urbanas.

superfície	Coeficiente de runoff, C	
	intervalo	valor esperado
• pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
• cobertura: grama solo arenoso		
pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
• cobertura: grama solo pesado		
pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Figura 28: Valores de C recomendados pela ASCE (1969).

Fonte: [http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6\\_escoamento%20superficial.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6_escoamento%20superficial.pdf).

Tipo de Área	C'
<b>1. Topografia</b>	
• terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,30
• terreno, declividade de 3,0 a 4,0 m/km	0,20
• morros, declividade de 30 a 50 m/km	0,10
<b>2. Solo</b>	
• argiloso (impermeável)	0,10
• permeabilidade média	0,20
• arenoso	0,40
<b>3. Cobertura</b>	
• áreas cultivadas	0,10
• árvores	0,20

$C = 1 - (C'_1 + C'_2 + C'_3)$

Figura 29: Valores de C' para cálculo de C para áreas rurais (Williams, 1949)\*

Fonte: [http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6\\_escoamento%20superficial.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6_escoamento%20superficial.pdf).

**Equação de Intensidade Duração e Frequência (IDF):** Para obtenção da intensidade de chuva foi utilizado a equação IDF definida pelo PMSB (Plano Municipal de Saneamento Básico) da cidade de Palmas-TO.

$$i = \frac{749,97 \cdot Tr^{0,104}}{(t_d + 9)^{0,702}}$$

(04)

Onde:

i = intensidade de precipitação (mm/h);

Tr = Tempo de retorno adotado;

td = tempo de duração da chuva de projeto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o uso da imagem ASTER como principal fonte de informação, foi possível alimentar o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e juntamente com as rotinas de trabalho no ArcGis 10.2.2 obter os resultados como a geração da Bacia Hidrográfica na qual a quadra 604 Sul está inserida e gerar uma sub-bacia para maior detalhamento do estudo.

