



## **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

**ANA BEATRIZ GOMES DE AZEVEDO**

**AVALIAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA DA BACIA DO TAQUARUÇU,  
FRENTE AO CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**

**PALMAS**

**2016**



## **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

**ANA BEATRIZ GOMES DE AZEVEDO**

### **AVALIAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA DA BACIA DO TAQUARUÇU, FRENTE AO CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**

Monografia apresentada como requisito à disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista FABIO MOREIRA SPINOLA DE CASTRO.

**PALMAS**

**2016**



## **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

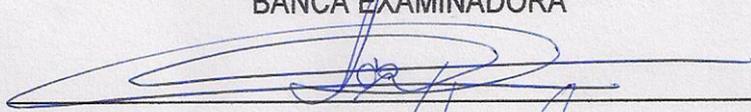
**ANA BEATRIZ GOMES DE AZEVEDO**

### **AVALIAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA DA BACIA DO TAQUARUÇU, FRENTE AO CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**

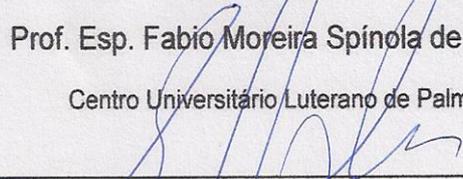
Monografia apresentada como requisito à disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista FABIO MOREIRA SPINOLA DE CASTRO.

Aprovada em 04 de Junho de 2016.

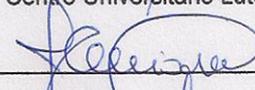
#### **BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. Fabio Moreira Spinola de Castro

Centro Universitário Luterano de Palmas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc. Jacqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas

**PALMAS**

**2016**

## DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista aos meus pais, que com amor, sabedoria e carinho, sempre me proporcionaram uma vida com grandes oportunidades, não facilidades, mas ensinamentos em forma de obstáculos, que ao serem vencidos, me faziam crescer e ver claramente quão grande é o valor da vida e seus detalhes.

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, Papai do céu, primeiramente obrigada, por tudo o que fizeste para me fazer chegar tão longe assim.

Ao Papai e a mamãe, João Azevedo e Raimunda Azevedo, pela oportunidade concedida, pela compreensão, paciência e toda a força empenhada em me fazer chegar aqui e por sempre me ampararem não me deixando cair.

Aos meus irmãos, Joalisson e Anna Leticia, pela ajuda direta e indireta, principalmente a você Maninha que sempre esteve ao meu lado, de forma honesta e amiga, não me deixando desistir frente aos obstáculos.

Aos meus amigos e amigas que fizeram de toda essa trajetória mais agradável, me proporcionando momentos inesquecíveis.

A todo o corpo docente do CEULP/ULBRA, pela dedicação e conhecimento compartilhado.

Ao professor Fabio Moreira Spínola, pela orientação e suporte técnico.

A professora Jacqueline, que de forma sincera, assessorou no melhoramento do meu trabalho.

Ao professor Edvaldo Santos, que de forma gratuita, colaborou, dedicando tempo, confiança e conhecimento, para me ajudar a resolver os problemas e desafios, direcionando-me, para não perder o foco e concluir com êxito o meu trabalho.

Enfim, á TODOS MUITO OBRIGADA...

**AZEVEDO, A. B. G. AVALIAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA DA BACIA DO TAQUARUÇU, FRENTE AO CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil, Palmas/TO, 2016.

## **RESUMO**

A engenharia dos recursos hídricos é uma área da engenharia ampla e fundamental para a sociedade e seu desenvolvimento. O presente trabalho preocupa-se em analisar o comportamento da disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Taquaruçu Grande fazendo um comparativo com a demanda de água atual e futura para a cidade de Palmas, Tocantins. Estimando o volume necessário para o abastecimento da população ao longo dos próximos anos. Propondo uma solução para o problema de desabastecimento através de alternativas para a captação do recurso. Tem por objetivo principal a identificação da curva de vazão em função do tempo na Bacia do Ribeirão Taquaruçu, cruzando com a curva de crescimento populacional da região atendida. Utilizando dados populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, e o histórico de vazões na foz do Ribeirão Taquaruçu Grande, fornecidos pela empresa de saneamento ambiental Odebrecht Ambiental/Saneatins de Palmas-TO. Estimando a população através do método da projeção aritmética, chegando a valores populacionais futuros, assim calculando a demanda exigida. Projetando a vazão para o futuro através da sua linha de influencia gerada pelo gráfico de vazões no mês de setembro, pico de estiagem. Comparando o crescimento populacional e a demanda, com a curva da disponibilidade hídrica, segundo a vazão de outorga Q90, observou-se que a bacia possui uma tendenciosidade negativa, diminuindo seu potencial ao logo dos próximos anos, podendo chegar a um regime intermitente, abastecendo a cada ano a um percentual menor da população urbana municipal, chegando a valores nulos em 2027. Evidenciando a necessidade de alternativas para a captação de água, que baseando na facilidade de tratamento das águas subterrâneas a proposta final é a perfuração de poços profundos na bacia.

**Palavras-chave:** abastecimento/ disponibilidade hídrica/ demanda de água/ estimativa populacional.

AZEVEDO, A. B. G. **EVALUATION OF THE OFFER AND WATER DEMAND Taquaruçu BASIN, FRONT OF THE POPULATION GROWTH OF PALMAS -TO THE MUNICIPALITY.** Completion of Course Work (Bachelor of Civil Engineering). University Center Lutheran of Palmas/ Lutheran University of Brazil, Palmas/TO, 2016.

### **ABSTRACT**

The engineering of water resources is an extensive and fundamental area of engineering to society and its development. The aim of this paper work is to analyzing the behavior of water availability in the basin of the Ribeirão do Taquaruçu Grande by making a comparison with the current and future water demand for the city of Palmas, Tocantins. Estimating the volume needed to supply the population over the next few years. Proposing a solution to the water shortage problem through alternatives for the withdrawal of this resource. The main goal of this project is to identify the flow rate curve in function of time in the Basin of Ribeirão Taquaruçu, crossing with the population growth curve of the region served. Using population data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics, IBGE, and historical flows at the river mouth of Ribeirão do Taquaruçu Grande, provided by the Environmental sanitation company Odebrecht Environmental/Saneatins Palmas-TO. Estimating the population by the method of arithmetic progression, reaching future population numbers, from that calculating the required demand. Projecting the flow for the future through its influence line generated by the flow chart in September, peak of dry season. Comparing the population growth and the demand, with the curve of water availability, according to the granting of discharge Q90, it was observed that the basin has a negative bias, decreasing its potential on the next few years, reaching an intermittent basis, providing each year a smaller percentage of water supply to the urban population of the region, reaching nulls in 2027. Highlighting the need for alternatives water withdrawal, which based on the ease treatment of groundwater the final proposal is drilling deep wells inside the basin.

**Key-words:** supply/ water availability/ water demand/ population estimate.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	17
1.1. Objetivos .....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. Bacia Hidrográfica.....	20
2.1.1 Individualização da Bacia Hidrográfica .....	22
2.1.2 Área de drenagem .....	22
2.1.3 Forma da bacia.....	23
2.1.4 Sistema de drenagem.....	25
2.1.5 Características do relevo da bacia.....	26
2.1.6 Características geológicas da bacia .....	29
2.1.7 Características agro climáticas da bacia .....	29
2.2. Ciclo Hidrológico .....	29
2.2.1. Escoamento superficial.....	31
2.2.2. Escoamento subterrâneo.....	33
2.3. Balanço Hídrico .....	33
2.4. Estimativa de Demanda de Água para o Abastecimento .....	35
2.5. Estimativa do Crescimento Populacional para Abastecimento de Água .....	38
2.5.1. Critérios Gerais.....	42
2.5.2. Estimativas de crescimento da população.....	43
2.6. Alternativas para o Abastecimento de Água Urbano.....	43
2.6.1. Águas Subterrâneas .....	44
3. METODOLOGIA .....	46
3.1. Caracterização da pesquisa .....	46
3.1.1. Coleta de Dados e Elementos .....	46

3.1.2. Tratamento dos dados recolhidos.....	46
3.1.3. Apresentação dos dados .....	47
3.2. Localização da área de estudo .....	47
3.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande.....	48
3.3.1. Parâmetros Morfométricos .....	49
3.4. Demanda de Água para Palmas-TO .....	51
3.4.1. Estimativa Populacional.....	54
3.4.2. Estimativa da Futura Demanda de Água para Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu .....	55
3.5. Capacidade Hídrica da Bacia.....	56
3.6. Comparativo Entre Demanda e Vazão Disponível para o Abastecimento ...	57
3.7. Estimativa da População Atendida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	59
4.1. Análise das Vazões.....	59
4.2. Análise do Crescimento Populacional de Palmas – TO .....	61
4.3. Análise da Demanda de Água frente à Disponibilidade Hídrica da Bacia ....	62
4.4. População Urbana Atendida pelo Manancial .....	67
4.5. Alternativas de Captação de Água para Palmas-TO.....	68
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	73
6. REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICES.....	78
ANEXOS .....	83

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 01:** Modelo de sistema hidrológico simples dentro de uma bacia hidrográfica.

Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 1975.

**Figura 02:** Classificações de Horton e Strahler (Silveira, 1993). Fonte: Conceitos Básicos de Hidrologia e Regionalização de Vazões, Módulos I e II, (2007).

**Figura 03:** Declividade do álveo. Fonte: PRINCÍPIOS DE HIDROLOGIA AMBIENTAL, (2005).

**Figura 04:** Curva Hipsométrica da Bacia do Ribeirão do Lago. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, (1975).

**Figura 05:** Ciclo hidrológico. Fonte: PRINCÍPIOS DE HIDROLOGIA AMBIENTAL/MMA, 2007.

**Figura 06:** Hidrográma na seção transversal do Rio Uruguai localizada em Guarulhos, no período de 27/jul/1965 a 15/set/1965. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 2004.

**Figura 07:** Equação Geral do balanço hídrico. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 2004.

**Figura 08:** Vista superior do maciço, espelho d'água e canal extravasor. Fonte: Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG, 2011.

**Figura 09:** Representação esquemática dos elementos básicos de uma pequena barragem. Fonte: Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG, 2011.

**Figura 10:** Captação com barragem de nível, configuração típica. Fonte: ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO – volume 1, 2010.

**Figura 11:** Mapa da Localização da Sub-bacia Taquaruçu Grande – TO. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

**Figura 12:** Mapa de Solos da Bacia do Ribeirão Tquaruçu. Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

**Figura 13:** Bacias urbanas do município de Palmas. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume III – Drenagem Urbana (2014).

**Figura 14:** Áreas Atendidas pelas ETA's, Palmas-TO. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

**Figura 15:** Locação das principais estruturas do sistema de abastecimento de água – Cenário Futuro (2043). Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas | Volume II | ÁGUA E ESGOTO, 2014.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 01:** Demandas médias de água para cidades brasileiras. Fonte: Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 1995.

**Tabela 02:** Fatores de influência no consumo de água. Fonte: I-061 - ESTIMATIVA DO CONSUMO PER CAPITA EM COMUNIDADES ATENDIDAS PELA UNIDADE DE NEGÓCIO DO MÉDIO TIETÊ, 2001.

**Tabela 03:** Usos, demandas antecipadas, consumo real de águas por atividade. Fonte: RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL /Problemas, desafios e estratégias para o futuro, 2014.

**Tabela 04:** Usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras. Fonte: GEO Brasil / Recursos Hídricos / Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil, 2007.

**Tabela 05:** Parâmetros Morfométricos da Bacia do Ribeirão Taquaruçu. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume III – Drenagem Urbana (2014).

**Tabela 06:** Capacidade das ETAs de Palmas – TO. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume II – Água e Esgoto (2014).

**Tabela 07:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 200 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Tabela 08:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 250 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Tabela 09:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 300 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Tabela 10:** Estimativa da Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, mês de Setembro. Fonte: Autor, 2016.

**Tabela 11:** Dados Populacionais de Palmas-TO, de 1991 à 2015. Fonte: IBGE, 2016.

**Tabela 12:** Estimativa da Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, mês de Setembro. Fonte: Autor, 2016.

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 01:** Vazões de Estiagem Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu entre 2001 e 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 02:** Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, mês de Setembro (2000 a 2034). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 03:** Curva do Crescimento Populacional de Palmas-TO (2015 à 2035). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 04:** Curva do Crescimento Populacional Urbano de Palmas-TO (2015 à 2035). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 05:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 200 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 06:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 250 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 07:** Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 300 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 08:** Percentual Populacional Atendido pela ETA-06, entre a Demanda para a cidade de Palmas-TO e a Vazão Mínima Disponível na Bacia do Ribeirão Taquaruçu. Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 09:** Percentual da Demanda de Abastecimento de Água de Palmas-TO Atendida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande (2015 a 2035). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 10:** População de Palmas-TO Abastecida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande (2015 a 2035). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 11:** Evolução Demográfica de Palmas-TO, 1991 à 2015. Fonte: IBGE, 2016.

**Gráfico 12:** Vazões de Referencia Q90 e Q95 para Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, (2001 a 2014). Fonte: Autor, 2016.

**Gráfico 13:** Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Julho de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 14:** Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Agosto de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 15:** Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Setembro de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 16:** Evolução demográfica de Palmas (1991-2010), em hab. Fonte: IBGE (2016).

**Gráfico 17:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2001, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 18:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2002, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 19:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2003, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 20:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2004, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 21:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2005, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 22:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2006, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 23:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2007, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 24:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2008, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 25:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2009, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 26:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2010, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 27:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2011, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 28:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2013, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

**Gráfico 29:** Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

## LISTA DE QUADROS

**Quadro 01.** Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

**Quadro 02.** Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

**Quadro 03.** Densidades populacionais típicas em função do uso do solo. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

**Quadro 04.** Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por ha, em condições de saturação, em regiões metropolitanas altamente ocupadas. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

**Quadro 05:** Características Fisiográficas da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

**Quadro 06:** População de Palmas-TO. Fonte: IBGE (2016).

**Quadro 07:** Dados Censitários para a Projeção Populacional Futura, Palmas-TO. Fonte: IBGE, 2016.

**Quadro 08:** Projeção Aritmética Populacional de 2015 à 2035 – Palmas-TO. Fonte: Autor, 2016.

**Quadro 09:** Projeção Aritmética Populacional Urbana de 2015 à 2035 – Palmas-TO. Fonte: Autor, 2016.

**Quadro 10:** Sistemas Produtores de Água de Palmas-To. Fonte: ANA, 2010.

**Quadro 11:** Evolução das necessidades de ETA ao longo do horizonte do PMSB. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas, Volume II, ÁGUA E ESGOTO, 2014.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**ANA** – Agência Nacional de Águas;

**MMA** – Ministério do Meio Ambiente;

**ABRH** – Associação Brasileira de Recursos Hídricos;

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

**ETA** – Estação de Tratamento de Água;

**UHE** – Usina Hidrelétrica;

**Tc** – Tempo de Concentração;

**Kc** – Coeficiente de Compacidade;

**Kf** – Fator de Forma;

**QPC** – Quota “Per Capita”;

**SANEATINS** – Companhia de Saneamento do Tocantins;

**Tr** – Período de Retorno;

**APA** – Área de Proteção Ambiental;

**PMSB** – Plano Municipal de Saneamento Básico.

**NATURATINS** – Instituto de Natureza do Tocantins.

## 1. INTRODUÇÃO

A água exerce um papel fundamental na vida humana, assim a sua falta, em períodos de estiagem, pode ter efeitos catastróficos.

A preocupação com os recursos hídricos e seu consumo esta cada vez mais presente na sociedade, por causa dos recorrentes problemas de escassez e as ameaças de desabastecimento dos grandes centros urbanos. A crescente demanda por este recurso aliada aos problemas de poluição dos mananciais estão levado ao colapso alguns sistemas produtores de água. Assim a importância do desenvolvimento de medidas que solucionem os problemas de escassez de água, procurando manter o abastecimento da população crescente e o desenvolvimento industrial.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, pertence à Bacia do Rio Tocantins. É o principal manancial de abastecimento da cidade Palmas, Tocantins, que segundo o IBGE é a capital com maior crescimento demográfico relativo nos últimos 10 anos, com taxa média de 5,3% ao ano, atualmente a bacia abastece a maior parcela desta população. Utilizando apenas a sua vazão media, para a captação de água. Contendo apenas uma barragem de nível para o aumento da coluna de água para a adequada captação.

Entender o comportamento da bacia, fenômenos hidrológicos, torna possível prever índices futuros, implicando na resolução e/ou minimização dos problemas, através das obras hidráulicas da Engenharia Civil. Todas essas características tornam a engenharia dos recursos hídricos uma área da engenharia ampla e fundamental para a sociedade e seu desenvolvimento.

Assim tornando cada vez mais importante o estudo das características da bacia, para a adequada utilização dos seus recursos. Buscando não provocar um colapso nos sistemas produtores de água, respondendo adequadamente a demanda exigida atualmente e futuramente. Sabendo-se que a tendência é haver um declínio na disponibilidade do recurso e um aumento crescente na demanda.

Constituindo assim a necessidade do estudo do desenvolvimento da população de Palmas, que demonstra um crescimento expressivo, gerando conseqüentemente o aumento do consumo de água, atrelado a isto as estimativas iniciais de disponibilidade de água na bacia feitas na época da construção da cidade de Palmas apontavam para valores cerca de 70% superiores aos atualmente observados. Com isto há um risco iminente ao abastecimento de água para a cidade.

O presente projeto preocupa-se em analisar o comportamento da disponibilidade hídrica da Bacia do Taquaruçu fazendo um comparativo com a demanda de água atual e futura para a cidade de Palmas. Estimando o volume necessário para o abastecimento da população ao longo dos próximos anos. Por fim propondo uma solução para o problema de desabastecimento através de alternativas para a captação do recurso.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar a curva de vazão em função do tempo na Bacia do Ribeirão Taquaruçu e cruzar com a curva de crescimento populacional da região atendida no município de Palmas-To.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Obtenção da Curva de Vazão do Período de Estiagem da bacia em estudo, com base em dados fornecidos pela empresa de saneamento de Palmas, Odebrecht Ambiental/Saneatins e dados governamentais;
- Identificação do Comportamento de crescimento populacional, para confrontar a demanda de consumo de água para a cidade, Palmas, com a vazão disponível para a captação na bacia, baseando-se nas taxas de crescimento populacional de fontes governamentais (IBGE) para os próximos anos;
- Sugerir alternativas de abastecimento para a região atendida, pela ETA-6, Estação de Tratamento de Água, localizada no exultório da Bacia do Ribeirão Taquaruçu.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Bacia Hidrográfica

Para a engenharia bacia hidrográfica é definida como:

Segundo COLLISCHON (2005), Área de captação natural das precipitações, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída: o exutório.

SILVEIRA e GOLDENFUN (2007) definem bacia hidrográfica como a superfície drenada por um curso d'água. Compõe-se no seu interior basicamente como um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar num leito único no exutório. As vertentes constituem os locais onde os escoamentos se produzem em função da precipitação enquanto que a rede de drenagem a céu aberto encarrega-se de transportá-los ao exutório.

De acordo com a ANA (2011), Agencia Nacional de Águas, bacia hidrográfica é a região compreendida por um território e por diversos cursos d'água. Da chuva que cai no interior da bacia, parte escoar pela superfície e parte infiltra no solo. A água superficial escoar até um curso d'água (rio principal) ou um sistema conectado de cursos d'água afluentes; essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de uma única foz (ou exutório) localizada no ponto mais baixo da região. Da parte infiltrada, uma parcela escoar para os leitos dos rios, outra parcela é evaporada por meio da transpiração da vegetação e outra é armazenada no subsolo compondo os aquíferos subterrâneos.

Bacia Hidrográfica “é considerada pela legislação brasileira como a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos, por constituir-se em sistema aberto de fluxo hídrico e engloba um conjunto de elementos dinâmicos, inclusive a presença humana que abriga importância essencial nesse contexto, especialmente no que se refere à utilização dos recursos hídricos, uma vez que tais recursos são vistos, geralmente, apenas de forma utilitarista” (FERREIRA, 2014).

De acordo com ANA, Agência Nacional de Águas, (2011), as grandes bacias são compostas por várias sub-bacias, estas por outras tantas sub-bacias e assim sucessivamente, até chegar às micro bacias. Na realidade, todas são bacias hidrográficas. O que vai classificá-las como sub-bacias é o fato de estarem ou não inseridas em outra bacia com maior área de drenagem ou, ainda, se seu curso d'água principal for afluente (tributário) do rio principal da bacia maior.

Para a análise de uma bacia hidrográfica é necessário o estudo de características das bacias como o sistema de drenagem, ou seja, que tipo de curso d'água está drenando a região. Uma maneira utilizada para classificar os cursos d'água é a de tomar como base a constância do escoamento com o que se determinam três tipos: Perenes: contém água durante todo o tempo. Intermitentes: em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Efêmeros: existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial (CARVALHO, MELLO E SILVA, 2007).

Para ilustrar a aplicação de um balanço de água em uma bacia considere o sistema simples e altamente restrito na figura 01 (VILLELA 1975).

