

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA RECARGA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA ESCOLA DO CAMPUS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Carlos Alberto Löbler

**Santa Maria, RS, Brasil.
2015**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA RECARGA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA ESCOLA DO CAMPUS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

Carlos Alberto Löbler

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

**Santa Maria, RS, Brasil.
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Löbler, Carlos Alberto
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA RECARGA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA ESCOLA DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA MARIA / Carlos Alberto Löbler.-2015.
98 p.; 30cm

Orientador: José Luiz Silvério da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, RS, 2015

1. Sistema Aquífero Guarani 2. Recarga 3. Nível da água
4. Flutuação 5. Campus da UFSM I. Silvério da Silva, José
Luiz II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

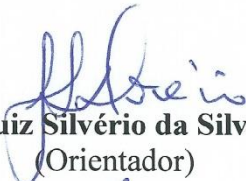
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA RECARGA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA ESCOLA DO CAMPUS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

Elaborado por
Carlos Alberto Löbler

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Ambiental

Comissão Examinadora


José Luiz Silvério da Silva, Dr.
(Orientador)


Carlos Alvin Heine, Dr.(CORSAN)


Edner Baumhardt, Dr. (CESNORS/UFSM)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde nessa importante etapa;

À FAPERGS/CAPES pela bolsa de mestrado, conforme Edital 14/2012;

À minha noiva Carla Weiblen, pela ajuda, companheirismo e amor. E a toda a sua família pela ajuda;

Aos meus pais Leony e Noeli, irmãos e sobrinhos, pelas preocupações, descontrações e carinho;

À Universidade Federal de Santa Maria por me permitir concluir a graduação e o mestrado de forma gratuita e com qualidade;

Ao meu orientador, José Luiz Silvério da Silva, pela valorosa amizade e orientação desde a iniciação científica;

À Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais/CPRM, e ao Geólogo Marcelo Goffermann, por cederem importantes dados para a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFSM;

Aos membros da banca examinadora, Dr. Carlos Alvin Heine e Dr. Edner Baumhardt pelas contribuições e pela disposição na avaliação da dissertação;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFSM, Rosa Maria Brito, por toda a ajuda;

Aos colegas de Pós-Graduação, principalmente aos de laboratório: Lueni Gonçalves Terra, Willian Fernando de Borba, José Astério Rosa do Carmo e Rafael Vivian por toda a ajuda prestada;

Aos colegas e ex-colegas de laboratório: Lucas Lasta, Thiago Boeno, Iago Turba da Costa, Tiago Ertel, Guilherme Vianna Martelli e Leônidas Descovi Filho;

E aos demais colegas e amigos, sem os quais não seria possível a realização dessa etapa.

EPÍGRAFE

“Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna”.

Baltasar Gracián

RESUMO GERAL

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA ESCOLA DO CAMPUS DA UFSM

AUTOR: CARLOS ALBERTO LÖBLER

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015.

O Campus da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) é abastecido principalmente por águas subterrâneas, captadas em Zona de Afloramentos (ZA) do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Nesse sentido, o presente estudo objetivou analisar quantitativamente às águas subterrâneas na Bacia Escola do Campus da UFSM. Para tanto, os objetivos específicos desse trabalho foram: 1) Elaborar estimativas de recarga do lençol freático em poço único, utilizando o método da flutuação do nível da água/WTF (*Water Table Fluctuation*). 2) Realizar análises estatísticas em dados de medições semanais de níveis da água (NA), monitorados no Campus da UFSM desde maio de 2010, identificando-se possíveis correlações com os dados de precipitações e as flutuações do nível da água. Ainda analisou-se a sazonalidade de variação desses níveis e, 3) Mapear a variação das áreas impermeabilizadas na Bacia com uso do programa *ArcGIS* e de imagens do *Google Earth* do ano de 2007 a 2010. Os resultados do trabalho apontaram para uma taxa de infiltração na área da Bacia de 17,0 a 48,0% da precipitação total, em média 36% das chuvas contribuem para a recarga do aquífero. As modificações no uso da terra mostrou que houve um crescimento de 24,32 ha, na área impermeabilizada no período avaliado. Na análise da correlação dos níveis da água semanais com os volumes de chuvas, evidenciou-se que as chuvas registradas na data da aferição foram aquelas de maiores influências nos níveis monitorados, acusando reposição no nível. Quanto à tendência de flutuação dos níveis, de um total de oito poços monitorados, dois apresentaram tendência de rebaixamento. A análise sazonal dos níveis mostrou que as estações do inverno e outono são aquelas que recarregam o aquífero, enquanto que no verão e na primavera acontece o contrário. Conclui-se que apesar das áreas impermeabilizadas apresentarem um crescimento significativo e rápido para a Bacia, esse crescimento ainda não forneceu prejuízos nos volumes das recargas das águas subterrâneas. Uma vez que os dados de correlação entre a chuva e os níveis da água foram positivos e as tendências de variação de nível indicaram dois dos oito poços com perda de volume de água ao longo do monitoramento..

Palavras chave: Recarga. SAG. Monitoramento. Nível da água, WTF.

GENERAL ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Environmental Engineering
Federal University of Santa Maria

QUANTITATIVE EVALUATION OF GROUNDWATER RECHARGE IN UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA BASIN CAMPUS SCHOOL

AUTHOR: CARLOS ALBERTO LÖBLER

ADVISER: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Place and Date of Presentation: Santa Maria, February 27, 2015.

The Campus of UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) is supplied mainly by groundwater, captured at outcrop zones (ZA) of the Guarani Aquifer System (GAS). In this sense, the present study aimed to fill the lack of quantitative information of groundwater in the UFSM Basin Campus School. The aims of this study were: 1) Perform recharge estimation of water table in single-well, using the Water Table Fluctuation method. 2) Execute statistical analysis on weekly data levels, monitored since May 2010, identifying possible correlations with rainfall data's and analysis on weekly data levels, and 3) Quantify the areas sealed in bowl using ArcGIS software and Google Earth images of 2007 to 2010. The results of the study indicated a 17.0% to 48.0% infiltration rate of the total precipitation in *FATEC* old well, whereas an average of 36.0% of rainfall contributes to aquifer recharge. The investigation of soil sealing, performed with data from 2007 to 2014 showed an increase of 24.32 ha in the sealed area during the study period. In the static analysis of correlation of weekly levels with volumes of rain, it was observed that the rains recorded in the measurement date were those of major influences on monitored levels, indicating the replacement level. Regarding the fluctuating levels trends from a total of eight wells monitored, two had drawdown trend. The seasonal analysis showed that levels of the seasons of winter and autumn were those with more water stored in the aquifer, while in summer and spring the opposite happened. As a conclusion, despite the sealed areas had a significant and rapid growth for the Basin, wherein this growth has not specified losses in volumes of recharges groundwater. Once the correlation data between rain and water levels were positive, the level variation trends indicated two of the eight wells with loss of water volume during the monitoring.

Keywords: Recharge. GAS. Monitoring. Water table, WTF.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abrangência das classes litológicas na Bacia Escola do Campus da UFSM.....	36
Tabela 2 - Principais características hidrodinâmicas dos poços monitorados.....	42
Tabela 3 - Valores sobre rendimentos específicos (Sy).	47
Tabela 4 - Classes de uso da terra na Bacia Escola do Campus da UFSM nos anos de 2007 e 2014.	52
Tabela 5 - Parâmetros hidráulicos de alguns poços tubulares do Campus da UFSM.	58
Tabela 6 - Principais distâncias dos poços ativos (com cálculos de raio de influência) para poços desativados presentes na pesquisa.....	58
Tabela 7 - Valores de superfície potenciométrica nas diferentes estações do ano.	60
Tabela 8 – Comportamento do Δh ao longo do gráfico em um total de 167 picos.	63
Tabela 9 – Resultados das estimativas de recarga obtidas do poço FATEC Velho com o uso do método WTF.....	63
Tabela 10 – Resultados de estimativa de recarga direta de águas subterrâneas encontrados na literatura para diferentes regiões do Brasil e em diferentes sistemas aquíferos.	65
Tabela 11 - Variação sazonal de alguns parâmetros estatísticos dos níveis da água registradas nos poços estudados.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul (RS) e no Brasil.	34
Figura 2 - Mapa litológico do Campus da UFSM com a localização dos poços utilizados no estudo.	36
Figura 3 – Acúmulo de água da chuva em área com litologia argilosa do Membro Alemoa no Campus da UFSM, no poço PB08 Estrada do Jardim Botânico (desativado).	37
Figura 4 - Poço FATEC Velho (PB20, desativado), monitorado pelo projeto RIMAS/CPRM, com registrador automático horário (desativado).	39
Figura 5– Medidor de nível da marca Solisnt TLC, e medidor sonoro de nível da marca Jacirí, ambos com cabo de 100 m.	40
Figura 6 - Medições de níveis das águas subterrâneas do Campus da UFSM em poço tubular dotado de tubo guia, poço Estrada do Jardim Botânico (ativo).	41
Figura 7 - Mapa de localização dos poços em monitoramento na Bacia Escola do Campus da UFSM.	42
Figura 8 - Perfil geológico do poço FATEC Velho (4300000556) de onde se retirou o Sy para o uso no método WTF. Profundidade de 100 m (desativado).	46
Figura 9 – Mapa de uso da terra na Bacia Escola do Campus da UFSM para os anos de 2007 e 2014.	53
Figura 10 - Mapa de uso do solo na Bacia Escola do Campus da UFSM para o ano de 2014 com as classes litológicas sobrepostas	55
Figura 11 - Mapa da superfície potenciométrica e tendência de direção de fluxo subterrânea na Bacia Escola do Campus da UFSM.	59
Figura 12 - Gráfico da variação do NA no poço FATEC Velho com a extrapolação da curva de recessão para determinação do Δh , incluindo as chuvas para o período de 14 de agosto de 2013 a 4 de novembro de 2014.	62
Figura 13 - Gráfico das chuvas registradas no período de monitoramento dos poços, na Bacia Escola do Campus da UFSM.	66
Figura 14 – Regressão linear do poço Planetário com dados no período de 30 de julho de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).	70
Figura 15 – Regressão linear no poço PB01 com dados no período de 07 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).	71
Figura 16 – Regressão linear no poço FATEC Velho com dados no período de 07 de maio de 2010 a 30 de novembro de 2012 (desativado).	72
Figura 17 – Regressão linear no poço Estação Experimental com dados no período de 07 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (parcialmente ativo).	73
Figura 18 – Regressão linear no poço Biblioteca Central com dados no período de 04 de novembro de 2011 a 23 de outubro de 2014 (desativado).	74
Figura 19 – Regressão linear no poço Almojarifado com dados no período de 21 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).	75
Figura 20 - Variação do NA subterrânea no poço Planetário, no período de 30/07/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (com n=189).	76

Figura 21 - Variação do NA subterrânea no poço PB01, no período de 07/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).	77
Figura 22 - Variação do NA subterrânea no poço FATEC Velho, no período de 07/05/2010 a 30/11/2012, com registros de frequência semanal (n=118).	78
Figura 23 - Variação do NA subterrânea no poço Estação Experimental, no período de 07/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).	79
Figura 24 - Variação do NA subterrânea no poço Biblioteca Central, no período de 04/11/2011 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=127).	80
Figura 25 - Variação do NA subterrânea no poço Almoxarifado, no período de 21/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).	80
Figura 26 - Variação do NA subterrânea no poço Almoxarifado, no período de 03/12/2010 a 11/11/2014, com registros de frequência semanal (n=107).	81
Figura 27 - Variação do NA subterrânea no poço Estrada do Jardim Botânico, no período de 21/05/2010 a 11/11/2014, com registros de frequência semanal (n=147).	82

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
APRM - Área de Proteção e Recuperação de Mananciais
°C – Graus Celsius
CCR – Centro de Ciências Rurais
CCSH - Centro de Ciências Sociais e Humanas
CE – Condutividade Elétrica
CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Naturais
CT - Centro de Tecnologia
GEF - Global Environment Facility
HUSM - Hospital Universitário de Santa Maria
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
m - Metros
mm – Milímetros
NA - Nível da água = nível freático
ND – Nível Dinâmico
NE - Nível estático
NW – Noroeste
OEA – Organização dos Estados Americanos
OMS – Organização Mundial da Saúde
pH - Potencial Hidrogeniônico
REUNI - Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
RS – Rio Grande do Sul
SAG – Sistema Aquífero Guarani
SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SIAGAS – Sistema de Informação em Águas Subterrâneas
STDs – Sólidos Totais Dissolvidos
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
ZA - Zona de Afloramento

WTF - *Water Table Fluctuation*

UTM - Universal Transversa de Mercator

R² - Coeficiente de determinação

SAD69 - *South America Datum*

WGS84 *World Geodetic System*

S_y - Rendimento específico do meio poroso saturado;

Δh - Variação do nível freático (m);

Δt - Tempo de avaliação (dias).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Definição, tipos e funções dos aquíferos.	18
2.2 Ciclo hidrológico e a importância de estudos de uso da terra	21
2.3 Sustentabilidade e degradação dos aquíferos	24
2.4 Estimativas de recarga em aquíferos e métodos da literatura	26
2.5 Trabalhos desenvolvidos no Campus da UFSM na temática meio ambiente e recursos hídricos	29
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Caracterização da área de estudo	33
3.1.1 Características geológicas/pedológicas e hidrogeológicas do Campus da UFSM	35
3.2 Procedimentos técnicos	38
3.2.1 Coletas dos dados	38
3.2.2 Mapas de uso da terra	43
3.2.3 Aplicação do método WTF nos registros de níveis do poço FATEC Velho.....	45
3.2.4 Correlação entre os níveis de água dos aquíferos e os dados pluviométricos	47
3.2.5 Análise dos registros de níveis semanais dos poços e a sazonalidade da recarga	48
3.2.6 Raio de influência dos poços e superfície potenciométrica.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Dinâmica do uso da terra e a impermeabilização da Bacia Escola do Campus da UFSM	51
4.2 Raio do cone de influência dos poços e superfície potenciométrica da área	57
4.3 Estimativa de Recarga no poço FATEC Velho, com o uso do método WTF.....	60
4.4 Análise das chuvas ocorridas na Bacia Escola do Campus da UFSM no período de monitoramento dos poços	66
4.5 Análise estatística dos dados de nível de água e precipitação	67
4.6 Análise dos dados de níveis de água dos poços estudados e sua variação sazonal.....	76
5 CONCLUSÕES.....	85
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1 INTRODUÇÃO

A utilização da água doce está aumentando consideravelmente devido ao rápido crescimento da população mundial e, conseqüentemente, há o aumento na demanda dos recursos hídricos em todo o mundo. Não obstante a crescente demanda, a quantidade de água doce disponível na Terra é limitada e mal distribuída. Além disso, verifica-se que as áreas de maior concentração de população são as que possuem menor disponibilidade de água.

Apesar dos avanços socioeconômicos e tecnológicos, que visam dar suporte ao aumento populacional, trazerem consigo uma gama de fatores positivos, também acarretam conseqüências negativas, como a degradação do meio ambiente e a deterioração dos recursos naturais, incluindo os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Assim, é necessário o desenvolvimento de estudos que objetivem contribuir para amenizar esses problemas, dando suporte às políticas de gerenciamento ambiental.

Os recursos hídricos subterrâneos representam uma importante reserva de água doce própria para ser utilizada no abastecimento humano, mas para que esse recurso continue sendo acessível, há necessidade de estudos que vislumbrem controlar seus aspectos qualitativos. Esses estudos vão desde o monitoramento de níveis da água até análises aprofundadas, como as de hidrogeologia, geoquímica e geofísica. Além disso, ainda há lacunas no conhecimento, principalmente em estudos realizados em escalas locais sobre a eficiência, disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

Cleary (2007) destaca que a água subterrânea é no Brasil, assim como no mundo inteiro, uma fonte imprescindível de abastecimento de água. Mesmo em locais de clima e geologia favoráveis ao acúmulo de águas superficiais, como na região Sul e Sudeste do país, a importância da água subterrânea emerge em períodos críticos de seca, quando esses recursos superficiais não conseguem atender parcial ou totalmente à demanda. Servindo assim, as águas subterrâneas como reserva hídrica estratégica.

Não é necessário despender muitos recursos financeiros para o tratamento e armazenamento da água em aquíferos, pois geralmente são de boa qualidade natural e se armazenam entre as rochas (aquíferos). A questão é saber o período de maiores recargas e o quanto é renovável determinado aquífero em seu ano hidrológico, para que os órgãos gestores possam estimar os volumes outorgáveis sem causar sobreexploração ou rebaixamento do nível da água (NA), ou seja, mantendo o recurso sustentável. Contudo, a extração de águas subterrâneas requer um investimento financeiro mais elevado, pois um poço tubular é uma

obra de engenharia e, portanto, deve estar de acordo com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 12.212/2006 e 12.244/2006.

O Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) é abastecido principalmente por águas subterrâneas. Desde sua fundação, no ano de 1961, para cada prédio construído era também perfurado um novo poço tubular. No total foram perfurados 48 poços tubulares, desses, 24 aproximadamente, estão em pleno funcionamento. Essas captações ocorrem, em maior parte, através de poços tubulares munidos com bombas submersas (MOREIRA, 2005; SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012).

No ano de 2008, a UFSM aderiu ao Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), ampliando o número de vagas e criando novos cursos no Campus da UFSM, localizado no bairro Camobi. Buscando atender a crescente demanda foram realizadas novas construções de prédios, vias de acesso, caminhos, vagas de estacionamento e ainda de moradias próximas ao Campus. Com isso, a microbacia na qual o Campus da UFSM está inserido vem passando por uma série de modificações, dentre essas a antropização do meio natural e a consequente impermeabilização de áreas.

A qualidade e a quantidade da água consumida no Campus da UFSM são fatores pouco conhecidos da sociedade que faz uso da mesma. Existem questionamentos a cerca deste tema, como: a água subterrânea está sendo utilizada de maneira sustentável no Campus da UFSM? Além disso, verifica-se o abandono de alguns poços. Qual a provável explicação para este fato? Em muitos casos houve queda de vazão no poço por problemas construtivos ou sobreexploração em bolsões de água não renováveis

O crescimento do número de pessoas que circulam diariamente no Campus, que atualmente giram em torno de 25.000 (UFSM, 2014) terá impactos nos recursos hídricos subterrâneos? Seria a exploração excessiva do aquífero a causa da inutilização de alguns poços? Em relação a isso, sabe-se que não existem registros de níveis de água destes poços tubulares o que dificulta o entendimento dos casos de abandono dos poços (SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012). Assim, a falta de água em alguns poços leva a necessidade de um maior conhecimento das reservas e recargas de água subterrânea no Campus da UFSM.

Atualmente o abastecimento de água do Campus da UFSM vem sendo complementado pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Em 2009 o Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) passou a ser abastecido pela CORSAN, pois houve uma forte estiagem nesse ano, com a falta de água em muitos poços.

Para um melhor entendimento dos recursos hídricos subterrâneos é necessária uma série de investigações que vão além do monitoramento dos níveis da água. A modelagem e a

interpretação dos dados monitorados é um importante avanço. Com a modelagem e monitoramento dos poços pode-se avaliar a capacidade de renovação do aquífero, ou seja, do total da precipitação que parte efetivamente chega ao lençol freático ou a real influência das precipitações na variação dos níveis da água do aquífero. Chegando-se assim a uma estimativa de recarga subterrânea, para os diferentes sistemas aquíferos.

Dentre as inúmeras técnicas para estimar a recarga em águas subterrâneas, cada uma apresenta características e aplicações distintas. Optou-se neste trabalho por utilizar o método *Water Table Fluctuation* (WTF), aperfeiçoado por Healy e Cook (2002). Este método é aplicado a aquíferos livres e possui vasta utilização em áreas do Brasil, com valores variados de estimativa de recarga nos diferentes aquíferos do país.

A flutuação do nível freático resulta de inúmeros fatores, dentre eles: a evapotranspiração, a pressão atmosférica, as variações na temperatura diária e anual, o bombeamento de poços tubulares no seu raio de influência e as mudanças naturais ou induzidas na superfície freática pela ação antrópica. Contudo, a precipitação pluviométrica é o fenômeno natural de maior relevância na variação dos níveis freáticos em aquíferos tidos como livres (HEATH, 1983).

O objetivo do presente estudo foi avaliar dados de monitoramento, com registros de níveis de água em poços tubulares ativos e desativados, com série histórica desde maio de 2010. Para avaliação dos índices obtidos foram utilizadas ferramentas estatísticas. Dessa forma, foram estimadas variáveis quantitativas das águas subterrâneas na Bacia Escola do Campus da UFSM. Esse estudo visa fornecer suporte e subsídios para a correta gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Campus da UFSM, pois esta utilização é antiga e sem conhecimento detalhado sobre a real condição qualitativa e quantitativa do mesmo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar quantitativamente as águas subterrâneas na Bacia Escola do Campus da UFSM através da estimativa de recarga e simulações estatísticas a partir dos registros de níveis da água em poços tubulares, monitorados entre os anos 2010 a 2014.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar resultados da série histórica de registros de níveis da água em leituras periódicas nos poços tubulares de abastecimento e de poços dedicados no Campus da UFSM, disponibilizando os dados na rede de *internet*;
- Mapear o avanço das áreas impermeabilizadas na Bacia Escola do Campus da UFSM nos anos de 2007 e 2014;
- Estimar a recarga subterrânea de água na área de estudo com uso do método WTF;
- Analisar estatisticamente as relações entre os dados pluviométricos e as flutuações nos níveis de água do aquífero;
- Avaliar as variações dos níveis estáticos e dinâmicos dos oito poços monitorados para todo o período e para as estações do ano;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica se dará em etapas, onde serão discutidos conceitos e temas bases importantes para a elaboração da presente dissertação, tais como: conceito, tipos e funções dos aquíferos; ciclo hidrológico e a importância de estudos de uso da terra; sustentabilidade dos aquíferos; estimativas de recarga em aquíferos e os principais métodos existentes na literatura para determina-las. Ainda serão apresentados alguns trabalhos relativos a área ambiental, desenvolvidos no Campus da UFSM. Buscar-se-á com esses temas fornecer aporte as discussões quanto aos conceitos e uma visão geral sobre o tema.

2.1 Definição, tipos e funções dos aquíferos.

A Resolução N° 15/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, define aquífero como “o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”. Nesse mesmo sentido Grabher et al. (2006) argumentam que os aquíferos são formações geológicas, capazes de armazenar e fornecer significativas quantidades de água.

Adicionalmente, ressalta-se que as principais formações portadoras de aquíferos são as constituídas de rochas sedimentares. Portanto, não basta ser água subterrânea ou ainda, a água estar abaixo do solo para ser considerada aquífero, esta também deve ser capaz de fornecer água por diferentes tipos de captações (poço tubular, poço escavado, poço amazonas, cacimba) em condições economicamente viáveis.

De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2013), os aquíferos podem ser considerados como: livres ou confinados. A Companhia de Pesquisas de Recursos Naturais (CPRM, 2013), define que o aquífero livre ou freático é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica. Em aquíferos livres o NA varia conforme a quantidade de chuva. Oliveira e Souza (2008) salientam que esses são os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população e também os que apresentam maiores problemas de contaminação devido a sua alta vulnerabilidade.

A CPRM (2013) define como aquífero confinado aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda na coluna de água no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície (Zona de Afloramento/ZA).

O tipo de rocha e a origem de seu material geológico (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade natural da água para diferentes usos e sua qualidade como reservatório. A litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser: marinha, fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas fraturadas), determinando assim os diferentes tipos de aquíferos (SCHELLE, 2009).

Conforme a ABAS (2014) o aquífero poroso ou sedimentar é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas e sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água ocorre nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existentes. Essa propriedade é conhecida como isotropia.

Aquífero fraturado ou fissural é formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. Ex.: basalto, granitos, gabros, filões de quartzo e outras. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Os poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de produtividade do poço dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras (ABAS, 2014).

Aquífero cárstico (Karst): são formados em rochas calcáreas ou carbonáticas, no qual a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas formadoras de aquífero cárstico são os calcários, dolomitos e mármore (ABAS, 2014).