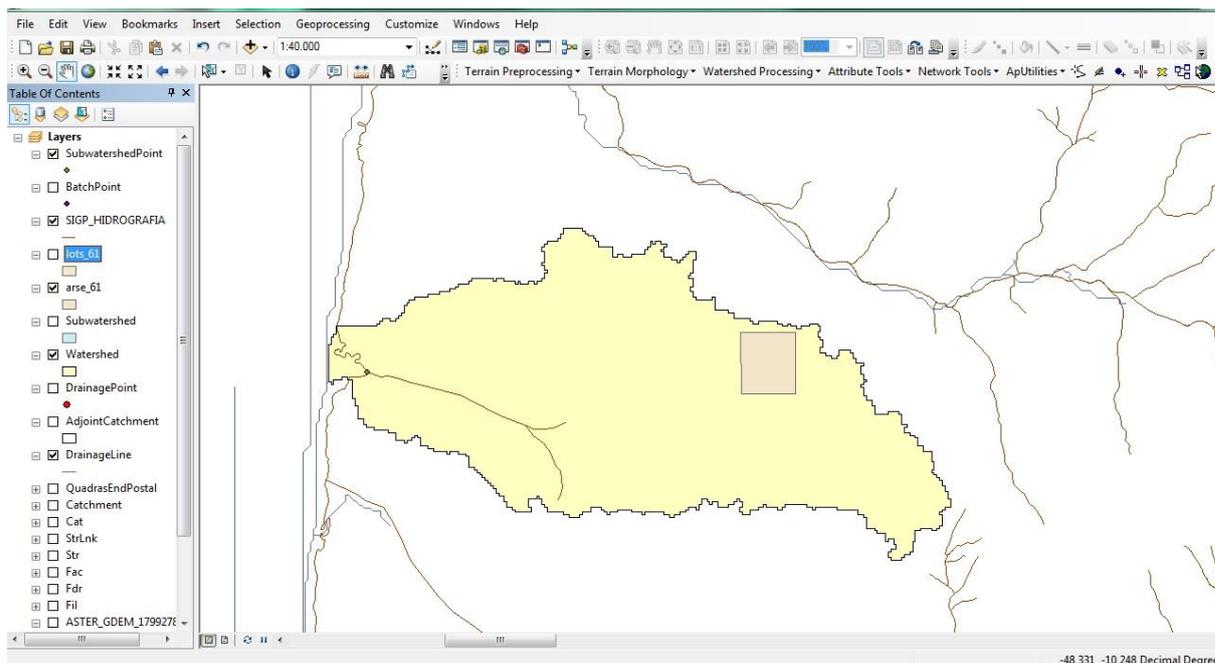


Figura 30: Bacia Principal Córrego da Prata

Fonte: Próprio Autor

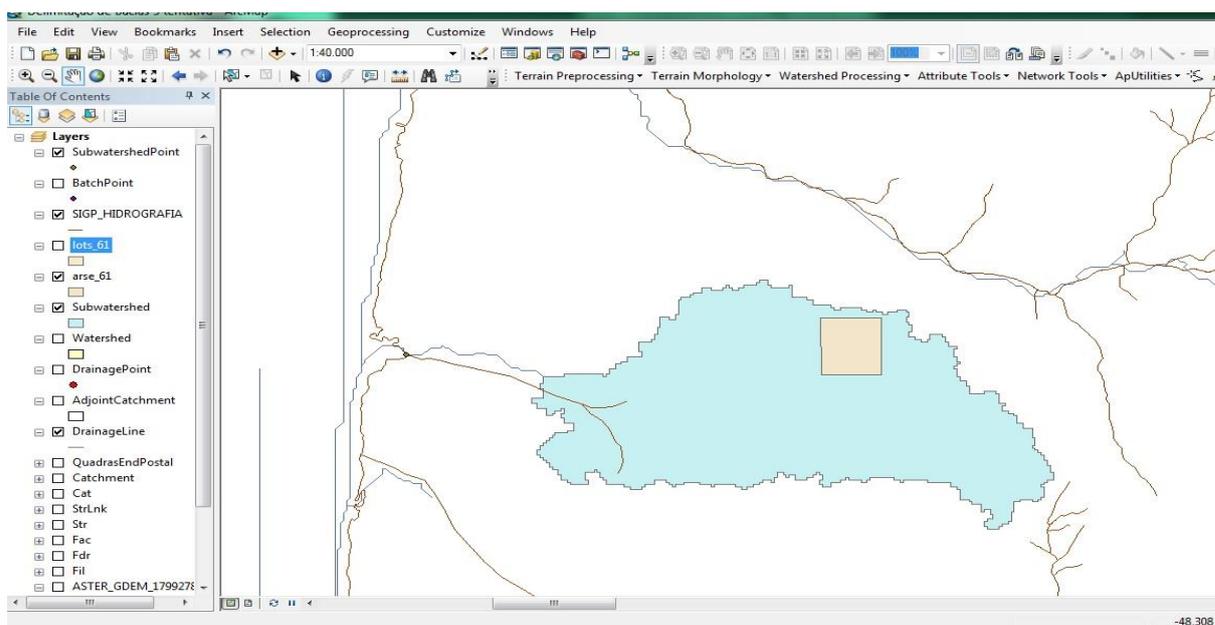


Figura 31: Sub-Bacia Córrego da Prata

Fonte: Próprio Autor

Posteriormente a delimitação da Sub-Bacia Córrego da Prata foi gerado as curvas de nível a partir da imagem ASTER, definindo assim as cotas de montante que apresentou altura de 300 m e cota de jusante de 240 m.