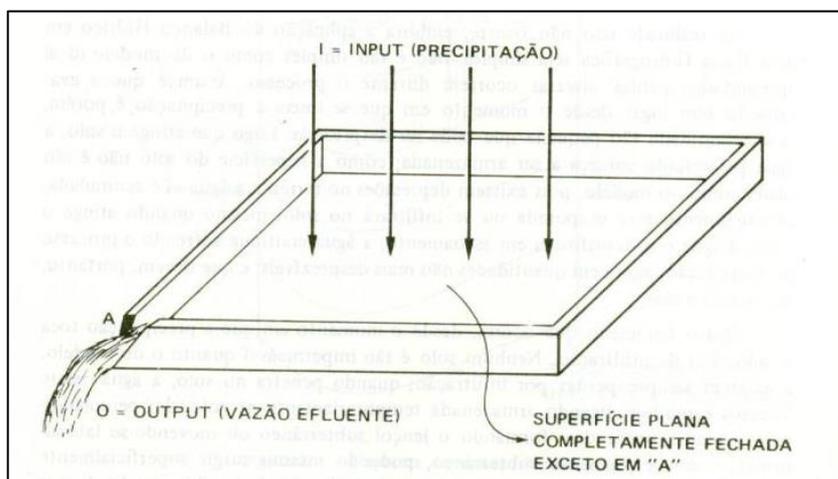


Figura 01: Modelo de sistema hidrológico simples dentro de uma bacia hidrográfica. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 1975.

Outras características que devem ser estudadas na bacia hidrográfica são as características físicas: área de drenagem, forma da bacia, sistema de drenagem, características do relevo da bacia, características geológicas da bacia e características agro climáticas da bacia (CARVALHO, MELLO E SILVA, 2007).

Segundo VILLELA (1975), as características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. De fato existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, sendo portanto de grande utilidade prática o conhecimento destes elementos, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em regiões onde, por causa de fatores físicos ou econômicos, não seja possível a instalação de estações hidrométricas.

### 2.1.1 Individualização da Bacia Hidrográfica

A delimitação de uma bacia hidrográfica se dá a partir de uma planta planialtimétrica na qual é traçada uma linha divisora de águas separando a bacia hidrográfica considerada das vizinhas (FREIRE e OMENA, 2005).

De acordo com VILLELA (1975), a bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, assim designado por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial para um ou outro sistema fluvial. O divisor une os pontos de máximas cotas entre as bacias o que não impede que no interior de uma bacia tenham picos com cotas isoladas superiores a qualquer ponto do divisor.

### 2.1.2 Área de drenagem

Segundo FREIRE e OMENA (2005), área de drenagem é considerada a característica mais importante da bacia. É o elemento básico para o cálculo das outras características físicas.

Para CARVALHO, MELLO E SILVA (2007), área de drenagem é a área plana, projeção horizontal, inclusa entre os seus divisores topográficos, divisores de água. Pode ser obtida por planimetria ou por pesagem do papel em balança de precisão.

É normalmente determinada por planimetria em mapas com escalas razoavelmente grandes e expressa em quilômetros ou hectares (VILLELA, 1975).

Segundo SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), área da bacia é uma medida imprescindível para definir a potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica, por que seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume d'água recebido pela bacia.

### 2.1.3 Forma da bacia

Segundo CARVALHO, MELLO e SILVA (2007), a forma da bacia é uma das características da bacia mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. Ela tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, como, o tempo de concentração ( $T_c$ ).  $T_c$  é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle.

Para VILLELA (1975), existem vários índices utilizados para determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas; assim o coeficiente de compacidade relaciona a bacia com um círculo e o fator forma com um retângulo.

#### a) Coeficiente de Compacidade

Segundo SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), o índice de compacidade de Gravelius é um índice de forma que relaciona o perímetro da bacia com o perímetro do círculo de mesma área. Quanto mais próximo de 1 (um) este coeficiente, mais compacta é a bacia e maior tendência teria de produzir escoamentos mais rápidos.

De acordo com GARCEZ e ALVAREZ (1988), dessa definição resulta que para uma bacia circular ideal, o índice de compacidade  $k_c = 1$ . Para uma bacia qualquer, chamado de  $P$  o seu perímetro e  $C$  a circunferência de círculo de área  $A$  igual à da bacia teríamos:

$$Kc = \frac{P}{C} \quad (1)$$

E chamado de D o diâmetro do círculo de área A:

$$D = \frac{C}{\pi} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2)$$

Tem-se finalmente:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi}\sqrt{A}} \cong 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Para VILLELA (1975), este coeficiente é um numero admissional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade.

O Kc é sempre um valor > 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o Kc (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o Tc (tempo de concentração) e maior a tendência de haver picos de enchente (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007).

#### b) Fator de Forma

Segundo VILLELA (1975), o fator forma constitui outro índice indicativo da maior tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também, numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso de água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num só ponto.

Para CARVALHO, MELLO e SILVA (2007), o fator de forma (Kf) é a razão entre a largura média da bacia (L) e o comprimento do eixo da bacia (l) (da foz ao ponto mais longínquo da área):

$$Kf = \frac{l}{L} \quad (4)$$

$$\text{Mas, } l = \frac{A}{L}, \text{ logo:} \quad (5)$$

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (6)$$

Ainda segundo CARVALHO, MELLO e SILVA (2007), quanto menor o Kf, mais comprida é a bacia e por tanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o Tc é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.

#### 2.1.4 Sistema de drenagem

De acordo com VILLELA (1975), o sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do sistema é importante, pois ele indica a maior ou a menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

Segundo SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), índices de drenagem: são índices que atribuem relações de hierarquia dos cursos d'água de uma bacia. Os rios que não possuem nenhum afluente são ditos de primeira ordem e a confluência sucessiva a jusante gera os rios de maior ordem. Estas relações precisam de um sistema de ordenamento dos canais. São bem conhecidas, a de Horton e a de Strahler, sendo esta última mais objetiva (Figura 2).

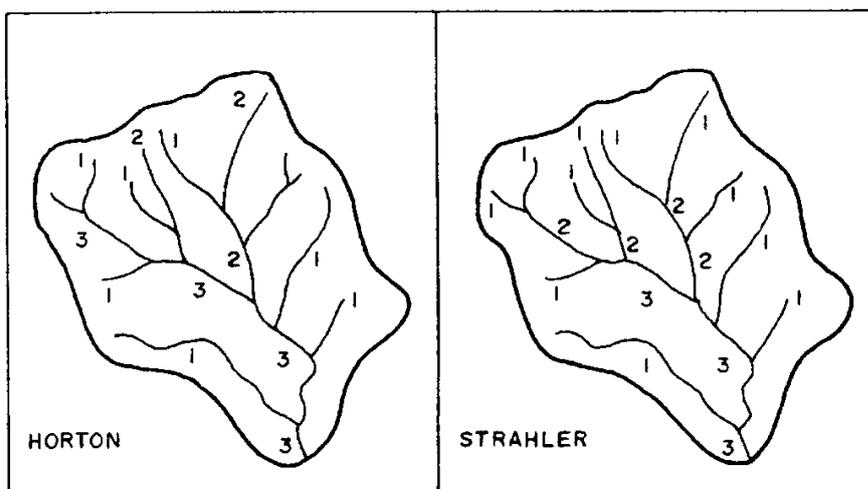


Figura 02: Classificações de Horton e Strahler (Silveira, 1993). Fonte: Conceitos Básicos de Hidrologia e Regionalização de Vazões, Módulos I e II, (2007).

Ainda é necessária a mensuração da densidade de drenagem, que é a relação entre o comprimento total dos cursos de água efêmeros, intermitentes e perenes de uma bacia hidrográfica e a área total da mesma bacia (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

$$Dd = \frac{\Sigma L}{A} \quad (7)$$

Resultando na classificação (CARVALHO, MELLO e SILVA, 2007):

- Bacias com drenagem pobre →  $Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem regular →  $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem boa →  $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem muito boa →  $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias excepcionalmente bem drenadas →  $Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

#### 2.1.5 Características do relevo da bacia

Segundo VILLELA (1975), o relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia.

Para FREIRE e OMENA (2005), as características do relevo de uma bacia são dadas a partir dos seguintes elementos: a curva hipsométrica, a declividade da bacia e do álveo e o tempo de concentração.

##### a) Declividade da Bacia e do Álveo

Segundo CARVALHO, MELLO e SILVA (2007), quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor o  $T_c$  (tempo de concentração) e maior as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos de enchente e a infiltração da água, trazendo como consequência, maior ou menor grau de erosão, dependem da declividade média da bacia (determina a maior ou menor velocidade do escoamento superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra.

A água da precipitação concentra-se nos leitos fluviais da bacia após escoar superficial e subterraneamente. Como a velocidade de escoamento de um rio depende da declividade de seus leitos, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento de suas águas (FREIRE e OMENA, 2005).

Segundo VILLELA (1975), a melhor forma para a obtenção de valores representativos da declividade do terreno de uma bacia, é o das quadriculas associadas a um vetor. Esse método consiste em determinar a distribuição porcentual em determinar a distribuição porcentual das declividades dos terrenos por meio de uma amostragem estatística de declividades normais às curvas de nível em um grande numero de pontos na bacia.

Ainda de acordo com FREIRE e OMENA (2005), a declividade do álveo estabelece que quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento (Figura 3). Obtém-se a declividade de um curso de água entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso de água entre dois pontos (VILLELA, 1975).

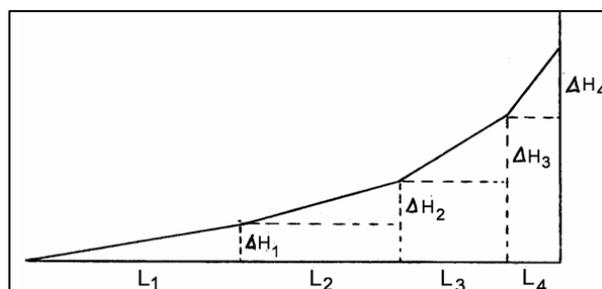


Figura 03: Declividade do álveo. Fonte: PRINCÍPIOS DE HIDROLOGIA AMBIENTAL, (2005).

O método da Média Harmônica é o mais utilizado para verificar a declividade equivalente do álveo, e é calculada a partir da seguinte equação (FREIRE e OMENA, 2005):

$$I_{eq} = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2 \quad (8)$$

Em que:

$I_{eq}$ - declividade equivalente (m/m ou m/km);

L- extensão horizontal do perfil (dividido em n trechos);

$L_i$  e  $l_i$  – extensão horizontal e a declividade média em cada trecho, respectivamente (FREIRE e OMENA, 2005).

#### b) Curva Hipsométrica

Segundo VILLELA (1975), curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo de uma bacia. Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referencia ao nível médio do mar. Essa variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das varias elevações.

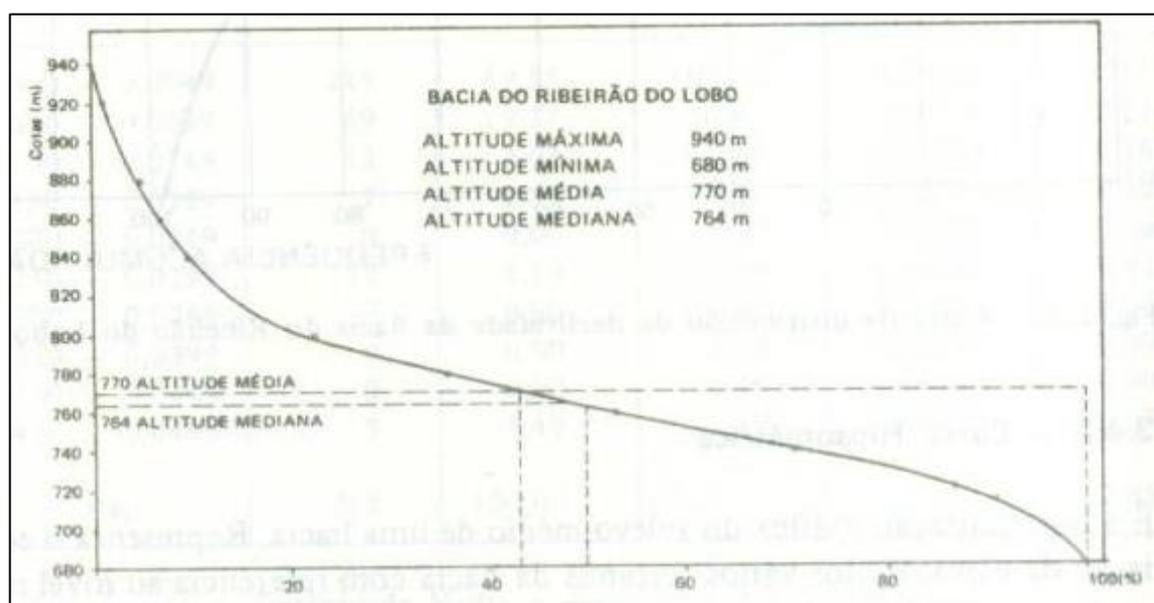


Figura 04: Curva Hipsométrica da Bacia do Ribeirão do Lago. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, (1975).

#### c) Tempo de Concentração

Para CARVALHO, MELLO e SILVA (2007), tempo de concentração ( $T_c$ ) é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle.

Considerando que tempo de concentração ( $T_c$ ) é o tempo necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção considerada. O cálculo do tempo de concentração pode ser realizado através da Fórmula de Kirpich (FREIRE e OMENA, 2005):

$$Tc = 57 \left( \frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385} \quad (9)$$

Onde:

$I_{eq}$  – declividade equivalente em m/km;

L – comprimento do curso d'água em km.

#### 2.1.6 Características geológicas da bacia

Para GARCEZ e ALVAREZ (1988), o estudo geológico das bacias tem por objetivo principal classifica-los quanto à maior ou menor permeabilidade, característica esta que intervém fundamentalmente na rapidez e no volume das enchentes e na parcela levada às vazões de estiagem pelos lençõs subterrâneos.

#### 2.1.7 Características agro climáticas da bacia

Segundo CARVALHO, MELLO e SILVA (2007) são caracterizadas principalmente pelo tipo de precipitação e pela cobertura vegetal.

De acordo com GARCEZ e ALVAREZ (1988), a cobertura vegetal, especialmente as florestas e os campos cultivados, soma sua influencia à dos fatores geológicos para condicionar a rapidez do escoamento superficial, as taxas de evaporação e a capacidade de retenção. Para cada bacia deve ser então determinada a porcentagem da área da bacia coberta por florestas e de campos cultivados.

## 2.2. **Ciclo Hidrológico**

É importante lembrar que a água está em constante movimento, constituindo o que se denomina de ciclo hidrológico. Esse ciclo tem o Sol como principal fonte de energia, através de sua radiação, e o campo gravitacional terrestre como a principal força atuante (PAZ 2004).

Denomina-se ciclo hidrológico o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficiais, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes (RIGHETTO, 1998).

FREIRE e OMENA (2010) definem que o processo desse ciclo se dá a partir da radiação solar e do metabolismo dos seres vivos (evapotranspiração), os quais fornecem energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). Somando-se este processo à força da gravidade, a água condensada nas nuvens se precipita (precipitação). Uma vez na superfície terrestre a água perpassa pelo solo e circula através de linhas de água que se reúnem em córregos e rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltra nos solos e nas rochas entre os poros e através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo).

Ainda segundo FREIRE e OMENA (2010) em síntese, o ciclo hidrológico envolve 5 processos:

- 1- a evapotranspiração;
- 2- a evaporação;
- 3- a precipitação;
- 4- o escoamento superficial;
- 5- o escoamento subterrâneo

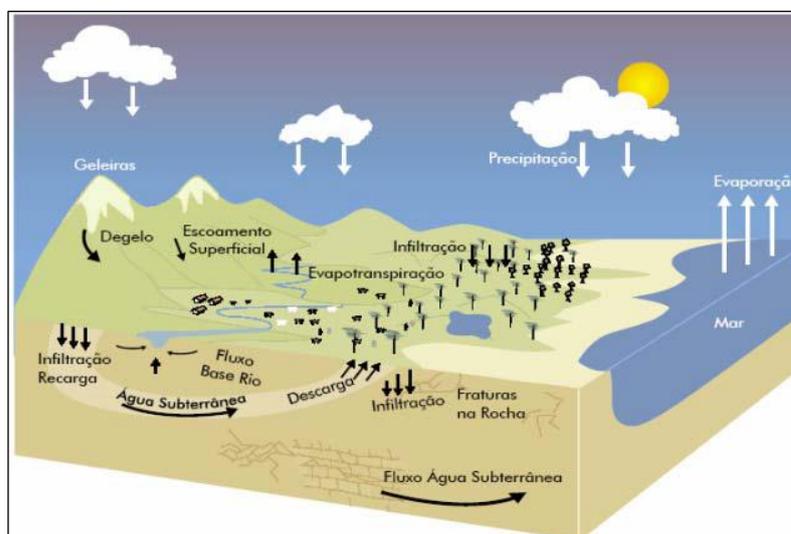


Figura 05: Ciclo hidrológico. Fonte: PRINCÍPIOS DE HIDROLOGIA AMBIENTAL/MMA, 2007.

Para VILLELA (1975) o ciclo hidrológico tem início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sobre determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto que outra parte, penetrando profundamente no solo, vai suprir o lençol d'água subterrâneo.

### 2.2.1. Escoamento superficial

Segundo SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), o escoamento superficial é o excesso não infiltrado da precipitação que surge sobre o solo pela ação da gravidade, na direção das cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. É, por isso, um escoamento rápido se comparado ao escoamento subterrâneo e mesmo ao hipodérmico.

Para PAZ (2004), estudar ou avaliar o escoamento superficial, é de grande utilidade o traçado do hidrograma, que consiste em um gráfico da evolução da vazão ao longo do tempo. Para um rio, o hidrograma se refere a uma seção transversal específica, já que ao longo do seu curso o rio vai recebendo mais contribuições (volumes de água) e aumentando sua vazão, de jusante para montante. Assim, tomando uma determinada seção de um rio, o hidrograma correspondente indica o volume de água escoado por unidade de tempo através daquela seção.



Figura 06: Hidrograma na seção transversal do Rio Uruguai localizada em Guarulhos, no período de 27/jul/1965 a 15/set/1965. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 2004.

Ainda segundo SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), o escoamento superficial pode ser capturado por depressões e banhados (*detenção superficial*), onde infiltra, evapora ou é amortecido. O escoamento superficial livre manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao micro relevo do solo. A erosão de partículas de solo em seus trajetos na topografia existente molda, por sua vez, uma micro rede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos d'água mais estáveis, formada por arroios e rios.

Entre as grandezas características do escoamento superficial podem ser indicadas como as mais importantes (GARCEZ e ALVAREZ, 1988):

a) Coeficiente de deflúvio

É a relação entre a quantidade total escoada pela seção e a quantidade total de água precipitada na bacia contribuinte. Pode refletir-se a uma precipitação determinada, ou a todas as precipitações ocorridas em um determinado intervalo de tempo.

b) Nível de água

É a altura atingida pela água na seção em relação à certa referência. Pode referir-se a valores instantâneos ou à média de períodos.

c) Velocidade

É relação entre o espaço percorrido pela partícula líquida e o tempo de percurso. Distinguem-se velocidades média, superficial e pontual, medida em m/s.

d) Vazão ou Descarga

É a relação entre o volume escoado e o intervalo de tempo em que escoar, é igual ao produto da velocidade média pela área da seção. Pode referir-se, também, a valores instantâneos ou valores médios de certos períodos. Mede-se em  $m^3/s$ .

e) Módulo de deflúvio anual

É o volume total escoado em um ano. Mede-se em  $m^3$  ou  $km^3$ .

f) Vazão específica ou contribuição unitária

É a relação entre a vazão e a área da bacia contribuinte. Mede-se em litros por segundos por metros quadrados (l/s m<sup>2</sup>).

g) Altura média

É a relação entre o volume total escoado em um intervalo de tempo e a área da bacia. Mede-se em mm.

h) Declividade da linha de água

Relação entre a diferença de nível entre dois pontos da superfície líquida e a distância entre os mesmos. Mede-se em m/m ou cm/km.

### 2.2.2. Escoamento subterrâneo

Segundo PINTO (1976), as águas que atingem a superfície do solo a partir das precipitações, retidas nas depressões do terreno, ou escoando superficialmente ao longo dos talwegues, podem infiltrar-se por efeito das forças de gravidade e de capilaridade. O seu destino será função das características do subsolo, do relevo do terreno e da ação da vegetação, configurando o que se poderia denominar da fase subterrâneo do ciclo hidrológico.

## 2.3. **Balanço Hídrico**

De acordo com a ANA, Agência Nacional de Águas, (2010) Balanço Hídrico consiste na avaliação das dinâmicas da disponibilidade hídrica em conjunto com as demandas pelos diversos usos da água.

Ainda de acordo com a ANA, Agência Nacional de Águas, (2010) o balanço entre a oferta de água e as demandas quantitativas (retiradas) e qualitativas (lançamentos de efluentes) é de fundamental importância para traçar o diagnóstico das bacias brasileiras.

Como conceito de ciclo hidrológico pode ser traduzido quantitativamente sob a forma de uma relação matemática denominada equação hidrológica ou equação do balanço hídrico (FREIRE e OMENA 2010). O estudo hidrológico tem por objetivo avaliar e quantificar a disponibilidade de recursos de uma bacia, para a demanda de uma determinada região, voltado para os processos de planejamento e manejo destes recursos, ou ainda, atender a requisitos específicos em projetos de engenharia (FREIRE e OMENA 2010).

Logo o balanço hídrico pode ser considerado positivo quando o volume de entrada é maior que o volume de saída e negativo quando o volume de saída for maior que o de entrada.

De acordo com FREIRE e OMENA (2005), com referência ao balanço hídrico os estudos hidrológicos têm por finalidade avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos de uma região para os processos de planejamento e manejo destes recursos, ou ainda, atender a requisitos específicos em projetos de engenharia. De forma simplificada, estes dois casos podem ser entendidos por intermédio da aplicação da equação geral do balanço hídrico ou simplificada de acordo às características do estudo.