Conforme análises nos afloramentos litológicos locais e leituras na bibliografia disponível, o aquífero existente no Campus da UFSM pode ser considerado como aquífero poroso ou sedimentar de natureza livre ou não confinado (WANKLER et al., 2007; SILVÉRIO et al., 2012).

Os aquíferos possuem inúmeras funções, dentre elas, pode-se citar a filtragem da água da chuva, a qual penetra no solo/rocha e recarrega os aquíferos (ciclo hidrológico). Portanto, os aquíferos armazenam água no subsolo e ainda exercem função reguladora de perenização dos cursos da água. Conforme Heath (1983) “um sistema de água subterrânea serve tanto como reservatório como conduto”. Sendo que esses processos fornecem as águas as características do meio em que penetram e se locomovem de maneira rápida ou lenta.

Os aquíferos e as camadas confinantes que ocorrem em qualquer área compreendem o sistema de águas subterrâneas. Hidraulicamente, este sistema serve como funções: armazena água ao limite de sua porosidade e transmite água das áreas de recarga para as áreas de descarga. A velocidade do deslocamento da água depende das condutividades hidráulicas dos aquíferos e das camadas confinantes (HEATH, 1983).

Segundo Heath (1983) “a água na zona de saturação move-se descendentemente e lateralmente a locais de descarga de água subterrânea, tais como fontes nas encostas ou como surgência sob os rios e lagos e no oceano”. Fazendo assim, a função de manutenção em cursos de água e em banhados. Dessa maneira pode-se dizer que a água subterrânea é um recurso natural renovável, em escala de horas, dias, anos, décadas, séculos e/ou milênios.

Dentre muitas funções dos aquíferos, Rebouças et al. (2002) destacam que as principais contribuições são:

Função de produção: que corresponde à função tradicional de produção de água para consumo humano, industrial e/ou irrigação;

Função de estocagem e regularização: utilização do aquífero para estocar excedentes de água que ocorrem durante as enchentes dos rios; estocagem de excedentes da capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de demanda baixa ou resultantes do reaproveitamento de efluentes domésticos e/ou industriais;

Função de filtro: corresponde à capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica do maciço natural permeável, razão da implantação dos poços a distâncias adequadas de rios perenes, de lagoas, lagos ou reservatórios, para extrair água naturalmente clarificada e purificada, reduzindo substancialmente os custos dos processos convencionais de tratamento;

Função ambiental: a hidrogeologia evoluiu de enfoque naturalista tradicional (década de 40) para o hidráulico quantitativo até a década de 60, época a partir da qual se desenvolveu a hidroquímica em função da intensa utilização de insumos químicos nas áreas urbanas industriais e nas atividades agrícolas, o que fez com que, na década de 80, surgisse a necessidade de uma abordagem multidisciplinar integrada na geohidrologia ambiental;

Função transporte: é a utilização do aquífero como um sistema de transporte de água entre zonas de recarga artificial ou natural e áreas de extração excessiva;

Função energética: utilização da água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal como fonte de energia elétrica ou termal;

Função mantenedora: é a que mantém o fluxo de base dos rios;

Função estratégica: água contida no aquífero por acumulação durante muitos anos ou séculos, constituindo, portanto, reserva estratégica para épocas de pouca ou nenhuma chuva.

2.2 Ciclo hidrológico e a importância de estudos de uso da terra

A água é um elemento indispensável para a sobrevivência do homem. Estima-se que em atividades normais, o corpo, necessita em média de três litros de água por dia para a manutenção de suas atividades vitais. Ainda, são necessários, em média, cerca de 80 litros por dia, para as suas atividades diárias, como por exemplo, na higiene pessoal, na preparação de alimentos, entre outros usos (MATOS, 2007). Portanto, a água é fundamental para a sobrevivência do ser humano e também dos demais seres vivos.

Rebouças (2008) afirma que “não há falta de água doce no mundo para satisfazer todas as necessidades da humanidade, mas não o bastante para atender os desperdícios e degradação da qualidade em níveis nunca imaginados, tanto na agricultura, quanto na cidade”. Portanto a correta gestão, com o uso racional e com o controle de poluentes, pode manter esse importante recurso menos suscetível à contaminação e ao desperdício.

Heath (1983) diz que o ciclo hidrológico refere-se ao constante movimento da água sobre a superfície da Terra. Portanto, a água possui um ciclo, o que a leva a ser modificada de um estado físico para outro, podendo ser encontrada nos estados sólido, líquido ou gasoso.

Maciel Filho e Nummer (2011) salientam que “da água doce disponível no planeta, a maior parte é subterrânea”. Os autores afirmam que os aquíferos são geralmente alimentados por águas da chuva que se infiltram nos solos/rochas. A descarga é feita através das surgências que são afloramentos do nível freático na superfície topográfica do terreno. Deste modo, os aquíferos são reservas importantes para a humanidade.

Rebouças (2008) afirma que “o aquífero é importante para a perenização de rios, sendo importante integrar as águas sub-superficiais a estudos de bacias”. Tendo em vista a dinâmica da água no subsolo pode-se observar se o aquífero é efluente ou influente nos cursos da água, cedendo ou recebendo água.

Neste sentido, Custodio e Silva Júnior (2008) também afirmam que as águas subterrâneas são fonte de abastecimento em períodos de estiagens para rios e outros mananciais superficiais como nascentes, lagos e banhados. A água subterrânea é uma parte essencial do ciclo hidrológico, que tem importante papel na manutenção da biodiversidade, principalmente aquática.

Contudo, o uso e ocupação da terra estão diretamente ligados aos fatores qualitativos e quantitativos das águas subterrâneas, muitas vezes os condicionando o seu uso. Mundialmente, estão sendo realizados estudos relacionando a qualidade da água com o uso do solo. Em Portugal, por exemplo, Valle et al. (2014) encontraram níveis elevados de nitratos nas águas subterrâneas em áreas de intensificação da agricultura, principalmente em áreas com plantio de vinhedos.

Os fatores de maior influência na quantidade das águas subterrâneas são: a exploração excessiva dos aquíferos, a quantidade e intensidade das chuvas e ainda a pavimentação e impermeabilização dos solos. Segundo Charalambous et al. (2011) o processo tecnológico do século passado causou a “explosão” nas quantidades das águas subterrâneas captadas. No mesmo período houve uma expansão urbana e o desenvolvimento na indústria. Portanto, um fator está vinculado a outro, uma vez que o desenvolvimento industrial ocasionou uma maior concentração populacional em grandes centros e, conseqüente, maior necessidade por recursos hídricos. Ainda, houve grandes impermeabilizações de áreas em centros urbanos ou áreas de expansão urbana, modificando o ciclo natural da água.

As alterações antrópicas podem gerar inúmeras conseqüências ao equilíbrio dinâmico do meio ambiente, por este motivo é necessário que se conheçam as características ambientais dos locais onde se realizam significativas mudanças na paisagem (MESSIAS et al., 2012). Dessa forma, como são crescentes as obras de infraestrutura civil no Campus da UFSM, especialmente com a impermeabilização de solos, acredita-se que estas obras possam afetar a

disponibilidade das águas subterrâneas, as quais são a fonte principal de abastecimento do Campus da UFSM.

Segundo Tucci (2005), alguns dos efeitos da urbanização das bacias hidrográficas no ciclo hidrológico, resumidamente são: aumento do escoamento médio e superficial, tendo como consequência o aumento das enchentes; redução da evaporação e do escoamento subterrâneo; aumento na produção de sedimentos e material sólido; degradação da qualidade das águas pluviais e contaminação dos aquíferos.

De acordo com Kuroda et al. (2011) cada vez há menos estudos sendo realizados em áreas altamente urbanizadas em relação a infiltração de águas residuais tratadas ou não e às águas das chuvas. Portanto, há carência destes estudos em escala local e global, sendo que muitas crises de abastecimento de água poderiam ser sanadas com o maior conhecimento e a consequente melhor gestão das águas nessas áreas.

Neste sentido, o uso da terra torna-se determinante para o ambiente de subsolo, uma vez que este reflete tudo que acontece em superfície. Santos e Petronzio (2011) afirmam que o estudo do uso e ocupação de solo consiste em buscar conhecer a forma com que área de interesse é utilizada, permitindo uma caracterização das interações antrópicas com o meio ambiente, constituindo uma representação espacial dessas interações.

Segundo Gomes et al. (2009), uma das mais modernas ferramentas utilizadas para os monitoramentos ambientais são os produtos de sensoriamento remoto, que permitem uma análise quantitativa das alterações ocasionadas pelos diferentes padrões de uso e ocupação da terra na paisagem. Assim, esses mapeamentos viabilizam a compreensão do padrão real das diferentes formas de uso e até seu prognóstico.

Para Cotta Júnior (2005), os trabalhos que abordam a análise multitemporal de usos do solo, cada vez mais se intensificam, considerando as características espectrais das imagens de satélite. Flauzino et al. (2010) ressaltam que a utilização de geotecnologias é um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo, da água e dos ecossistemas em geral.

Portanto, é indispensável que sejam aliadas técnicas de geoprocessamento a estudos ambientais que preservem os recursos hídricos, tanto qualitativamente, quanto quantitativamente, alavancando o desenvolvimento econômico sustentável da sociedade. Uma vez que, a água é considerada um bem público e de interesse social, cabe à população o dever de preservar a sua disponibilidade e a sua qualidade natural.

2.3 Sustentabilidade e degradação dos aquíferos

A interação homem e natureza ocasionam modificações no meio ambiente. O homem detentor de técnicas, que se aprimoraram com o passar dos anos, busca alternativas para planejar o melhor uso e ocupação do espaço. No entanto, atividades como a indústria e a agricultura podem ocasionar danos ao meio ambiente e aos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos (LÖBLER; SILVÉRIO DA SILVA, 2015). A água é o primeiro elemento da natureza a sentir a degradação do meio ambiente. Desta forma, a água vem ganhando importância, principalmente nos estudos sobre sua preservação.

Devido a grande importância das águas subterrâneas, existe a necessidade de realizar pesquisas que visem dar suporte ao uso sustentável e consciente deste recurso natural e renovável. Para tanto, inúmeros esforços vêm sendo realizados para avaliar alternativas sustentáveis para o uso correto dos recursos hídricos.

Como já mencionado, a maior parte da água doce disponível no planeta está em geleiras, e a segunda, está nas reservas subterrâneas. Shiklomanov (1998) aponta que as águas subterrâneas são aproximadamente 100 vezes mais abundantes do que as águas superficiais dos rios, lagos e banhados. Portanto, isto indica a relevância deste recurso para a sociedade e a necessidade de preservação do mesmo.

O crescimento continuado das demandas por recursos hídricos de melhor qualidade tem incentivado a uma maior procura por mananciais subterrâneos, que se não forem racionalmente utilizados, correm o risco de não estarem disponíveis para as gerações futuras (HEINE, 2008). O uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos visa deixá-lo, pelo menos, nas mesmas condições que encontram-se na atualidade para as futuras gerações.

Argumentando sobre a sustentabilidade em meio ambiente físico, Rattner (1999) diz que “o conceito de sustentabilidade transcende o exercício analítico de explicar a realidade e exige o teste de coerência lógica em aplicações práticas, onde o discurso é transformado em realidade objetiva”. Desta forma, os trabalhos com abordagem na preservação e sustentabilidade hídrica, necessitam a apresentação e interpretação de dados de forma coerente e precisa. Acredita-se que essa seja uma das funções da pesquisa (de uma maneira geral), testar ferramentas metodológicas buscando solucionar ou criando mecanismos para solucionar problemas.

Para Dambrós et al. (2010) as metas do desenvolvimento sustentável são colocadas em nível internacional, incluídas em estratégias segmentadas para diversas atividades humanas, considerando sempre o tripé: sociedade, economia e ambiente. O desenvolvimento

sustentável, afirmam Furlanetto et al. (2010), deve ser pensado como um processo elaborado em longo prazo e de forma sistêmica, onde a participação dos atores sociais torna-se imprescindível na operacionalização deste conceito enquanto campo pragmático da sua efetivação.

A gestão dos recursos hídricos é uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que tem por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos (TUCCI, 2012). As decisões tomadas na gestão hídrica devem levar em conta a sustentabilidade do recurso.

De acordo com Feitosa et al. (2008), a gestão eficiente dos recursos hídricos deve ser constituída por uma política dos recursos hídricos que estabeleça as diretrizes gerais, ou seja, um modelo de gerenciamento que estabeleça a organização legal e institucional e um sistema de gerenciamento que reúna os instrumentos para o preparo e execução do planejamento de recursos hídricos. Para as águas subterrâneas a gestão e a sustentabilidade deste recurso são fatores ainda recentes, mas fundamentais.

Um estudo de grande destaque foi elaborado em cooperação entre Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai no Aquífero Guarani, contando com a participação de pesquisadores destes quatro países, o qual originou o Programa Estratégico de Ação para o Sistema Aquífero Guarani (OEA/GEF, 2009). Esse programa foi um marco na gestão das águas subterrâneas, pois até então a ênfase era a gestão de águas superficiais, e até a realização deste estudo, normalmente apresentava-se desconectadas das águas superficiais. Pes (2013) ressalta que apesar dos quatro países que abrangem o Aquífero Guarani não terem um conjunto de normas harmônicas, eles consideram a água como de bem público. Segundo o autor, esse é fato importante que deve ser considerado para a consecução de políticas compartilhadas de gestão da água.

De acordo com Conicelli (2007), uma das maiores dificuldades para estabelecer um programa de proteção das águas subterrâneas é determinar quais são as atividades antrópicas que requerem maior atenção ambiental. Essas atividades em determinados locais são extremamente complexas e podem ser apresentadas em grande quantidade, dificultando uma investigação detalhada, tornando-a onerosa para a sociedade.

Ainda para Pes (2013) é possível à implantação de um zoneamento dos recursos hídricos subterrâneos, considerando principalmente as bacias hidrográficas, na área do Sistema Aquífero Guarani (SAG). No entanto, é imprescindível a harmonização jurídica na

proteção dos recursos hídricos entre os países abrangidos pelo Aquífero Guarani, uma vez que seu sistema é transfronteiriço.

De acordo com Niederauer (2008) é necessário organizar os dados, de forma que seja possível integrar a utilização dos bancos de dados dos diversos países abrangidos pelo Aquífero Guarani e modelar a hidrodinâmica do sistema para a identificação de áreas mais frágeis, com prioridade de proteção. Contudo, Conicelli (2007), argumenta que as políticas para a gestão dos aquíferos transfronteiriços na América do Sul terão que apontar soluções e alternativas para os problemas pontuais consequentes dos desequilíbrios social, ambiental e econômico, vividos pela realidade de cada um dos países.

Um maior aprofundamento em questões conceituais sobre a sustentabilidade das águas subterrâneas podem ser observadas nos estudos realizados por Kalf e Woolley (2005). Estes autores indicam técnicas e metodologias que podem ser aplicadas para contribuir no estudo e entendimento do tema.

2.4 Estimativas de recarga em aquíferos e métodos da literatura

O SAG é de significativa importância para o desenvolvimento socioeconômico da população na sua área de abrangência, cerca de 1.200.000 km² (OEA/GEF, 2009). Assim, os estudos com monitoramento e estimativas de recarga são de suma importância para a correta gestão do bem hídrico, conforme Barreto et al. (2010) apresenta

Tendo em vista a importância estratégica, social e econômica para os quatro países de seu domínio, faz-se necessária a ordenação do uso desse recurso hídrico. Um dos pontos relevantes para a boa gestão dos recursos do SAG é a promoção de estudos hidrológicos visando à determinação das taxas de recarga do sistema. A implantação de um sistema de monitoramento, que permita obter informações detalhadas sobre o estado atual em regiões específicas do SAG é imprescindível para o planejamento e gestão mais eficientes.

O monitoramento contínuo de dados qualitativos e quantitativos com a finalidade de se produzir uma série histórica e a formação de um banco de dados são importantes ferramentas gerenciais para os recursos hídricos. Esses fornecem subsídios para sua gestão, uma vez que um dos principais problemas das águas subterrâneas é a poluição e a superexploração (MESTRINHO et al., 2008).

O estudo de estimativa de recarga é importante para obter a capacidade do aquífero em recuperar a água dele explorada. Conforme salientado por Lucas et al. (2012) “*estudios para estimar la recarga subterránea son esenciales para determinar volúmenes adecuados de*

extracción de aguas subterráneas em el Sistema Acuífero Guaraní”. Os poços tubulares que abastecem boa parcela do Campus da UFSM captam água em zona de afloramento (ZA) do SAG, em uma sequência de camadas sedimentares arenosas (SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012). Justificando assim, a importância de seu monitoramento e estudo.

Nesse sentido Obuobie et al. (2012), dizem que a quantificação da recarga é um importante pré-requisito para uma gestão eficaz dos recursos hídricos subterrâneos como, por exemplo, as estimativas de recarga, que são necessárias para determinar os rendimentos sustentáveis de aquíferos, para o seu uso racional e extração sustentável. Assim, a gestão eficaz dos recursos hídricos subterrâneos passa por estudos de recarga do aquífero.

Neste estudo, as análises de estimativa de recarga foram realizadas de acordo com alguns métodos já utilizados em estudos anteriores, obtidos através de análises da bibliografia existente. Para a ponderação do método avaliou-se aquele que apresentasse os melhores resultados em áreas com hidrogeologia semelhante à área de estudo, ou seja, aquíferos livres.

Os métodos mais utilizados para estimativa de recarga de águas subterrâneas encontrados na literatura foram: 1) Método do Balanço de Massa de Cloreto; 2) Método da Precipitação Cumulativa; 3) Método da Modelação Subterrânea; 4) Método EARTH (Extended Model for Aquifer Recharge and Moisture Transport Through Unsaturated Hardrock); 5) Método do Balanço Hídrico; 6) Método Darcyniano e; 7) Método de Flutuação do Volume Saturado ou Flutuação do Nível D'água (Water Table Fluctuation – WTF) (SCANLON et al., 2002; XU; BEEKMAN, 2003; WAHNFRIED; HIRATA, 2005).

Os métodos físicos estão entre os mais utilizados para estimar a taxa de recarga em aquíferos livres, principalmente aqueles baseados na flutuação do NA subterrânea. Entre estas técnicas, destaca-se o método “WTF” como sendo o mais empregado (COELHO et al., 2012). O Campus da UFSM é considerado como aquífero livre, pontualmente semi-confinado devido à interligação de camadas siltoargilosas do aquífero Membro Alemoa (MACHADO, 2005; SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012). Portanto, justifica-se a utilização do WTF devido as condições apresentadas na área de estudo.

No grupo de pesquisa em Hidrogeologia do Laboratório de Hidrogeologia/LABHIDROGEO, do Departamento de Geociências da UFSM foram realizados alguns trabalhos utilizando-se o método WTF na ZA do SAG. Dentre eles, pode-se citar Martelli (2012) no município de Cacequi; Farias (2011) e Do Carmo (2014) em micro-bacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim no município de Santa Maria; Dambrós (2011); Dambrós e Silvério da Silva (2014) e Baumhardt (2014) em sub-bacias com floresta e campo nativo, localizadas no município de Rosário do Sul, todos no estado do Rio Grande do Sul.

Este método também foi aplicado na ZA do SAG em outros estados brasileiros. Alguns exemplos são na bacia do Ribeirão da Onça, no município de São Carlos, estado de São Paulo (MAZIERO, 2005; BARRETO, 2006; WENDLAND et al., 2007 e BARRETO et al., 2009; LUCAS, 2012; LUCAS et al., 2012). No Estado de Minas Gerais foi estudado em aquífero livre por Paiva (2006).

Para Maziero e Wendland (2005), os métodos baseados na precipitação e variação dos níveis de água nos poços alcançam resultados mais precisos, dizendo que “particularmente, os métodos baseados em relações entre precipitação e variações da superfície piezométrica têm maior potencial de predizer a recarga subterrânea”.

Existem vários métodos alternativos para estimar recargas subterrâneas, cada um deles assumindo premissas e incertezas. O WTF é um método que assume ser a precipitação pluviométrica anual a fonte de recarga de um aquífero livre. Estudos relacionados à flutuação do NA subterrânea e avaliações de recarga semelhantes às estimativas realizadas pelo método WTF, ocorrem desde 1920. Sendo que este método se mantém atualizado e é amplamente aplicado por hidrogeólogos brasileiros e estrangeiros (DAMBROS, 2011).

O método WTF é a técnica mais amplamente utilizada para estimativas de recarga em águas subterrâneas (MAZIERO, 2005). Esse método é aplicável somente aos aquíferos não confinados e requer o conhecimento do rendimento específico ou porosidade drenável. As vantagens desta aproximação incluem sua simplicidade e uma sensibilidade aos mecanismos do movimento da água, na zona não saturada na interface solo/rocha sedimentar clástica (HEALY e COOK, 2002).

O método WTF pode ser usado de duas formas: para estimativas de eventos de curta duração (dias, semana, mês) ou em períodos mais extensos (anos), sendo também possível à estimativa em escala local e regional. O WTF foi o método considerado mais sensível quando comparado ao método de estimativa Darcyniana e ao método do balanço hídrico (WAHNFRIED; HIRATA, 2005).

Segundo Hagedorn et al. (2011), o método WTF produz resultados satisfatórios mesmo em regiões costeiras, onde prevalecem gradientes hidráulicos baixos. As áreas costeiras, formadas por camadas de sedimentos, são caracterizadas como de aquífero livre, semelhantes à apresentada no presente estudo. O gradiente hidráulico é entendido como a velocidade de percolação da água no solo.

O método WTF, além de ser sensível à estimativa de recarga, supre algumas deficiências que os outros métodos apresentam. Por essa razão, foi desenvolvido para

determinar a recarga das águas subterrâneas a partir dos dados de monitoramento da variação (flutuação) do NA (MARTELLI, 2012).

O WTF possibilita estimar a recarga, a partir da relação entre a capacidade específica do meio penetrado pela perfuração na zona saturada e a variação anual da altura do NA. Destaca-se que esse método tem melhor resultado quando os níveis de água subterrânea mostram uma resposta rápida aos eventos de precipitação em áreas individuais de uma zona vadosa, relativamente fina (HEALY; COOK, 2002).

Outros estudos envolvendo estimativas de recarga foram realizados em diferentes situações e regiões, entre muito estudos pode-se citar Sharda et al. (2006), o qual aplicou o método WTF e o comparou ao método de Balanço de Massas de Cloretos (BMC) em região semiárida do oeste da Índia. Os autores encontraram valores de 7,3% e 9,3% do total precipitado para os anos de 2003 e 2004 respectivamente, para o método BMC foi encontrado 7,5% de infiltração do total de chuva. Esses resultados apontam para semelhanças entre os dois métodos de estimativa de recarga subterrânea.

Estudos nesta temática também são importantes para saber o quanto o aquífero pode ceder de água através de descarga natural ou exploração por poços tubulares. Fazendo uma comparação entre o método WTF e o método de descarga Recessão- Curva- Deslocamento, Kung et al. (2013) aplicaram na bacia do rio Lanyang Creek, em Taiwan. Nesta pesquisa, os autores mostraram que os dados obtidos com os dois métodos ficaram muito próximos, mostrando haver relação entre o total infiltrado e a descarga total do aquífero, na bacia hidrográfica estudada em Taiwan.

2.5 Trabalhos desenvolvidos no Campus da UFSM na temática meio ambiente e recursos hídricos

No Campus da UFSM foram realizados estudos com a temática meio ambiente e recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Esses estudos vêm sendo desenvolvidos principalmente pelo Grupo de estudo em Hidrogeologia (LABHIDROGEO - Laboratório de Hidrogeologia da UFSM do departamento de Geociências) e pelo GERHI (Grupo de Estudos em Recursos Hídricos da UFSM, Centro de Tecnologia).

No estudo de Silveira et al. (2003) foram analisados alguns parâmetros ambientais relacionados as águas superficiais da Bacia escola do Escola do Campus da UFSM, através de monitoramento nos cursos de água que compõe a Bacia. Com relação aos resultados da

avaliação ambiental, observou-se que a qualidade da água efluente do Campus é fortemente dependente das contribuições das cargas poluidoras da sub-bacia de montante, a área residencial da Bacia no bairro Camobi.