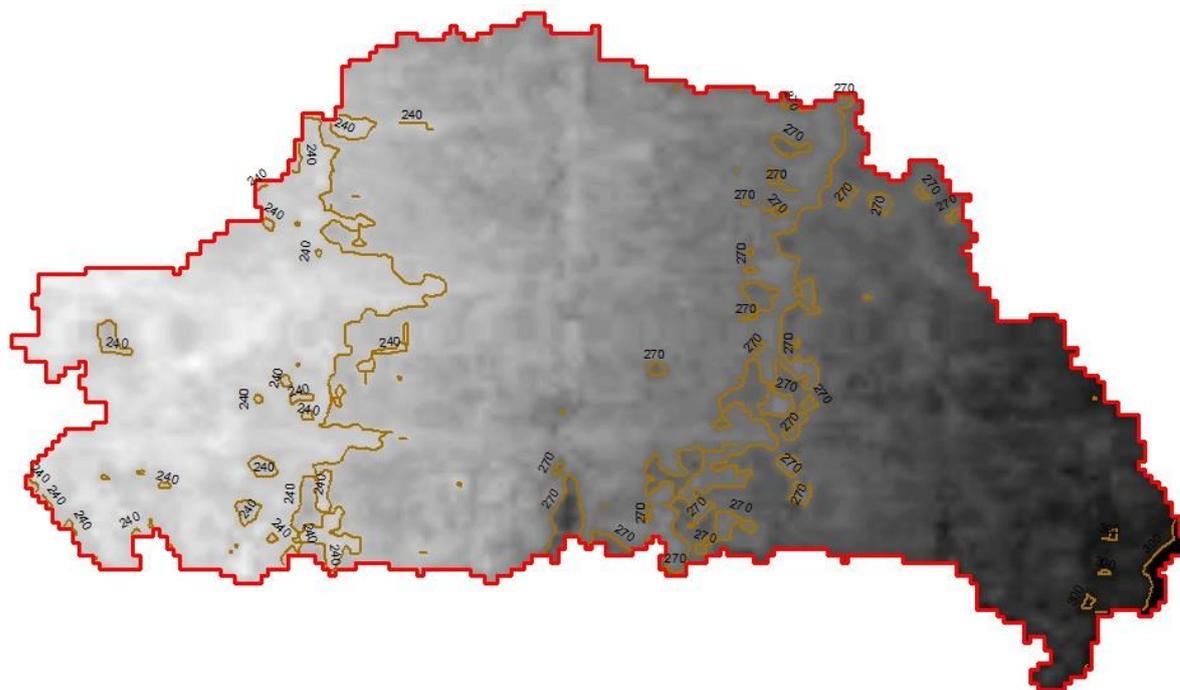


Figura 32: Curvas de Nível Sub-Bacia Córrego da Prata  
Fonte: Próprio Autor

A quadra 604 Sul está localizada na Cota 270 m da bacia do Córrego da Prata e no limite da bacia do Córrego Brejo Comprido, devido a sua localização próxima aos divisores de águas a quadra recebe uma contribuição de águas pluviais considerável, o que pode explicar os frequentes alagamentos principalmente na entrada e arredores da quadra.

Quanto a localização da quadra da pesquisa, foi feita uma comparação do Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO (PMSB), com a bacia gerada a partir da imagem ASTER utilizada na pesquisa, foi possível identificar uma divergência quanto a localização da quadra em relação a Bacia Hidrográfica.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO (PMSB) e os limites das bacias por ele estabelecido, a quadra 604 Sul está localizada dentro da Bacia do Córrego Brejo Comprido como mostra a figura 33. Enquanto que na bacia gerada na pesquisa a quadra está completamente inserida na Bacia do Córrego da Prata (figura 34).