Os estoques de água cuja variação na bacia participa do balanço hídrico são de natureza superficial ou subterrânea. Todos os volumes podem ser expressos em lâmina de água no período de tempo, e a equação do balanço hídrico pode ser expressa por (SILVEIRA e GOLDENFUN, 2007):

$$P = Q + ET + \Delta S + I \quad (10)$$

Onde:

P é a precipitação, Q é o escoamento;

ET é a evapotranspiração;

$\Delta S$  é a variação dos armazenamentos de água na bacia;

I é a parcela de perdas por infiltração profunda.

Sendo que:

Q inclui escoamento superficial e subterrâneo;

S compreende as variações de umidade do solo, do conteúdo de aquíferos e até de armazenamento de intercepções.

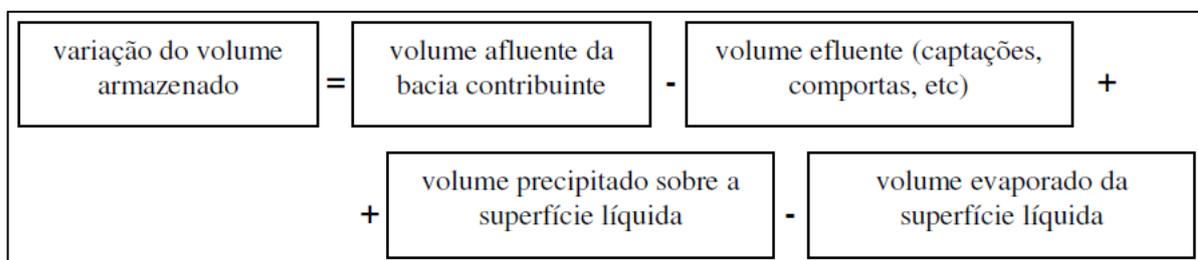


Figura 07: Equação Geral do balanço hídrico. Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 2004.

## 2.4. Estimativa de Demanda de Água para o Abastecimento

Segundo Agência Nacional de Águas – ANA (2007), o conhecimento sobre os usos e os usuários de recursos hídricos constitui elemento central para a quantificação das demandas de consumo de água nos centros urbanos.

De acordo com MAGALHÃES et al (2001), para se estimar a quantidade de água exigida pela população, na área de projeto, é necessário conhecer-se o consumo médio diário de água de um indivíduo, comumente denominado de Quota “Per Capita” (QPC) ou Consumo “Per Capita”. Para projetos de sistemas de abastecimento de água, adota-se o consumo per capita para satisfazer ao consumo doméstico, ao consumo comercial, ao consumo público, ao consumo industrial que não utiliza a água em seu processo produtivo, e às perdas.

CIDADES	POPULAÇÃO (habitantes)	CONSUMO MÉDIO “PER CAPITA” (L/hab.dia)
Menores	< 5.000	100 – 150
Pequenas	5.000 – 25.000	150 – 200
Pequena localidade	25.000 - 100.000	200 – 250
Cidade média	>100.000	250 – 300

Tabela 01: Demandas médias de água para cidades brasileiras. Fonte: Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 1995.

Segundo DIAS et al (2014), o consumo “per capita” é um parâmetro extremamente variável entre diferentes localidades, dependendo de diversos fatores dentre os quais destacam-se: os hábitos higiênicos e culturais da comunidade; a quantidade de micromedição do sistema de abastecimento de água; as instalações e equipamentos hidráulico-sanitários dos imóveis; os controles exercidos sobre o consumo; o valor da tarifa e a existência ou não de subsídios sociais ou políticos; a abundância ou escassez de mananciais; a intermitência ou regularidade de abastecimento; a temperatura média da região; a renda familiar; a disponibilidade de equipamentos domésticos que utilizam água em quantidade apreciável; os índices de industrialização; a intensidade e tipo de atividade comercial, entre outros.

<b>Fator de influência</b>	<b>Comentário</b>
Clima	Climas mais quentes e secos induzem a um maior consumo
Porte da Comunidade	Cidades maiores geralmente apresentam mais consumo per capita
Condições econômicas da comunidade	Um melhor nível econômico associa-se a um maior consumo
Grau de industrialização	Localidades industrializadas apresentam maior consumo
Medição do consumo residencial	A presença de medição inibe um maior consumo
Custo da água	Um custo mais elevado reduz o consumo
Pressão da água	Elevada pressão induz a maiores gastos
Perdas no sistema	Perdas implicam na necessidade de uma maior produção de água

Tabela 02: Fatores de influência no consumo de água. Fonte: I-061 - ESTIMATIVA DO CONSUMO PER CAPITA EM COMUNIDADES ATENDIDAS PELA UNIDADE DE NEGÓCIO DO MÉDIO TIETÊ, 2001.

	1900	1950	1980	1990	2000	2025	2050
População (milhões)	2000	2542	4410	5285	6181	8000	9200
Superfícies irrigadas (milhões de hectares)	47,3	101	198	243	264	307	331
Demandas agrícolas antecipadas (Km <sup>3</sup> /ano)	513	1080	2112	2425	2605	3053	3283
Consumo Agrícola	321	722	1445	1991	1834	2143	2309
Relação consumo/demanda antecipada	63%	67%	68%	70%	70%	70%	70%
Demandas municipais antecipadas (km <sup>3</sup> /ano)	21,5	86,7	219	305	384	522	618
Consumo Municipal (Km <sup>3</sup> /ano)	4,6	16,7	38,3	45	52,8	73,6	86,4
Relação consumo/demanda antecipada	21%	19%	17%	15%	14%	14%	14%
Demandas industriais antecipadas (Km <sup>3</sup> /ano)	44	204	713	735	776	834	875
Consumo Industrial (Km <sup>3</sup> /ano)	5	19	71	79	88	104	116
Relação consumo/demanda %	11%	9%	10%	11%	11%	13%	13%
Evaporação de reservatórios	0,3	11,1	131	167	208	302	362
Demanda total anual (Km <sup>3</sup> /ano)	<b>579</b>	<b>1382</b>	<b>3175</b>	<b>3632</b>	<b>3973</b>	<b>4710</b>	<b>5138</b>
Consumo total (Km <sup>3</sup> /ano)	330	758	1554	1815	1975	2321	2511

Tabela 03: Usos, demandas antecipadas, consumo real de águas por atividade. Fonte: RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL /Problemas, desafios e estratégias para o futuro, 2014.

Tabela 4: Usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras										
Regiões	Humana urbana		Humana rural		Industrial		Irrigação		Animal*	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)
Amazônica	14,1	30%	3,2	7%	2,9	6%	13,8	29%	12,8	27%
Tocantins–Araguaia	12,5	25%	2,0	4%	2,0	4%	19,6	39%	14,7	28%
Atlântico Nordeste Ocidental	8,1	50%	2,6	16%	0,8	5%	1,8	11%	2,8	17%
Parnaíba	6,1	32%	1,3	7%	0,5	3%	8,9	47%	2,3	12%
Atlântico Nordeste Oriental	42,6	25%	5,9	4%	15,1	9%	100,6	60%	4,2	2%
São Francisco	25,9	18%	4,3	3%	15,4	10%	93,9	64%	8,0	5%
Atlântico Leste	26,8	40%	5,1	8%	5,7	8%	22,1	33%	7,5	11%
Atlântico Sudeste	77,6	46%	3,6	2%	44,2	26%	39,4	23%	4,8	3%
Atlântico Sul	32,4	14%	2,4	1%	28,4	12%	168,2	71%	5,8	2%
Uruguai	7,8	5%	1,6	1%	4,1	3%	128,0	86%	7,3	5%
Paraná	159,7	33%	7,8	2%	159,9	33%	116,6	24%	33,5	7%
Paraguai	5,3	28%	0,3	2%	0,5	3%	4,2	22%	8,6	46%
<b>Brasil</b>	<b>418,9</b>	<b>27%</b>	<b>40,1</b>	<b>3%</b>	<b>279,5</b>	<b>18%</b>	<b>717,1</b>	<b>46%</b>	<b>112,3</b>	<b>7%</b>

Tabela 04: Usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras. Fonte: GEO Brasil / Recursos Hídricos / Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil, 2007.

CALLADO et Al (2005), em Gestão das Águas Urbanas, relata que as Normas Técnicas da ABNT recomendam adotar os seguintes valores de consumos per capita:

- para cidades com população acima de 50.000 habitantes: 200 a 300 L/hab.dia;
- para cidades com população inferior a 50.000 habitantes: 150 a 200 L/hab.dia;
- mínimo: 100 L/hab.dia (a justificar);
- zonas servidas por torneiras públicas: 30 L/hab.dia.

Assim a ABNT recomenda que o estudo das demandas seja realizado levando-se em consideração a vazão média, vazão máxima diária e vazão máxima horária utilizando-se as seguintes equações:

- Vazão média:  **$Q_{\text{méd.}} = P \cdot q / 86.400$  (L/s)**
- Vazão máxima diária:  **$Q_{\text{máxdia}} = P \cdot q \cdot K1 \cdot C / 86.400$  (L/s)**
- Vazão máxima horária:  **$Q_{\text{máxhor}} = P \cdot q \cdot K1 \cdot K2 \cdot C / 86.400$  (L/s)**

Em que:

P = população, hab.

q = consumo *per capita* de água, L/hab.dia

K1 = coeficiente de reforço para o dia de maior consumo

K2 = Coeficiente de reforço para a hora de maior consumo

## 2.5. Estimativa do Crescimento Populacional para Abastecimento de Água

Para o cálculo da demanda de água necessária para o abastecimento é essencial à posse dos dados de crescimento populacional, da zona atendida, para isto projeta-se a taxa populacional para o futuro.

Entende-se por projeção de população ao conjunto de resultados provenientes de cálculos relativos à evolução futura de uma população, partindo-se, usualmente, de certos supostos com respeito ao curso que seguirá a fecundidade, a mortalidade e as migrações. Geralmente são cálculos formais que mostram os efeitos dos supostos adotados (Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS, IBGE, 2004).

Segundo SPERLING (2005), os principais métodos utilizados para as projeções populacionais são (Fair et al, 1968; CETESB, 1978; Barnes et al, 1981; Qasim, 1985; Metcalf & Eddy, 1991):

- *crescimento aritmético*
- *crescimento geométrico*
- *regressão multiplicativa*
- *taxa decrescente de crescimento*
- *curva logística*
- *comparação gráfica entre cidades similares*
- *método da razão e correlação*
- *previsão com base nos empregos*

Os quadros a seguir listam as principais características dos diversos métodos. Todos os métodos apresentados no primeiro quadro podem ser resolvidos também através da análise estatística da regressão (linear ou não linear). Estes métodos são encontrados em um grande número de programas de computador comercialmente disponíveis. Sempre que possível, deve-se adotar a análise da regressão, que permite a incorporação de uma maior série histórica, ao invés de apenas 2 ou 3 pontos, como nos métodos algébricos apresentados no Quadro (SPERLING, 2005).

Os resultados da projeção populacional devem ser coerentes com a densidade populacional da área em questão. Valores típicos de densidades populacionais estão apresentados no terceiro quadro. Já o quarto quadro apresenta

valores típicos de densidades populacionais de saturação, em regiões metropolitanas altamente ocupadas (SPERLING, 2005).

Quadro 01. Projeção populacional. Métodos com base em fórmulas matemáticas. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

Método	Descrição	Forma da curva	Taxa de crescimento	Fórmula da projeção	Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão)
Projeção aritmética	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0}$
Projeção geométrica	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{t_1 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
Regressão multiplicativa	Ajuste da progressão populacional por regressão linear (transformação logarítmica da equação) ou regressão não linear.		-	$P_t = P_0 + r \cdot (t - t_0)^s$	r, s - análise da regressão ou transformação logarítmica.
Taxa decrescente de crescimento	Premissa de que, à medida que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.		$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$
Crescimento logístico	O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$ . O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_1 = P_s/2$ .		$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0) / P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$

Fonte: adaptado parcialmente de Qasim (1985)

- $dP/dt$  = taxa de crescimento da população em função do tempo;
- $P_0, P_1, P_2$  = populações nos anos  $t_0, t_1, t_2$  (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab);
- $P_t$  = população estimada no ano  $t$  (hab);  $P_s$  = população de saturação (hab);
- $K_a, K_g, K_d, K_l, i, c, r, s$  = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas  $P_0, P_1$  e  $P_2$ ).

Quadro 02. Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

Método	Descrição
Comparação gráfica	O método envolve a projeção gráfica dos dados passados da população em estudo. Os dados populacionais de outras cidades similares, porém maiores são plotados de tal maneira que as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em estudo.
Razão e correlação	Assume-se que a população da cidade em estudo possui a mesma tendência da região (região física ou política) na qual se encontra. Com base nos registros censitários a razão "população da cidade/população da

	região" é calculada, e projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção populacional da região (efetuada em nível de planejamento por algum outro órgão) e da razão projetada.
<i>Previsão de empregos e serviços de utilidades</i>	A população é estimada utilizando-se a previsão de empregos (efetuada por algum outro órgão). Com base nos dados passados da população e pessoas empregadas, calcula-se a relação "emprego/população", a qual é projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção do número de empregos da cidade. O procedimento é similar ao método da razão. Pode-se adotar a mesma metodologia a partir da previsão de serviços de utilidade, como eletricidade, água, telefone etc. As companhias de serviços de utilidade normalmente efetuam estudos e projeções da expansão de seus serviços com relativa confiabilidade.

Fonte: Qasim (1985)

- Nota: a projeção futura das relações pode ser feita com base na análise da regressão.

Quadro 03. Densidades populacionais típicas em função do uso do solo. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

Uso do solo	Densidade populacional	
	(hab/ha)	(hab/km <sup>2</sup> )
Áreas residenciais		
Residências unifamiliares; lotes grandes	12 – 36	1.200 – 3.600
Residências unifamiliares; lotes pequenos	36 – 90	3.600 – 9.000
Residências multifamiliares; lotes pequenos	90 – 250	9.000 – 25.000
Apartamentos	250 – 2.500	25.000 – 250.000
Áreas comerciais	36 – 75	3.600 – 7.500
Áreas industriais	12 – 36	1.200 – 3.600
Total (excluindo-se parques e outros equipamentos de grande porte)	25 – 125	2.500 – 12.500

Fonte: adaptado de Fair, Geyer e Okun (1973) e Qasim (1985) (valores arredondados).

Quadro 04. Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por ha, em condições de saturação, em regiões metropolitanas altamente ocupadas. Fonte: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2005.

Uso do solo	Densidade populacional de saturação (hab/ha)	Extensão média de arruamentos (m/ha)
Bairros residenciais de luxo, com lote padrão de 800 m <sup>2</sup>	100	150
Bairros residenciais médios, com lote padrão de 450 m <sup>2</sup>	120	180
Bairros residenciais populares, com lote padrão de 250 m <sup>2</sup>	150	200
Bairros mistos residencial-comercial da zona central, com	300	150

predominância de prédios de 3 e 4 pavimentos		
Bairros residenciais da zona central, com predominância de edifícios de apartamentos com 10 e 12 pavimentos	450	150
Bairros mistos, residencial - comerciais – industriais da zona urbana, com predominância de comércio e indústrias artesanais e leves	600	150
Bairros comerciais da zona central com predominância de edifícios de escritórios	1000	200

Dados médios da Região Metropolitana de São Paulo. Fonte: Além Sobrinho e Tsutiya (1999).

Ainda segundo SPERLING (2005), Ao se fazer as projeções populacionais, deve-se ter em mente os seguintes pontos:

- Os estudos de projeção populacional são normalmente bastante complexos. Devem ser analisadas todas as variáveis (infelizmente nem sempre quantificáveis) que possam interagir na localidade específica em análise. Ainda assim podem ocorrer eventos inesperados que mudem totalmente a trajetória prevista para o crescimento populacional. Isto ressalta a necessidade do estabelecimento de um valor realístico para o horizonte de projeto.
- As sofisticadas matemáticas associadas às determinações dos parâmetros de algumas equações de projeção populacional perdem o sentido se não forem embasadas por informações paralelas, na maioria das vezes não quantificáveis, como aspectos sociais, econômicos, geográficos, históricos etc.
- O bom senso do analista é de grande importância na escolha do método de projeção a ser adotado e na interpretação dos resultados. Ainda que a escolha possa se dar tendo por base o melhor ajuste aos dados censitários disponíveis, a extrapolação da curva exige percepção e cautela.
- Os últimos dados censitários no Brasil têm indicado uma tendência geral (naturalmente que com exceções localizadas) de redução nas taxas anuais de crescimento populacional.
- É interessante considerar-se a inclusão de uma certa margem de segurança na estimativa, no sentido de que as populações reais futuras não venham, a menos de alguma forte causa imprevisível, facilmente ultrapassar a população de projeto estimada, induzindo a precoces sobrecargas no sistema implantado.

Para Garcês (1976), existem critérios para a estimativa populacional para o abastecimento de água urbano.

### 2.5.1. Crítérios Gerais

- 1- Fixa-se o período de tempo durante o qual o sistema de abastecimento deverá satisfazer e estima-se a população futura correspondente a esse prazo (geralmente é adotado para pequenas instalações).

- 2- Fixa-se uma população limite e determina-se qual o tempo para que ela seja atingida. Geralmente é adotado para grandes instalações, quando a execução das obras por etapa se impõe.

#### 2.5.2. Estimativas de crescimento da população

Ainda segundo Garcês (1976), a principal fonte de dados sobre população é constituída pelos recenseamentos decenais feitos pelo governo federal. A população cresce segundo o nascimento, decresce por mortes, aumenta ou diminui por migração aumenta por anexação.

### **2.6. Alternativas para o Abastecimento de Água Urbano**

Segundo CALLADO et al (2005), os mananciais utilizados para abastecimento de água podem ser superficiais (rios) ou subterrâneos (poços), e em sistemas individuais pode-se ainda utilizar as águas meteóricas (chuva).

De acordo com o manancial aproveitado, podem ser utilizadas as seguintes formas de captação:

- superfície de coleta (águas pluviais);
- caixa de tomada (nascente de encosta);
- galeria filtrante (fundo de vales);
- poço escavado (lençol freático);
- poço tubular profundo (lençol subterrâneo);
- tomada direta de rios, lagos e açudes (mananciais superficiais) (Manual de Saneamento, FUNASA, 2004).

Dentre as alternativas, serão abordadas apenas as que contemplam o abastecimento de água de grandes centros urbanos, como Palmas. A captação realizada na Estação de Tratamento de Água, ETA-6, localizada no exultório da

bacia, é de tomada direta de manancial superficial, o Ribeirão Taquaruçu, então serão abordadas alternativas, que em caso da captação atual não suprir a necessidade da população poderão ser utilizadas.

### 2.6.1. Águas Subterrâneas

A água subterrânea também pode ser utilizada para o abastecimento; por meio de poços freáticos ou poços tubulares profundos e com a construção de poços com as devidas proteções, o tratamento requerido para essas águas é apenas desinfecção, uma única cidade pode ter seu abastecimento misto, ou seja, feito a partir de águas superficiais e subterrâneas. (CALLADO et al, 2005).

As principais vantagens da utilização das águas subterrâneas são (BARROS et al, 1995):

- potencialmente apresentam boa qualidade para o consumo humano, embora o lençol freático seja muito vulnerável à contaminação;
- relativa facilidade de obtenção, embora nem sempre em quantidade suficiente;
- possibilidade de localização de obras de captação nas proximidades das áreas de consumo.

#### 2.6.1.1. Poços Escavados

Segundo Manual de Saneamento, FUNASA, 2004, são poços rasos ou freáticos, com diâmetro mínimo de 90 centímetros, são destinados tanto ao abastecimento individual como coletivo. Esta solução permite o aproveitamento da água do lençol freático, atuando geralmente, entre 10 a 20 metros de profundidade, podendo obter um volume de 2 a 3 mil litros de água por dia.

#### 2.6.1.2. Poço Tubular Profundo

Os poços profundos captam água do aquífero denominado artesianos ou confinados, localizado abaixo do lençol freático, entre duas camadas impermeáveis e sujeitas a uma pressão maior que a atmosfera. O nível de água, em seu interior,

sobe acima da camada da camada aquífera. A quantidade de água que pode fornecer depende das características geológicas do local, que influenciam na capacidade de armazenamento e circulação da água no aquífero. Assim a produção de água só pode ser estimada a partir de estudos hidrogeológicos ou pela observação de registros operacionais de poços existentes na região. Seu diâmetro varia entre 150 mm e 200 mm, é determinado em função da vazão a ser extraída. E a profundidade pode variar de 60 a 300 metros, ou mais, dependendo da profundidade em que se encontra o aquífero (Manual de Saneamento, FUNASA, 2004).

Segundo BARROS et al (1995), a alimentação do lençol confinado verifica-se somente no contato da formação geológica com a superfície do solo, podendo ocorrer a uma distância, considerável do local do poço, assim as condições climáticas ou o regime de chuvas, observados na área de perfuração do poço, pouco ou nada afetam as características do aquífero.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Caracterização da pesquisa**

##### **3.1.1. Coleta de Dados e Elementos**

O estudo de caso, com a finalidade de avaliar os dados fluviométricos do principal manancial da Bacia do Taquaruçu Grande, com ênfase na sua vazão, para suprir a demanda de consumo de água da cidade de Palmas, a capital do Tocantins. Realizou uma análise documental, coletando dados referentes à Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu e suas características físicas.

A coleta de dados foi realizada de forma direta, solicitando os dados de vazão pertinentes à pesquisa, à concessionária de fornecimento de água, Odebrecht Ambiental/Saneatins. A avaliação da oferta/disponibilidade hídrica do manancial, Ribeirão Taquaruçu, é realizada em função de suas vazões mínimas no período mais seco do ano.