Na área ambiental ainda pode-se destacar estudos de Araújo (2013). O autor estudou a pluma de contaminação nos recursos hídricos oriundos do lançamento de efluentes domésticos em uma área do Campus, dentro da Bacia Escola. Nessa mesma área destaca-se ainda Reckziegel (2012), que a partir de um modelo conceitual de contaminação, realizou um detalhamento de métodos de avaliação da qualidade ambiental de áreas urbanas degradadas pela disposição de efluentes no solo/rocha sedimentar. Ainda na mesma área, no Campus da UFSM, tem-se o estudo de algumas variáveis como temperatura e Condutividade Elétrica (CE) na coluna de água em poços rasos de monitoramento, realizados por Luiz et al. (2013), Luiz e Silvério da Silva (2013, 2014) e Costa et al. (2014).

Dividindo-se a área da Bacia em estudo em área com predominância de campo de pastagens e agricultura e outra com predominância de área construída, a pesquisa de Horn (2012) constatou que houve um escoamento superficial 5,1 vezes maior na área urbanizada do que na área agrícola. Também o autor observou que na área de pastagens e agricultura não há contribuição do aquífero aos cursos de água.

Analisando-se as variações da CE e a temperatura da água em dois poços tubulares desativados do Campus da UFSM, cita-se Schuster et al. (2013) que compararam a variação destes parâmetros na coluna de água nos poços Biblioteca Central e Planetário, com profundidade em torno de 50 m. Os autores constataram resultados de crescente aumento da CE, conforme o aumento da profundidade da coluna de água. A temperatura manteve-se relativamente constante, variando menos de 1 °C até a base do poço. Esses estudos buscam encontrar variabilidade sazonal e estão em execução.

Quanto a estudos relativos ao monitoramento qualitativo e quantitativo nas águas subterrâneas do Campus, os primeiros registros são de Moreira (2005) que abordou aspectos qualitativos das águas subterrâneas. Analisando alguns parâmetros físicos químicos e bacteriológicos das águas captadas em poços tubulares no Campus da UFSM. Nesse contexto, a autora afirma que as águas dos poços são aceitáveis de acordo com as condições hidro-sanitárias e com as normas exigidas para consumo humano (OMS e Portaria nº 518/2004). As águas são consideradas doces em função da baixa concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) presentes nas águas e podem ser consideradas brandas em relação a sua dureza total.

Analisando qualitativamente as águas subterrâneas no Campus, Marion et al. (2007) avaliaram alguns parâmetros físico-químicos das águas do poço PB20 (FATEC Velho), no

período em que ele se encontrava ativo. O trabalho avaliou parâmetros tais como: a temperatura da água e do ar, os STDs, Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido e a Alcalinidade Total.

Marion et al. (2007) concluíram que apesar da variação dos parâmetros ao longo da realização do monitoramento, estes sempre se mantiveram na faixa indicada pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, legislação vigente no período de estudo, de acordo com o que é recomendado para o consumo humano. Esse poço tubular foi perfurado pela CPRM em 1996 com profundidade de 100 m (CPRM, 1996). Atualmente o poço encontra-se desativado e vem sendo utilizado pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) da CPRM. Nele foi usado o método WTF, na presente pesquisa, pois está dotado de registrador automático de NA desde agosto de 2013.

Marion et al. (2010) realizaram um estudo sobre a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, com uso do método DRASTIC (ALLER et al. 1987) e pelo método SAGA (XAVIER DA SILVA, 1992) na área do Campus. Os autores concluíram que do total da área do estudo, cerca de 47,17% dela apresentava média vulnerabilidade, 32,12%, baixa vulnerabilidade e 20,71% alta vulnerabilidade.

No que diz respeito ao teor de flúor das águas subterrâneas no Campus, Santiago (2010) estudou a variabilidade da concentração do elemento, no período de um ano, realizando coletas mensais no poço PB01. Em todas as análises realizadas pela autora acusaram a presença de flúor em quantidades não recomendadas para o consumo humano, conforme a portaria Ministério da Saúde nº 2.914/2011. Além disso, foi constatada concentrações de sódio, cloreto e sulfato acima dos valores máximos permissíveis (VMP) para o consumo humano. Atualmente, este poço encontra-se desativado e vem sendo realizado o monitoramento do seu NA desde maio de 2010 pela presente pesquisa.

Estudos sobre a exploração dos poços tubulares de abastecimento, foram realizados por Ertel et al. (2012) e Ertel et al. (2013a), nos poços Estrada do Jardim Botânico e do Centro de Ciências Sociais e Humanas (CCSH), respectivamente. Nos estudos mensurou-se a quantidade de água extraída dos poços tubulares durante um ano hidrológico, através dos valores registrados em leituras semanais dos hidrômetros. Em ambos os estudos constatou-se haver indicação de sobre-exploração dos poços, com rebaixamento do nível acima do normal.

Quantitativamente também foram realizadas estimativas de recargas no Campus, usando os níveis de poços tubulares e os dados de precipitações ocorridas na área dos mesmos. Esses trabalhos foram realizados por Löbner et al. (2012); Löbner et al. (2013) e Ertel et al. (2013b). Em todas as pesquisas os autores constataram que houve relação direta entre a

precipitação pluviométrica e a recarga do aquífero. Além disso, foi observado que as chuvas intensas não geraram uma recarga efetiva, no entanto, acredita-se que essa água pode contribuir para um maior escoamento superficial, possivelmente devido aos afloramentos do Aquiclude Alemoa (MACHADO, 2005) o qual não permitem uma intensa infiltração (LÖBLER et al., 2015 no prelo).

Em um diagnóstico sobre a situação das captações no Campus, Silvério da Silva et al. (2012) concluíram que “O banco de dados hidrogeológicos necessita ser atualizado periodicamente com novas informações tanto de quantidade quanto de qualidade”. Constatase assim a falta de dados hidrogeológicos no Campus, principalmente de grandes períodos de monitoramento. Os autores ainda ressaltam que a partir dos registros de flutuação dos níveis estáticos nos poços, eles puderam ser associados ao crescimento do consumo de água, devido ao crescimento da infraestrutura e da população de usuários no Campus e/ou ainda relativo às possíveis alterações climáticas. Evidenciaram-se alterações na capacidade de recarga do aquífero conforme observado no balanço hídrico de curta duração. Sugere-se que esta hipótese seja mais bem investigada e confrontada com outros métodos de avaliação de recarga.

Diante do exposto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar metodologias e fornecer uma série histórica de registros de níveis de águas subterrâneas, a fim de subsidiar estudos futuros a serem realizados na Bacia Escola do Campus da UFSM ou em outras áreas.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Escola do Campus da UFSM está localizada no bairro Camobi, na porção leste do município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul (RS), conforme é apresentado na figura 1. A Bacia compreende boa parte da área da universidade (área velha) e uma pequena parte do bairro Camobi, na área urbana do município de Santa Maria. Essa é uma sub-bacia com rios afluentes do rio Vacacaí Mirim, fazendo parte da bacia dos rios Vacacaí-Vacacaí-Mirim (G60/SEMA/RS, 2005). A Bacia está inserida na Depressão Central do estado do RS, em uma zona de transição entre os biomas Campos Sulinos (Pampa) e Mata Atlântica (VALENTINI, 2010). Ainda podem-se observar algumas espécies vegetais remanescentes dos dois biomas na área da Bacia.

Quanto à climatologia da área, conforme classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), o clima é subtropical úmido, tipo Cfa. Segundo Heldwein et al. (2009) as precipitações, através da base histórica de medidas entre os anos 1914-2009, registradas na estação meteorológica da UFSM, conveniada da rede INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), apontam para médias anuais históricas de 1.712 mm.

De acordo com a CPRM (1994), a evapotranspiração na região do mapa hidrogeológico da folha de Santa Maria (SH.22-V-C-IV) é de 47%, o que corresponde a aproximadamente 836 mm anuais. Ainda aponta-se no documento que os aquíferos são recarregados no intervalo de abril a setembro (outono e inverno) e a depleção ocorre no período de outubro a março (primavera e verão). Portanto, acredita-se que a recarga dos aquíferos da área em estudo ocorra principalmente no inverno, quando haveria menor evapotranspiração potencial e precipitação mais efetiva. Por outro lado, os níveis mais baixos de água no aquífero ocorrem no verão, pela alta evapotranspiração associados aos baixos índices pluviométricos registrados.

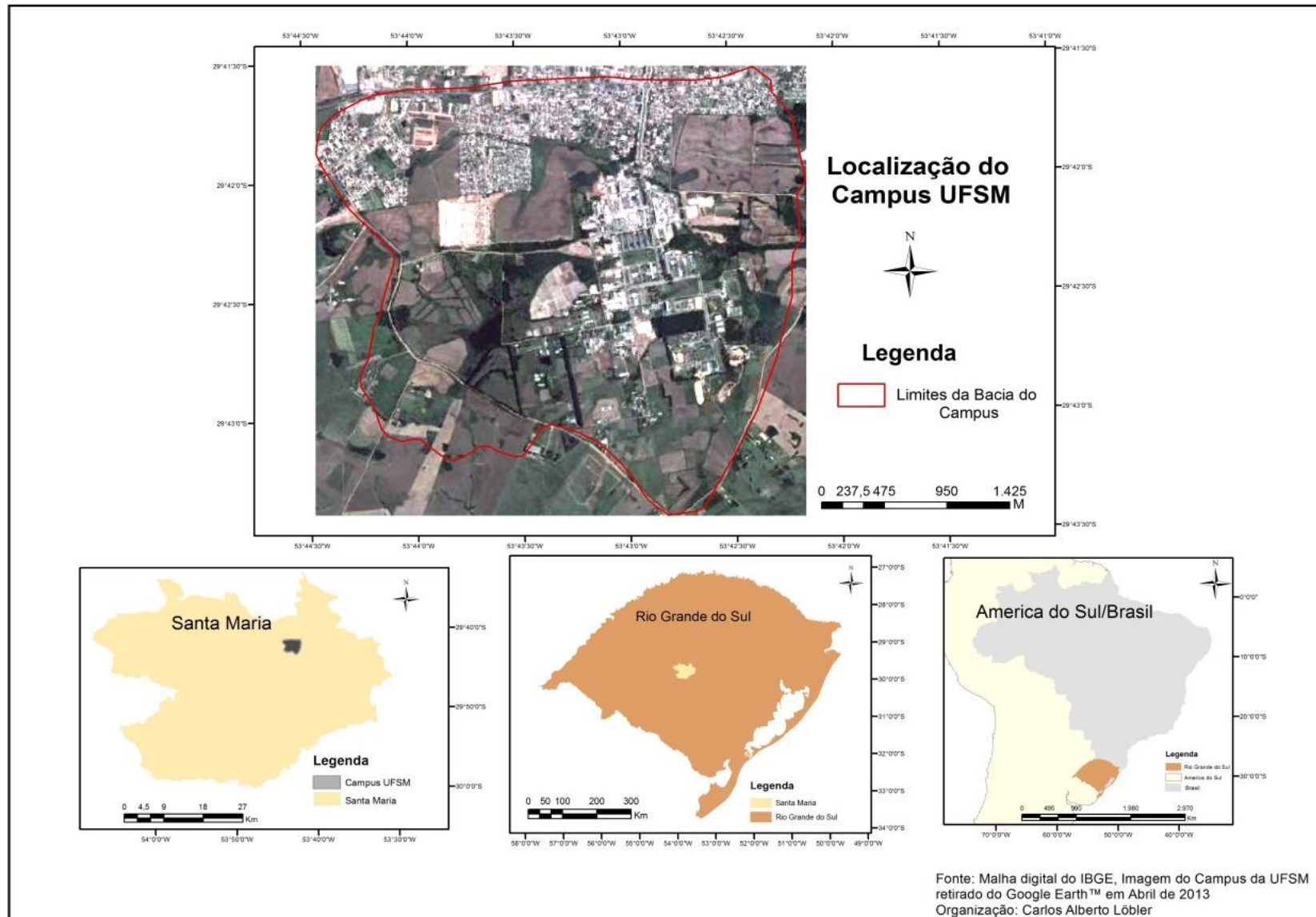


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul (RS) e no Brasil.

3.1.1 Características geológicas/pedológicas e hidrogeológicas do Campus da UFSM

Quanto aos solos da área, Dalmolin e Pedron (2009) salientam que o município de Santa Maria caracteriza-se por apresentar significativa diversidade de solos, com diferentes potenciais de uso, destacando-se: os Argissolos, Planossolos, Gleissolos e Neossolos. Devido a essa variabilidade de solos, pode resultar em diferentes velocidades e/ou taxas de infiltrações da água da chuva no subsolo.

No mapa da figura 2, pode-se observar a ocorrência de três classes litológicas na Bacia Escola Campus da UFSM, sendo: duas provenientes do intemperismo da Formação Santa Maria, a partir da Era Mesozóica e no Período Triássico Superior, que é o membro Alemoa e o Membro Passo das Tropas. A terceira classe foi formada na Era Cenozóica, no Período Quaternário e na Época/ano Pleistoceno, que são os Terraços Fluviais.

De acordo com Gaspareto et al. (1990) as classes litológicas são classificadas, da seguinte forma:

O Membro Alemoa pertence à Formação Santa Maria, é formado por Siltitos argilosos maciços de cor vermelha. Com níveis esbranquiçados de concreções calcárias sub-horizontais de ambiente continental. O Membro Passo das Tropas, também oriundo da Formação Santa Maria é constituído por: arenitos feldspáticos com granulometria médios a grosseiros, por vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada na base, seguidos de siltitos arenosos roxo-avermelhados de ambiente fluvial, além de arenitos finos e siltitos laminados, de cores rosa a lilás, de paleoambiente flúvio lacustre, e ainda apresenta impressões de restos da flora Triássica em certos sítios.

Os Terraços Fluviais, foram formados no período Quaternário, apresentam-se constituídos por conglomerados, arenitos médios argilosos com estratificação cruzada e planar e siltitos arenosos de cores cinza clara, rosa e amarela de paleoambiente fluvial. Esses se encontram depositados nas planícies aluviais de alguns cursos de água. Os terraços aluviais não possuem constituição uniforme pelos seus formadores, variando bastante de região para região, onde adquirem as características do material transportado pelos rios próximos, o que lhes confere características hidráulicas distintas..

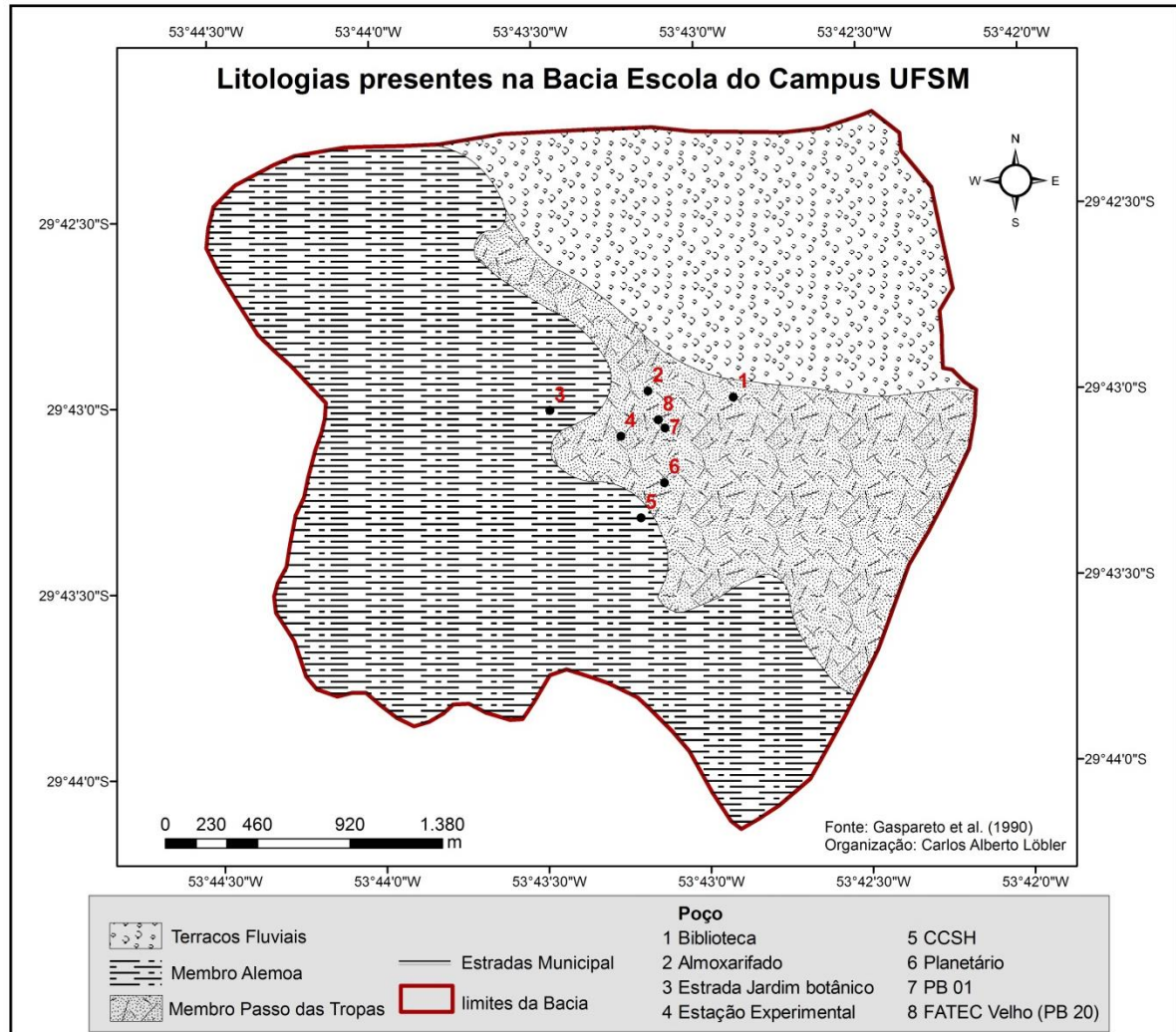


Figura 2 - Mapa litológico do Campus da UFSM com a localização dos poços utilizados no estudo.

Observando-se o mapa da figura 2 e os resultados da quantificação das áreas realizadas no programa *ArcGIS* 10 estão apresentados na tabela 1, afirma-se que o Membro Alemoa cobre mais que 52% da área total da Bacia Escola do Campus. Essa unidade está principalmente localizada a sul, sudoeste e a oeste da Bacia. Contudo, a maior parte dos poços monitorados encontra-se em zona de afloramento do Membro Passo das Tropas (ZA do SAG). Ressalta-se que essas representações são do afloramento das litologias, e que, em subsolo esses elementos possuem comportamentos distintos, e muitas vezes se sobrepondo diferentes litologias interdigitadas (CPRM, 1994; SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012).

Tabela 1 - Abrangência das classes litológicas na Bacia Escola do Campus da UFSM

Litologia	Área (ha)	Abrangência (%)
Membro Alemoa	501,89	52,76
Membro Passo das Tropas	209,99	22,08
Terraços Fluviais	239,36	25,16
Área total	951,24	100

Fonte: Gaspareto et al. (1990), organizado pelo Autor

O Membro Alemoa forma argissolos que se caracterizam por apresentar uma menor facilidade de percolação/infiltração da água devido a sua constituição silto-argilosa e estrutura maciça, localmente formando ravinas (SILVÉRIO DA SILVA et al., 2010). Assim, ocasionando por incidência de chuvas, um maior escoamento superficial ou mesmo acúmulo de água superficial, mesmo depois de passados alguns dias da ocorrência da precipitação, conforme se observa na figura 3, registrada três dias após o evento chuvoso na Bacia.



Figura 3 – Acúmulo de água da chuva em área com litologia argilosa do Membro Alemoa no Campus da UFSM, no poço PB08 Estrada do Jardim Botânico (desativado).

Fonte: Trabalho de campo, Julho de 2013.

Os Terraços Fluviais são uma litologia formada por materiais transportados por canais fluviais (em leitos de rios). Isso faz com que se tenham diferentes constituintes na interface solo/rocha. Assim, dependendo dos teores de silte e argila no depósito, podem-se ter boas condições de infiltração de água e favorecer a recarga. Também essa unidade caracteriza-se

pela pouca consolidação dos materiais e é considerada área de recarga e também de descarga de água subterrânea.

A litologia componente do Membro Passo das Tropas, formadora do Aquífero Passo das Tropas (MACHADO, 2005), esta constituída principalmente por arenitos médios a grossos que formam solos superficiais e que apresentam uma maior facilidade de infiltração da água (SILVÉRIO DA SILVA et al., 2012). Esses tipos litológicos também ocorrem em subsuperfície. A partir da informação geológica, pode-se considerar que as áreas que apresentam maior facilidade para a infiltração da água da chuva localizam-se mais ao leste no mapa da figura 2. Na área de solos formados a partir da litologia Passo das Tropas e dos Terraços Fluviais.

De acordo com a CPRM (1994) e segundo classificação de Machado e Freitas (2005), a Bacia do Campus está inserida em um subsistema do Sistema Aquífero Guarani (SAG) o qual é denominado de Aquífero Santa Maria, que caracteriza-se pela sua possibilidade alta a média de ocorrência para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. Neste sentido, a construção de poços tubulares na Bacia do Campus que captam água dessa unidade, possibilita a esses poços apresentarem melhores vazões de exploração.

O Subsistema Aquífero Santa Maria restringe-se à região central do Estado do RS, ocorrendo em uma extensa faixa entre os municípios de Mata e Taquari. É composto por arenitos grossos a conglomeráticos na base; lamitos avermelhados, siltitos e arenitos finos a médios no topo. As capacidades específicas variam de 0,5 a 1 m³/h/m, nas áreas de afloramento, e alcançam 4 m³/h/m, nas áreas confinadas (FREITAS; GOFFERMANN, 2011).

3.2 Procedimentos técnicos

3.2.1 Coletas dos dados

A coleta de dados, referente aos níveis estáticos e dinâmicos dos poços foram realizados de duas de formas. Uma destas formas foi realizada através de medidor automático de nível, o qual foi calibrado para obter dados de frequência horária, no poço FATEC Velho. Esse poço está sendo monitorado em parceria com a CPRM através do projeto RIMAS. Outra forma de obtenção de dados foi por campanhas semanais de leituras de níveis das águas subterrâneas em poços tubulares selecionados no Campus da UFSM. Esse monitoramento

vem sendo realizado desde o mês de maio do ano de 2010 e está descrito em Löbler et al. (2010, 2011, 2012, 2013) e Ertel (2013).

As medições horárias foram realizadas com medidor automático de nível, instalado e aferido regularmente pela equipe técnica da CPRM. Os dados e a metodologia de coleta estão disponíveis no sistema RIMAS (<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>). O sensor instalado no poço é um transdutor de pressão (*dipperlogge*) da marca *Heron Instruments*, produzido no Canadá. O transdutor apresenta uma capacidade hidrostática (coluna da água) de até 120 metros. O aparelho é usado para aferição do nível estático dos poços, por isso são instalados principalmente em poços dedicados à pesquisa, utilizados para monitoramentos de flutuação de níveis da água subterrânea. A figura 4 mostra o poço FATEC Velho, o qual é monitorado pela RIMAS/CPRM, dentro do Campus da UFSM.



Figura 4 - Poço FATEC Velho (PB20, desativado), monitorado pelo projeto RIMAS/CPRM, com registrador automático horário (desativado).

Fonte: Trabalho de campo, junho de 2013.

As medições manuais e instantâneas são realizadas com uso de freatímetro sonoro da marca Jacirí, dotado de cabo conector de 100 m, que apenas é medidor de NA. Também foi utilizado o medidor de nível *Solinst* TLC que além do registro do nível do NA (L), registra a condutividade elétrica (C) e a temperatura (T) da água no poço. Esses aparelhos permitem o conhecimento do nível estático (NE) do poço (sem bombeamento) e o nível dinâmico (ND)

(com bombeamento do poço) em poços ativos. Os aparelhos utilizados na pesquisa são apresentados na figura 5.



Figura 5– Medidor de nível da marca Solinst TLC, e medidor sonoro de nível da marca Jacirí, ambos com cabo de 100 m.

Fonte: Arquivo pessoal.