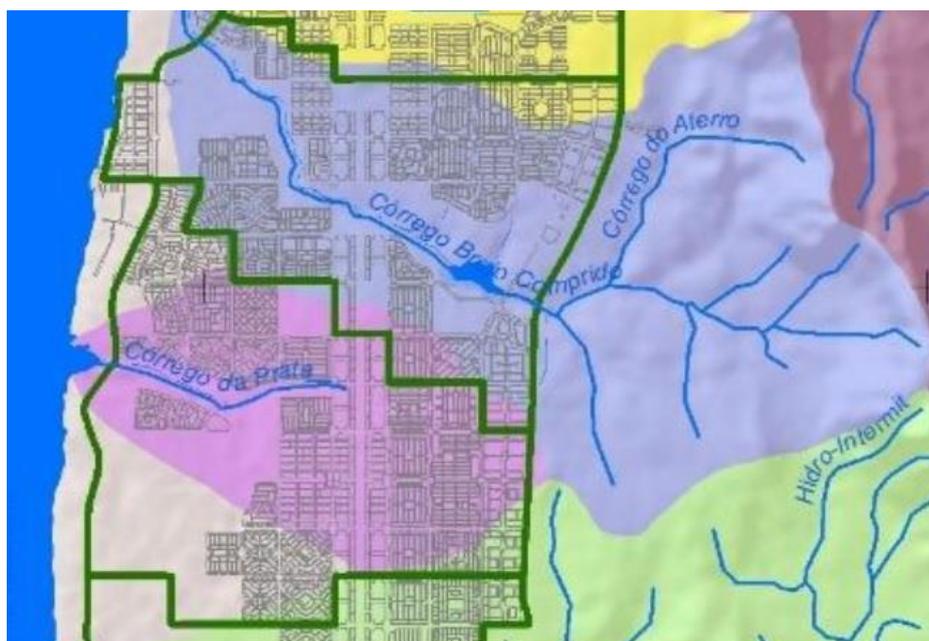


Figura 33: Divisão das Bacias (PMSB)

Fonte: [http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB\\_Palmas\\_Volume\\_03\\_Drenagem\\_Urbana\\_Versao\\_Final\\_1.pdf](http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf)



Figura 34: Bacias dos Córregos Brejo Comprido e da Prata.

Fonte: Próprio Autor

A ineficiência no sistema de drenagem na quadra e a grande quantidade de áreas impermeabilizadas, as contribuições dos telhados, o lançamento de águas pluviais dos

imóveis edificados diretamente nas vias de circulação traz uma sobrecarga nas poucas redes de drenagem existente nas proximidades da quadra.

O fato de a bacia do Córrego da Prata ter 100% da sua contribuição de área urbana, ocorre uma influencia direta no escoamento superficial, pois suas áreas são mais impermeabilizadas, devidos aos imóveis edificados, a existência de calçadas internas e externas na maior parte das edificações, além das vias de circulação pavimentada.

O processo de fotointerpretação foi dividida em 03 (três) classificações, sendo a classificação de áreas permeáveis, classificação de áreas com cobertura e a classificação de áreas pavimentadas ou calçadas. Os resultados obtidos foram representados em polígonos com cores representativas.

A figura 35 mostra o resultado da classificação das áreas que contém cobertura, onde foi utilizando o numero 02 (dois) como característica da cobertura e o zero para as áreas não descritas nesta situação.



Figura 35: Classificação de Áreas com Cobertura.

Fonte: Próprio Autor

Para a classificação das áreas pavimentadas foi utilizado o numero 03 (três) como característica, a figura 36 mostra o resultado desta classificação das áreas dos polígonos que contém áreas pavimentadas ou calçadas.



Figura 36: Classificação de Áreas Pavimentadas.  
Fonte: Próprio Autor

A ultima classificação definida para este estudo foi a de áreas permeáveis, estas áreas foram classificadas utilizando o numero 01 (um) como característica, a figura 37 mostra o resultado deste processo.



Figura 37: Classificação de Áreas Permeáveis.  
Fonte: Próprio Autor

Com os resultados da classificação foi possível montar a tabela 01, onde foi relacionado os tipos de classificação com as características adotadas e as quantidades encontradas em unidades de polígonos e em percentual. Diante dos resultados encontrados foi possível encontrar o índice de escoamento superficial da quadra e a vazão de saída.

Classificação	Características	Quantitativos	Percentual
<b>Polígonos Considerados</b>		<b>496</b>	
Permeável	1	38	8%
Cobertura	2	64	13%
Pavimento	3	1	0,2%
Cobertura/Permeável	2,1	100	20%
Cobertura/Pavimento	2,3	231	47%
Cobertura/Permeável/Pavimento	2,1,3	62	13%

Tabela 01: Resultados do Processo de Fotointerpretação.  
Fonte: Próprio Autor

A partir dos dados da tabela foi gerado um gráfico que melhor representa o processo da fotointerpretação, pois mostra as classificações em percentual, facilitando o entendimento. No gráfico é possível identificar que a quantidade de áreas impermeabilizadas predomina, gerando assim os problemas de pontos de alagamento e aumentando assim o escoamento superficial, objeto de estudo desta pesquisa.