Assim como os dados estáticos do crescimento populacional foram coletados no banco de dados do IBGE.

Analisando a expectativa da demanda de água atual e futura para a ETA-06, estação de tratamento situada no exutório da bacia hidrográfica em estudo.

##### **3.1.2. Tratamento dos dados recolhidos**

Para o tratamento destes dados fornecidos, foi utilizado o Software Excel, na montagem e modelagem de planilhas e gráficos, para composição das curvas de vazão, crescimento populacional e da demanda para o recurso, projetando-as para o futuro e assim confronta-las, na forma de tabelas e gráficos.

Assim baseando-se no referencial estudado foram calculadas a atual e as futuras demandas para o consumo de água requisitado para a bacia em questão.

### 3.1.3. Apresentação dos dados

Foram expostos através de gráficos, a curva de vazão em função do tempo, confrontando com a curva de crescimento da demanda de água para o abastecimento populacional em função do tempo, identificando no gráfico o ano de estrangulamento, onde a curva de vazão cruza a curva de crescimento na demanda de água.

## 3.2. Localização da área de estudo

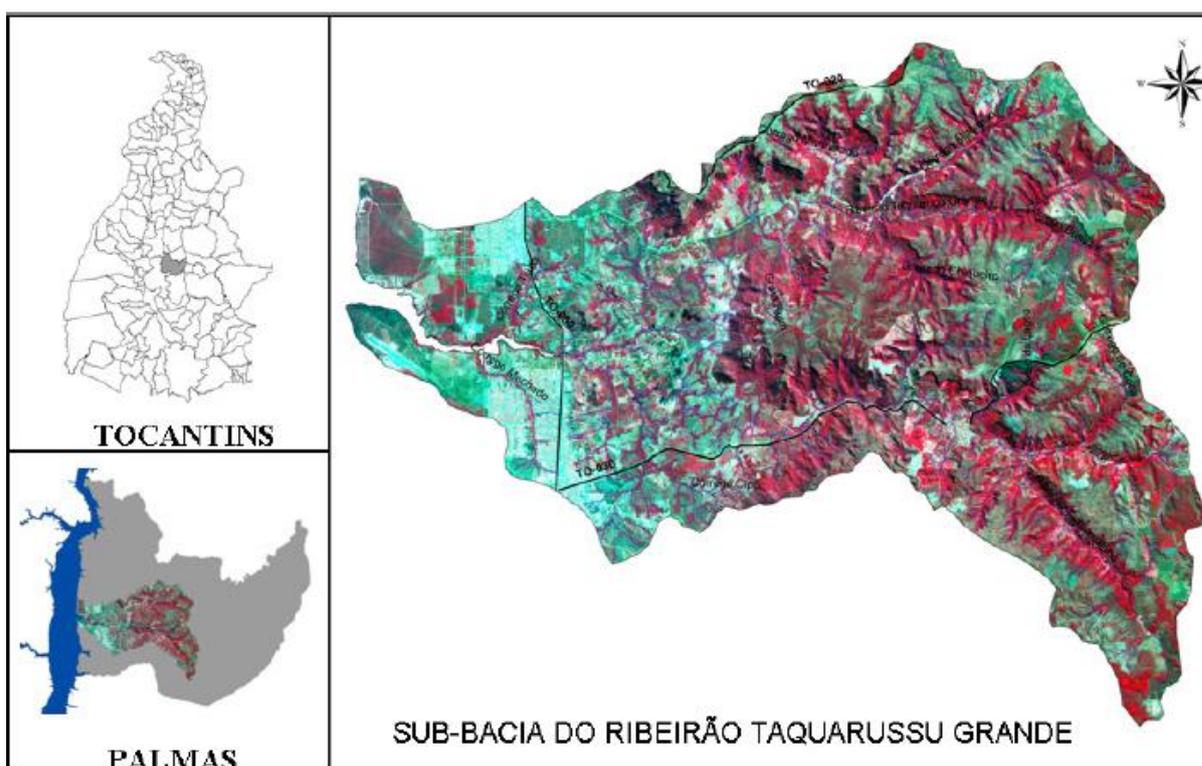


Figura 11: Mapa da Localização da Sub-bacia Taquaruçu Grande – TO. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

A Bacia do Ribeirão Taquaruçu, é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, localizada na região centro-sul do município de Palmas-To (figura 11), com nascente na Serra do Lajeado, cortando o município de Palmas no sentido Leste/Oeste, alongando-se por aproximadamente 36,9 km, desaguando no Lago formado pela UHE de Lajeado. Entre os paralelos 10°10'10" e 10°25'18" de latitude

sul e os meridianos 48°03'57" e 48°23'03" de longitude oeste de Greenwich (NETO, 2011).

Com área total de 458,16 km<sup>2</sup>, segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas-TO (2014), o que representa 19,1% da área do município, ocupando 73,67% da área da Área de Proteção Ambiental Serra do Lajeado, APA – LAJEADO. Pertence à Sub-bacia 22, de acordo com o Sistema Hidrometeorológico Nacional (ANA).

### **3.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande**

A bacia é formada por duas sub-bacias: Ribeirão Taquaruçuzinho e Ribeirão Taquaruçu Grande. Seus principais contribuintes pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçuzinho, o Córrego Machado e o Córrego Buritizal, e pela margem direita são o Córrego Macacão e o Córrego Tiúba (PMSB - PALMAS, 2014).

A urbanização se torna mais intensa no último terço do Ribeirão Taquaruçu Grande. Nesta área localiza-se uma parcela da cidade de Palmas e os bairros Taquaralto e Aurenny I, II e III, bem como o aeroporto de Palmas (PMSB, 2014).

O clima da região é Tropical Chuvoso, típico das savanas tropicais (Aw), com o máximo de precipitação no verão e clima seco no inverno. Com um máximo de precipitações no mês mais seco de 60 mm e temperaturas altas, superando 41°C (NETO, 2011).

A pedologia da bacia é caracterizada pela presença dos seguintes solos, demonstrada na figura 12.

- LV2: associação de Latossolo vermelho-amarelo, Concrecionário ou não, textura média e argilosa, relevo suave e ondulado + solo Concrecionários indiscriminados, textura indiscriminada, relevo ondulado suave e ondulado, ambos distróficos;

- LE1: Latossolo vermelho-escuro distrófico, textura argilosa, relevo plano suave ondulado;
- R3: Associação de solos Litólicos, textura indiscriminada + solos Concrecionários indiscriminados, textura indiscriminada + Afloramentos de rochas, todos distróficos, relevo ondulado;
- SC9: Associação de solos Concrecionários com textura média/argilosa, relevo ondulado + Podzólico vermelho-amarelo, textura média, relevo ondulado + Latossolo vermelho-amarelo, textura média, relevo suave ondulado, todos distróficos (NETO, 2011).

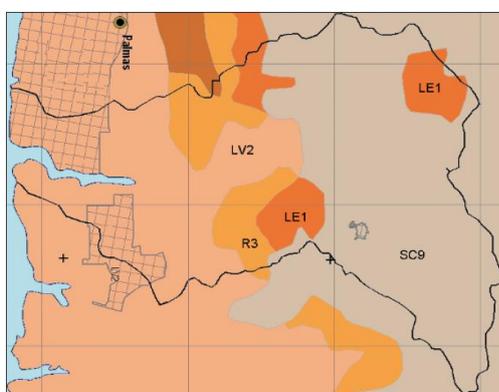


Figura 12: Mapa de Solos da Bacia do Ribeirão Taquaruçu. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

### 3.3.1. Parâmetros Morfométricos

Como cita o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume III – Drenagem Urbana (2014), Christofolletti (1969), a Sub-bacia, apresenta baixa densidade de drenagem de 1,08 km/km<sup>2</sup>. Possui relevo plano e suave, cuja condição de alta permeabilidade permite rapidez de infiltração de água e consequente formação de lençóis aquíferos. Naturalmente, nestas bacias, o regime pluvial tende a apresentar escoamento superficial pouco significativo, que gera mecanismos de erosão hídrica ligados ao processo inicial de chuva, provocando a erosão laminar ou em lençol, decorrente do atrito do próprio escoamento superficial que conduz material erodido dos pontos abaixo das encostas para as calhas fluviais.

A bacia em questão apresenta índices de circularidade, coeficientes de compacidade e fatores de forma que indicam que esta bacia é alongada, ou seja, possui menor concentração de deflúvio, a forma da bacia fica evidente na figura 13, que expõe as bacias abrangidas pela região urbana do município.

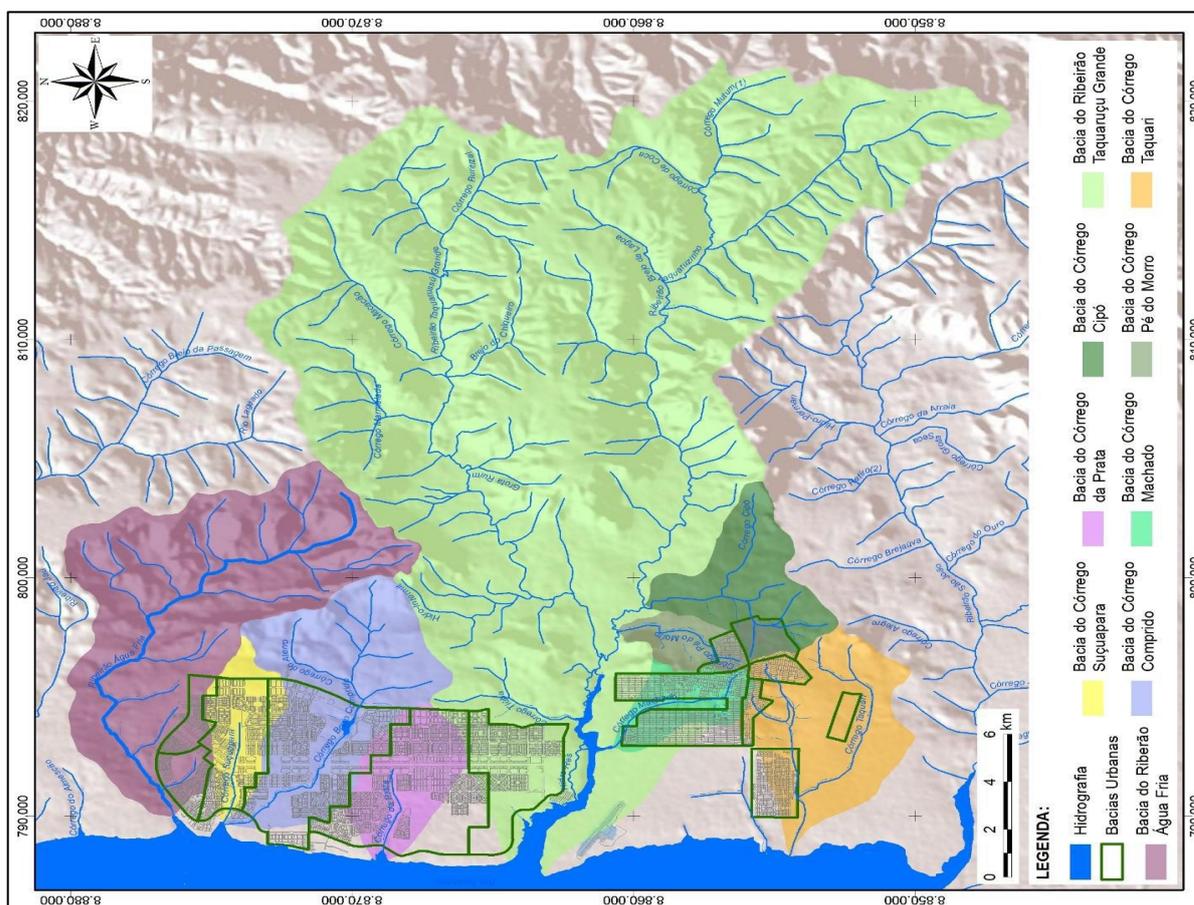


Figura 13: Bacias Urbanas do Município de Palmas. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume III – Drenagem Urbana (2014).

Considerando essa característica, pode-se inferir que a bacia hidrográfica que compõem a área de estudo apresenta riscos moderados de enchentes nas condições normais de precipitação (PMSB – PALMAS, 2014). As características fisiográficas da bacia estão demonstradas no quadro 05.

Bacia	Área Total (km <sup>2</sup> )	Perímetro Total (km)	L Principal (km)	Dt (km)	Dd (km/km <sup>2</sup> )	F	Kc	Ic	Ordem
Ribeirão Taquaruçu Grande	458,16	115,26	36,99	494,17	1,08	0,33	1,51	0,43	4

Onde: Dt – Rede de Drenagem Total; Dd – Densidade de Drenagem; F – Fator de Forma; Kc – Coeficiente de Compacidade; Ic – Índice de Circularidade.

Tabela 05: Parâmetros Morfométricos da Bacia do Ribeirão Taquaruçu. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume III – Drenagem Urbana (2014).

Características Geométricas	Classificação / Valor
Padrão de Drenagem	Sub-dendritico
Sentido de Orientação da Bacia	86°30' SW
Largura Média da Bacia	13,905 Km
Cota de Altitude mais alta	694 m
Cota de Altitude mais baixa	200 m
Altitude Média	363,85 m
Declividade Média	0,0115 m/m (1,15 %)
Comp. Axial do Rib. Taquaruçu Grande	42,2 km
Sinuosidade do Rib. Taquaruçu Grande	1,113
Comp. Axial do Rib. Taquaruçuzinho	35,3 Km
Sinuosidade do Rib. Taquaruçuzinho	1,108
Angularidade	Baixa
Grau de Controle	Pequeno nos Tributários
Orientação dos Tributários	Não orientados
Orientação dos Tributários Taquaruçuzinho e Taquaruçu Grande	Orientados

Quadro 05: Características Fisiográficas da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

### 3.4. Demanda de Água para Palmas-TO

A captação de água na bacia é realizada pela empresa de saneamento Odebrecht Ambiental/Saneatins, na ETA-06, localizada a jusante da união dos Ribeirões Taquaruçuzinho e Taquaruçu Grande, tendo como vazão máxima de captação e tratamento 700 l/s. Esta captação abastece parte de Palmas Centro e os bairros de Taquaralto e de Aurenly I, II e III. Também nesta mesma bacia é realizada a diluição dos efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto da Região Sul – Aurenly com vazão de lançamento de 30l/s (PMSB, 2014).

Na bacia está localizado o distrito de Taquaruçu cujo manancial de abastecimento, o córrego Roncador, é um dos afluentes ao córrego Taquaruçuzinho (PMSB, 2014).

A ETA-06 foi projetada de forma modular, sendo dividida em três módulos, com capacidade de tratamento final de 2.500 l/s (NETO, 2011).

A Odebrecht Ambiental, empresa de saneamento de Palmas-TO, atende a 99% da população urbana do município, através de sete sistemas produtores,

sendo, cinco nas sedes municipais, que representam uma capacidade de 1.013 l/s e dois nos Distritos de Buritirana, com capacidade de 4,5 l/s e Taquarussú, com capacidade de 13 l/s.

Sistema	ETA	Capacidade (l/s)	Manancial	Distribuição Atual	
				Região Central	Região Sul
Sede Municipal (Região Central + Região Sul)	ETA 006	700	Ribeirão Taquaruçu	450	250
	ETA 003	100	Ribeirão Água Fria	100	-
	ETA 005	80	Córrego Brejo Cumprido	80	-
	ETA 008	38	Subterrâneo	38	-
	ETA 009	95	Subterrâneo	-	95
	<b>Sub-Total</b>	<b>1.013</b>			<b>668</b>
Distrito de Buritirana	MINAS	4,50	Córrego Barreiro (Minas)	---	---
Distrito de Taquaruçu	ETA 007	13	Córrego Roncador	---	---

Tabela 06: Capacidade das ETAs de Palmas – TO. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB | Volume II – Água e Esgoto (2014).

A figura 14 apresenta a localização das estações de tratamento e suas respectivas áreas atendidas, sendo a ETA-06 a unidade operacional principal, atualmente abastecendo a quase 50% da população do município, parte do Plano Diretor, Distrito de Taquaralto e Alreny's (PMSB, 2014).



Figura 14: Áreas Atendidas pelas ETA's, Palmas-TO. Fonte: Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande, 2011.

### 3.4.1. Estimativa Populacional

Baseando-se nos dados populacionais do IBGE (ANEXO 01), realizou-se a estimativa populacional, através do Método da Projeção Aritmética proposto por VON SPERLING, pela Curva de Crescimento Populacional, segundo uma taxa constante de crescimento.

Recolhendo dados, na tabela e no gráfico de dados populacionais (APÊNDICE 01), da evolução populacional de Palmas ao longo dos últimos anos, foi realizada a projeção das taxas populacionais futuras do município.

Para a projeção populacional foram utilizados os dados censitários no intervalo de tempo,  $t = 10$  anos.

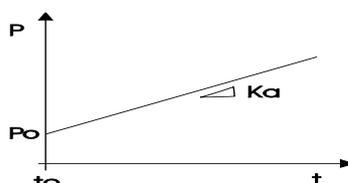
Ano	População (hab.)
1990	24261
2000	137355
2010	228332

Quadro 06: Dados Censitários para a Projeção Populacional Futura, Palmas-TO. Fonte: IBGE, 2016.

De acordo com o quadro 06, obteve-se a nomenclatura:

- $t_0 = 1990$      $P_0 = 24.261$  hab;
- $t_1 = 2000$      $P_1 = 137.355$  hab;
- $t_2 = 2010$      $P_2 = 228.332$  hab.

Para o cálculo da projeção é necessário realizar a análise da regressão, que de acordo com o Método da Projeção Aritmética, é encontrada através do coeficiente  $K_a$ . Calculado a partir da fórmula:



$$\text{Onde: } K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$$

Segundo a Prefeitura Municipal de Palmas (2010), a taxa de ocupação populacional urbana é de 97,1% e 2,9 na zona rural. Calculando as futuras taxas populacionais urbanas no município, com este percentual, necessárias para a estimativa da demanda.

### 3.4.2. Estimativa da Futura Demanda de Água para Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu

Seguindo as estimativas populacionais, foram calculadas as demandas futuras para a cidade de Palmas.

A ABNT, recomenda adotar para os valores de consumos per capita em cidades com população acima de 50.000 habitantes, caso de Palmas, entre 200 a 300 L/hab.dia. Utilizando as seguintes equações:

$$\text{- Vazão média: } Q_{\text{méd.}} = \frac{P \times q}{86400} \text{ (L/s)}$$

$$\text{- Vazão máxima diária: } Q_{\text{max.}} = \frac{P \times q \times K1}{86400} \text{ (L/s)}$$

$$\text{- Vazão máxima horária: } Q_{\text{max. hor}} = \frac{P \times q \times K1 \times K2}{86400} \text{ (L/s)}$$

Onde:

P = população, hab.;

q = consumo *per capita* de água, L/hab.dia;

K1 = coeficiente de reforço para o dia de maior consumo, 1,2;

K2 = Coeficiente de reforço para a hora de maior consumo, 1,5.

Os cálculos de demanda foram realizados considerando três valores de consumo per capita, para observar se a vazão oferecida pelo ribeirão atende a demanda média da população. Considerando o máximo de 2% de perdas na ETA.

Também foram estimadas as vazões solicitadas pelo sistema de abastecimento de água, até a vazão final, vazão de distribuição, considerando toda a rede.

### **3.5. Capacidade Hídrica da Bacia**

Para a estimativa das vazões disponíveis nos períodos de estiagem futuros, da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, foram utilizados os dados de vazões da bacia ao longo dos últimos anos, disponibilizados pela empresa de Saneamento Odebrecht/Ambiental Saneatins de Palmas-TO.

Para a formação da curva de vazão futura, como horizonte de 20 anos, foram tratados os dados disponibilizados pela Odebrecht Ambiental/Saneatins, de 2001 à 2014 (ANEXO 02). Observando que os meses mais secos do ano são julho, agosto e setembro, com pico de estiagem em setembro.

Fundamentando-se nos gráficos traçados a partir dos dados adquiridos e utilizando os Métodos das Estimativas Linear e Logarítmica, calculados a partir da linha de tendência do gráfico de vazões do mês de Setembro, foram estimadas as vazões mínimas futuras para a bacia (APÊNDICE 02).

Contudo, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, PNRH, Lei N° 9.433 de oito de janeiro de 1997, que possui os objetivos de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, a derivação ou captação em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, delimita a uma vazão de outorga, que varia de acordo com o regime do rio e das diretrizes das legislações federal e estaduais.

Segundo o Instituto Natureza do Tocantins, NATURATINS, o único usuário outorgado do Ribeirão Taquaruçu Grande é a Odebrecht Ambiental/Saneatins (NETO, 2011).

Em rios de regime permanente ou perenes, caso do Ribeirão Taquaruçu, a outorga é usualmente feita com base na  $Q_{7,10}$  (vazão mínima com duração de 7 dias e tempo de retorno de 10 anos), na  $Q_{90}$  ou na  $Q_{95}$  (vazão mínima associada às permanências de 90 e 95% no tempo, respectivamente), atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando-se apenas parte desses valores.

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  seriam necessários as vazões históricas da bacia, registradas todos os dias do ano, em um longo espaço de tempo, o que impossibilita a sua mensuração a partir dos dados disponibilizados pela Odebrecht Ambiental/Saneatins.

As vazões de referência  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , foram estimadas através do tratamento estatístico dos dados de vazões adquiridas, entre 2001 e 2015 (APÊNDICE 03).