As medições são realizadas a partir da “boca” do poço, ou seja, da parte mais elevada do tubo principal, no caso dos poços desativados e, da parte mais elevada do tubo guia ou lateral (ABNT/NBR 12.244/2006; DECRETO ESTADUAL N° 42.047/2002) nos poços em funcionamento (figura 6). O eletrodo dos aparelhos ao entrar em contato com a água, coluna do poço, emite um sinal sonoro ocasionado pelo fechamento do circuito elétrico pela água, indicando o NA.



Figura 6 - Medições de níveis das águas subterrâneas do Campus da UFSM em poço tubular dotado de tubo guia, poço Estrada do Jardim Botânico (ativo).

Fonte: Trabalho de campo, Junho de 2013.

No total vem sendo monitorados oito poços tubulares. Desses, três estão em plena atividade: Estrada do Jardim Botânico (PB25), Estação Experimental (está instalado, mas ainda não está explotando água regularmente) e CCSH (PB24). Também são avaliados quatro poços que estão desativados: FATEC Velho (com registro de frequência semanal, passando a ser horária a partir de agosto de 2013), Almojarifado, Planetário e Biblioteca Central (todos com 50 a 100 m de profundidade). E ainda o PB01 (com 276 m de profundidade), o qual possui água imprópria para o consumo humano (SANTIAGO, 2010; SANTIAGO; SILVÉRIO DA SILVA, 2011; SILVÉRIO DA SILVA et al., 2011). Essa captação vem sendo usada unicamente para estudos acadêmicos.

Uma vez que os poços tubulares foram executados por distintas empresas e em anos diferentes, a tabela 2 procura sintetizar os principais parâmetros de cada poço tubular utilizado no estudo.

No mapa da figura 7, observa-se a localização dos oito poços que estão sendo monitorados no Campus da UFSM. Os poços estão localizados em locais com diferentes usos da terra, dentro do Campus da UFSM.

Tabela 2 - Principais características hidrodinâmicas dos poços monitorados.

Nº do Poço	Localização/ Nome	Condição atual	Coord. mE	Coord. mN	Empresa	Diâmetro (Pol)	Ano de Execução	Cota (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Prof - (m)	Vazão (m³/h)
PB-17	Biblioteca Central	Desativado	237458	6709618	CORSAN	6	1993	84	15,36	66,83	68	1,50
PB-3	Planetário	Desativado	237121	6709224	CORSAN	8	1976	87	22,00	37,00	51,00	20,00
PB-6	Almoxarifado	Desativado	237021	6709657	Tecnopoço	8	1981		17,54	57,33	100,00	9,10
PB-23	E. J. Botânico	Ativo	236862	6709660	CORSAN	8	1998	100	24,00	32,00	57,00	12,00
PB-24	Estação Experimental	Ativo	236895	6709457	*	8	2008	97	15,00	20	*	8,00
PB-20	FATEC Velho/ RIMAS	Desativado	237066	6709559	CPRM	6	1996	86	21,50	*	102,00	8,00
PB-01	PB01	Desativado	237112	6709499	*	*	*	87	27,00	*	*	*
PB-22	CCSH	Ativo	236958	6709014	*	*	*	105	20,00	*	*	*

PB= Poço com bomba submersa; m= metros; E= Leste; N= Norte; Pol.= Polegadas; N.E.= Nível Estático; N.D.= Nível Dinâmico; Prof.= Profundidade; *= Dados não disponíveis.

Fonte: HIDROBRASIL (2008)

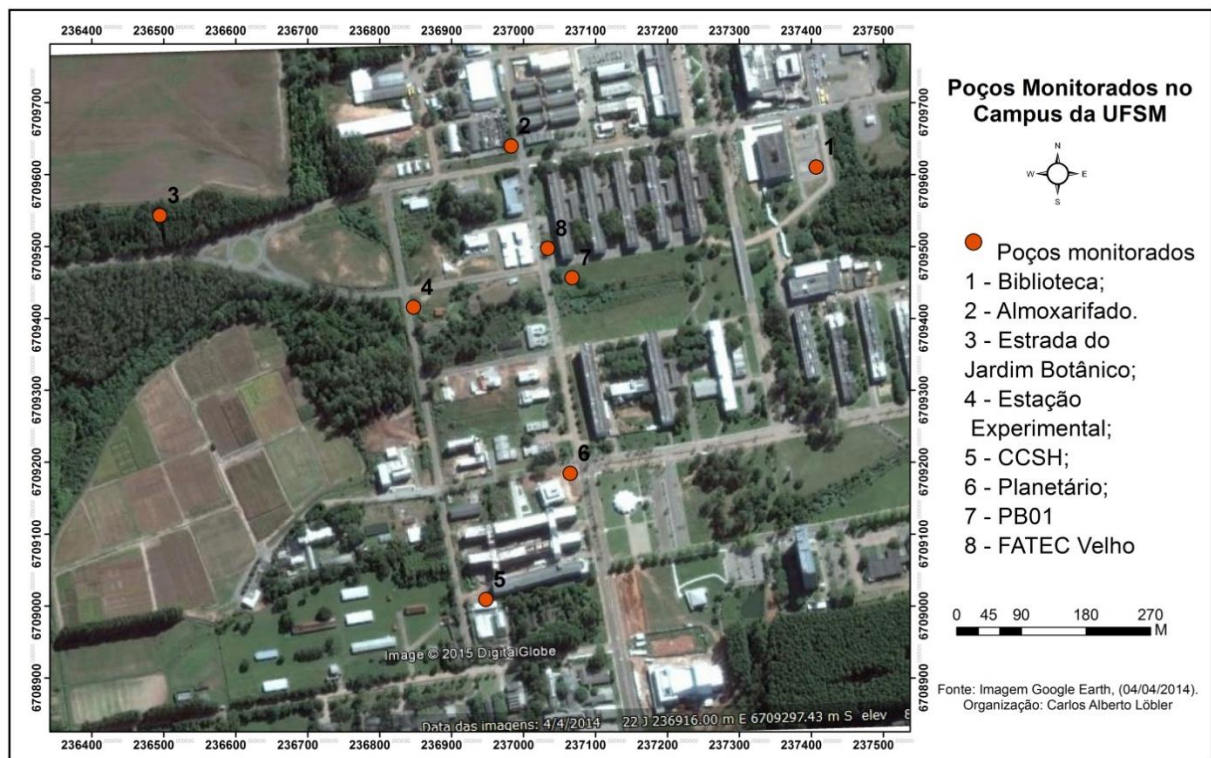


Figura 7 - Mapa de localização dos poços em monitoramento na Bacia Escola do Campus da UFSM.

O espaço temporal de monitoramento é variável para cada poço, sendo que a maior parte deles começou a ser monitorando junto com o início do projeto, em maio de 2010

(LÖBLER et al., 2010). Optou-se por esses poços por estarem em uma rota predefinida e, também por serem de fácil acesso a pé.

A precipitação pluviométrica é uma variável climática, que nesse trabalho foi utilizada para observar possíveis relações estatísticas das chuvas com a variação do nível do lençol freático. Também, foi usada para fornecer uma estimativa da recarga subterrânea de água. Os dados referentes às precipitações pluviométricas estão disponibilizados no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/ <http://www.inmet.gov.br>).

O INMET possui uma estação de coleta de dados instalada no Campus da UFSM (Cadastrado sob nº 83936). O seu banco de dados possui registros diários referentes a precipitações e ainda de outras variáveis climáticas, tais como: temperatura do ar, insolação, evaporação, direção e velocidade do vento. A série histórica foi iniciada em Santa Maria no ano de 1912 (HELDWEIN et al., 2009).

Os dados de georreferenciamento foram aferidos na parte mais elevada do tubo principal, no caso dos poços desativados, ou na parte mais elevada do tubo guia em poços ativados. Os dados de georreferenciamento foram coletados pelo Departamento de Engenharia Rural do CCR/UFSM, no ano de 2008, com uso de *Global Position System*/GPS topográfico. Esse levantamento apresenta elevada precisão no posicionamento da captação “boca do poço”. Nos poços perfurados após esse período foram registradas as coordenadas com uso do GPS *garmim/etrex* manual. O erro de posicionamento desse aparelho é de até 15 metros.

Adotou-se o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e o *datum South America Datum* (SAD69), fuso 22, o mesmo sistema usado pela SIAGAS/CPRM. O *Datum* SAD69 possui como referência vertical o porto de Imbituba em Santa Catarina. Esses dados de localização (coordenadas) serão necessários para espacializar os parâmetros hidrodinâmicos dos poços, a superfície potenciométrica e na mensuração da distância entre os poços e seus possíveis raios de influência.

3.2.2 Mapas de uso da terra

Para confecção dos mapas de uso da terra foram utilizadas imagens do aplicativo *Google Earth* (versão *free*). Realizou-se o mosaico com três imagens, para cada ano de análise, procurando deixá-las em uma ortofoto única, no espaço temporal de 2007 a 2014. O recorte temporal foi escolhido porque as imagens apresentavam boa nitidez e se enquadravam no espaço temporal da pesquisa de monitoramento de níveis da água dos poços e ainda, por

consultas em relatórios técnicos da HIDROBRASIL (2008) apontarem vários pedidos de outorgas de poços, pela UFSM, na área nesse período. Nessa etapa o tratamento dos dados foi realizado com uso do programa Corel DRAW X5.

Optou-se pelas imagens do *Google Earth (free)*, pois estas apresentam uma qualidade maior no produto final, em comparação as imagens do LANDSAT, realizadas por Löbler et al. (2015 no prelo). Simon e Trentin (2009) justificam que os dados disponíveis, na maioria das vezes, possuem baixa resolução espacial, como no caso das imagens dos satélites LANDSAT (USA) e CBERS (China-Brasil) e ainda citam as poucas opções temporais disponíveis dos produtos desses satélites.

Após essa fase se utilizou o programa *ArcGIS 10* para o tratamento cartográfico das imagens. O georreferenciamento foi realizado pelo método de pontos de controles, os quais foram adicionados à imagem a partir de feições semelhantes de um *shape* já anteriormente georreferenciado. Para tanto foram usados os limites da Bacia Escola, digitalizados com base na carta topográfica 1:50.000, folha de Camobi.

A classificação das imagens foi feita pelo método supervisionado através do processo da máxima verossimilhança, onde cada *pixel* da imagem assume um valor de classificação. No caso de mapas de uso da terra, representa uma feição de uso. Além disso, foi verificada a veracidade da classificação através de saídas de campo e observações na imagem não classificada, assim ajustando-se manualmente alguns erros de classificação. Adotou-se o *Datum* horizontal WGS84 (*World Geodetic System*), para confecção desses mapas.

Adotaram-se os seguintes critérios para a coleta de amostra e posterior classificação das classes:

Campo: Foram considerados dentro da presente classe as gramas, gramíneas, áreas com plantas de pequeno porte que não caracterizavam pela sua feição como sendo pertencente a floresta. Ainda foram consideradas as plantações agrícolas em elevado estágio de desenvolvimento;

Florestas: consideraram-se as áreas com densidade grande de árvores, tanto plantadas, quanto nativas, remanescentes da mata originária;

Áreas construídas: Foram consideradas como áreas construídas, qualquer forma de alteração no solo, através de construção de prédios, calçadas/caminhos, pavimentação de ruas, dentre outros;

Solo exposto: Nessa classe, foram consideradas áreas com solo desprovido de qualquer tipo de vegetação e ainda, os cultivos agrícolas em estágio inicial de desenvolvimento.

3.2.3 Aplicação do método WTF nos registros de níveis do poço FATEC Velho

Na etapa de tratamento de dados foi utilizado o método WTF para realizar a estimativa de recarga subterrânea no poço FATEC Velho. O espaço temporal dos dados considerados foi entre 14 de agosto de 2013 a 4 de novembro de 2014, totalizando 447 dias (Δt) de monitoramento, sendo portanto, superior a um ano hidrológico. Nesse período, os dados foram armazenados com frequência horária pela sonda, obtendo-se um total de 10.727 registros de níveis de água.

Para a estimativa de recarga Healy e Cook (2002) propuseram a seguinte fórmula de cálculo:

$$R = S_y * \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

Onde:

S_y = Rendimento específico do meio poroso saturado;

Δh = Variação do nível freático (m);

Δt = Tempo de avaliação (dias).

O método considera o rendimento específico da camada aquífera (que segundo os autores pode ser substituído também pela porosidade efetiva ou o coeficiente de armazenamento). Esse parâmetro hidrodinâmico foi retirado da bibliografia existente (perfil geológico do poço), disponíveis no SIAGAS da CPRM, conforme é apresentado na figura 8 e também o perfil construtivo (CPRM, 1996). Após essa análise, foram usados os valores constantes na tabela 3, recomendados por Healy e Cook (2002).

Ainda, o método considera a variação do NA ao longo do tempo de monitoramento. Para isso foram usados os dados de registro do NA do poço FATEC Velho, o qual faz parte do projeto RIMAS/CPRM, de frequência horária. Foram considerados todos os picos de recarga, extrapolando as curvas admitindo-se que a variação no NA se dá de forma exponencial.

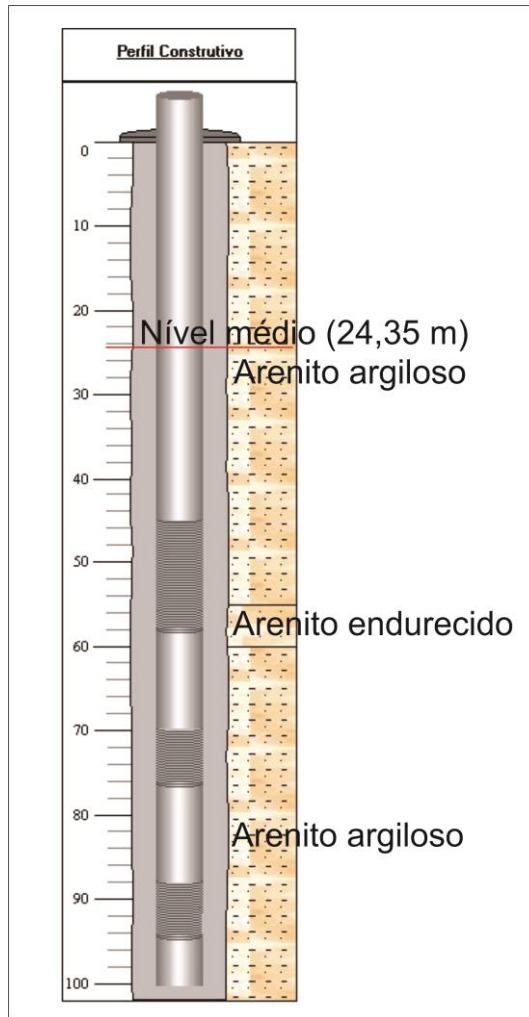


Figura 8 - Perfil geológico do poço FATEC Velho (4300000556) de onde se retirou o S_y para o uso no método WTF. Profundidade de 100 m (desativado).

Fonte: CPRM (1996), organizado pelo autor.

O poço FATEC Velho foi perfurado pela CPRM em 1996, tendo originalmente 102 m de profundidade. Em seu relatório de construção apontou-se o nível estático original de 40 m. A sequência sedimentar apresenta: 0 – 3 m, arenito fino a muito fino, muito pouco argiloso; 3 – 13 m, arenito fino a muito fino, moderadamente argiloso; 13 a 21 m, arenito fino a muito fino, muito pouco argiloso; 21 – 42 m, arenito fino a muito fino, muito pouco argiloso. Considerou-se apenas a porção de rochas entre a zona não saturada e a zona saturada para classificá-lo como um aquífero livre.

Conforme apresentado na figura 8, o poço FATEC Velho possui em seu perfil construtivo, até o nível estático médio, registrado no período estudado (24,35 m), sendo os solos e as rochas constituídos por arenito argiloso. Portanto, para os cálculos foram usados,

com base na tabela 3, os valores correspondentes a areia fina. Os valores de Sy variaram de 0,10 a 0,28 com média de Sy de 0,10.

Tabela 3 - Valores sobre rendimentos específicos (Sy).

Material	Sy Mínimo (%)	Sy Médio (%)	Sy Máximo (%)
Argila	0,00	0,02	0,05
Argila arenosa	0,03	0,07	0,12
Silte	0,03	0,08	0,19
*Areia fina	0,10	0,21	0,28
Areia média	0,15	0,26	0,32
Areia Grossa	0,20	0,27	0,35
Areia com pedregulho	0,20	0,25	0,35
Pedregulho fino	0,21	0,25	0,35
Pedregulho médio	0,13	0,23	0,26
Pedregulho Grosso	0,12	0,22	0,26

Fonte: adaptado de Johnson 1967 (*apud* HEALY e COOK, 2002). * faixa de Sy utilizado

3.2.4 Correlação entre os níveis de água dos aquíferos e os dados pluviométricos

Para verificar a existência de correlação entre os níveis do aquífero e os dados pluviométricos, foi usado o programa *Statistica 7*. Realizou-se a construção de gráficos de dispersão para análise da regressão linear e a possível interpretação do coeficiente de determinação (R^2). Foram analisados seis poços, do total de oito monitorados no projeto. Esses poços foram escolhidos por serem poços dedicados, isto é, não estavam bombeando água em nenhuma campanha de leitura de NA. Assim, ficaram fora dessa análise os poços Estrada do Jardim Botânico e o CCSH.

Foram realizadas três simulações para cada poço, em que os níveis registrados (em metros) foram relacionados com 1) a soma da chuva (em milímetros) da semana anterior a medição, 2) com a soma dos dois dias anteriores à medição, e 3) com os dados de chuva ocorridas no dia da leitura do NA.

Considerando-se o “x” como sendo o volume precipitado e “y” como sendo o NA medido no poço em análise. Procurou-se na pesquisa valores de correlação inversa em função

da particularidade do eixo de profundidade que tem o zero na superfície, ou seja, aumentando a precipitação diminui o NA, ou seja, recuperação de água no aquífero e por consequência uma maior infiltração da água da chuva no subsolo. Portanto, quando “x” aumenta o “y” tende a diminuir (recuperar), isso se reflete na reta de regressão linear, que tende a decair no gráfico. Quando a reta estiver sem inclinação ou inclinada para cima, indicará que não há correlação entre as variáveis e relação positiva, respectivamente.

3.2.5 Análise dos registros de níveis semanais dos poços e a sazonalidade da recarga

Todos os poços monitorados foram analisados graficamente, buscando-se entender os picos de variações, a amplitude dos dados registrados durante o período de monitoramento e ainda a linha de tendência linear dos valores. Conforme a inclinação da linha indicará o quanto o aquífero recuperou ou perdeu água durante o período de monitoramento. Além disso, buscou-se relacionar as variações dos níveis da água com as precipitações do período monitorado.

Uma das formas de se avaliar a linha de tendência e/ou a qualidade do modelo de ajuste é através do coeficiente de determinação (R^2). Basicamente, este coeficiente indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados. Em geral referimo-nos ao R^2 como quantidade de variabilidade nos dados que é explicada pelo modelo de regressão ajustado (VIALI, 2008).

Foram analisados alguns parâmetros estatísticos extraídos dos registros de níveis semanais dos poços, divididos em estações do ano. Usou-se para isso: a média, o valor máximo, o valor mínimo, a amplitude e o desvio padrão dos níveis da água para cada estação climática. Com isso, buscou-se entender em que períodos/estações ocorrem às recargas e recuperações dos volumes armazenados e em que períodos ocorrem os menores volumes armazenados e maiores variações do NA.

Segundo o INMET (2014), as estações climáticas do ano se dividem da seguinte forma: primavera, de 23 de setembro a 21 de dezembro; verão, de 22 de dezembro a 20 de março; outono, de 20 de março a 21 de junho; inverno, 21 de junho a 23 de setembro. Foi utilizado o programa *Microsoft Office Excel* como *software* para auxiliar na elaboração dos gráficos, tabelas e na análise dos dados.

3.2.6 Raio dos cones de influência dos poços e superfície potenciométrica.

Buscando-se identificar possíveis raios dos cones de influências entre poços tubulares adotou-se a equação aplicada por Costa (2009) e Costa et al. (2011). A autora diz que a interferência entre poços pode ser determinada através do raio do cone de influência do poço. O raio do cone corresponde à distância compreendida entre o poço de bombeamento ao nível de água do aquífero, onde já não são mais observados os efeitos do bombeamento. Ou seja, é à distância a partir da qual os efeitos de um bombeamento em um determinado aquífero não são mais percebidos. Sendo assim, o raio de influência de um poço pode ser determinado através da expressão:

$$R = 1,5 \frac{\sqrt{(T * t)}}{S} \quad (2)$$

Onde:

R= raio de influência do poço (m);

T= transmissividade do meio penetrado pela perfuração (m²/s);

t= tempo de bombeamento do poço, (s);

S= coeficiente de armazenamento (adimensional). Corresponde no subsistema livre à porosidade eficaz.

Para atingir os resultados foram utilizados os dados de ensaios de bombeamento em poço único, realizados pela CPRM (1996) para o poço Fatec Velho. Para os poços ativos: CCSH, Estrada do Jardim Botânico, Transportes e Madame, e ainda para os desativados Planetário, FATEC Velho e Almojarifado os dados hidrodinâmicos foram retirados de relatórios internos produzidos pela HIDROBRASIL (2008). Essa empresa realizou levantamento de dados para a outorga de 21 poços tubulares do Campus em Santa Maria. Os poços desativados foram incluídos para que haja uma maior amostragem de resultados e para que seja possível compará-los. Já os poços ativos, foram selecionados conforme a sua proximidade com os poços monitorados na pesquisa, Figura 7.

Foram simuladas os cones de influência em diferentes tempos de bombeamento, considerando-se T (tempo)= 6 horas; T= 12 horas; T= 16 horas e T= 24 horas. Os resultados de transmissividade e de coeficiente de armazenamento (S), foram resultados foram calculados

usando os ensaios de rebaixamento X tempo de duração de 24 hs, em poço único, utilizando-se o método Cooper-Jacob (COOPER; JACOB, 1946).

A superfície potenciométrica foi obtida utilizando-se a relação entre a cota altimétrica na “boca do poço” tubular subtraindo-o ao NA subterrânea (nível estático). Este elemento representa o peso da coluna de águas sobre o *datum* horizontal. Para obter-se essa relação foram consultados registros de outorga da empresa HIDROBRASIL (2008), complementado pelo banco de dados de monitoramento do LABHIDROGEO. Foram extraídos dados de 28 poços (Coordenadas UTM, cota e nível estático).

A superfície potenciométrica é utilizada também para o indicativo da tendência da direção de fluxo das águas subterrâneas, uma vez que as águas em aquíferos livres movem-se pela ação da gravidade, tende a ir de áreas de maior potenciométrica para áreas de menor potenciométrica (HEATH 1983). Adotou-se como *datum* horizontal o SAD69 e o *datum* vertical o Porto de Imbituba, Santa Catarina como nível médio zero do mar.

Cleary (2007) diz que os níveis de água nos poços que penetram um aquífero freático sob condições de fluxo horizontal, serão iguais ao nível do lençol freático em torno desses poços. Quando esses níveis são unidos, fica definido um plano, chamado lençol freático ou superfície potenciométrica. Essa superfície móvel descreve além do potencial de água, também o contorno físico do lençol freático.

Os dados foram tratados no programa *ArcGIS 10*, onde os resultados de superfície potenciométrica foram interpolados com o uso do interpolador Inverso da Distância ao Quadrado (IDW). Com o auxílio do programa *Surfer 8* foram adicionados os indicativos de tendência de direção de fluxo da água subterrânea da área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em etapas conforme os objetivos específicos abordados no capítulo 1 e a metodologia do capítulo 3. O banco de dados, em formato xls, referentes às medições semanais e manuais dos níveis dos poços monitorados no Campus da UFSM podem ser conferidos na página do LABHIDROGEO (<http://coral.ufsm.br/labhidrogeo/>), no item “poços do Campus”. Com a divulgação desses resultados espera-se alcançar ainda mais contribuições na ampliação do conhecimento e na preservação dos recursos hídricos subterrâneos, através de maiores aplicações dos dados, com diferentes visões e interpretações.