Figura 38: Gráfico do Processo de Fotointerpretação.  
Fonte: Próprio Autor

Com os dados obtidos a partir da classificação por fotointerpretação e dos coeficientes adotados a partir da tabela de coeficientes de Runoff, foi possível calcular o coeficiente de escoamento da quadra que apresenta variações na sua cobertura e a vazão de água escoada pela quadra. Os dados obtidos foram calculados conforme cálculos a baixo:

Cálculo da intensidade de chuva - Equação IDF:

$$i = \frac{749,97 \cdot Tr^{0,104}}{(t_d + 9)^{0,702}}$$

Foi adotado um tempo de retorno ( $T_r$ ) de 5 anos, e tempo de duração ( $t_d$ ) de 30 minutos. Aplicando a equação IDF, obteve os seguintes resultados:

Para:

$t_d = 30 \text{ min} - i = 67,7 \text{ mm/h}$

$$i = \frac{749,97 \cdot 5^{0,104}}{(30+9)^{0,702}}$$

$$i = 67,78$$

Adotando assim uma intensidade média de 67,73 mm/h.

Coefficientes de Escoamento adotado:

Classificação	Características	C adotado	Percentual	Área (m <sup>2</sup> )	Área Total da Quadra
<b>Polígonos Considerados</b>		<b>496</b>			
Permeável	1	0,3	22%	91871,78	<b>417599,00</b>
Cobertura	2	0,95	50%	208799,50	
Pavimento	3	0,85	28%	116927,72	

Tabela 02: Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado e Área da Bacia.

Fonte: Próprio Autor

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t}$$

Com os dados da tabela 02 aplicando a equação do coeficiente, foi possível obter o C (coeficiente de escoamento superficial) da quadra 604 Sul. O coeficiente encontrado foi de 0,78.

$$C = \frac{(91871,78\text{m}^2 \times 0,3) + (208799,50\text{m}^2 \times 0,95) + (116927,72\text{m}^2 \times 0,85)}{417599,00 \text{ m}^2}$$

$$C = 0,78$$

Com o coeficiente da quadra, a intensidade média das chuvas e a área da quadra foi encontrado a vazão de água que escoar pela quadra, a vazão encontrada foi de 20,85 m<sup>3</sup>/s:

$$Q = \frac{C i A}{8,6}$$

$$Q = \frac{0,78 \times 67,73 \times 0,42}{8,6}$$

$$Q = 6,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Os resultados revelam que áreas impermeabilizadas, com sistema de drenagem ineficiente ou mesmo inexistente atreladas a acontecimentos de chuvas com grandes intensidades são responsáveis pelo o aumento das inundações, dos transtornos sociais e ambientais, além de alterar todo suporte de drenagem aplicado.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou um estudo para obtenção do coeficiente de escoamento superficial da quadra 604 sul no município de Palmas - TO, com o auxílio de imagens de satélites e ferramentas de geoprocessamento, com base no uso e ocupação do solo. Foram apresentados os métodos e rotinas de trabalho para a implementação da metodologia, com a aplicação na Bacia do Córrego da Prata.

É possível avaliar que mesmo com a evolução dos sistemas de drenagem e as obras realizadas, ainda encontramos muitos pontos de alagamento e os fatores que influencia para esses acontecimentos está diretamente ligados a topografia da área, as constantes transformações nas áreas permeáveis, onde a impermeabilização do solo vem aumentando e conseqüentemente o escoamento superficial e diminuindo a capacidade de infiltração do solo. A quadra 604 sul esta situada em uma bacia destinada 100% a área urbana, o que justifica a grande quantidade de impermeabilização, além de se localizar próximo aos divisores de água e também onde recebe grande parte da contribuição das águas pluviais vindas de outras quadras da mesma bacia.