Análise da vazão disponível para captação na bacia será delimitada a  **$75\%Q_{90} = 0,414 \text{ m}^3/\text{s}$** , o que é igual a  **$35.769,60 \text{ m}^3/\text{dia}$** , que é a vazão outorgada calculada para captação de água no manancial no mês de setembro.

O PMSB (2014) apresenta a vazão diária de captação outorgada para a ETA – 06, Taquaruçu, no mês de setembro, igual a  **$49.796 \text{ m}^3/\text{dia}$** ,  $0,576 \text{ m}^3/\text{s}$ , expedida pelo NATURATINS.

### **3.6. Comparativo Entre Demanda e Vazão Disponível para o Abastecimento**

Foram confrontadas as demandas estimadas, a partir da população estimada, com a vazão disponível no período de estiagem, mês de setembro, mais seco do ano, para o abastecimento, na ETA-06, localizada no exutório da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu, através dos gráficos e tabelas apresentados, analisando a porcentagem populacional atendida pela ETA-06, até 2035, utilizando como vazão disponível, a vazão outorgada, 75% da  $Q_{90}$ .

### 3.7. Estimativa da População Atendida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande

Com os percentuais da Demanda atendida pela ETA-06, foi encontrado o total da população urbana abastecida pela ETA-06 até o ano 2035. Calculando os valores da demanda atendida, em m<sup>3</sup>/s, ano a ano, retirando as perdas na ETA, por fim utilizando a formula de vazão demandada, para q = 250 l/hab.dia, calculando o total populacional urbano abastecido.

$$Q_{\text{méd}} = \frac{\text{Pop} \times \frac{q}{1000}}{86400}$$

Para a População:

$$\text{Pop} = \frac{86400 \times Q_{\text{méd.}}}{\frac{250}{1000}}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tratamento dos dados permitiu realizar a análise do comportamento hídrico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu com previsão para o futuro, limitando o horizonte de projeto para 20 anos, entre 2015 a 2035. Baseando-se nos dados de vazões históricas disponibilizados pela Odebrecht Ambiental/Saneatins e os dados populacionais coletados do banco de dados do IBGE foram analisadas as Demandas frente à Disponibilidade Hídrica da bacia, principal fornecedora de água para Palmas.

### 4. Análise das Vazões

Observando o gráfico 01, histórico de vazões no período mais seco, julho, agosto e setembro, nota-se que as vazões na bacia possuem uma tendência decrescente ao longo dos anos, provavelmente devido ao crescente aumento na atividade antrópica e a diminuição nos índices pluviométricos na bacia, os índices fluviométricos decrescem a cada ano, diminuindo a disponibilidade hídrica, principalmente no período de estiagem.

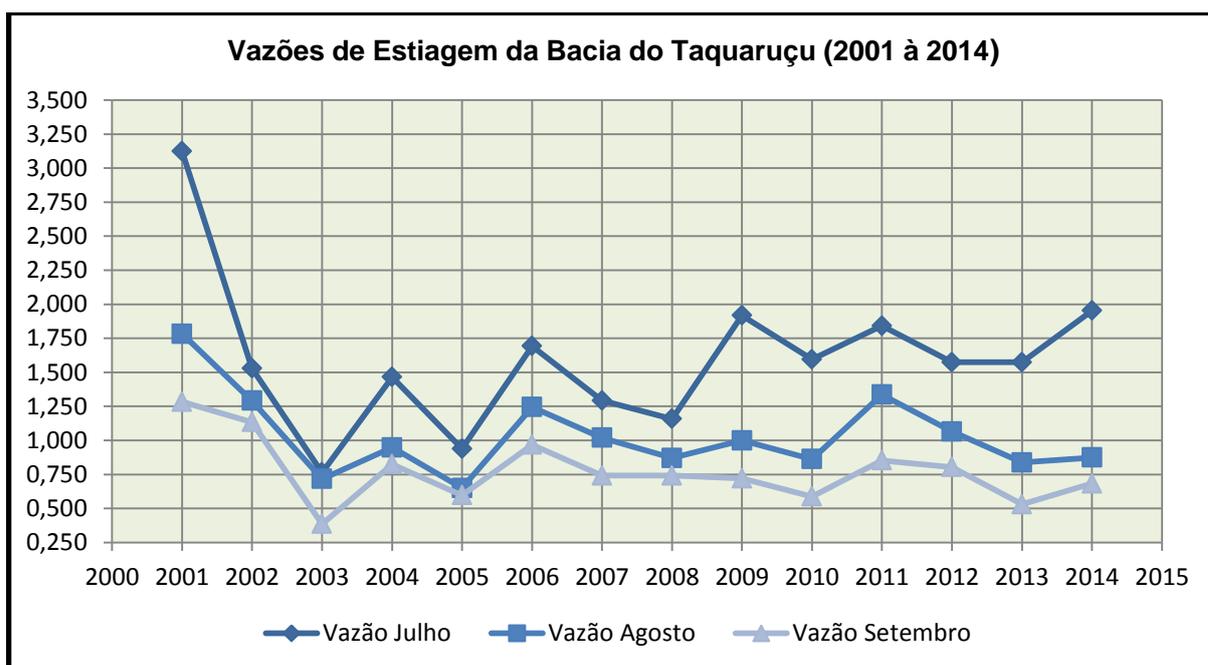


Gráfico 01: Vazões de Estiagem Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu entre 2001 e 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

Em 2001, a vazão, registrada no mês de julho, foi maior que a media, ultrapassando 3,0 m<sup>3</sup>/s, indicando que neste ano, choveu acima da media no mês de julho.

A tendenciosidade nos índices fluviométricos na bacia, oferece um risco gradual ao abastecimento de água da cidade de Palmas, pois a decrescente disponibilidade hídrica dificulta a captação de água no manancial, diminuindo ano a ano o percentual da população atendida pelo Ribeirão Taquaruçu.

O gráfico a seguir mostra a disponibilidade hídrica da bacia com estimativa para o futuro, modelo linear e logarítmico.

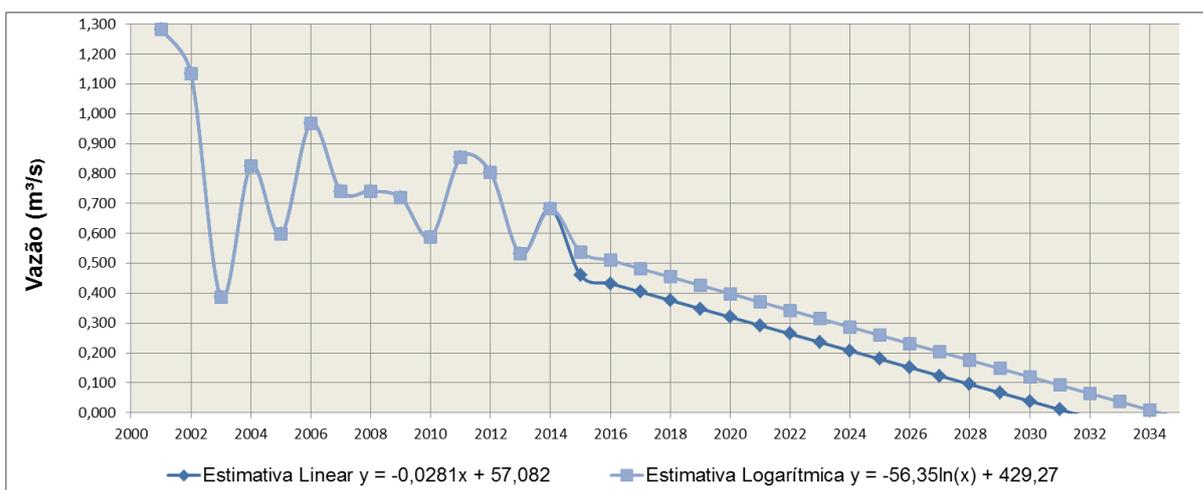


Gráfico 02: Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, mês de Setembro (2000 a 2034). Fonte: Autor, 2016.

Analisando a estimativa de vazões para o futuro, gráfico 02, baseado nas curvas de vazões históricas para o mês de setembro, menor índice fluviométrico, percebe-se que ao longo dos próximos anos o comportamento da bacia poderá se tornar intermitente, com vazões nulas no período mais seco do ano, forçando o sistema de fornecimento de água a utilizar outras fontes de captação.

#### 4.2. Análise do Crescimento Populacional de Palmas – TO

Através dos cálculos da Projeção Aritmética populacional obteve-se o coeficiente angular da linha de crescimento populacional.

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} = \frac{228332 - 24261}{2010 - 1990} = 10.203,55$$

Com o coeficiente **Ka = 10.203,55**, através da fórmula da projeção linear, foram encontradas as taxas populacionais estimada para os próximos 20 anos.

Os dados populacionais aferidos e estimados, com base nos dados do IBGE, pelo método da projeção linear, possibilita observar que a população de Palmas possui uma taxa de crescimento populacional expressiva, ao longo dos anos. Necessitando de um sistema de abastecimento de água que acompanhe o mesmo. Os gráficos 03 e 04 mostram a reta de projeção do crescimento populacional total e urbana de Palmas para os próximos anos, considerando a atual porcentagem de população urbana 97,1%, de acordo com o PMEP, 2012.

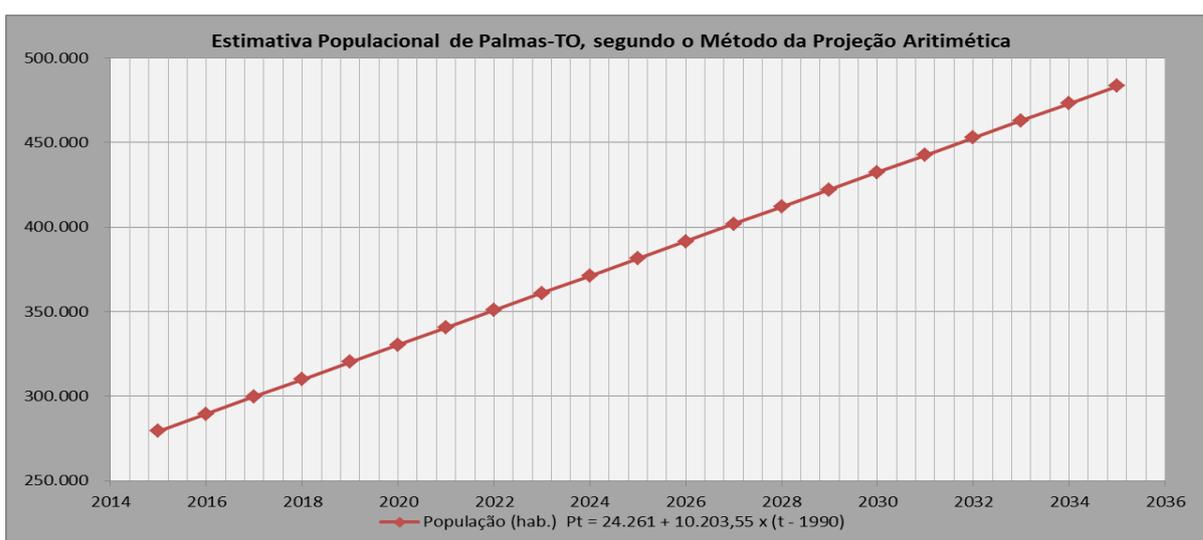


Gráfico 03: Curva do Crescimento Populacional de Palmas-TO (2015 à 2035). Fonte: Autor, 2016.

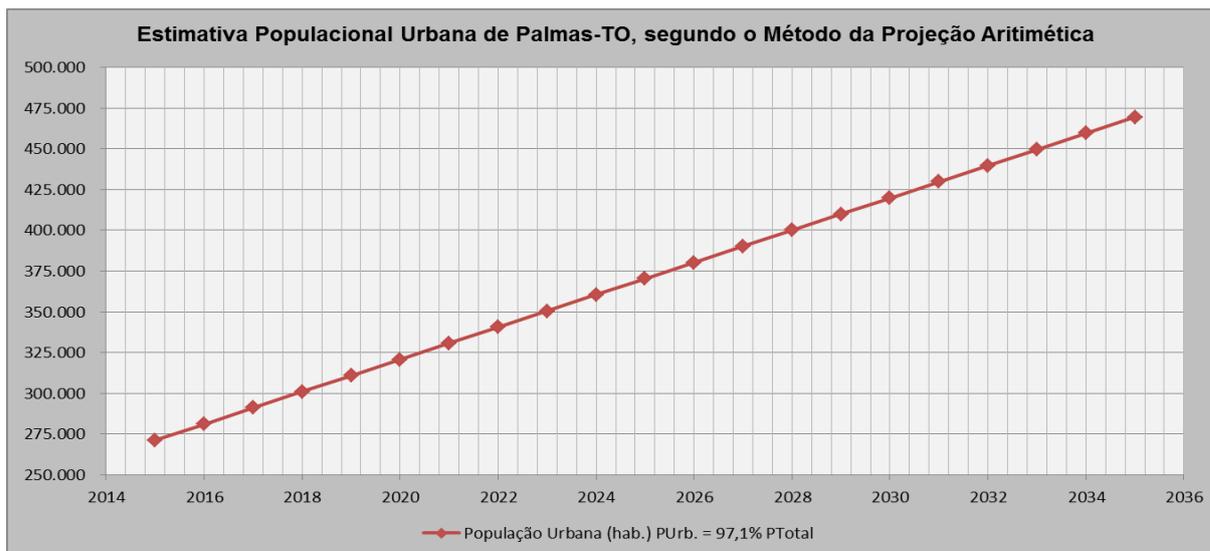


Gráfico 04: Curva do Crescimento Populacional Urbano de Palmas-TO (2015 à 2035). Fonte: Autor, 2016.

Os gráficos de crescimento populacional demonstram que a população de Palmas, tende a dobrar de tamanho em aproximadamente vinte anos.

#### **4.3. Análise da Demanda de Água frente à Disponibilidade Hídrica da Bacia**

As tabelas 07, 08 e 09, e gráficos 05, 06 e 07 a seguir, mostram os resultados da estimativa de demanda de abastecimento de água para a população urbana de Palmas, para os consumos de 200 l/hab.dia, 250 l/hab.dia e 300 l/hab.dia respectivamente.

Na tabela 10 e gráfico 08, estão expostos os resultados estimados a partir dos dados adquiridos, assim como o percentual populacional atendido pela bacia até 2035, considerando a taxa de consumo per capita  $q = 250$  l/s.hab., média no consumo de grandes cidades segundo a ABNT.

Esses gráficos e tabelas evidenciam que a bacia não acompanha o crescimento na demanda por água, da população urbana do município, mostram que o aumento gradativo no consumo, exigira valores maiores para a captação de água e que a bacia disponibiliza valores menores do recurso, em seu manancial superficial principal, para a captação.

Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 200 l/hab.dia)										
Ano	População Urbana (hab.)	Consumo Per capita (L/hab.dia)	Vazão Média Diária (m³/s)	Perdas na ETA 2%	Vazão de Captação (m³/s)	K1	Vazão de Adução (m³/s)	Vazão de Reservação (m³/s)	K2	Vazão de Distribuição (m³/s)
2015	271.249	200	0,628	0,013	0,640	1,2	0,640	0,753	1,5	1,130
2016	281.156	200	0,651	0,013	0,664	1,2	0,664	0,781	1,5	1,171
2017	291.064	200	0,674	0,013	0,687	1,2	0,687	0,809	1,5	1,213
2018	300.972	200	0,697	0,014	0,711	1,2	0,711	0,836	1,5	1,254
2019	310.879	200	0,720	0,014	0,734	1,2	0,734	0,864	1,5	1,295
2020	320.787	200	0,743	0,015	0,757	1,2	0,757	0,891	1,5	1,337
2021	330.694	200	0,765	0,015	0,781	1,2	0,781	0,919	1,5	1,378
2022	340.602	200	0,788	0,016	0,804	1,2	0,804	0,946	1,5	1,419
2023	350.510	200	0,811	0,016	0,828	1,2	0,828	0,974	1,5	1,460
2024	360.417	200	0,834	0,017	0,851	1,2	0,851	1,001	1,5	1,502
2025	370.325	200	0,857	0,017	0,874	1,2	0,874	1,029	1,5	1,543
2026	380.233	200	0,880	0,018	0,898	1,2	0,898	1,056	1,5	1,584
2027	390.140	200	0,903	0,018	0,921	1,2	0,921	1,084	1,5	1,626
2028	400.048	200	0,926	0,019	0,945	1,2	0,945	1,111	1,5	1,667
2029	409.956	200	0,949	0,019	0,968	1,2	0,968	1,139	1,5	1,708
2030	419.863	200	0,972	0,019	0,991	1,2	0,991	1,166	1,5	1,749
2031	429.771	200	0,995	0,020	1,015	1,2	1,015	1,194	1,5	1,791
2032	439.679	200	1,018	0,020	1,038	1,2	1,038	1,221	1,5	1,832
2033	449.586	200	1,041	0,021	1,062	1,2	1,062	1,249	1,5	1,873
2034	459.494	200	1,064	0,021	1,085	1,2	1,085	1,276	1,5	1,915
<b>2035</b>	<b>469.402</b>	200	<b>1,087</b>	<b>0,022</b>	<b>1,108</b>	<b>1,2</b>	<b>1,108</b>	<b>1,304</b>	<b>1,5</b>	<b>1,956</b>

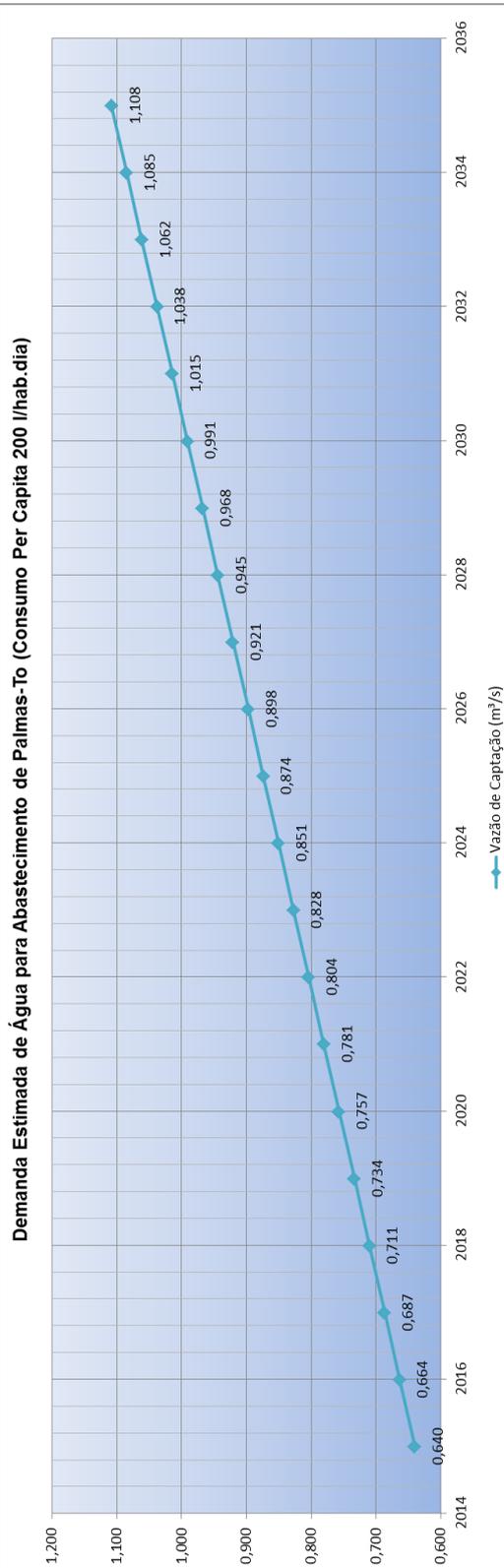


Tabela 07/Gráfico 05: Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 200 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 250 l/hab.dia)										
Ano	População Urbana (hab.)	Consumo Per capita (l/hab.dia)	Vazão Média Diária (m³/s)	Perdas na ETA 2%	Vazão de Captação (m³/s)	K1	Vazão de Adução (m³/s)	Vazão de Reservação (m³/s)	K2	Vazão de Distribuição (m³/s)
2015	271.249	250	0,785	0,016	0,801	1,2	0,801	0,942	1,5	1,413
2016	281.156	250	0,814	0,016	0,830	1,2	0,830	0,976	1,5	1,464
2017	291.064	250	0,842	0,017	0,859	1,2	0,859	1,011	1,5	1,516
2018	300.972	250	0,871	0,017	0,888	1,2	0,888	1,045	1,5	1,568
2019	310.879	250	0,900	0,018	0,918	1,2	0,918	1,079	1,5	1,619
2020	320.787	250	0,928	0,019	0,947	1,2	0,947	1,114	1,5	1,671
2021	330.694	250	0,957	0,019	0,976	1,2	0,976	1,148	1,5	1,722
2022	340.602	250	0,986	0,020	1,005	1,2	1,005	1,183	1,5	1,774
2023	350.510	250	1,014	0,020	1,034	1,2	1,034	1,217	1,5	1,826
2024	360.417	250	1,043	0,021	1,064	1,2	1,064	1,251	1,5	1,877
2025	370.325	250	1,072	0,021	1,093	1,2	1,093	1,286	1,5	1,929
2026	380.233	250	1,100	0,022	1,122	1,2	1,122	1,320	1,5	1,980
2027	390.140	250	1,129	0,023	1,151	1,2	1,151	1,355	1,5	2,032
2028	400.048	250	1,158	0,023	1,181	1,2	1,181	1,389	1,5	2,084
2029	409.956	250	1,186	0,024	1,210	1,2	1,210	1,423	1,5	2,135
2030	419.863	250	1,215	0,024	1,239	1,2	1,239	1,458	1,5	2,187
2031	429.771	250	1,244	0,025	1,268	1,2	1,268	1,492	1,5	2,238
2032	439.679	250	1,272	0,025	1,298	1,2	1,298	1,527	1,5	2,290
2033	449.586	250	1,301	0,026	1,327	1,2	1,327	1,561	1,5	2,342
2034	459.494	250	1,330	0,027	1,356	1,2	1,356	1,595	1,5	2,393
<b>2035</b>	<b>469.402</b>	<b>250</b>	<b>1,358</b>	<b>0,027</b>	<b>1,385</b>	<b>1,2</b>	<b>1,385</b>	<b>1,630</b>	<b>1,5</b>	<b>2,445</b>

Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 250 l/hab.dia)



Tabela 08/Gráfico 06: Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 250 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 300 l/hab.dia)										
Ano	População Urbana (hab.)	Consumo Per capita (L/hab.dia)	Vazão Média Diária (m³/s)	Perdas na ETA 2%	Vazão de Captação (m³/s)	K1	Vazão de Adução (m³/s)	Vazão de Reservação (m³/s)	K2	Vazão de Distribuição (m³/s)
2015	271.249	300	0,942	0,019	0,961	1,2	0,961	1,130	1,5	1,695
2016	281.156	300	0,976	0,020	0,996	1,2	0,996	1,171	1,5	1,757
2017	291.064	300	1,011	0,020	1,031	1,2	1,031	1,213	1,5	1,819
2018	300.972	300	1,045	0,021	1,066	1,2	1,066	1,254	1,5	1,881
2019	310.879	300	1,079	0,022	1,101	1,2	1,101	1,295	1,5	1,943
2020	320.787	300	1,114	0,022	1,136	1,2	1,136	1,337	1,5	2,005
2021	330.694	300	1,148	0,023	1,171	1,2	1,171	1,378	1,5	2,067
2022	340.602	300	1,183	0,024	1,206	1,2	1,206	1,419	1,5	2,129
2023	350.510	300	1,217	0,024	1,241	1,2	1,241	1,460	1,5	2,191
2024	360.417	300	1,251	0,025	1,276	1,2	1,276	1,502	1,5	2,253
2025	370.325	300	1,286	0,026	1,312	1,2	1,312	1,543	1,5	2,315
2026	380.233	300	1,320	0,026	1,347	1,2	1,347	1,584	1,5	2,376
2027	390.140	300	1,355	0,027	1,382	1,2	1,382	1,626	1,5	2,438
2028	400.048	300	1,389	0,028	1,417	1,2	1,417	1,667	1,5	2,500
2029	409.956	300	1,423	0,028	1,452	1,2	1,452	1,708	1,5	2,562
2030	419.863	300	1,458	0,029	1,487	1,2	1,487	1,749	1,5	2,624
2031	429.771	300	1,492	0,030	1,522	1,2	1,522	1,791	1,5	2,686
2032	439.679	300	1,527	0,031	1,557	1,2	1,557	1,832	1,5	2,748
2033	449.586	300	1,561	0,031	1,592	1,2	1,592	1,873	1,5	2,810
2034	459.494	300	1,595	0,032	1,627	1,2	1,627	1,915	1,5	2,872
<b>2035</b>	<b>469.402</b>	<b>300</b>	<b>1,630</b>	<b>0,033</b>	<b>1,662</b>	<b>1,2</b>	<b>1,662</b>	<b>1,956</b>	<b>1,5</b>	<b>2,934</b>

Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 300 l/hab.dia)



Tabela 09/Gráfico 07: Demanda Estimada de Água para Abastecimento de Palmas-To (Consumo Per Capita 300 l/hab.dia), de 2015 à 2035. Fonte: Autor, 2016.

Ano	Disponibilidade Hídrica		Disponibilidade Hídrica		Disponibilidade Hídrica		Disponibilidade Hídrica		Disponibilidade Hídrica		Disponibilidade Hídrica	
	Demanda p/ q = 250 l/s	100% da Pop. Urbana	Q (m³/s)	Estimativa Logarítmica	Estimativa Linear	Q (m³/s) - Retirada 25% da Q90	Estimativa Linear	Estimativa Logarítmica	Retirada 25% da Q90 (vazão outorgada)	Estimativa Linear	Estimativa Logarítmica	Percentual Atendido pela ETA-06
2015		0,801	0,461	0,538	0,323	0,400	40,28%				49,98%	
2016		0,830	0,432	0,510	0,294	0,372	35,48%				44,85%	
2017		0,859	0,404	0,482	0,266	0,344	31,00%				40,07%	
2018		0,888	0,376	0,454	0,238	0,316	26,82%				35,60%	
2019		0,918	0,348	0,426	0,210	0,288	22,90%				31,43%	
2020		0,947	0,320	0,398	0,182	0,260	19,22%				27,51%	
2021		0,976	0,292	0,371	0,154	0,233	15,77%				23,83%	
2022		1,005	0,264	0,343	0,126	0,205	12,51%				20,36%	
2023		1,034	0,236	0,315	0,098	0,177	9,44%				17,09%	
2024		1,064	0,208	0,287	0,070	0,149	6,54%				14,00%	
2025		1,093	0,179	0,259	0,041	0,121	3,80%				11,08%	
2026		1,122	0,151	0,231	0,013	0,093	1,19%				8,32%	
2027		1,151	0,123	0,204	-0,015	0,066	-1,28%				5,69%	
2028		1,181	0,095	0,176	-0,043	0,038	-3,62%				3,19%	
2029		1,210	0,067	0,148	-0,071	0,010	-5,86%				0,82%	
2030		1,239	0,039	0,120	-0,099	-0,018	-7,99%				-1,44%	
2031		1,268	0,011	0,092	-0,127	-0,046	-10,02%				-3,59%	
2032		1,298	-0,017	0,065	-0,155	-0,073	-11,96%				-5,65%	
2033		1,327	-0,045	0,037	-0,183	-0,101	-13,81%				-7,61%	
2034		1,356	-0,073	0,009	-0,211	-0,129	-15,59%				-9,49%	
2035		1,385	-0,102	-0,018	-0,240	-0,156	-17,29%				-11,29%	

Comparativo Entre as Estimativas de Demanda e Vazões Disponíveis até 2035 com base na Vazão Ortogada Q90 (2001 a 2014)

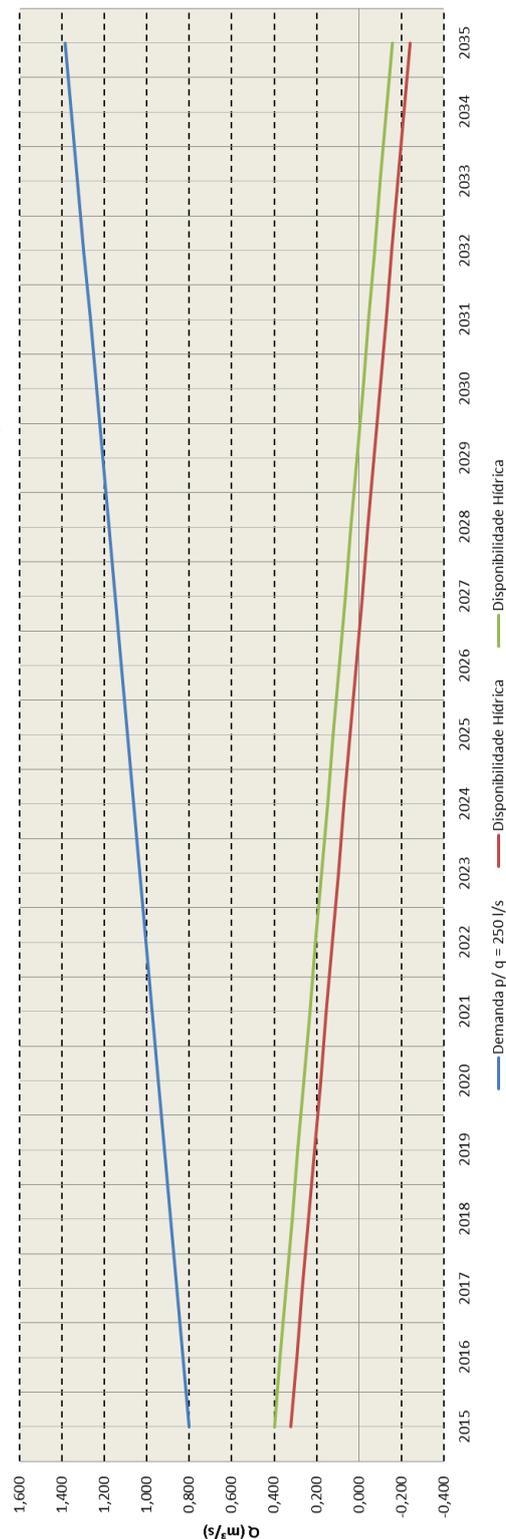


Tabela 10/Gráfico 08: Percentual Populacional Atendido pela ETA-06, entre a Demanda para a cidade de Palmas-TO e a Vazão Mínima Disponível na Bacia do Ribeirão Taquaruçu. Fonte: Autor, 2016.

Analisando a tabela 13 e gráfico 08, constata-se que a vazão decrescente do manancial no mês de Setembro, atende a cada ano sequente a um percentual menor, da demanda de abastecimento, chegando a valores nulos em 2027, sendo

que atualmente abastece a menos de **50% da demanda**, reduzindo a sua capacidade atual pela metade até 2020.

O gráfico 09 apresenta os resultados da estimativa da demanda atendida pelo manancial, no mês mais seco do ano, apresentando seu declínio ao longo dos próximos anos e a necessidade de alternativas para a captação de água para o abastecimento municipal.

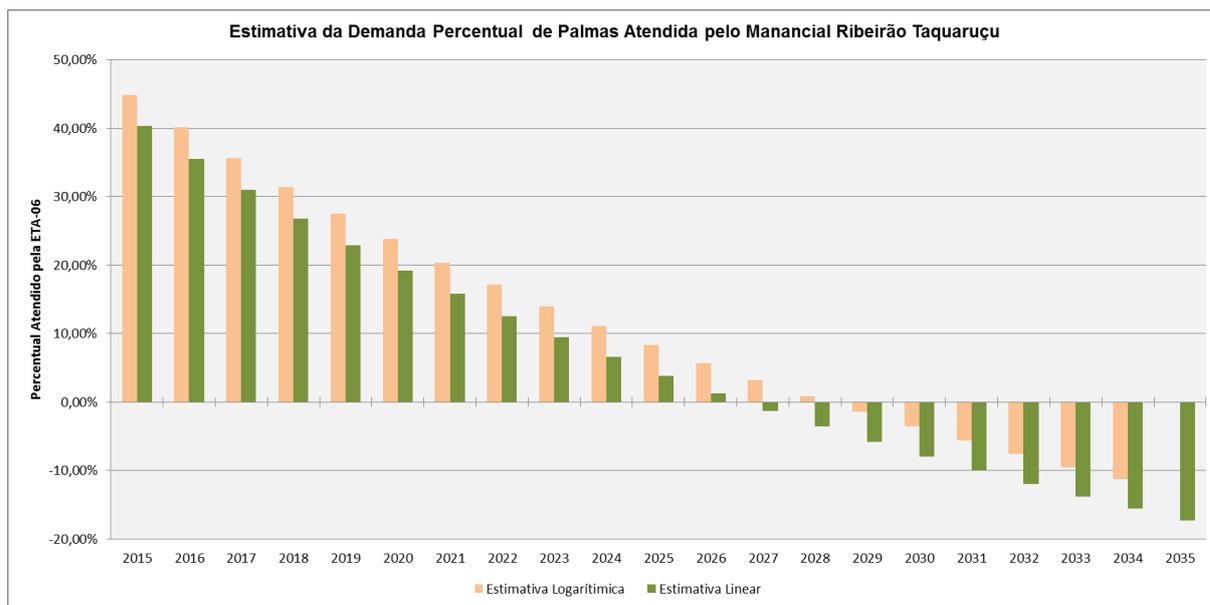


Gráfico 09: Percentual da Demanda de Abastecimento de Água de Palmas-TO Atendida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande (2015 a 2035). Fonte: Autor, 2016.

#### 4.4. População Urbana Atendida pelo Manancial

O gráfico 10, expõe a perspectiva população atendida pelo manancial até 2035, evidenciando o comportamento decrescente na disponibilidade hídrica da bacia. Que baseado nas estimativas, até 2029, terá seu potencial produtor de água anulado, deixando de abastecer à pelo menos parte da cidade.

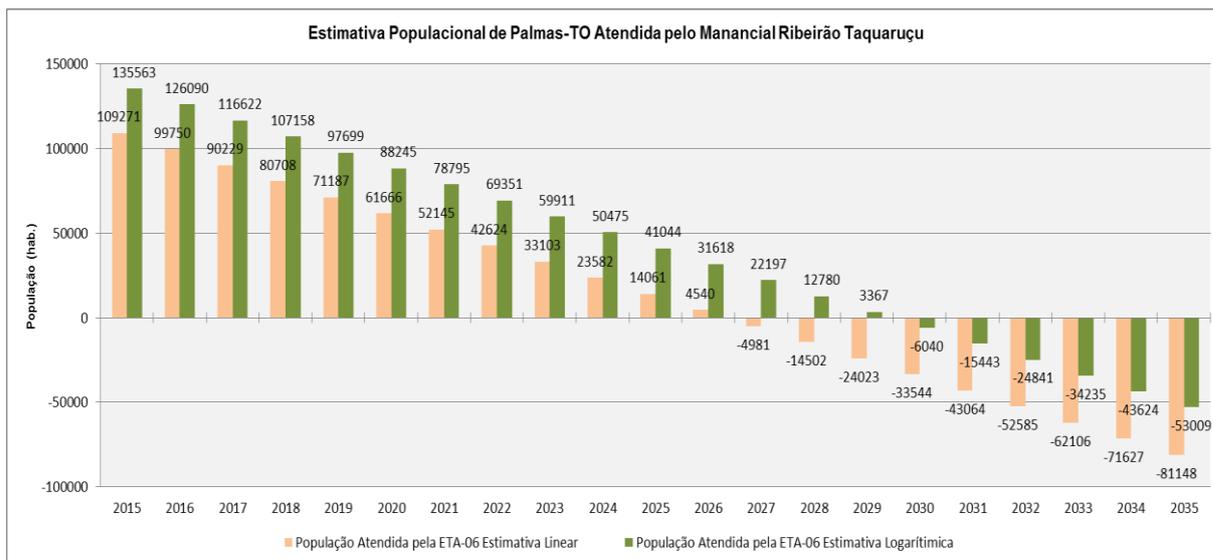


Gráfico 10: População de Palmas-TO Abastecida pelo Ribeirão Taquaruçu Grande (2015 a 2035).  
Fonte: Autor, 2016.

Analisando o gráfico 10, verifica-se que atualmente o manancial superficial produtor de água, abastece até 126.090 habitantes, estimativa logarítmica, o que representa aproximadamente **45% da população estimada de 2016**, 281.156 habitantes. Reduzindo totalmente sua capacidade de abastecimento até 2029 aproximadamente.

Evidenciando a necessidade de alternativas para suprir o abastecimento da população atendida pela ETA-06, nos próximos anos.

#### 4.5. Alternativas de Captação de Água para Palmas-TO

Constatado que o manancial de abastecimento Ribeirão Taquaruçu, está reduzindo sua capacidade de fornecimento de água, podendo chegar ao limite nos próximos 13 anos, verifica-se que a uma grande necessidade de solução para o problema de abastecimento municipal, dado que o mesmo é o principal produtor de água do município.

Segundo a ANA (2010), a situação atual de Palmas requer adoção de novo manancial de captação e que estudos estão sendo realizado, para a captação de água do Lago da UHE-Lajeado, o que requer grandes investimentos. O quadro 10

apresenta a atual situação da capital, na oferta de água dos seus sistemas produtores.

Palmas - TO		
Sistema Produtor	Principais Mananciais	Sedes Urbanas Atendidas
ISOLADOS	Ribeirão Taquarussu	Palmas
	Córrego Água Fria	Palmas
	Córrego Brejo Comprido	Palmas
	Poços	Palmas

**SOLUÇÕES PROPOSTAS**

*Os mananciais de abastecimento de Palmas são de pequeno porte, sem garantia hídrica e, em função da proximidade da área urbana, estão sujeitos à poluição. Desse modo, prevê-se a implantação de uma nova captação e sistema produtor a partir do lago da UHE Lajeado, cuja solução, em fase preliminar de projeto, requer investimentos estimados em torno de R\$ 20 milhões.*

Quadro 07: Sistemas Produtores de Água de Palmas-To. Fonte: ANA, 2010.

Deste modo fundamentando-se no referencial bibliográfico, dentre as alternativas mais viáveis para a produção de água, estão os poços profundos, pois as águas subterrâneas são potencialmente mais puras e de fácil tratamento que as superficiais, viabilizando a sua utilização para o abastecimento. O seu tratamento, se o poço de captação for devidamente construído, com suas proteções anti-contaminação, só necessita de desinfecção da água, viabilizando o projeto em longo prazo.

Os poços freáticos, rasos, fornecem vazões pequenas, no entanto os poços profundos, de captação em lenções confinados, oferecem grandes vazões dependendo das características geológicas do local.

O município conta hoje com a captação em manancial subterrâneo em dois pontos, na ETA-08, localizada na Zona Norte, próxima ao lago, com capacidade de 38 l/s e ETA-09, localizada na zona sul, no setor Taquary, com capacidade de 95 l/s, totalizando 133 l/s. A ETA-08 é formada por oito poços tubulares profundos, com somatório de vazões outorgadas, para cada mês de 2.520 m<sup>3</sup>/dia e a ETA-09 é formada por quatro poços tubulares profundos, com vazões outorgadas para cada mês de 8.844 m<sup>3</sup>/dia, as vazões outorgadas em poços profundos não sofrem

interferências climáticas, mantendo os mesmos valores durante todo o ano (PMSB, 2014).

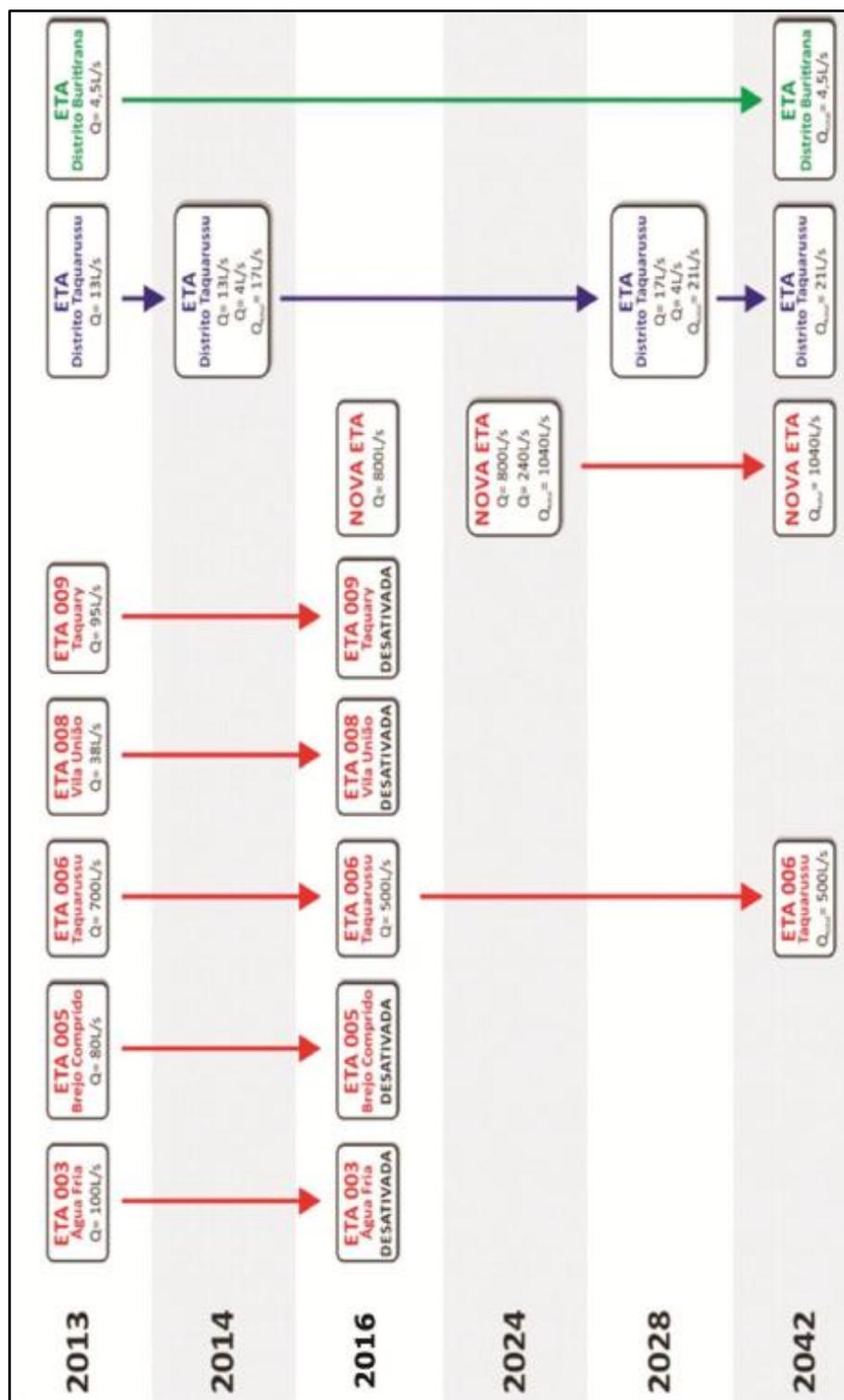
Conjuntamente a viabilidade da captação em mananciais subterrâneos, tem-se o potencial da bacia, que segundo o PMSB (2014), apresenta baixa densidade de drenagem e têm relevo plano e suave, cuja condição de alta permeabilidade permite rapidez de infiltração de água e conseqüente formação de lençóis aquíferos.