Os dados disponibilizados informam: as coordenadas UTM do poço, a cota do terreno medido na “boca do poço”, nível estático ou dinâmico da água no poço e data e hora das medições. Em alguns poços que possuíam condições de ser introduzido o medidor TLC (diâmetro da entrada de 3/4 de polegada), foram registradas informações de condutividade elétrica e da temperatura da água. Além disso, em determinados poços ativos e com hidrômetro instalado, há registros de leitura dos hidrômetros.

4.1 Dinâmica do uso da terra e a impermeabilização da Bacia Escola do Campus da UFSM

Após classificadas as imagens do *Google Earth* no ambiente *ArcGIS*, para os anos de 2007 e 2014, obteve-se os resultados apresentados nos mapas da figura 9 e mensurados na tabela 4. Destaca-se o aumento de mais de 38 hectares na área de floresta e de aproximadamente 24 hectares na área construída do ano de 2007 até o ano de 2014. Além disso, ocorreu um acréscimo na classe de solo exposto de aproximadamente 15 hectares. A classe campo e água sofreram redução, respectivamente de 75,14 e 1,99 hectares em suas áreas.

A expansão das áreas construídas e a redução, principalmente, das áreas de campo ocorreram, sobretudo, pela alta demanda na região por imóveis, em razão de tratar-se de uma área próxima ao Campus da UFSM e de fácil deslocamento até ele. Também, houve uma grande expansão no Campus em termos de área construída e/ou pavimentada, a fim de atender

aos novos cursos de graduação e pós-graduação, na sua maior parte oriundos de recursos do REUNI (UFSM, 2015).

Tabela 4 - Classes de uso da terra na Bacia Escola do Campus da UFSM nos anos de 2007 e 2014.

Período	2007		2014		2014 – 2007
	Área (ha)	Abrangência (%)	Área (ha)	Abrangência (%)	Diferença (ha)
Floresta	132,63	13,94	170,87	17,96	38,24
Área construída	201,19	21,15	225,51	23,71	24,32
Solo exposto	174,93	18,39	189,50	19,92	14,57
Campo	435,53	45,78	360,39	37,88	-75,14
Água	7,02	0,74	5,03	0,53	-1,99
Total	951,30	100	951,30	100	-

Fonte: *Google Earth*, Organizado pelo autor.

A impermeabilização do solo pode acarretar diversos problemas, considerando o uso e ocupação da terra em locais inadequados, principalmente observando-se as características da área de estudo. Esses problemas estão associados à vulnerabilidade dos aquíferos em relação a agentes contaminantes em ZA do SAG. Portanto, a ocupação em locais inapropriados pode ocasionar além da contaminação das águas subterrâneas, problemas como a baixa infiltração da água no subsolo, levando a um maior escoamento superficial das águas da chuva, induzindo a um aumento nos picos de cheia principalmente a jusante da Bacia e ocasionando uma maior formação de sedimentos (erosão).

A ocupação em áreas de afloramento do Membro Passo das Tropas, considerado como um grande alimentador de água do SAG na Bacia pode ocasionar perdas relevantes de recargas e volumes de água disponível nesse aquífero. Segundo a CPRM (1994), essa litologia é arenosa e muito permeável, constituem um aquífero contínuo de grande extensão livre e/ou confinado. É o melhor aquífero da região, pois apresenta excelentes vazões e suas águas são em geral de boa qualidade, porém muito vulneráveis a poluição.

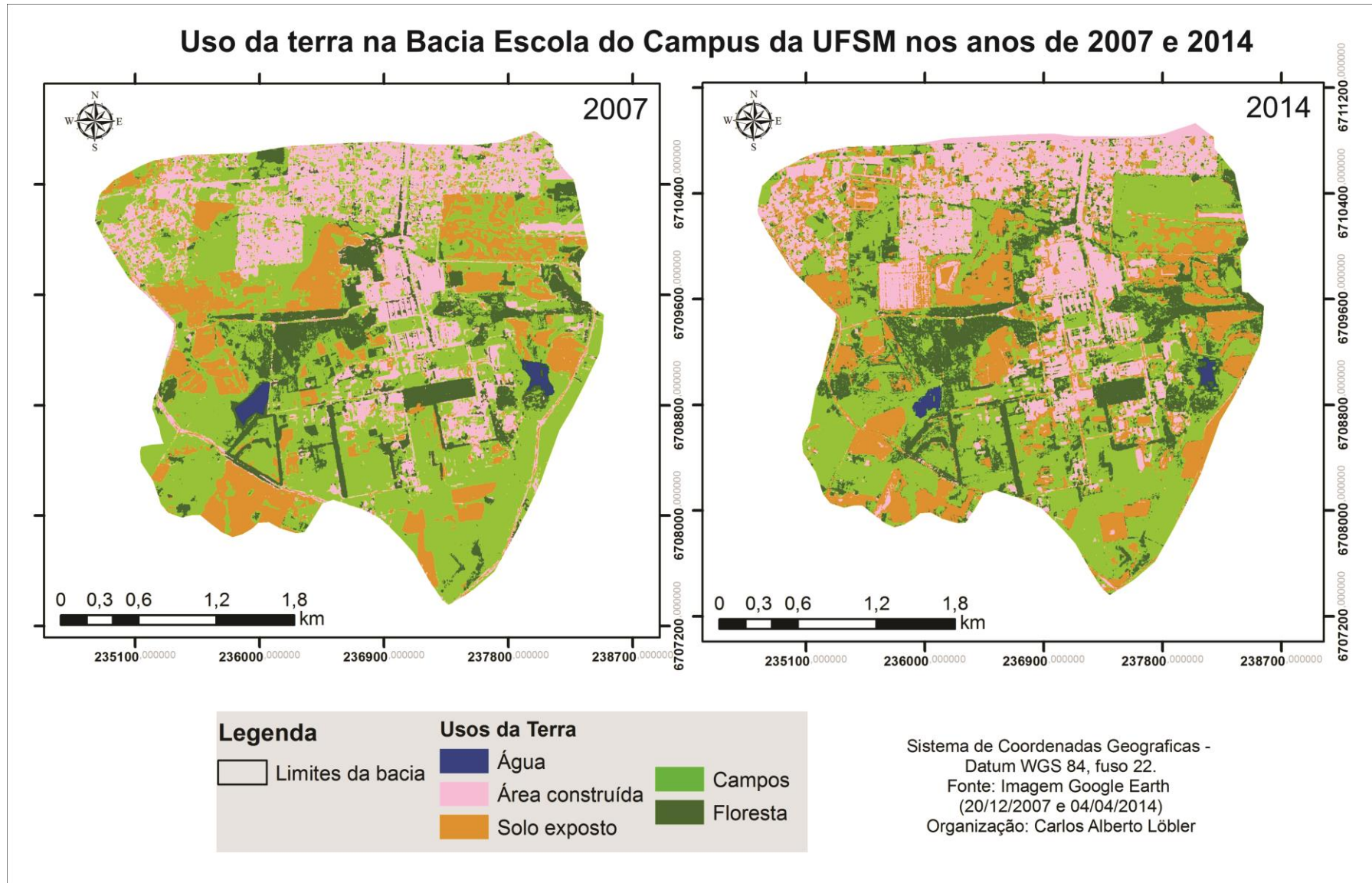


Figura 9 – Mapa de uso da terra na Bacia Escola do Campus da UFSM para os anos de 2007 e 2014.

Os Terraços Fluviais em alguns casos também possuem essas características, mas há necessidade de maiores estudos nessa unidade. A CPRM (1994) considera-o como aquífero contínuo de grande extensão e livre, o mesmo é constituído de sedimentos clásticos não consolidados de pequena espessura. Como já apresentado essa litologia possui como característica alta permeabilidade do solo e água de boa qualidade, sendo seu aproveitamento realizado através de poços escavados de grande diâmetro (esses poços não são encontrados na área de estudo do presente trabalho). As características físicas dos Terraços Fluviais são muito vulneráveis a poluição.

Na classe campo, a redução expressiva pode estar associada à ocupação dessas áreas com florestas, principalmente de espécies exóticas à região, especificamente eucaliptos (*Eucalyptus spp*) e pinus (*Pinus elliottii*). Além disso, também pode estar associada a redução da classe que pode estar relacionada a aterros visando à construção de imóveis, vias de acessos, estacionamentos e caminhos para pedestres. Como citado anteriormente, a área da Bacia está situada em uma ZA do SAG em zona de recarga direta, essas modificações de uso da terra devem ser acompanhadas de monitoramento e estudos de seus possíveis impactos.

Observando-se a figura 9, em relação à classe área construída, é visível o aumento, no período analisado, 2007 a 2014, representadas pela cor rosa nos mapas, principalmente na região norte e central da Bacia Escola do Campus. Ao norte, a ocupação na área construída, é principalmente por prédios e casas em áreas residenciais do bairro Camobi e ao centro ocorre, principalmente pelo acréscimo de pavimentações na área pertencente ao Campus da UFSM.

Quanto às demais classes, observa-se uma distribuição uniforme na área da Bacia, conforme mapa da figura 9, sendo que a classe floresta apresenta alterações significantes quanto à área em que ocupavam em 2007 e passaram a ocupar em 2014, aumentando a sua área relativa. A classe campo possui visível redução de sua área, substituída pela floresta e área construída.

A classe do solo exposto teve poucas mudanças visíveis, quanto a sua posição e acréscimo pouco significativo em sua área. Isso pode ser explicado pela sazonalidade do uso dessas áreas agrícolas, utilizadas em experimentos agrícolas da UFSM e por moradores no bairro Camobi. Ainda pelo estágio de maturação de alguns cultivos que não puderam ser classificados como sendo de campo. A classe água permaneceu pouco alterada, sendo que sua área sofreu pequenas modificações que podem ser explicadas pela sazonalidade das chuvas.

Portanto, para a manutenção da sustentabilidade e de níveis de volume de água no aquífero deve-se analisar para fins de alocação de futuras obras na bacia, dentre muitos outros fatores ambientais que devem ser considerados. No mapa da figura 2, as classes também estão

apresentadas sobrepostas no mapa de uso da terra para o ano de 2014, na figura 10. O mapa apresenta os limites de abrangência das litologias identificadas na Bacia em estudo. Observa-se grande ocupação em área de afloramento do Membro Passo das Tropas.

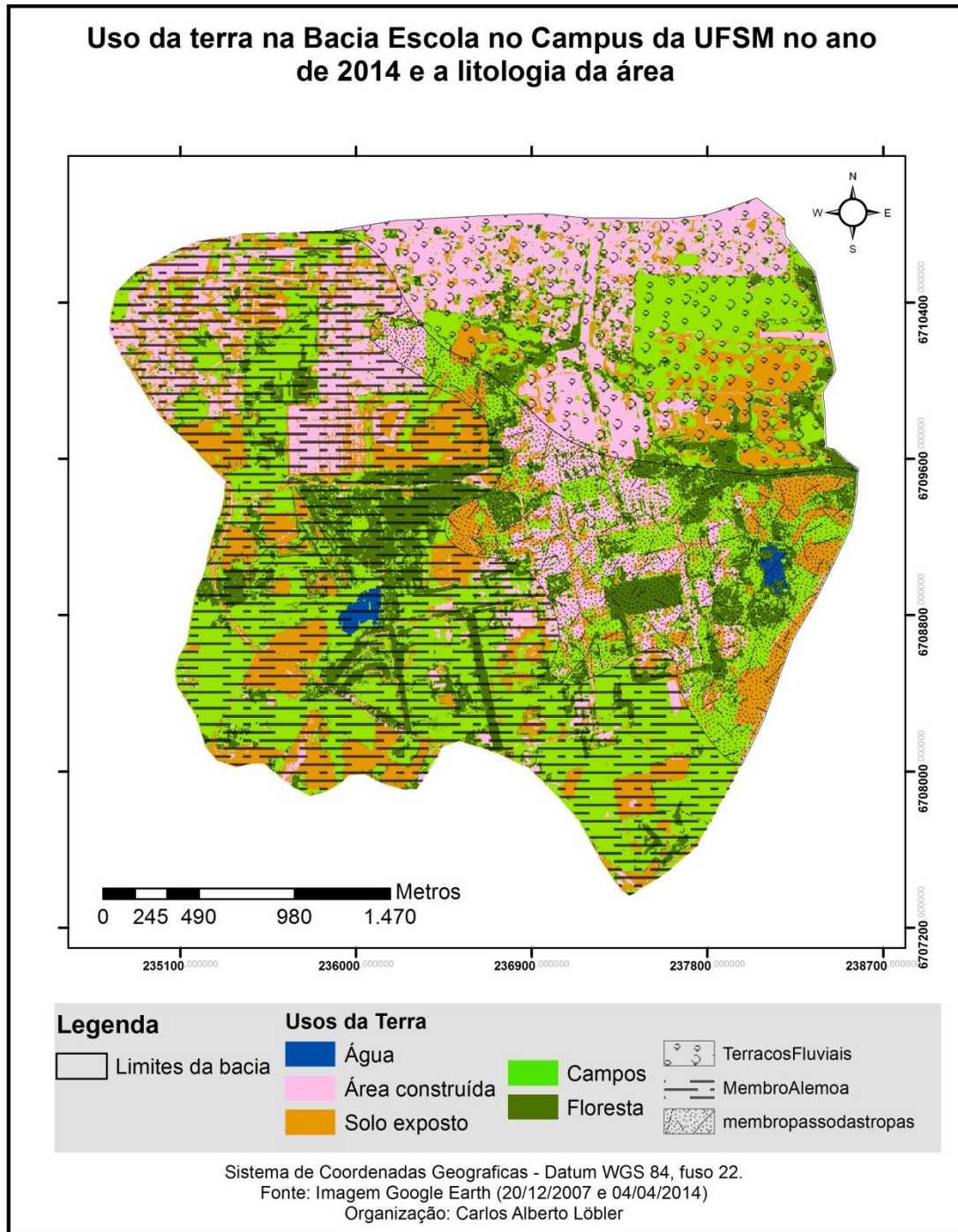


Figura 10 - Mapa de uso do solo na Bacia Escola do Campus da UFSM para o ano de 2014 com as classes litológicas sobrepostas

Ressalta-se que na literatura existem inúmeros estudos sobre dinâmicas de áreas urbanas, dentre esses estudos pode-se destacar o de Rossetti et al. (2009) no qual os autores quantificaram e analisaram o aumento das áreas impermeabilizadas no município de Rio Claro, estado de São Paulo. De 1995 a 2006 os autores mensuraram 170 ha de crescimento. Considerando as diferenças dessas áreas, podem-se identificar crescentes processos de urbanização.

Em estudo de Faustino et al. (2014) na Bacia Hidrográfica do Rio Cerne, no estado do Rio Grande do Norte, com espaço temporal que variou de 1977 a 2001, no ano de 1977 não se tinha registros de urbanização, enquanto que no ano de 2001 essa classe ocupava 7% da área total da bacia do Rio do Cerne. Portanto, no ano de 2001, de um total de 38.600 ha, 2.702 ha estavam ocupados por área urbana na bacia do Rio do Cerne. Enquanto, na Bacia Escola do Campus da UFSM, a extensão ocupada pela classe área construída foi de 23,71% do total no ano de 2014 (tabela 4).

Em relação ao crescimento demográfico, Nascimento e Moura (2014) apontaram a região leste do município de Santa Maria como a de maior crescimento, de acordo os dados obtidos do banco de dados do IBGE, extraídos pelos autores. Entre os anos de 2000 até 2010 os autores apontam um incremento populacional de 63,65% nessa região do município. Como resultado, essa porção a qual boa parte de seu território faz parte da Bacia em estudo, apresentou crescimento na sua infraestrutura, principalmente na construção civil, alterando as condições superficiais do terreno. Essa ocupação leva a uma maior impermeabilização do solo (figura 9) em uma possível influência na recarga subterrânea.

Estudos realizados em todo o estado de São Paulo por Albuquerque et al. (2012) na ZA do SAG, indicaram uma situação satisfatória, porém destacaram a importância do disciplinamento territorial. Salientaram que a realização de mapeamentos possibilitou o detalhamento, além disso, de acordo com os autores a participação dos órgãos gestores nas futuras discussões é essencial para que seja possível o aprimoramento do conhecimento e um adequado planejamento, atual e futuro, dos usos e ocupação das terras. Ainda, os autores propuseram com o estudo a criação da Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM-SAG).

No Estado do Rio Grande do Sul, no município de Ivoti em ZA do SAG, Heine et al. (2005) concluíram que as taxas de exploração de água subterrânea, apresentaram um declínio contínuo nas suas vazões e que a instalação de novos poços representa uma recuperação parcial e temporária das vazões, mas não chega a atingir os valores iniciais de produção, indicando que o sistema de extração do SAG pode ter ultrapassado o seu limite de

sustentabilidade. Ainda, os autores afirmam que com os dados de subsuperfície, coerentemente com os dados de vazão total, mostraram depleção contínua dos níveis estáticos e dinâmicos.

No Campus da UFSM, na ZA do SAG, alguns poços tubulares já foram desativados, possivelmente por problemas operacionais (queda de vazão de bombeamento) e/ou esgotamento das reservas contidas em bolsões em distintas camadas sedimentares não contínuas ou ainda, em condição de confinamento local por camadas argilosas. Os poços monitorados no projeto que se encontram desativados são alguns exemplos. Assim como os poços: Matemática, prédio do Centro de Tecnologia (CT) (dois poços tamponados) e do Parque de Exposições (em 2008 apresentava, segundo a HIDROBRASIL (2008), vazão de 12 m³/h). Essas constatações justificam a continuidade do monitoramento e dos estudos hidrogeológicos na Bacia Escola do Campus da UFSM.

4.2 Raio do cone de influência dos poços e superfície potenciométrica na área de estudo

Analisando-se os resultados para o raio de influência dos poços, calculados a partir dos dados agrupados na tabela 5, observa-se que os poços de maior raio de influência são os poços ativos Estrada do Jardim Botânico e Madame, sendo que na simulação para 6 a 24 horas de bombeamento esses poços podem causar influência em áreas que variam de 11 a 64 m de distância. Contudo, nenhum poço monitorado encontra-se nesse raio de influência, conforme se observa na tabela 6 e na figura 7. Observou-se com a realização dos cálculos, que os raios de influência possuem relação direta com o tempo de bombeamento e também com a transmissividade calculadas em função da vazão e do rebaixamento do poço, no teste de vazão (HIDROBRASIL, 2008).

Na tabela 6 são mensuradas distâncias mais próximas, entre os poços com cálculo de influência até os poços monitorados na pesquisa. Observa-se que não há conflitos nos raios de influência, ocasionados pelo cone de rebaixamento, do bombeamento dos poços ativos próximos aos poços desativados de monitorados.

Tabela 5 - Parâmetros hidráulicos de alguns poços tubulares do Campus da UFSM.

Parâmetros	Tempo (s)		Poço					
	Planetário	CSSH	Est. Jard. Botânico	Almoxarifado	FATEC Velho	Transportes	Madame	
Condição	Desativado	Ativo	Ativo	Desativado	Desativado	Ativo	Ativo	
S (adimensiona)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
N.A (m)	25,63	20	25,86	21,6	40	21,6	20,4	
Vazão (m ³ /h)	6,3	5,6	8	9,1	4,2	6,4	9,2	
T= (m ² /s)	3,28E-05	1,139E-05	8,194E-05	1,778E-05	6,944E-05	1,806E-05	8,333E-05	
Espessura aquífera (m)	23,37	80	24,14	78,4	60,5	78,4	79,6	
R (m) para os t= segundos	216000 (6 horas)	19,98	11,78	31,59	14,72	29,08	14,83	31,86
	432000 (12 horas)	28,26	16,66	44,68	20,81	41,13	20,97	45,06
	576000 (16 horas)	32,63	19,23	51,59	24,03	47,49	24,22	52,03
	864000 (24 horas)	39,96	23,56	63,19	29,43	58,17	29,66	63,72

S= Coeficiente de armazenamento, T= Transmissividade, NA= Nível da Água; R= Recarga; t= tempo de bombeamento.

Fonte: HIDROBRASIL, 2008, organizado pelo autor.

Tabela 6 - Principais distâncias dos poços ativos (com cálculos de raio de influência) para poços desativados presentes na pesquisa.

	Planetário (m)	Estação Experimental (m)	Almoxarifado (m)	PB01 (m)	FATEC Velho (m)	Biblioteca Central (m)
CCSH	198	395	*	457	457	*
Estrada Jardim Botânico	640	381	460	*	*	*
Transporte	*	*	180	*	*	*
Madame	*	*	*	*	*	250

* Não calculados, por estarem em faixa maior de distância a outro poço já calculado na tabela.

No mapa de superfície potenciométrica, figura 11, observa-se uma variação de 35 m a 95 m. As áreas de maiores cotas de NA encontram-se no centro e noroeste da Bacia, portanto, essas áreas são responsáveis pelas áreas de recarga. Nesses locais estão localizados poços ativos, que são: Estrada do Jardim Botânico, CCSH e o poço Estação Experimental que entrou em funcionamento em dezembro de 2014. Nessa área ainda encontra-se o poço Almoxarifado que está desativado.

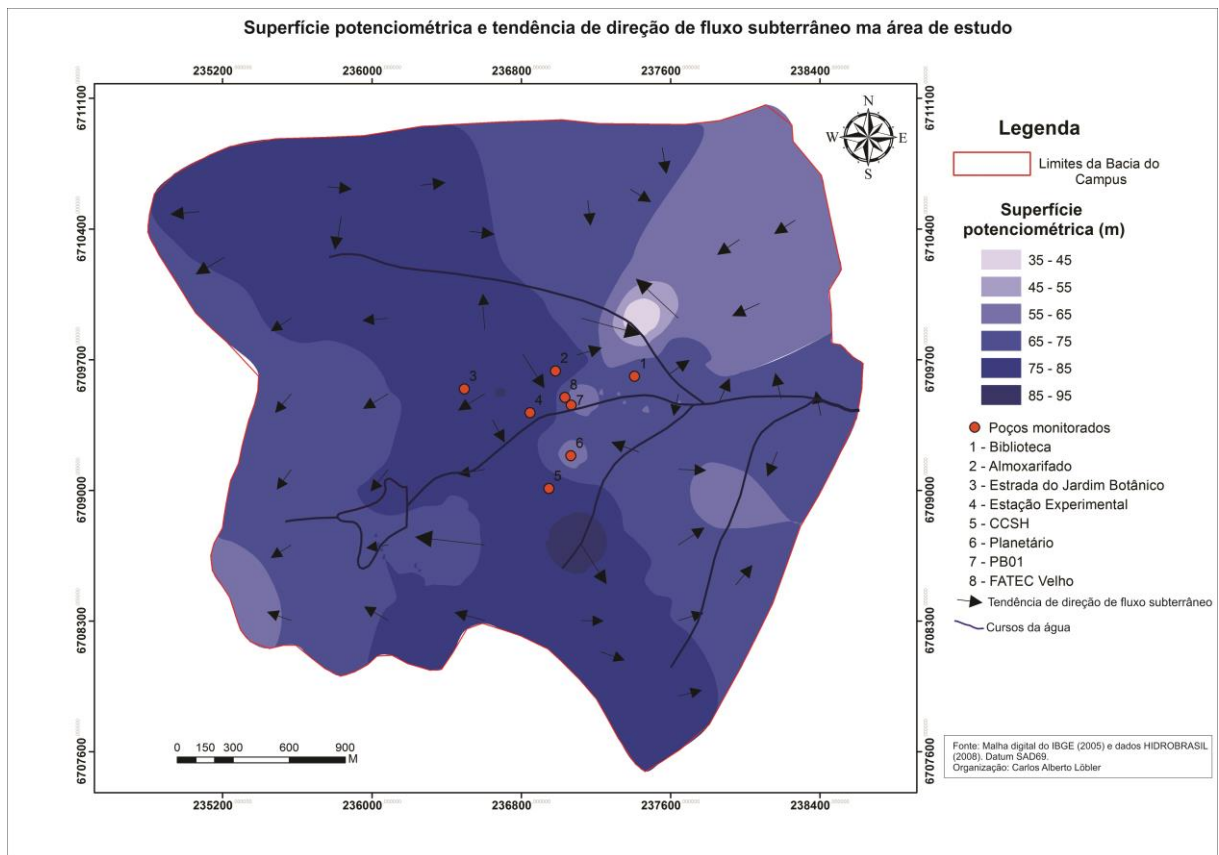


Figura 11 - Mapa da superfície potenciométrica e tendência de direção de fluxo subterrânea na Bacia Escola do Campus da UFSM.