A utilização das ferramentas de geoprocessamento tem se tornado mais freqüente e este uso torna os processos mais rápidos e com metodologias bem definidas, mas para se obter um resultado satisfatório, é necessário que os dados utilizados sejam os mais precisos e confiáveis possível, não dispensando portanto levantamentos em campo, os quais possuem uma maior precisão. Com o apoio destas ferramentas neste trabalho foi possível analisar toda a ocupação da quadra, realizar a delimitação de bacia, classificar a ocupação da quadra a partir das imagens de satélite e realizando todo esse processo de forma ágil e satisfatória.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Neste estudo foi possível observar que o aumento da impermeabilização do solo atrelado a outros fatores como, ineficiência de sistemas de drenagem, ausência de planejamento, uso e ocupação do solo de forma desordenada geram transtornos a população pelo o aumento do escoamento superficial, com isso sugere-se que seja dada continuidade aos seguintes estudos:

- Estudo da Eficiência da Drenagem Urbana Existente na Cidade de Palmas - TO;
- Viabilidade do Uso de Dados SRTM para Delimitação de Bacia Hidrográfica Urbana.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Impermeabilização – seleção e projeto – NBR 9575**. Rio de Janeiro, 2003.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos et alii. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios, 2).

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. Ed. Ver. – Brasília : Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408 p.

BRASIL. Lei Nº 9.433 (1997). Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos.

CAPUTO, Homero Pinto. **MECANICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES**. 6ª ed. - Rio de Janeiro : Ed. LTC, 1988.

Disponível em :

<[http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB\\_Palmas\\_Volume\\_03\\_Drenagem\\_Urbana\\_Versao\\_Final\\_1.pdf](http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf)>. Acesso em 27/02/2015, às 22h00min.

Disponível em : <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.20.19/doc/901-907.pdf>>. Acesso em 27/04/2015, às 13h00min.

Disponível em : <[http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=12363](http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12363)>. Acesso em 30/04/2015, às 23h30min.

Disponível em : <[http://people.ufpr.br/~luciene/disc/aula1\\_2011.pdf](http://people.ufpr.br/~luciene/disc/aula1_2011.pdf)>. Acesso em 01/05/2015, às 10h15min.

Disponível em:<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.11.39/doc/3997.pdf>>. Acesso em 01/05/2015, às 11h00min.

Disponível em : <<http://www.arquidicas.com.br/o-que-e-permeabilidade/2013>>. Acesso em 01/05/2015, às 14h00min.

Disponível em : <<http://people.ufpr.br/~felipe/fotointer.pdf>>. Acesso em 20/02/2015, às 15h30min.

Disponível em :

<[http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6\\_escoamento%20superficial.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6_escoamento%20superficial.pdf)>. Acesso em 03/03/2015, às 22h00min.

Disponível em :

<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.08.17.54/doc/1815.pdf>>. Acesso em 05/03/2015, às 14h30min.

GARCEZ, Everton – **Limpeza** – Como fazer bem feito. 2013

GARCEZ, Lucas N.; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **HIDROLOGIA**. 2ª ed. – São Paulo : Ed. Edgard, 1988.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. **Geoprocessamento em recursos hídricos : princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

MOREIRA, M.A. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2ª ed. Viçosa, UFV, 2003.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 3ª ed. – Rio de Janeiro : Ed. LTC, 2007.

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG : Ed. do Autor, 2000.

RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 9 n.4 Out/Dez 2004, 05-19

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli, **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre : Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; MARQUES, David da Motta. **Drenagem urbana – Avaliação - Controle**. Porto Alegre : Ed. Universidade/ UFRGS, 2000.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli, **Inundações Urbanas**, 1ª edição, ABRH/RHAMA, Porto Alegre, 2007.

TOCANTINS, Palmas. Lei N° 386 (1993). Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Palmas.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, MCgraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.