Entretanto o PMSB (2014) prevê a ampliação do Sistema de Abastecimento de Palmas, análise realizada com horizonte até 2043, com a captação de água no Lago formado pela UHE-Lajedo, havendo a necessidade da construção de uma nova Estação de Tratamento de Água (ETA) e captação, com capacidade para 800 l/s (primeira fase) no ano de 2016, para atendimento da região Central.

Efetuando a desativação dos sistemas menores, ETA-03, ETA-05, ETA-08 e ETA-09. Mantendo em funcionamento apenas a Nova ETA, abastecendo a região norte, e a ETA-06, com vazão de 500l/s, abastecendo a região sul. Prevendo uma ampliação no ano de 2024 da nova ETA em mais 240 l/s (segunda fase), totalizando até o fim do plano a capacidade de produção de 1.040 l/s, que serão captadas no lago da UHE Lajeado, em área que será definida após a elaboração do projeto básico.

O volume de água captado no Lago será aduzido até a ETA que deverá dispor de tecnologia para o tratamento de água de reservatório, sendo construída em três etapas. O sistema de adução da água envolve a construção de adutoras para o atendimento da interligação da nova captação com a ETA e interligação do sistema de produção aos reservatórios de abastecimento. Serão implantadas 15.700 metros de adutoras (PMSB, 2014). O que encarece as obras, pois a implantação do sistema de captação, adução e tratamento de água de reservatórios, requer grandes investimentos.

O quadro 11 expõe a evolução das necessidades de Estação de Tratamento de Água ao longo do horizonte do PMSB, de 2016 a 2042.



Quadro 08: Evolução das necessidades de ETA ao longo do horizonte do PMSB. Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas, Volume II, ÁGUA E ESGOTO, 2014.

A figura 16 apresenta a nova configuração no sistema de abastecimento de água com previsão para 2043, segundo o PMSB (2014). Que irá utilizar a captação no lago da UHE-Lajeado para suprir a demanda crescente.



Figura 15: Localização das principais estruturas do sistema de abastecimento de água – Cenário Futuro (2043). Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas, Volume II, ÁGUA E ESGOTO, 2014.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A finalização do estudo da Disponibilidade Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, baseado na vazão disponível para captação na foz da bacia, permite observar que existe um déficit crescente, reduzindo a capacidade de produção hídrica em até 50%, de 2001 a 2014, de acordo com os dados de vazão adquiridos. Analisando as projeções futuras, observa-se que as vazões tendem a reduzir mais ainda, podendo atingir o regime intermitente nos próximos 15 anos.

Com a estimativa populacional de Palmas, constata-se que o crescimento é bastante expressivo, aproximadamente 3,5% ao ano, baseado nas taxas populacionais do IBGE, aumentando gradativamente ano a ano a demanda por água.

Confrontando o crescimento populacional, com a disponibilidade hídrica da bacia, nota-se que até 2029 a bacia deixará de atender pelo menos parte da população urbana do município, evidenciando a necessidade de alternativas para a captação de água, desde o atual cenário, pois a bacia, sendo o principal produtor de água, não abastece a mais da metade da população.

A proposta final do trabalho, para suprir a demanda crescente por água, em Palmas, é a captação de água em poços profundos na bacia, dada a facilidade de tratamento das águas subterrâneas, ou a captação no Lago formado pela UHE-Lajeado, que necessita de investimentos maiores tanto na adução, quanto no tratamento das águas.

Como complementação ao estudo, sugeri o Estudo Comparativo da Viabilidade Econômica do Tratamento de Águas Captadas em Mananciais Subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande e de Águas Captadas no Lago Formado pela UHE-Lajeado para o Abastecimento de Palmas-TO, como também a Caracterização Qualitativa e Quantitativa das Águas Subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, segundo a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008.

## 6. REFERÊNCIAS

DANTAS, Carlos Eduardo de Oliveira; CIRILO, José Almir; NETO, Alfredo Ribeiro e SILVA, Edilson Raimundo. **Caracterização da Formação de Cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco: Análise Estatística Regional**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 19 n.4. Out/Dez 2014. 239-248 p.

ANA, Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente. **O COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA / O QUE É E O QUE FAZ? CADERNOS DE CAPACITAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**. Volume 1, Brasília, DF, 2011.

ANA, Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente. **ATLAS BRASIL / Abastecimento Urbano de Água / Panorama Nacional**. Volume 1, Brasília, DF, 2010.

REYS, César Daniel Riveros; RIZZI, Nivaldo Eduardo; ARAKI, Hideo. **ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ (CANINDEYÚ, PARAGUAI) EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL**. Floresta, Curitiba, PR, v. 41, n. 2, p. 243-256, abr./jun, 2011.

TOLEDO, Sinézio Aparecido de; NERY, Oséias Felipe. **CAPTAÇÃO DE ÁGUA**, Agosto, 2002.

PAZ, Adriano Rolim da. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Setembro, 2004.

FILHO, Luiz Norberto Lacerda Magalhães; RODRIGUES, Waldecy; MAGALÃES, Keile Aparecida Beraldo; OLIVEIRA, Karine Beraldo Magalhães. **VALORAÇÃO DE DANOS AMBIENTAIS EM CORPOS HÍDRICOS: O CASO DO ASSOREAMENTO DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU GRANDE NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**. Canoas, Revista de Ciências Ambientais, v.6, n.1, 73 a 86 p., 2012 / ISSN 1981-8858.

GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA. **Saneamento Básico – IT 179**. Agosto, 2007, 77 a 144 p..

MARANGON, D. **BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO**. Unidade 05. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra – 2004.

SANTOS, Marcus Suassuna, PINTO, Éber José de Andrade; MARTINS, Luana Kessia Lucas Alves; PINTO, Jorge Antônio de Oliveira. **Definição de Liminares de Secas e Cálculo do Índice de Precipitação Padronizada por Meio de Análise Regional de Frequências na Bacia do Alto São Francisco**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 18. n.2 – Abr/Jun 2013, 95-105 p..

STUDART, Ticiano; CAMPOS, Nilson. **Hidrologia Aplicada**. Cap. 1. 2004.

PONTES, Paulo Rógenes Monteiro; COLLISCHONN, Walter. **Conservação de Volume em Modelos Simplificados de Propagação de Vazão**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 17, n.4, Out/Dez, 2012, 83-96 p..

Academia Brasileira de Ciências. **RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; LIBÂNIO, Marcelo. **Modelo para estimativa do consumo domiciliar de água e de energia elétrica em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 19, n.4, Out/Dez 2014, 7-20 p..

MAGALHÃES, Carlos Augusto de Carvalho; MORENO, José; GALVÃO Jr., Alceu de Castro. **ESTIMATIVA DO CONSUMO PER CAPITA EM COMUNIDADES ATENDIDAS PELA UNIDADE DE NEGÓCIO DO MÉDIO TIETÊ - I-061 - 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. ABES – Trabalhos Técnicos. Botucatu, São Paulo, 2001.

ANA, Agência Nacional de Águas; MMA, Ministério do Meio Ambiente; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **GEO Brasil: Recursos Hídricos: Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília, DF, 2007.

CARVALHO, Daniel F.; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. da. **Hidrologia**. IT 115 – Irrigação e Drenagem. Maio, 2007.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; GOLDENFUM, Joel Avruch. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Regionalização de Vazões**. Módulos I e II. SEPLAN, Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins. Novembro, 2006 / Fevereiro, 2007.

COLLISCHONN, Bruno; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; COLLISCHONN, Walter; MEIRELLES, Fernando Setembrino Cruz; SCHETTINI, Edith Beatriz Camano; FAN, Fernando Mainardi. **Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí - RS**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 16, n.4, Out/Dez 2011, 119-133 p..

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS; SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DO MEIO AMBIENTE – SEPLAN. **Serviços de Consultoria para Elaboração do Plano das Bacias Hidrográficas do Entorno de Palmas – TO** (Estratégias de Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas): Relatório Final (RF): Síntese dos Estudos. Palmas, TO, Março, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS; SECRETARIA MUNICIPAL DE ASSUNTOS JURÍDICOS DE PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO**. ANEXO III AO DECRETO Nº 700, DE 15 DE JANEIRO DE 2014. Volume 3 – Drenagem Urbana. Palmas, TO, Janeiro, 2014.

FREIRE, Cleuda Custódio; OMENA, Sylvia Paes Farias de. **Princípios de hidrologia ambiental**. UFSC/UFAL, 2005.

MARENGO, José A.; TOMASELLA, Javier; NOBRE, Carlos A.. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos**. Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP. Cap. 12, 201 a 215 p..

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Vianeí. Ministério da Ciência e Tecnologia - INPE. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Relatório Técnico Parcial, Dezembro, 2000.

ANA, Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente. **Cadernos de Recursos Hídricos: DISPONIBILIDADE E DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL**. Brasília, DF, Maio, 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. Cap. 1 a 3. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

FARIA, Caroline. **Bacia Hidrográfica**. Disponível em: [www.infoescola.com/hidrografia/bacia-hidrografica/Caroline Faria](http://www.infoescola.com/hidrografia/bacia-hidrografica/Caroline%20Faria), 2008. Acesso em: Março de 2015.

EUCLYDES et al. (2011g); **ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS**. Disponível em: [http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html). Acesso em: 03h27min, 04/05/2015.

BARROS, Raphael T. de V. et al. **MANUAL DE SANEAMENTO E PROTEÇÃO AMBIENTAL PARA OS MUNICÍPIOS**, 2. SANEAMENTO. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **MANUAL DE SANEAMENTO**. 3. Ed. Ver. – Brasília, 2004. 480 p.

GARCÊS, Lucas Nogueira. **ELEMENTOS DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANITÁRIA**. 2. Ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1974, 1976 reimpressão.

CALLADO, Nélia Henriques. NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. **GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS**. UFSC/UFAL. 2005.

FILHO, Luiz Norberto Lacerda Magalhães. Et al. **VALORAÇÃO DE DANOS AMBIENTAIS EM CORPOS HÍDRICOS: O CASO DO ASSOREAMENTO DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU GRANDE NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.6, n.1, p. 73 a 86, 2012.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. <http://cod.ibge.gov.br/5SE>. Acesso em: 04h27min, 04/03/2016.

LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>. Acesso em: 10h15min, 12/03/16.

NETO, Antônio Rodrigues da Silva. **CENÁRIOS DE ABASTECIMENTO FUTURO DE PALMAS-TO COM BASE NA SIMULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU GRANDE**. IPH, UFRS. Porto Alegre, 2011.

Odebrecht Ambiental/Saneatins. Dados de Vazão do Ribeirão Taquaruçu Grande. 2015.

PMEP, **Plano Municipal De Educação De Palmas**. UMA CONSTRUÇÃO PARTICIPATIVA, DEMOCRÁTICA E DIALÓGICA. Palmas, novembro de 2012.

ANA. ATLAS BRASIL. **ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA**. RESULTADOS POR ESTADO. Vol. 2. Pag. 28. 2010.

**PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS SECRETARIA MUNICIPAL DE ASSUNTOS JURÍDICOS**

PMSB, Plano Municipal de Saneamento Básico. Volume II: Água e Esgoto. **ANEXO II AO DECRETO Nº 700, DE 15 DE JANEIRO DE 2014**. Palmas – TO. Vol. II. Janeiro de 2014.

**RESOLUÇÃO CONAMA nº 396**, de 03 de abril de 2008. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 01

#### População Palmas-TO

População de Palmas, Tocantins, de 1991 à 2015, dados tratados a partir da banco de dados do IBGE (2016):

Taxas Demográficas de Palmas-TO (1991 à 2015)	
Ano	População (hab.)
1991	24.261
1996	82.977
2000	137.355
2007	178.386
2010	228.332
2015	271.726

Tabela 11: Dados Populacionais de Palmas-TO, de 1991 à 2015. Fonte: IBGE, 2016.

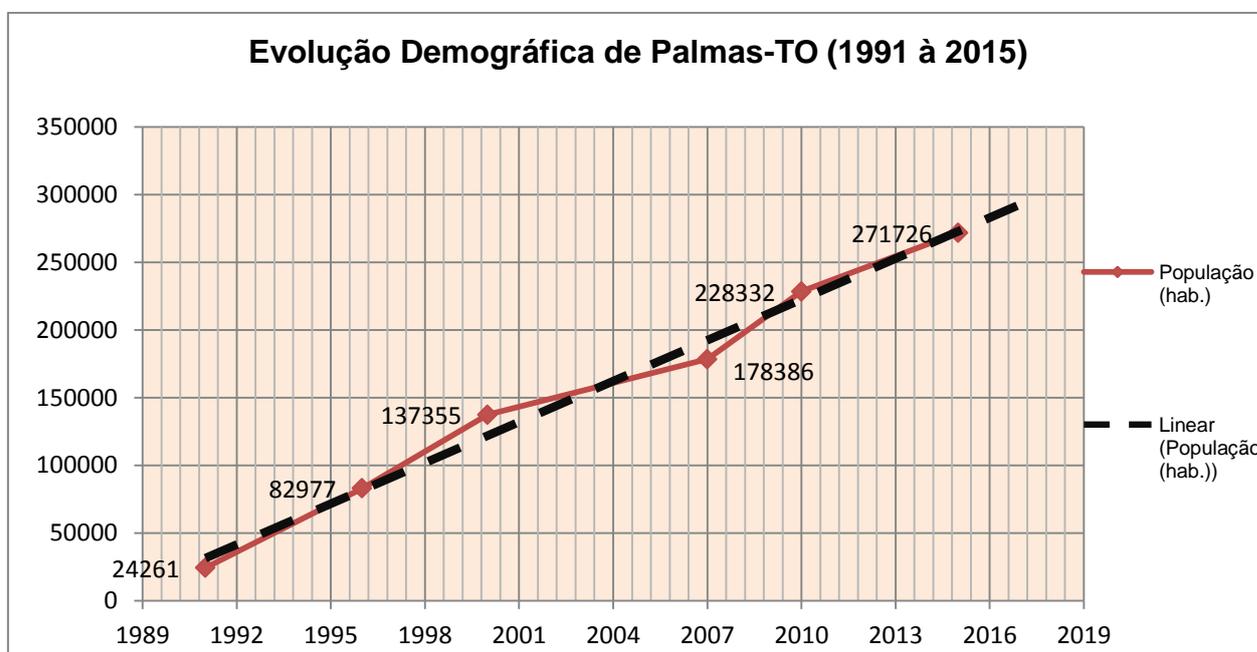


Gráfico 11: Evolução Demográfica de Palmas-TO, 1991 à 2015. Fonte: IBGE, 2016.

<b>Estimativa Populacional de Palmas-TO, segundo o Método da Projeção Aritimética</b>	
<b>Ano</b>	<b>População (hab.)</b>
	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$
	<b><math>P_t = 24.261 + 10.203,55 \times (t - 1990)</math></b>
2015	279.350
2016	289.553
2017	299.757
2018	309.960
2019	320.164
2020	330.368
2021	340.571
2022	350.775
2023	360.978
2024	371.182
2025	381.385
2026	391.589
2027	401.792
2028	411.996
2029	422.199
2030	432.403
2031	442.607
2032	452.810
2033	463.014
2034	473.217
<b>2035</b>	<b>483.421</b>

Quadro 09: Projeção Aritimética Populacional de 2015 à 2035 – Palmas-TO. Fonte: Autor, 2016.

<b>Estimativa Populacional Urbana de Palmas-TO, segundo o Método da Projeção Aritimética</b>	
<b>Ano</b>	<b>População Urbana (hab.)</b>
	$P_{Urb.} = 97,1\% P_{Total}$
2015	271.249
2016	281.156
2017	291.064
2018	300.972
2019	310.879
2020	320.787
2021	330.694
2022	340.602
2023	350.510
2024	360.417
2025	370.325
2026	380.233
2027	390.140
2028	400.048
2029	409.956
2030	419.863
2031	429.771
2032	439.679
2033	449.586
2034	459.494
<b>2035</b>	<b>469.402</b>

Quadro 10: Projeção Aritmética Populacional Urbana de 2015 à 2035 – Palmas-TO. Fonte: Autor, 2016.

## APÊNDICE 02

### Estimativa da Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu para mês de Setembro

Estimativa de Vazões para o mês de Setembro		
Ano	Vazão (m³/s)	
	Estimativa Linear	Estimativa Logarítmica
	$y = -0,0281x + 57,082$	$y = -56,35\ln(x) + 429,27$
2001	1,283	1,283
2002	1,134	1,134
2003	0,386	0,386
2004	0,825	0,825
2005	0,597	0,597
2006	0,968	0,968
2007	0,741	0,741
2008	0,741	0,741
2009	0,720	0,720
2010	0,588	0,588
2011	0,853	0,853
2012	0,803	0,803
2013	0,531	0,531
2014	0,683	0,683
2015	0,461	0,538
2016	0,432	0,510
2017	0,404	0,482
2018	0,376	0,454
2019	0,348	0,426
2020	0,320	0,398
2021	0,292	0,371
2022	0,264	0,343
2023	0,236	0,315
2024	0,208	0,287
2025	0,179	0,259
2026	0,151	0,231
2027	0,123	0,204
2028	0,095	0,176
2029	0,067	0,148
2030	0,039	0,120
2031	0,011	0,092
2032	-0,017	0,065
2033	-0,045	0,037
2034	-0,073	0,009
2035	-0,102	-0,018
2036	-0,130	-0,046
2037	-0,158	-0,074
2038	-0,186	-0,101
2039	-0,214	-0,129
2040	-0,242	-0,157
2041	-0,270	-0,184
2042	-0,298	-0,212
2043	-0,326	-0,240
2044	-0,354	-0,267
2045	-0,383	-0,295
2046	-0,411	-0,322
2047	-0,439	-0,350
2048	-0,467	-0,377
2049	-0,495	-0,405
2050	-0,523	-0,432

Tabela 12: Estimativa da Oferta Hídrica da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, mês de Setembro. Fonte: Autor, 2016.

### APÊNDICE 03

#### Vazões de Referência Q90 e Q95 para Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande

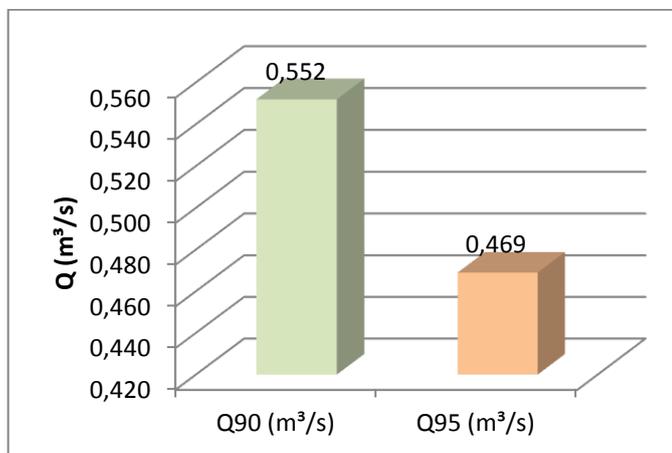


Gráfico 12: Vazões de Referência Q90 e Q95 para Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, (2001 a 2014). Fonte: Autor, 2016.