Pode-se relacionar visualmente o mapa da figura 11 com o mapa litológico da figura 2. Ressalta-se que as áreas de recargas estão associadas ao Aquífero Passo das Tropas (do Membro Passo das Tropas), tanto em sua zona de afloramento, quanto em sua ocorrência em subsuperfície, na Bacia sobreposto pelo Membro Alemoa (aquicluda). Um exemplo dessa sobreposição é o poço Planetário, com apenas 47 metros, que está situado em zona de afloramento do Membro Alemoa, mas capta água do Membro Passo das Tropas, alcançando uma das maiores vazões em poços do Campus (20 m³/h, tabela 2).

Giardin e Faccini (2002) apontam que há uma tendência de direção de fluxo NW, devidos as cargas potenciométrica mais elevadas, associadas ao Aquífero Santa Maria. Semelhantes resultados foram encontrados por os autores ainda descrevem a uma região de depressão potenciométrica no campus da UFSM, essa região pode ser observada no mapa da figura 11, na área mais clara, onde a superfície potenciométrica varia de 35 a 45 metros.

Giardin e Faccini (2002), ainda sugerem que a recarga do Aquífero Passo das Tropas ocorra por drenança (gotejamento) a partir do Aquiclude Alemoa. Essas recargas também podem estar associadas à falhamentos na direção NW e/ou direção de paleocorrentes.

Também foram avaliadas simulações de superfície potenciométrica e tendência de direção de fluxo com os dados médios de registros de níveis da água nas quatro diferentes estações climáticas do ano (tabela 7). Não foram encontradas diferenças visíveis nas simulações, com isso pode-se afirmar que a superfície potenciométrica e as tendências de direções de fluxo não são variáveis com a mudança das estações, seguindo a mesma tendência de sentido durante todo o ano hidrológico, confirmando que a ZA do Membro Passo das Tropas é a principal área de recarga do aquífero na área.

Tabela 7 – Cotas das superfícies potenciométricas nas diferentes estações do ano.

Poço	Cota (m)	Média do NA inverno (m)	SP inverno (m)	Média do NA verão (m)	SP verão (m)	Média do NA outono (m)	SP outono (m)	Média do NA primavera (m)	SP primavera (m)	SP inverno - SP verão (m)
Biblioteca Central	86	8,8	77,2	10,28	75,72	9,59	76,41	9,24	76,76	1,48
Almoxarifado	99	23,47	75,53	23,44	75,56	23,32	75,68	23,4	75,6	-0,03
Planetário	87	22,49	64,51	22,86	64,14	22,71	64,29	22,61	64,39	0,37
FATEC Velho	88	20,83	67,17	20,28	67,72	21,61	66,39	21,38	66,62	-0,55
PB01	87	25,35	61,65	25,44	61,56	26,36	60,64	26,58	60,42	0,09
Estação Experimental	98	15,85	82,15	15,91	82,09	15,99	82,01	15,76	82,24	0,06

SP = Superfície potenciométrica; m= metros; NA= Nível da Água.

4.3 Estimativa de Recarga no poço FATEC Velho, com o uso do método WTF

As precipitações pluviométricas ocorridas no período das coletas de dados de frequência horária de níveis da água no poço FATEC Velho somaram 2.557 mm, durante 477 dias. No trabalho de Heldwein et al. (2009) os autores encontraram um valor médio de 1.712 mm para 365 dias (um ano), enquanto a CPRM (1996) apontou para uma média anual de 1.789 mm. Considerando a conversão da média encontrada por Heldwein et al. (2009) para o período estudado, encontrou-se 2.237 mm, para 477 dias. Portanto, no espaço de tempo estudado as chuvas permaneceram acima do normal para a área de estudo, em comparação com a bibliografia existente.

No gráfico da figura 12 observa-se o volume precipitado no período de 14/08/2013 a 04/11/2014, o NA no poço FATEC Velho com registros de frequência horária e as extrapolações das curvas de recessão dos níveis. Analisando-se a variação do NA nesse poço, observa-se a oscilação entre 20,94 m a 27,11 m, acusando uma amplitude de 6,17 m.

Com relação aos eventos chuvosos sobre a variação do NA, notou-se que as precipitações mais volumosas e em período maior de duração, geram maior recarga, sem excluir as precipitações menos volumosas que também geram recarga. Por outro lado, observa-se que as precipitações mais volumosas, em períodos curtos de tempo, geram uma quantidade maior de escoamento superficial que de infiltração. Portanto, as precipitações de maior ou menor volume, em espaço de tempo maior, são as grandes contribuidoras de água para recarga do aquífero. Possivelmente por manterem a zona vadosa com maior umidade por um período maior de tempo.

Observa-se no gráfico, que as precipitações mais volumosas ocorreram em distintas estações climáticas. O maior índice ocorreu no inverno, com cerca de 121 mm (01 de julho de 2014). Na primavera ocorreu uma precipitação de cerca de 119 mm (10 de novembro de 2014). Já no verão, a precipitação mais volumosa foi de 88 mm (06 de março de 2014).

Também no gráfico da figura 12, é possível observar as extrapolações das curvas de recessão do NA do aquífero. Esses elementos foram estabelecidos para a aplicação do método WTF, onde as somas das distâncias entre a curva de recessão e o pico de recarga forma o Δh da equação. Na tabela 8 observam-se os valores de Δh , calculados ao longo do gráfico da figura 12, em um total de 167 picos identificados, obteve-se uma soma total de 196,85 m. Os picos de Δh variaram de 0,004 m a 6,13 m com média de 1,18 m.

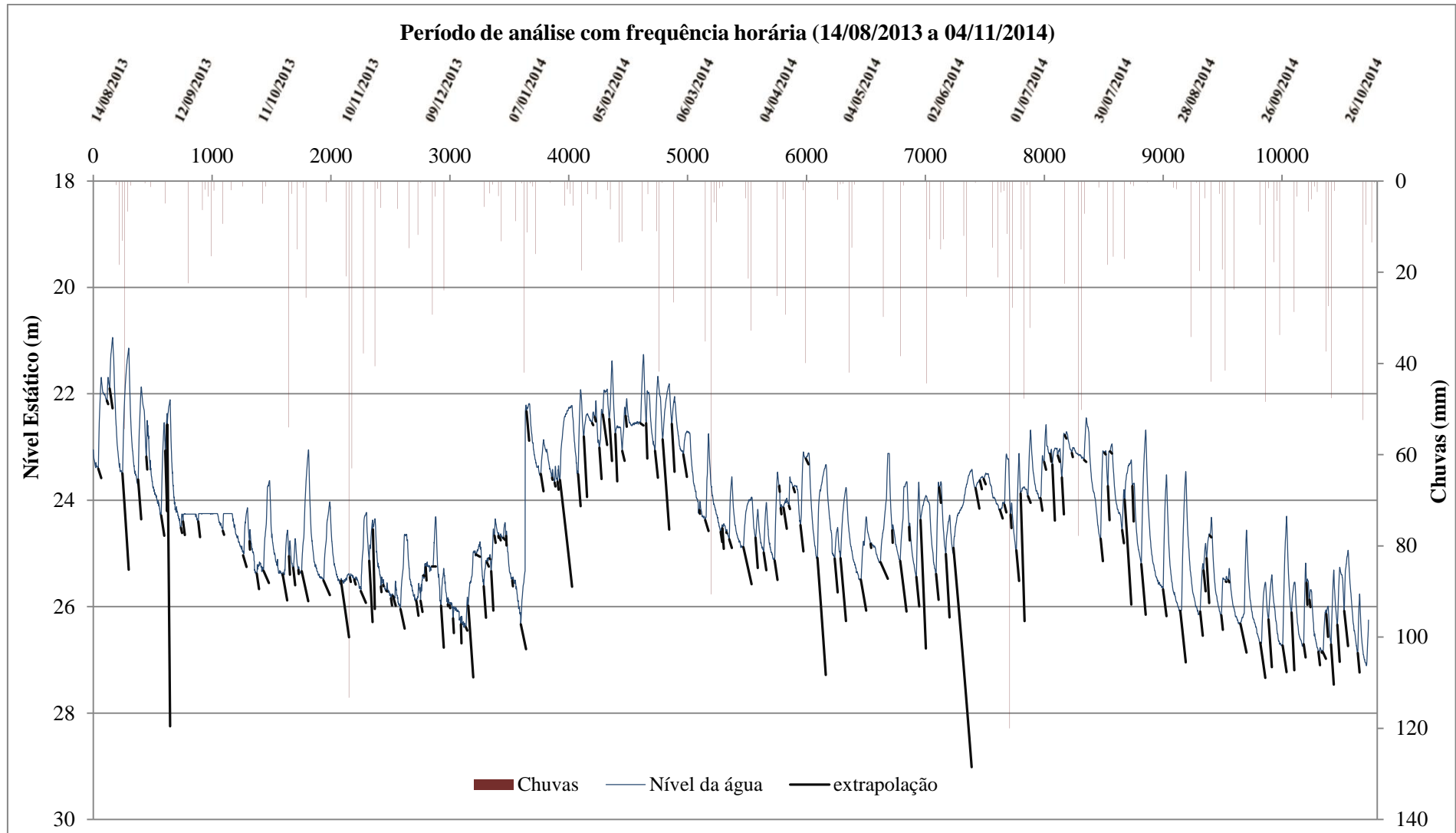


Figura 12 - Gráfico da variação do NA no poço FATEC Velho com a extrapolação da curva de recessão para determinação do Δh , incluindo as chuvas para o período de 14 de agosto de 2013 a 4 de novembro de 2014.

Aplicando-se os dados apresentados no gráfico da figura 12, na equação 1, encontrou-se os valores exibidos na tabela 9, onde a recarga variou de 440 mm aplicando-se um S_y mínimo até 1.233 mm com S_y máximo. Com o S_y médio, recomendado pela literatura, obteve-se recarga de 925 mm. Avaliando-se as porcentagens sobre o total precipitado, encontrou-se, do total das chuvas registras no período, 36,12% delas geraram recarga no aquífero, com o S_y médio.

Tabela 8 – Comportamento do Δh ao longo do gráfico em um total de 167 picos.

Parâmetro	Δh (m)
Média	1,18
Menor	0,04
Maior	6,13
Desvio padrão	1,08
Soma	196,85

Tabela 9 – Resultados das estimativas de recarga obtidas do poço FATEC Velho com o uso do método WTF.

S_y	Médio 21%	Máximo 28 %	Mínimo 10 %
Recarga (mm)	924,79	1233,06	440,38
Recarga (% do total precipitado)	36,12	48,22	17,22

Comparando-se as características do S_y e a recarga encontrada na área de estudo (ZA do SAG) com a tabela 10, montada a partir de dados disponíveis na literatura. Observam-se algumas similaridades entre os dados com os de Lucas (2012), em ZA do SAG onde mesmo o autor usando um S_y relativamente menor do que o atribuído no poço em estudo os resultados obtidos foram semelhantes em alguns poços.

Nos dados de Baumhardt (2014), em ZA do SAG, observa-se que mesmo autor usando um S_y relativamente menor ao estipulado para o poço em análise, os dados de recargas estimadas ficaram muito acima aos encontrados para o poço FATEC Velho, na Bacia do

Campus da UFSM. Atribui-se a isso, o fato do método WTF gerar interpretações subjetivas, e também pelas diferentes assinaturas de variações de níveis da água nos poços ocasionados por usos da terra distintos nos seus locais de recarga ou mesmo pelas diferenças nas profundidades dos poços e dos seus níveis da água.

Na pesquisa de Martelli (2012) ainda em ZA do SAG, no poço CAC 03 também houve alguma semelhança na recarga, mas com o S_y menor que o adotado para o poço FATEC Velho. Nos demais poços, estudados pelo autor, a estimativa de recarga não demonstraram muita similaridade com o encontrado no poço FATEC Velho.

Confrontando os dados obtidos nessa pesquisa com os de Coelho et al. (2012) em área de ocorrência do Sistema Aquífero Beberibe e Barreiras. Os autores adotaram S_y médio menor ao adotado nessa pesquisa no poço FATEC Velho. Todos os poços de Coelho et al. (2012) apresentaram porcentagem de recarga inferiores aos encontrados nessa pesquisa. Outro fator importante a ressaltar é a metodologia de coleta de dados de níveis adotados pelos autores, os quais realizaram aferições semanais e quinzenais para serem aplicadas ao método WTF. Acredita-se que períodos sem aferições dos níveis entre semanas e quinzenas possam gerar perda de informações importantes de recargas.

Tabela 10 – Resultados de estimativa de recarga direta de águas subterrâneas encontrados na literatura para diferentes regiões do Brasil e em diferentes sistemas aquíferos.

Autor/local	Piezômetro	R (mm)	Precipitação (mm)	Período (dias)	% da precipitação	Sy usado (%)	SA
Silva (2009), Bacia do Alto Rio Grande, MG.	Área L1	341,6	*	(2008) 365	18,11	10,9	Cárstico
	Área L5	138,8	*	(2008) 365	11,99	12,2	
	Área M3	148,3	*	(2008) 365	11,32	10,9	
	Área M5	139,2	*	(2008) 365	11,79	11	
Farias (2011) Bacia do Vacacaí Mirim, RS	Poço 5	833	*	431	*	10	ZA SAG
	Poço 6	746,2	*	412	*	14	
	Poço 7	467,2	*	376	*	16	
Lucas (2012), Bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça, Itirapina, São Paulo	5	521	1.807,7	2010 - 2011	28,82	15,9	ZA SAG
	8	584	1.807,7	2010 - 2011	32,30	8,5	
	9	244	1.807,7	2010 - 2011	13,50	8,5	
	10	238	1.807,7	2010 - 2011	13,16	10,6	
	13	434	1.807,7	2010 - 2011	24,01	8,5	
	14	399	1.807,7	2010 - 2011	22,07	8,5	
	15	383	1.807,7	2010 - 2011	21,19	8,5	
	16	449	1.807,7	2010 - 2011	24,84	15,1	
	17	615	1.807,7	2010 - 2011	34,02	11,3	
	18	731	1.807,7	2010 - 2011	40,44	11,3	
Coelho et al. (2012), Bacia do Rio Gramame, Paraíba	P5	39,6	967	2009 - 2010	4,10	7	SAB +BAR
	P6	14,4	967	2009- 2010	1,50	7	
	P8	125,7	967	2009 - 2010	13,00	7	
	P9	16,7	944	2009- 2010	1,80	7	
	P10	121	944	2009 - 2010	12,80	7	
	P11	115,6	1.177	2009- 2010	9,80	7	
	P12	190,5	1.177	2009 - 2010	16,20	7	
	P13	13,9	1.177	2009- 2010	1,20	7	
	P14	41,7	830	2009 - 2010	5,00	7	
	P15	32,5	830	2009- 2010	3,90	7	
	P16	21,9	1.195	2009 - 2010	1,80	7	
	P17	35,2	1.128	2009- 2010	3,10	7	
	P18	159,6	1.128	2009 - 2010	14,10	7	
	P19	92,3	1.195	2009- 2010	7,70	7	
P20	67,2	1.128	2009 - 2010	6,00	7		
P21	87,9	1.128	2009- 2010	7,80	7		
P24	28,4	1.128	2009 - 2010	2,50	7		
P25	147,5	1.128	2009- 2010	13,10	7		
P27	50,3	1.128	2009- 2010	4,50	7		
Martelli (2012), Município de Cacequi, RS.	CAC 01	180	1.572	386	11,25	15,75	ZA SAG
	CAC 02	118	1.572	386	13,92	15,75	
	CAC 03	200	778,1	246	25,7	15,1	
Baumhardt (2014), no município de Rosário do Sul, RS	P1 (campo)	2454,7	3934,0	2009 - 2012	62,40	17,42	ZA SAG
	P2 (floresta)	2863,3	3730,0	2009 - 2012	76,76	16,62	

OBS. R: Recarga, SA: Sistema Aquífero, SAG: Sistema Aquífero Guarani, SAB+BAR: Sistema Aquífero Beberibe mais Barreiras. * dados não disponibilizados pelos autores.

4.4 Análise das chuvas ocorridas na Bacia Escola do Campus da UFSM no período de monitoramento dos poços

O gráfico da figura 13 apresenta as chuvas registradas no período de monitoramento, em um total de 1.649 dias (superior a quatro anos), totalizando 7.428 mm na Bacia Escola do Campus da UFSM. Considerando a base histórica de Heldwein et al. (2009) onde os autores encontraram uma média, a partir de série histórica, de 1.712 mm, em 365 dias. Extrapolando o valor para 1.649 dias, encontra-se um total de 7.734 mm. Portanto, as chuvas no período de monitoramento dos poços deste estudo, ficaram um pouco abaixo das consideradas por Heldwein et al. (2009) como normais no período considerado.

As chuvas ficaram distribuídas, em sua maioria, de maneira uniforme no período de análise, sendo que picos de chuva foram registrados nos meses de março, maio, junho e novembro. Pode-se considerar a estação verão como a menos chuvosa e o inverno como de maiores índices pluviométricos, conforme apresentado na figura 13 e na tabela 11.

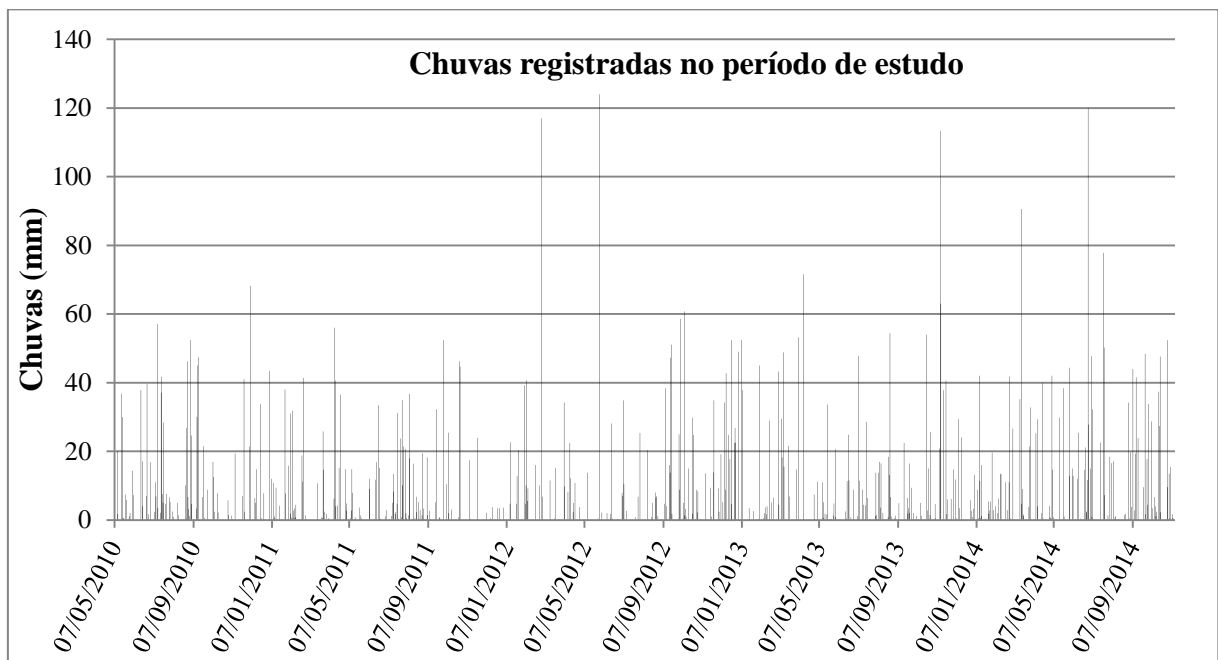


Figura 13 - Gráfico das chuvas registradas no período de monitoramento dos poços, na Bacia Escola do Campus da UFSM.

Fonte: INMET (2015), organizado pelo autor.

4.5 Análise estatística dos dados de nível de água e precipitação

A análise estatística dos dados de registros de níveis da água nos poços monitorados e das chuvas na Bacia Escola do Campus foi realizada por regressão linear no programa *Statistica*7. Os resultados são apresentados nos gráficos das figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19 onde se observa que os dados demonstraram comportamentos distintos, principalmente, variando com a soma dos volumes em milímetros de chuvas no período estimado (semana anterior, dois dias anteriores e no dia das leituras do NA). A partir da análise dos dados pode-se inferir que os maiores volumes precipitados favorecem a recuperação do volume da água no aquífero e que as chuvas do dia de leitura dos níveis da água, possuem maior correlação com os níveis de água dos poços.

Neste estudo foi avaliado somente o comportamento da linha de regressão, uma vez que o R^2 não apresentou correlação estatística. Franzblau (1958) afirma que correlações com R^2 a partir de 0,2 são consideradas fracas. Portanto nenhuma correlação foi significativa perante análise do R^2 . Acredita-se que o valor de R^2 não foi significativo, pois foram usados todos os valores do período em análise e não somente de um único evento chuvoso com o seu reflexo no NA. Com isso acredita-se que essa relação serve apenas para explicar que as variáveis apesar de relacionadas pela linha de regressão, dependem de uma série de fatores para que o resultado estatístico seja satisfatório.

Observa-se, na figura 14, o comportamento da regressão linear para o poço Planetário, na primeira simulação, com o acumulado das chuvas da semana anterior a leitura do NA infere-se não haver relação, pois ao analisar o gráfico nota-se que a linha de tendência aumenta com a intensificação da chuva, indicando uma relação contrária à observada nas demais simulações para o poço. Nas simulações usando os dados de chuvas de dois dias anteriores à leitura de NA e com dados do dia da medição observou-se uma correlação negativa, indicando que quanto maior o volume das precipitações melhoram os níveis de água do aquífero.

Analisando-se o comportamento da regressão linear no poço PB01, apresentados na figura 15, para as simulações com chuvas da semana anterior a leitura do NA e com a soma dos dois últimos dias anteriores a aferição, verifica-se grande semelhança no comportamento das duas simulações, com baixa correlação. Já com os dados da leitura de NA e as chuvas do dia de aferimento, observa-se uma maior inclinação da linha de regressão, portanto uma maior correlação dos valores.

Na figura 16 estão apresentados os dados de níveis registrados semanalmente no poço FATEC Velho, coletados com o freatímetro TLC, anteriormente a instalação do medidor automático de nível pela CPRM. Encontraram-se valores de correlação crescentes, sendo que a menor correlação foi encontrada na relação dos dados de níveis de NA e dados de chuva da semana. Por outro lado, foi observada a maior correlação entre os dados de níveis de NA e os dados de chuva do dia da medição. Portanto, nos três casos descritos houve correlação entre o volume das chuvas e a recuperação do NA.

Na figura 17, observa-se os resultados da regressão linear para o poço Estação Experimental. A menor correlação obtida foi observada nos dados de chuva da semana, onde a mesma foi inexistente. Com os dados de precipitação dos dois últimos dias, nota-se uma melhora na correlação, pois a inclinação da linha de tendência ainda apresenta-se pouca acentuada. Os dados que mostraram melhor correlação, para o poço Estação experimental, foram os dados de níveis estáticos com os de chuva do dia de medição.

A regressão linear do poço Biblioteca, apresentada na figura 18, tem comportamento diferenciado perante os demais poços. Nesse caso, a simulação com menor correlação foi a de níveis estáticos com o acumulado de chuvas dos dois dias anteriores a leitura de NA, seguida da correlação dos níveis da água com as chuvas da semana anterior a leitura. Os dados de maior grau de correlação foram os relacionados com as chuvas do dia de aferimento do NA.

Na correlação dos dados do poço Almojarifado, apresentados na figura 19, com registro de dados semanais, observa-se comportamento semelhante ao do poço Biblioteca Central, sendo que a correlação dos dados de NA com os das chuvas dos últimos dias e com os das chuvas da semana, apresentaram comportamentos muito próximos e baixos. Já na correlação dos níveis da água com os dados de chuvas do dia, apresentou maior correlação.