### APÊNDICE 04

#### Curvas de vazões ao longo dos anos, para os meses de julho, agosto e setembro para Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande

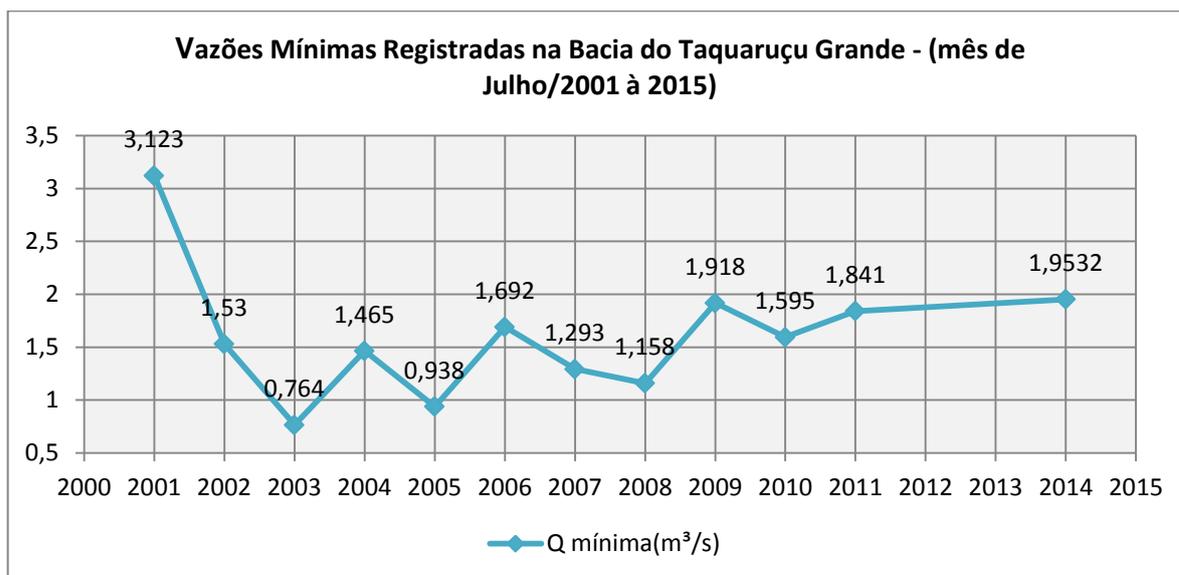


Gráfico 13: Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Julho de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

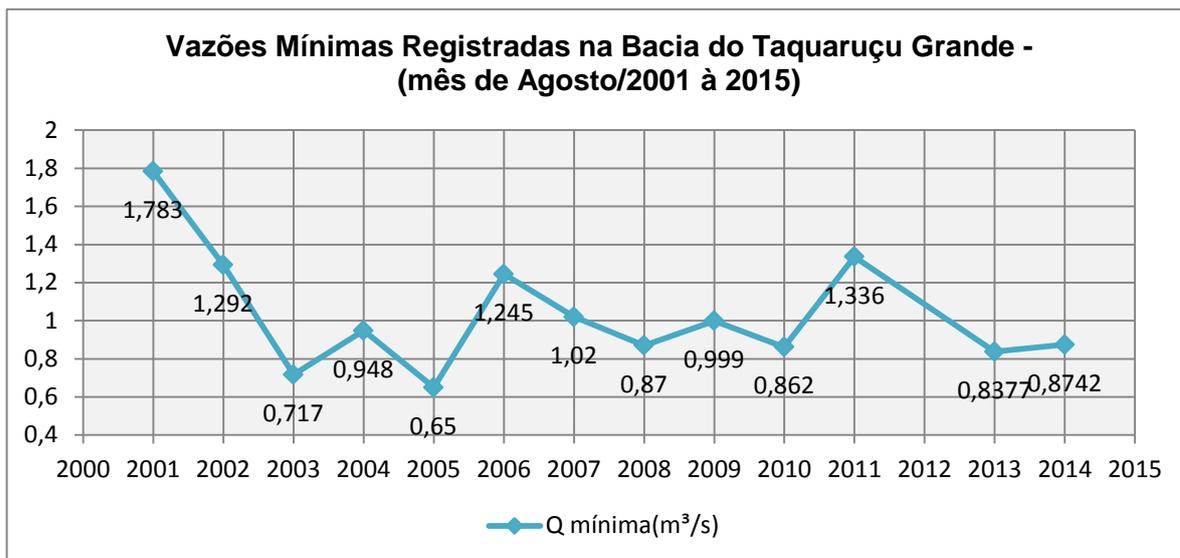


Gráfico 14: Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Agosto de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

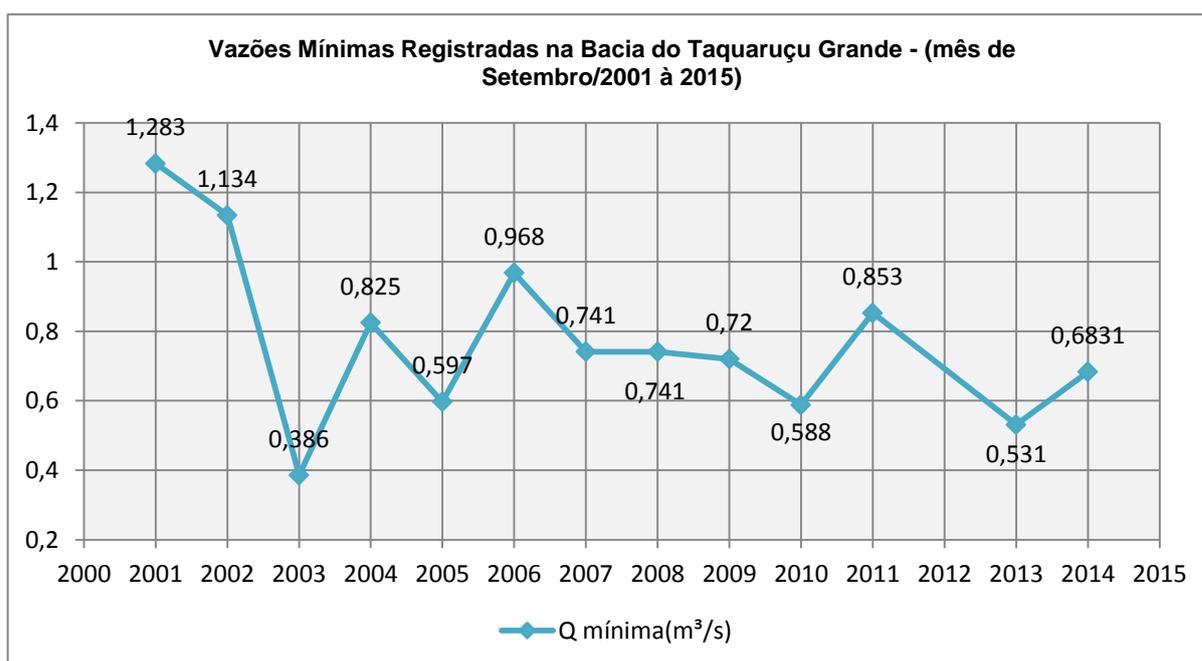


Gráfico 15: Vazões Mínimas Registradas na Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu mês de Setembro de 2001 a 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

## ANEXOS

### ANEXO 01

#### População Palmas-TO

Dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2016):

População estimada 2015	272.726
População 2010	228.332
Área da unidade territorial (km <sup>2</sup> )	2.218,943
Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	102,90

Quadro 11: População de Palmas-TO. Fonte: IBGE (2016).

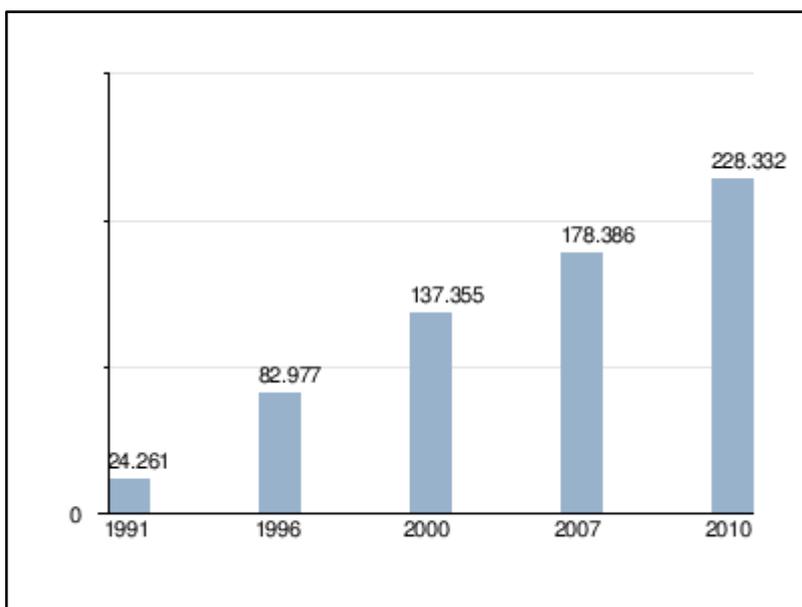


Gráfico 16: Evolução demográfica de Palmas (1991-2010), em hab. Fonte: IBGE (2016).

## ANEXO 02

## Histórico de Vazões na Foz do Ribeirão Taquaruçu Grande

Dados de Vazão do Ribeirão Taquaruçu, entre 2001 e 2014 (Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015):

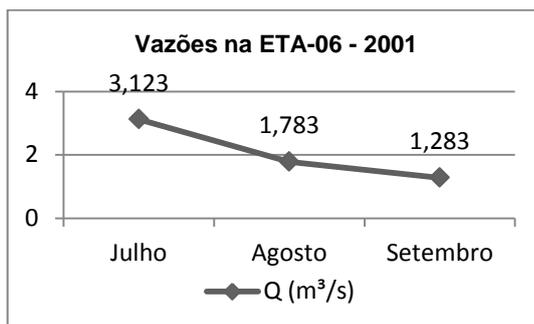


Gráfico 17: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2001, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

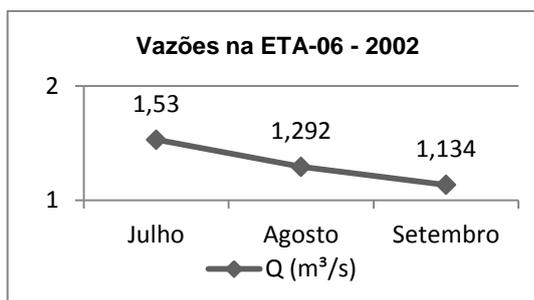


Gráfico 18: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2002, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

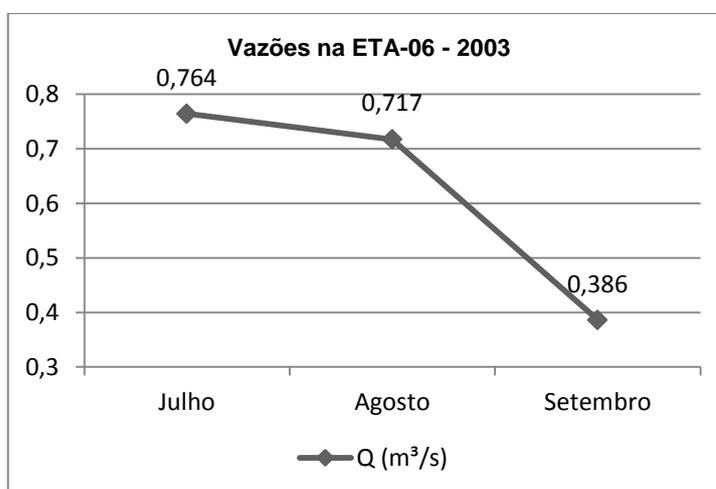


Gráfico 19: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2003, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

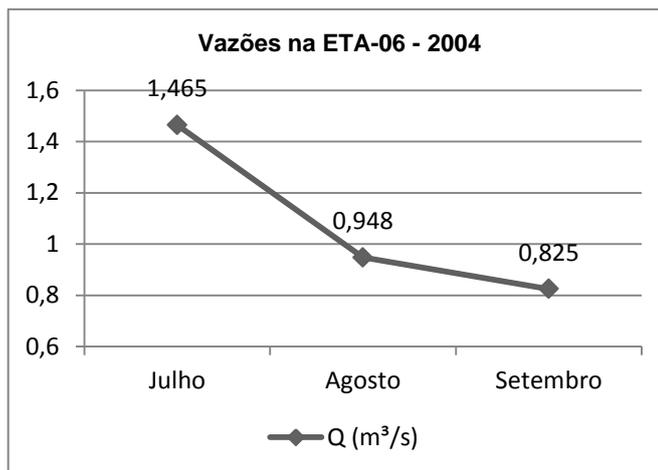


Gráfico 20: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2004, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

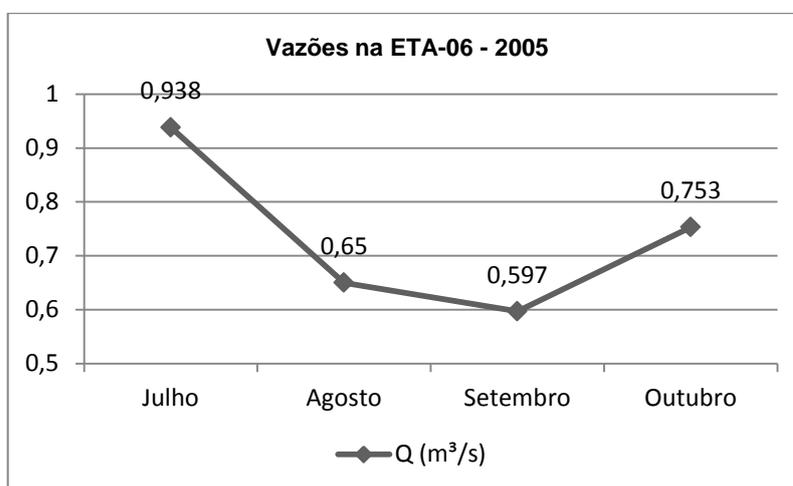


Gráfico 21: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2005, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

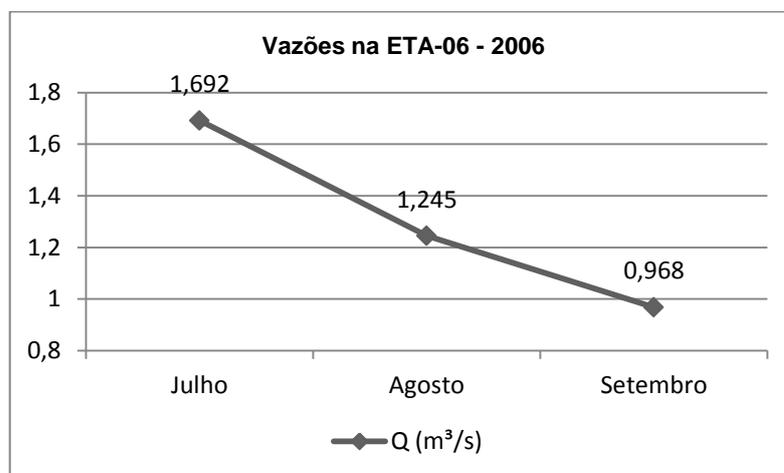


Gráfico 22: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2006, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

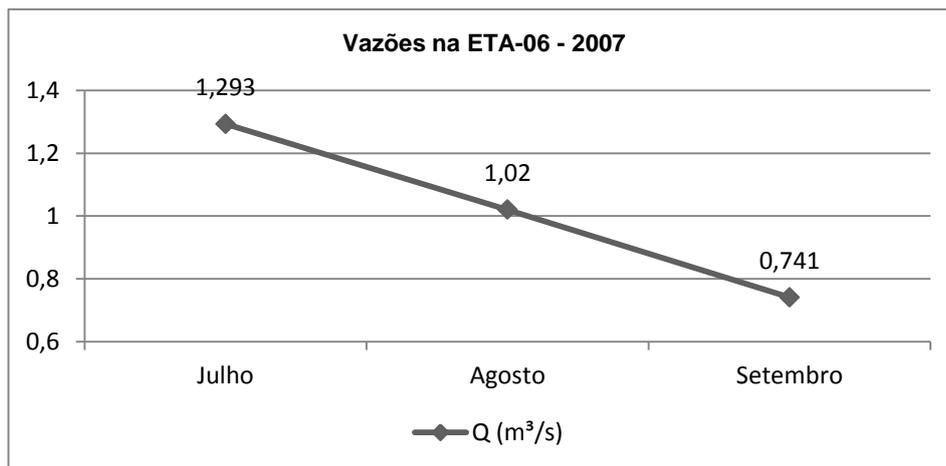


Gráfico 23: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2007, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

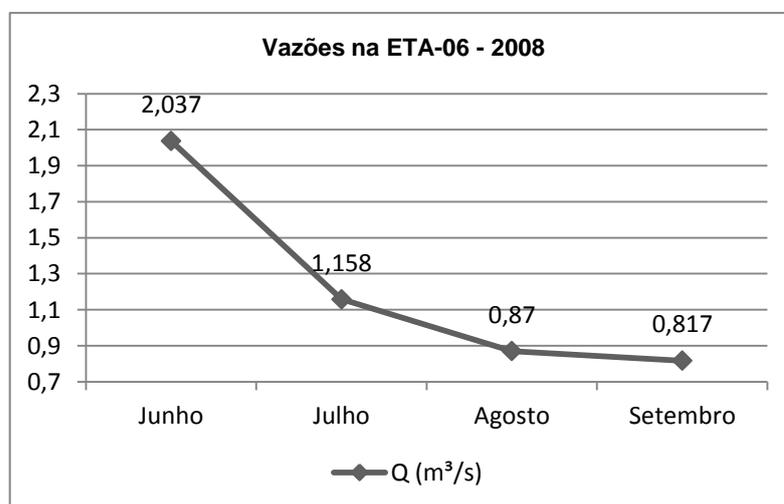


Gráfico 24: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2008, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

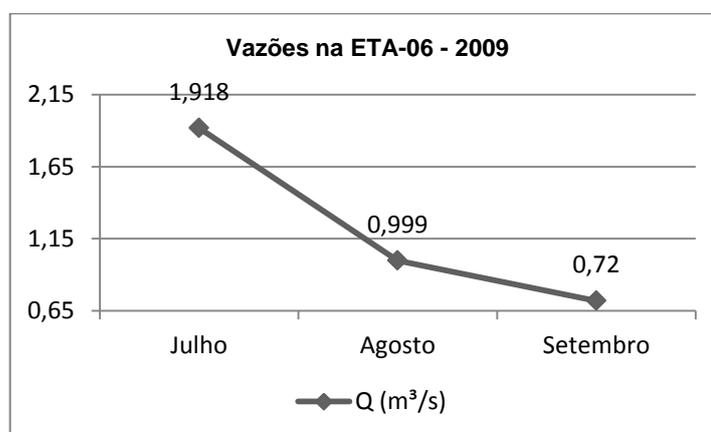


Gráfico 25: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2009, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

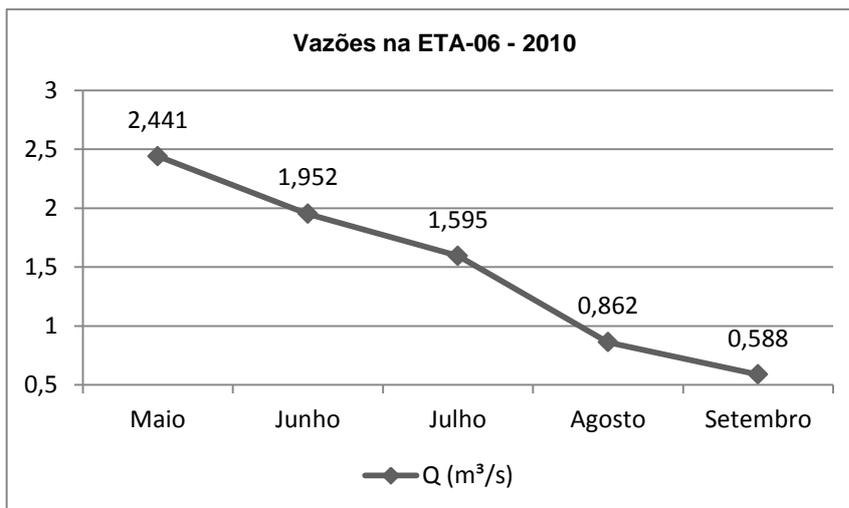


Gráfico 26: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2010, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

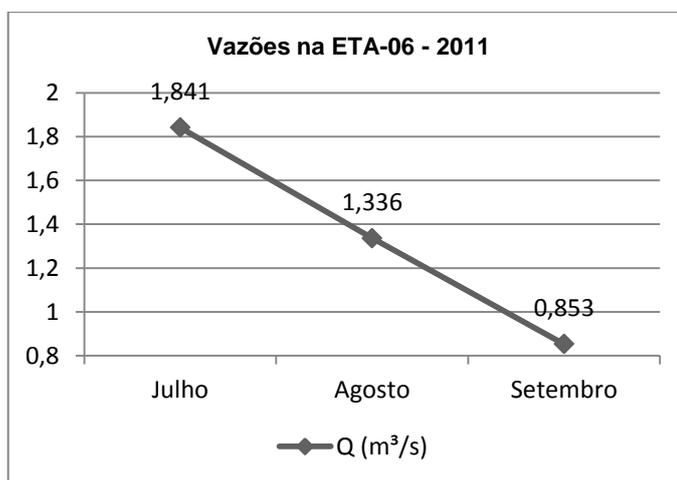


Gráfico 27: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2011, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

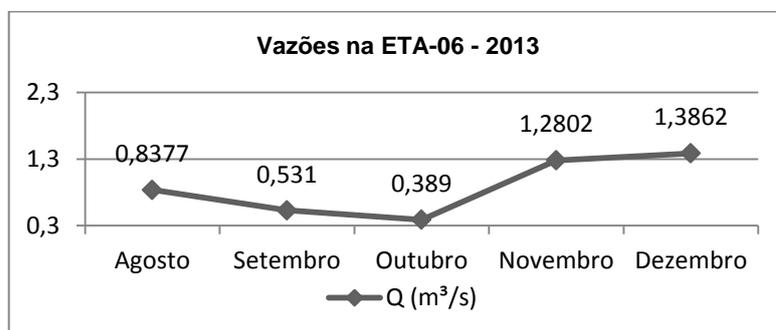


Gráfico 28: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2013, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.

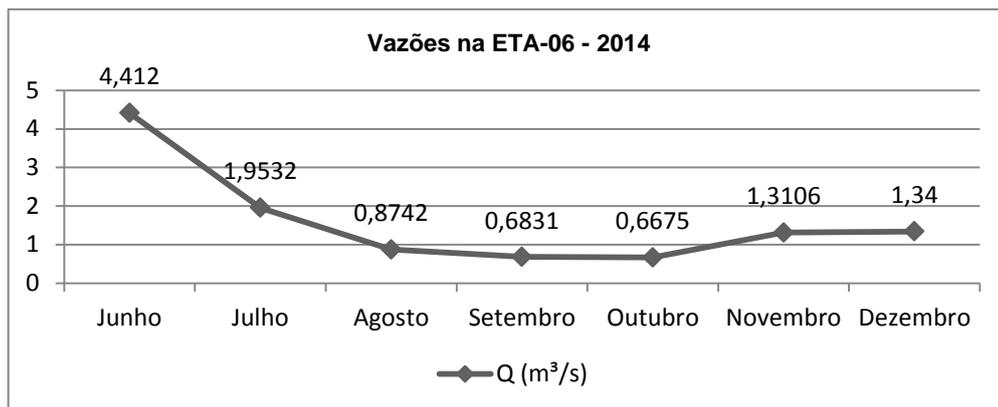


Gráfico 29: Vazões Registradas da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu em 2014, Palmas-TO. Fonte: Odebrecht Ambiental/Saneatins, 2015.