Dambrós (2011) afirma ter encontrado relação entre a flutuação do nível freático e a precipitação pluviométrica em poços dedicados no município de Rosário do Sul em ZA do SAG. Nas sub-bacias hidrográficas em estudo, houve pelo menos 80% da variação do NA subterrânea relacionada à precipitação pluviométrica. Nessa pesquisa Dambrós (2011) avaliou apenas eventos chuvosos e os dados de monitoramento de NA e das chuvas foram realizados com frequência horária. Ao realizar a comparação dos dados obtidos na área da Bacia Escola do Campus da UFSM com os dados de Dambrós (2011), constatou-se semelhança na relação entre as chuvas e os níveis do aquífero, representando recuperação de NA em períodos mais chuvosos.

Martelli (2012), ao analisar a relação entre a precipitação e o comportamento do nível freático em poços no município de Cacequi, também em ZA do SAG, observou que para os

poços analisados durante a pesquisa, houve resposta instantânea para eventos de chuvas mais intensas, devido ao fato dos solos serem constituídos por materiais porosos/permeáveis, formando aquífero poroso intergranular livre.

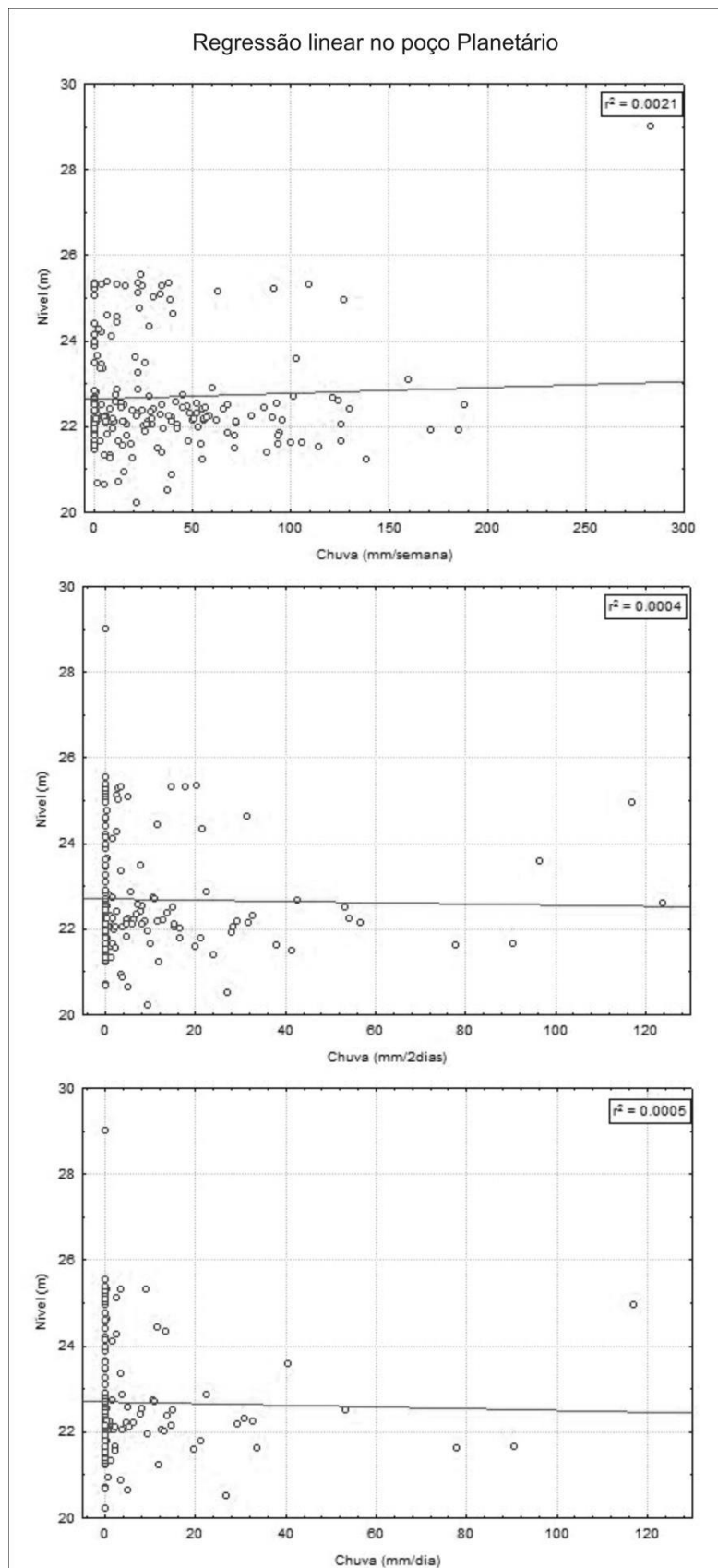


Figura 14 – Regressão linear do poço Planetário com dados no período de 30 de julho de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).

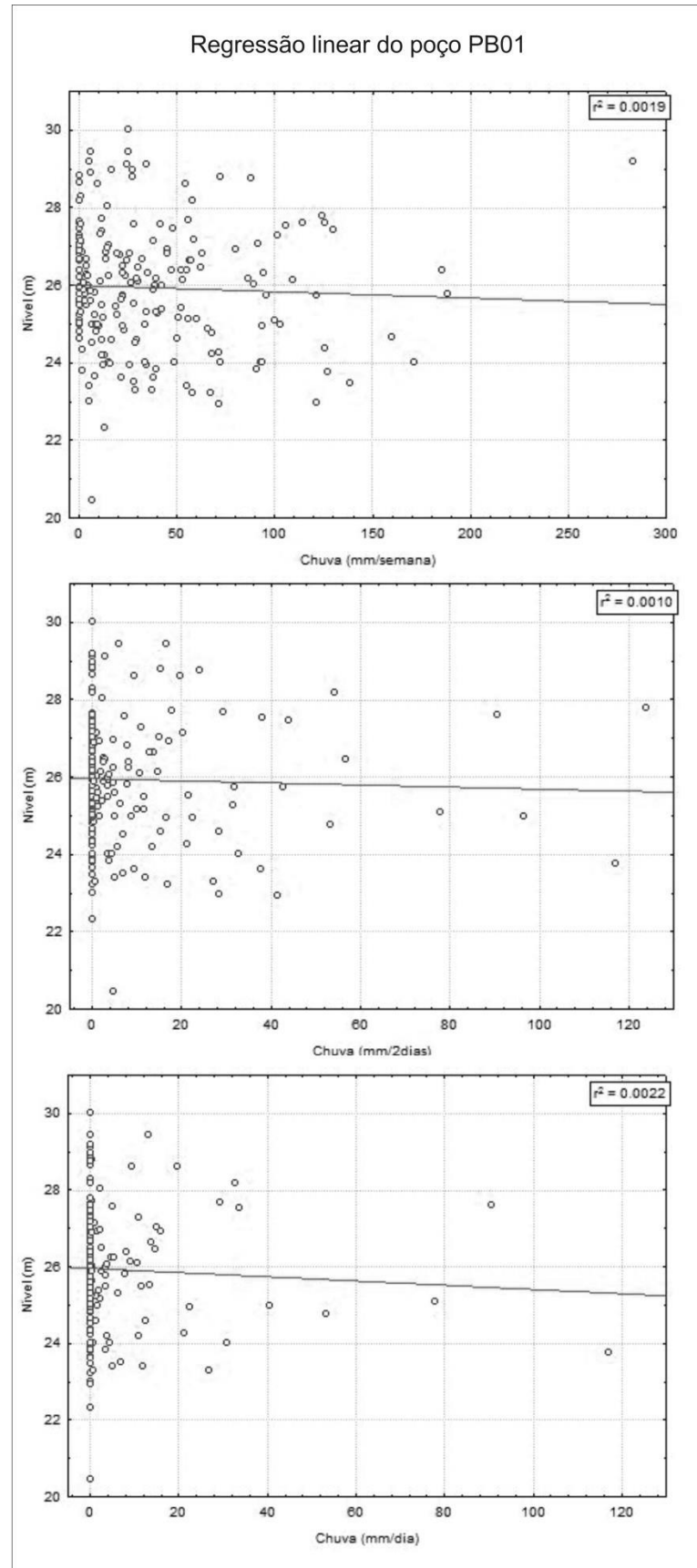


Figura 15 – Regressão linear no poço PB01 com dados no período de 07 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).

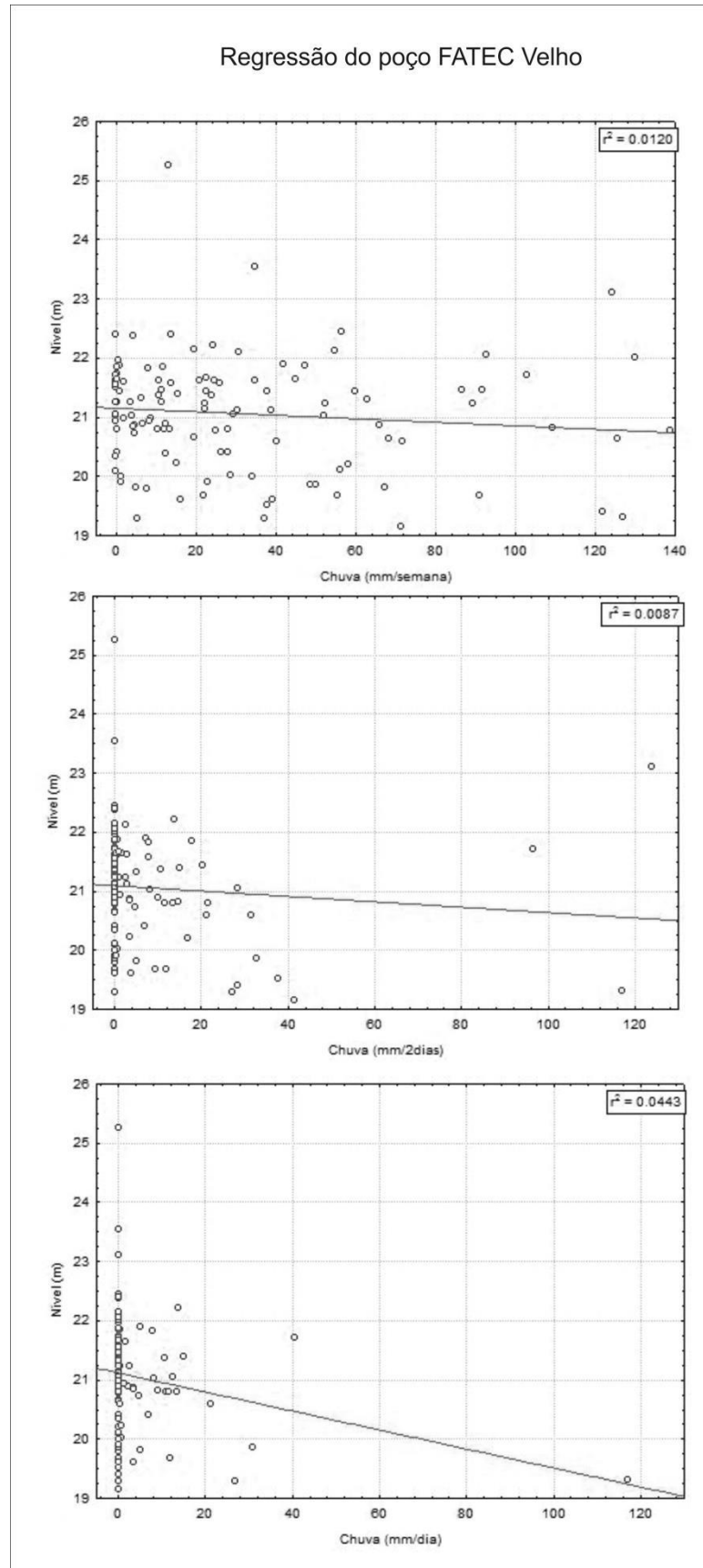


Figura 16 – Regressão linear no poço FATEC Velho com dados no período de 07 de maio de 2010 a 30 de novembro de 2012 (desativado).

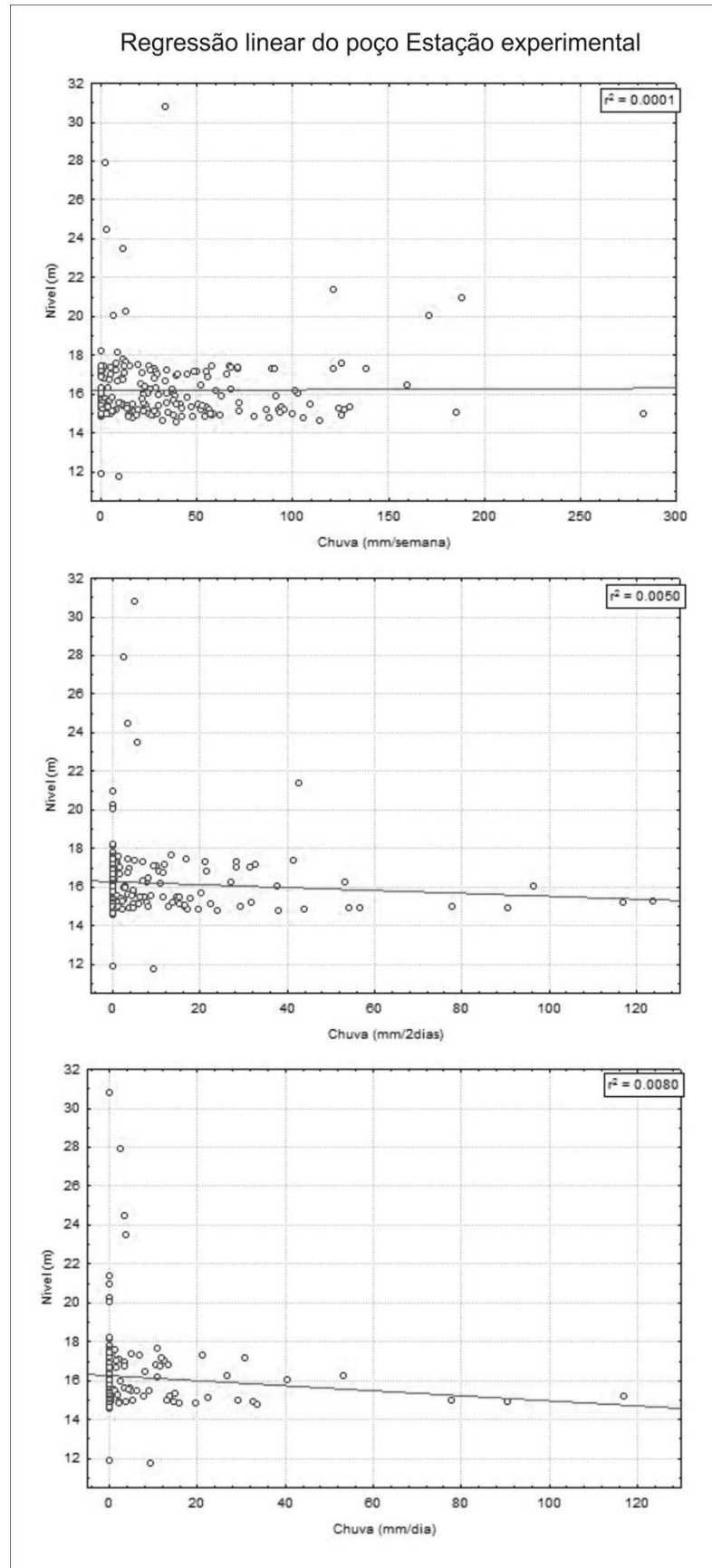


Figura 17 – Regressão linear no poço Estação Experimental com dados no período de 07 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (parcialmente ativo).

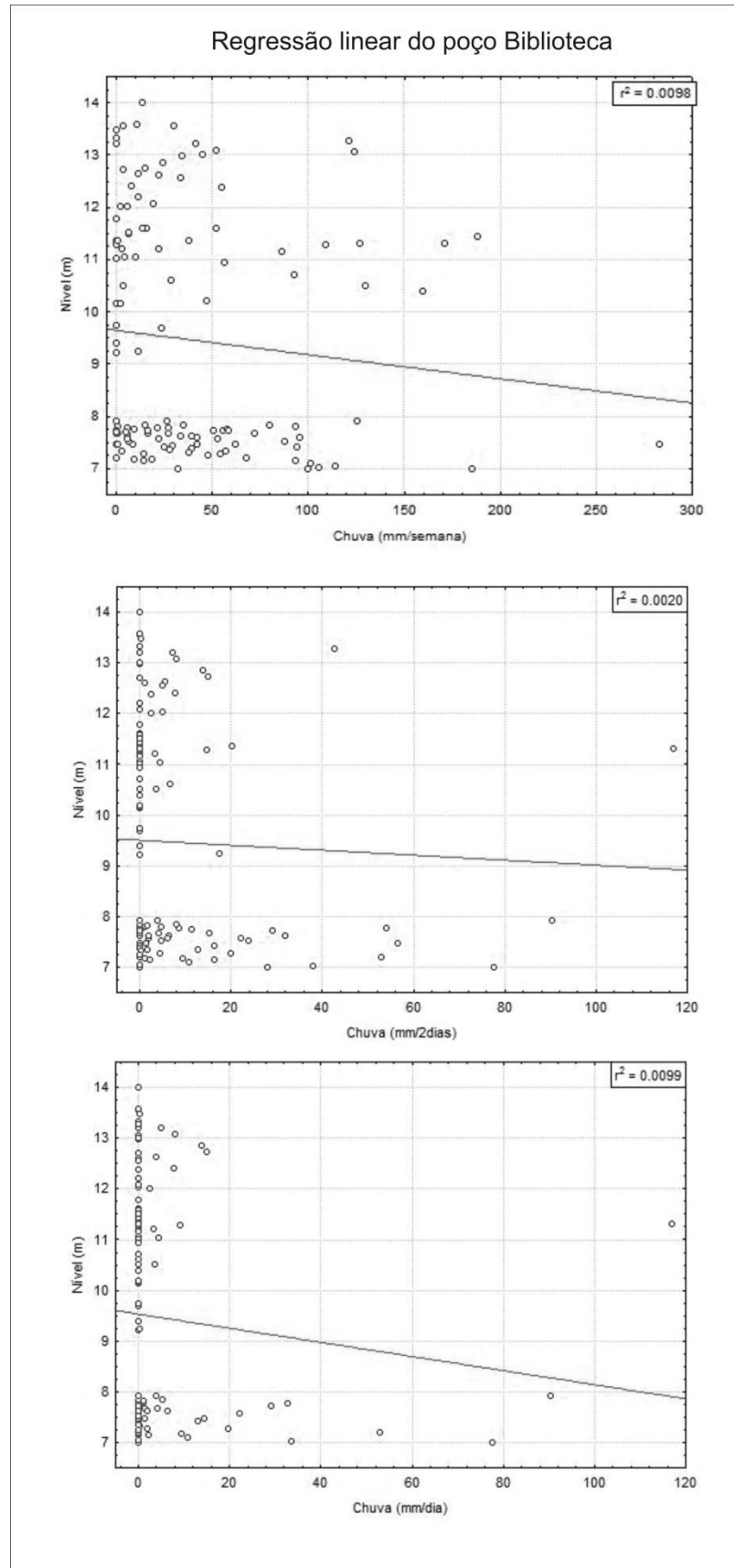


Figura 18 – Regressão linear no poço Biblioteca Central com dados no período de 04 de novembro de 2011 a 23 de outubro de 2014 (desativado).

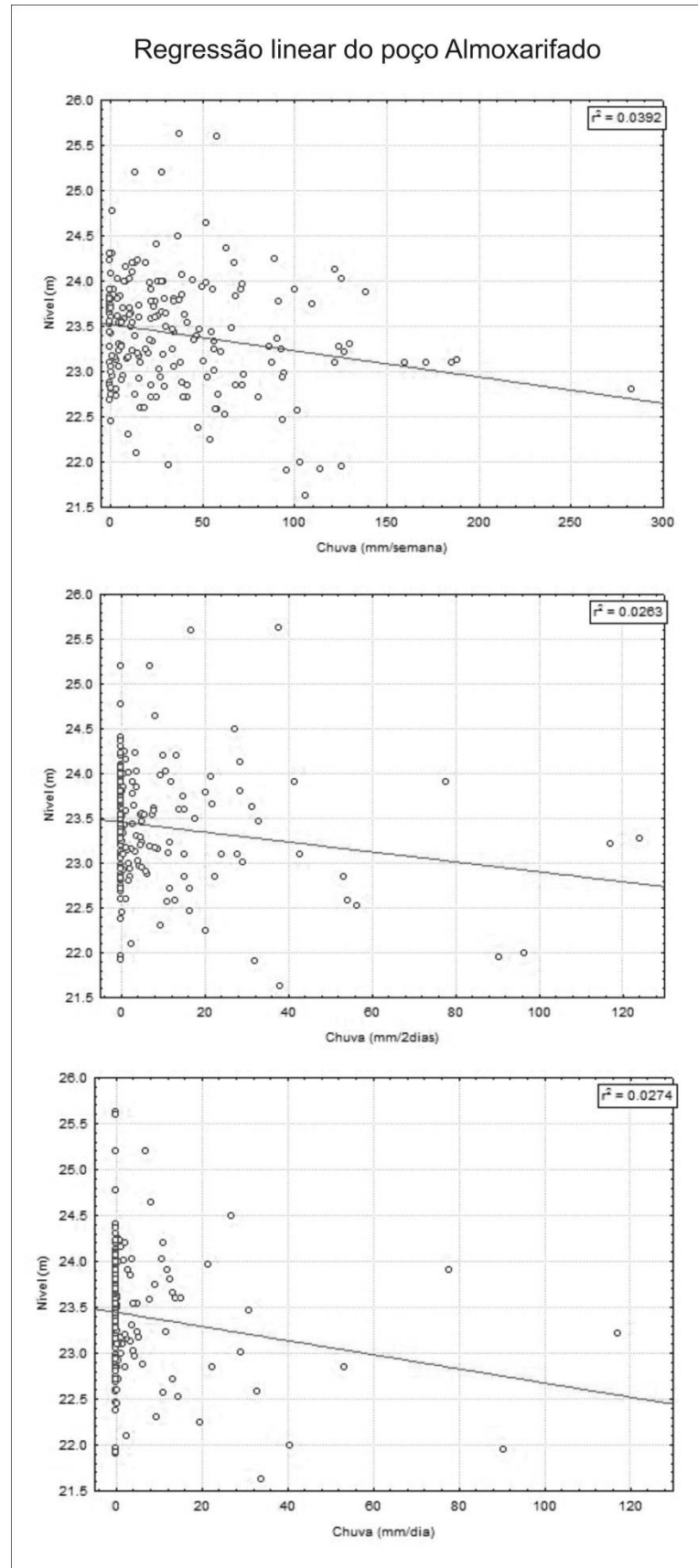


Figura 19 – Regressão linear no poço Almojarifado com dados no período de 21 de maio de 2010 a 23 de outubro de 2014 (desativado).

4.6 Análise dos dados de níveis de água dos poços estudados e sua variação sazonal

Analisando as linhas de tendências de flutuação do NA subterrânea, no período de monitoramento nos poços da Bacia Escola do Campus da UFSM ao longo de 4 anos, observa-se que as linhas de tendência foram bem distintas (figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27). As variações de níveis da água subterrânea possuem relação com as chuvas apresentadas no gráfico da figura 12.

O poço Planetário, gráfico da figura 20, apresentou uma discreta recuperação nos níveis ao longo do monitoramento (2010 a 2014), conforme mostra a linha de tendência. Seus níveis da água variaram de um mínimo de 20,22 m a um máximo de 25,55 m, portanto, obteve-se uma amplitude de variação de 5,33 m, no período estudado. Analisando-se o coeficiente de determinação (R^2), que mede a proporção da variação dos dados, que é explicada pela variável independente na linha de tendência linear, ou seja, simboliza a amplitude dos dados em relação a sua tendência. No poço Planetário observa-se, pela indicação do R^2 , fraca correlação dos valores com certo distanciamento deles para a linha de tendência, sendo a relação de apenas 3%. Assim, os valores registrados de variação de NA neste poço, pouco seguem a linha de tendência.

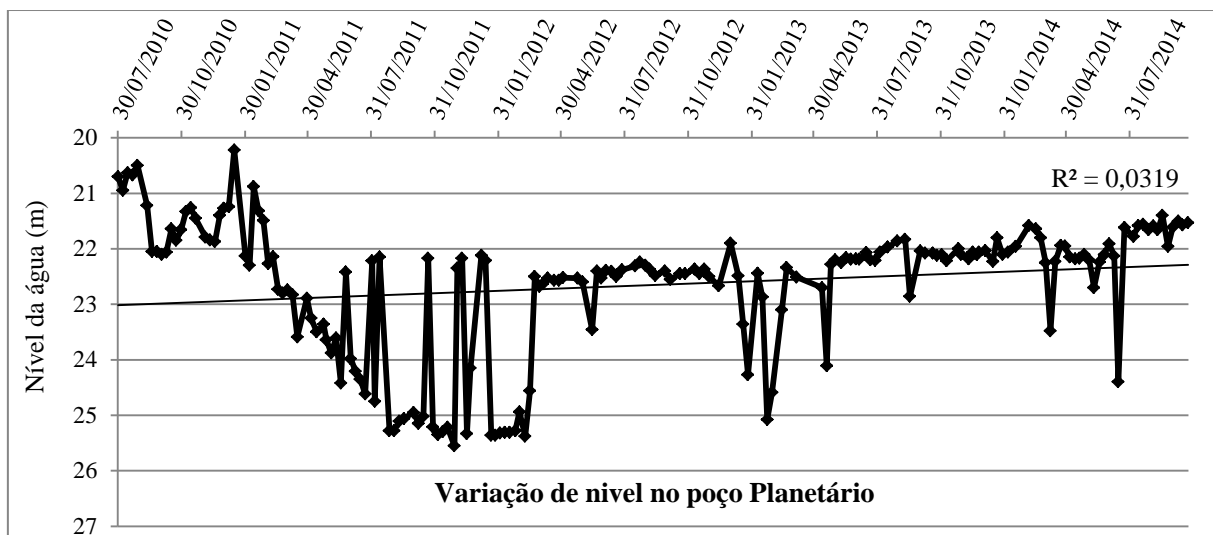


Figura 20 - Variação do NA subterrânea no poço Planetário, no período de 30/07/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (com n=189).

No poço PB01, conforme os dados apresentados no gráfico da figura 21, observa-se alinhamento de tendência linear, portanto foi possível verificar o rebaixamento no seu NA durante o período de monitoramento. A variação de NA no poço foi de 20,45 m a 30,00 m, deste modo o poço teve uma amplitude total de variação no período de 9,55 m.

O poço teve bombeamentos esporádicos a partir de sua perfuração, sendo usado principalmente para monitoramento de concentrações de flúor realizados por Santiago (2010). Ainda teve uso na irrigação de jardins e abastecimento de carros pipa dos bombeiros do bairro Camobi. Analisando-se o R^2 nota-se uma que os valores apresentam certa aproximação de seguimento com a linha de tendência, em torno de 20%.

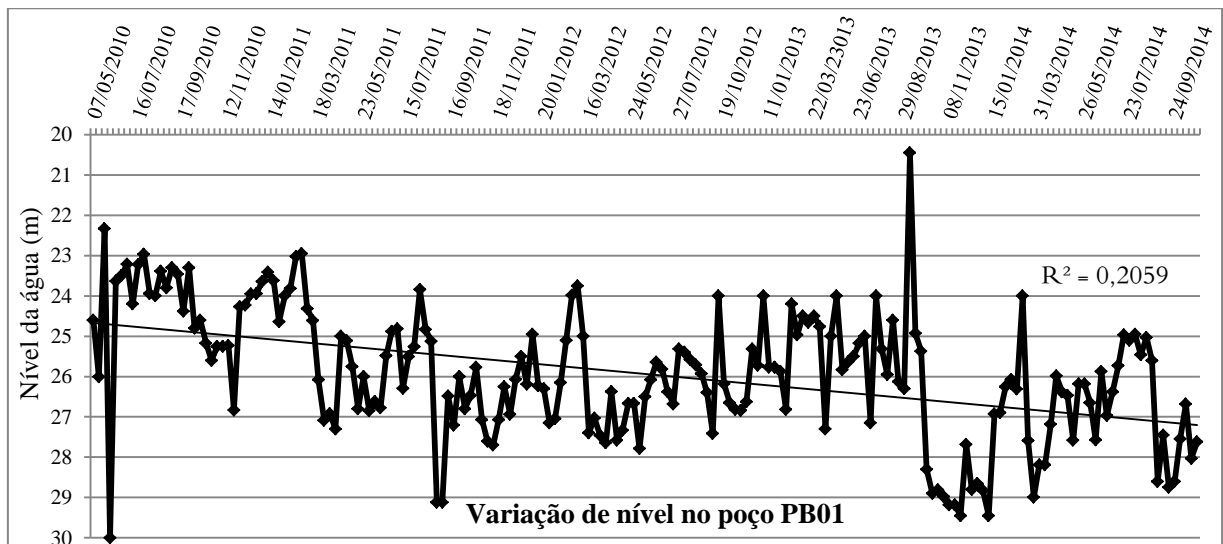


Figura 21 - Variação do NA subterrânea no poço PB01, no período de 07/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).

No poço Fatec Velho, os dados coletados semanalmente com o freatímetro TLC são apresentados no gráfico da figura 22. Há uma tendência de rebaixamento do NA no período monitorado, conforme mostra a linha de tendência. As variações de níveis oscilaram de 19,15 m a 25,26 m, obtendo-se uma amplitude 6,11 m entre o menor e o maior NA no período estudado. Em relação aos registros de níveis de frequência horária, oscilaram de 20,94 m a 27,11 m, acusando uma amplitude de 6,17 m, portanto, dados bastante semelhantes. Conforme análise do R^2 os valores de níveis da água registrados se dispersam relativamente da linha de tendência, sendo a sua relação de aproximadamente 25%. O período de

monitoramento manual foi encerrado em 30 de novembro de 2012, devido à instalação de registradores automáticos de níveis da água, pelo projeto RIMAS/CPRM.

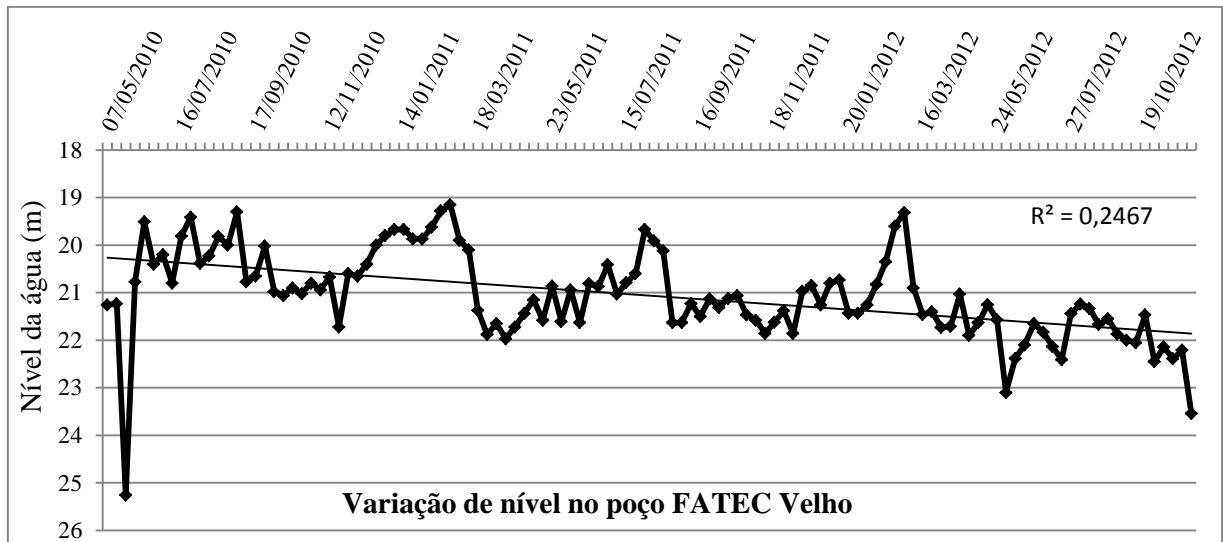


Figura 22 - Variação do NA subterrânea no poço FATEC Velho, no período de 07/05/2010 a 30/11/2012, com registros de frequência semanal (n=118).

No poço Estação Experimental, com os dados de variação do NA apresentados no gráfico da figura 23, observa-se que houve recuperação do NA ao longo do período de monitoramento, conforme mostra a linha de tendência linear. Os níveis de água oscilaram de 11,75 m a 20,24 m, portanto, com amplitude de 8,49 m. A análise do R^2 observa-se boa correlação da linha de tendência com os níveis de água, sendo essa relação de 69%, podendo-se inferir que os valores seguem a linha de tendência.



Figura 23 - Variação do NA subterrânea no poço Estação Experimental, no período de 07/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).

No gráfico da figura 24, observa-se os dados de níveis da água registrados no poço Biblioteca Central, onde se verifica as informações de sua variação. Neste poço, houve recuperação nos níveis da água durante o período estudado, conforme mostra a linha de tendência linear. Os níveis da água oscilaram de 6,98 m a 14,00 m, com uma amplitude de 7,02 m no período. Na análise do R^2 o poço Biblioteca Central apresentou boa relação da linha de tendência com os níveis de águas registrados, em torno de 64%.

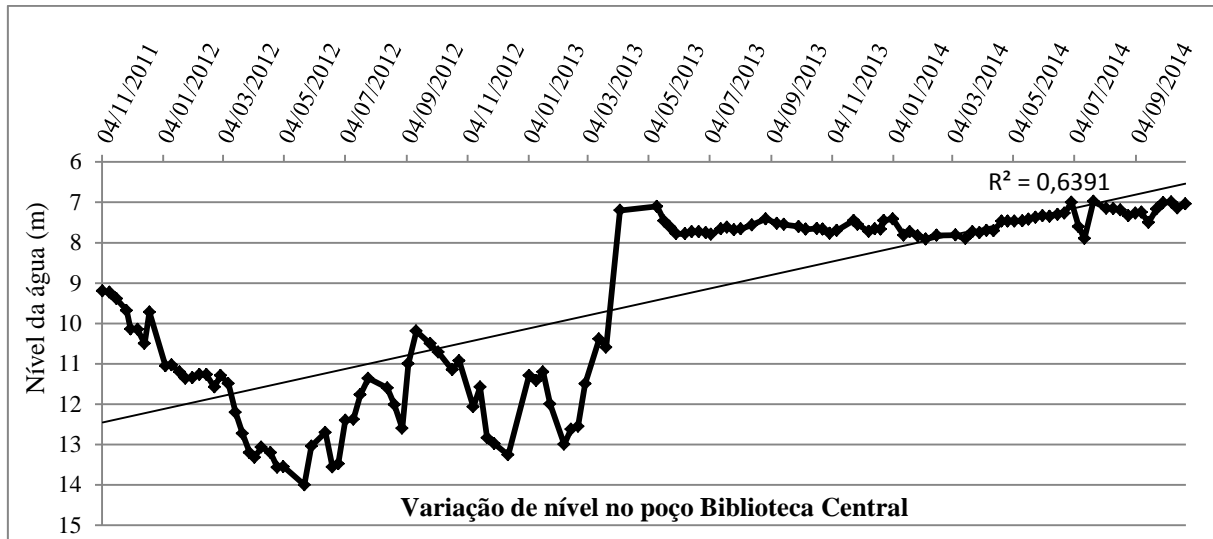


Figura 24 - Variação do NA subterrânea no poço Biblioteca Central, no período de 04/11/2011 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=127).

Os dados de níveis da água apresentados no gráfico da figura 25 são oriundos do poço Almojarifado. A linha de tendência indica que houve recuperação do NA ao longo do período de monitoramento. A oscilação do NA ficou entre 21,62 m a 25,62 m, ou seja, uma amplitude de 4,00 m. Na análise do R^2 , os dados dos níveis da água apresentaram boa correlação com a linha de tendência, em torno de 59%. Assim, pode-se afirmar que os valores seguem a linha de tendência.

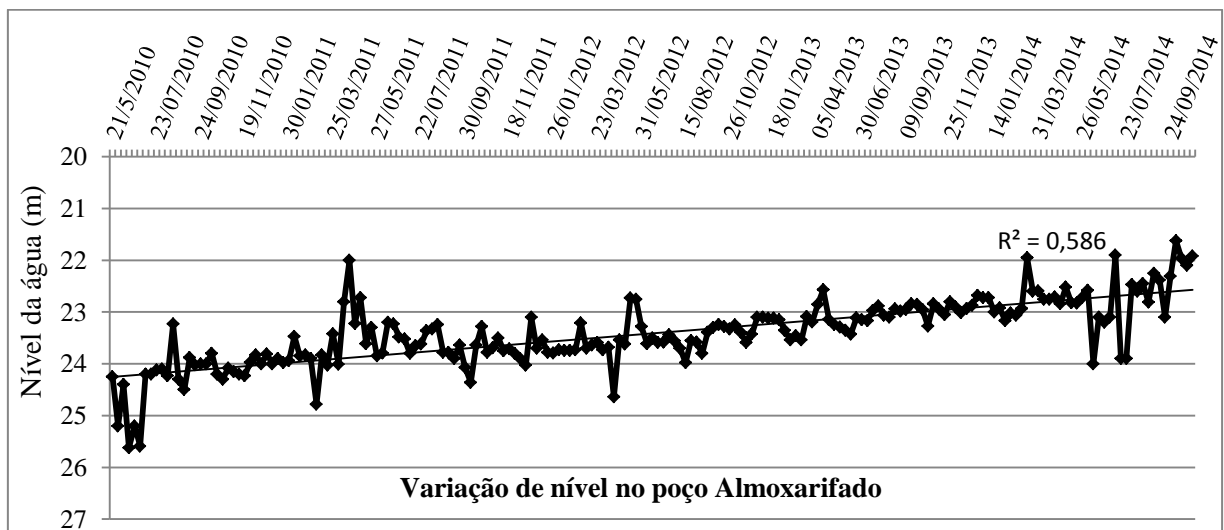


Figura 25 - Variação do NA subterrânea no poço Almojarifado, no período de 21/05/2010 a 23/10/2014, com registros de frequência semanal (n=197).

Os dados de variação do NA no poço CCSH são apresentados no gráfico da figura 26. Pode-se observar que houve recuperação do NA, indicada pela linha de tendência. Contudo, observa-se que nos primeiros níveis registrados, alguns foram com o poço em condição de bombeamento, situações denominadas como nível dinâmico da água, ocasionando a variação dos dados e uma grande distorção nos resultados. As oscilações dos níveis da água subterrânea ficaram entre 19,05 m e 51,27 m, apresentando amplitude de 32,22 m, fato explicado pelo nível dinâmico ser mais profundo no aquífero. Na análise do R^2 dos dados, apesar da grande amplitude registrada, os dados se correlacionam em torno de 36%, evidenciando pequena relação dos valores à linha de tendência.

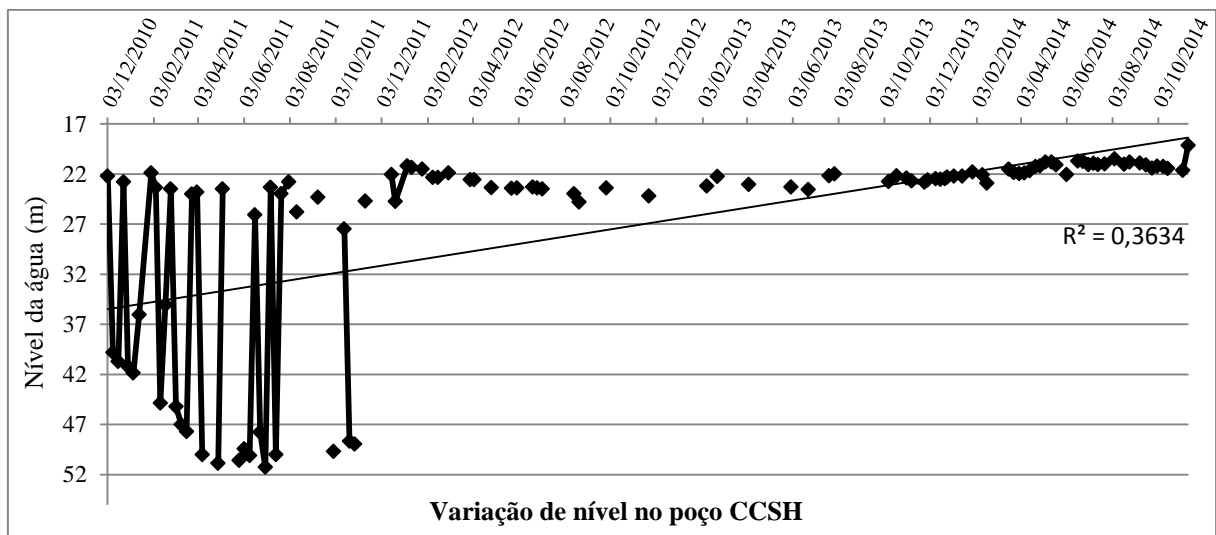


Figura 26 - Variação do NA subterrânea no poço Almojarifado, no período de 03/12/2010 a 11/11/2014, com registros de frequência semanal (n=107).

A figura 27 apresenta o gráfico com os dados da variação de NA do poço Estrada do Jardim Botânico. Observa-se que a linha de tendência apresenta certa manutenção dos níveis, com leve tendência de recuperação dos níveis da água. Com a característica de estar em funcionamento em várias leituras dos níveis da água sendo em condições de bombeamento, obtendo-se assim seu nível dinâmico. As oscilações dos níveis foram elevadas, entre 21,87 m a 79,99 m, com amplitude de 58,12 m. O R^2 foi muito baixo acusando aleatoriedade nos valores de níveis da água monitorados.

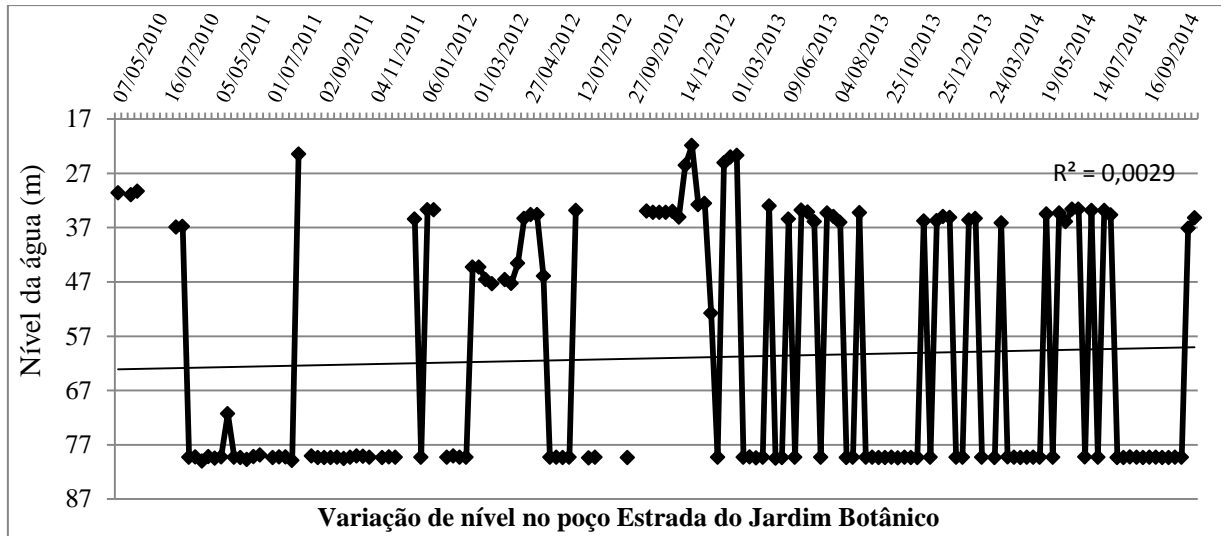


Figura 27 - Variação do NA subterrânea no poço Estrada do Jardim Botânico, no período de 21/05/2010 a 11/11/2014, com registros de frequência semanal (n=147).

Nos poços monitorados no Campus da UFSM foi constatado rebaixamento de NA em alguns casos. Ainda há relatos de poços que foram suspensos os bombeamentos pela falta de água no poço ou a não recuperação do seu NA. Sendo que em condições atuais existem cerca 48 poços tubulares ativos e 24 poços tubulares desativados dentro da Bacia.

Observaram-se diferentes respostas para cada poço avaliado, em relação à faixa total de variação do NA subterrânea. A menor amplitude, em poços desativados, constatou-se no poço almoxarifado com 4,00 m, enquanto a maior amplitude foi observada no poço PB01 com 9,55 m. Portanto, entre os poços desativados há uma faixa de variação de 5,45 m entre eles, sendo a média de amplitudes registradas de 6,95 m. Acredita-se que os fatores uso da terra e o paleoambiente de deposição sejam fatores predominantes sobre essa variabilidade de tendências de flutuação de níveis da água subterrânea registradas.

As camadas sedimentares podem apresentar variações laterais e verticais, tanto na textura (porcentagens de areia, silte e argila), na sua geometria e ainda na sua estrutura sedimentares primárias (plano-paralela, maciça) podendo ainda ter sido afetadas por falhas tectônicas na sua continuidade, formando aquíferos livres ou confinados (CPRM, 1996; GIARDIN e FACCINI, 2004). Esse conjunto de fatores pode afetar a relação porosidade/permeabilidade bem como as condutividades hidráulicas do meio poroso.

A flutuação dos níveis da água, dos poços desativados que foram monitorados, separados por estações do ano, estão apresentados na tabela 11. Observa-se que no período de

monitoramento dos poços, a estação com os maiores índices pluviométricos foi o inverno, e a estação menos chuvosa o outono. Analisando-se os dados dos níveis estáticos, distribuídos por estações do ano, pode-se notar pelos dados de valor médio, máximo, mínimo, que:

1) O inverno foi a estação com maior volume de recarga do aquífero, característica própria de uma estação chuvosa, maiores índices pluviométricos registrados no período com os menores índices de insolação, garantindo um balanço hídrico positivo (tabela 11);

2) A primavera é a estação em que os níveis do aquífero se mantêm menores, ou seja, com maiores quantidades de água, os volumes de saídas são compensados pelos de recarga. Isso deve-se pela boa quantidade de chuvas na estação, mas também pela saturação do solo e o armazenamento do aquífero com as chuvas de inverno;

3) O verão apresentou como uma estação com os níveis de água mais profundos no aquífero, sendo as possíveis causas: a menor precipitação média registrada no período e a maior evapotranspiração potencial que comumente se observa, em função da maior insolação no período, ocasionando um balanço hídrico negativo na estação (HELDWEIN et al., 2009), e;

4) O outono foi a estação com os menores índices de recarga de água no aquífero, sendo que também foi a estação com os menores índices de chuvas registradas. Acredita-se que essa é uma das principais causas dos níveis estarem mais profundos, e também, por ela ser a estação seguinte ao verão, onde houve balanço hídrico negativo.

Quanto aos dados de amplitude e desvio padrão dos níveis da água dos poços, analisados sazonalmente, observa-se que os mesmos apresentaram menor variação no verão e no outono. As maiores variações dos níveis das águas aconteceram no inverno, muito provavelmente pela maior intensidade das chuvas, menor evapotranspiração, menor insolação e maior permanência de umidade na zona aerada, com chuvas melhores distribuídas ao longo do período.

Tabela 11 - Variação sazonal de alguns parâmetros estatísticos dos níveis da água registradas nos poços estudados.

Poço Biblioteca (04/11/2011)					
	Prima- vera	Verão	Outono	Inverno	Todo Período
Nº de leituras	32,00	30,00	32,00	33,00	127,00
Média (m)	9,24	10,28	9,59	8,80	9,46
Máximo (m)	13,26	13,00	14,00	13,48	14,00
Mínimo (m)	6,99	7,41	7,10	6,98	6,98
Amplitude (m)	6,27	5,59	6,90	6,50	7,02
Desvio Padrão (m)	1,93	1,87	2,73	2,10	2,25
Poço Estação experimental (21/05/2010 a 1)					
Nº de leituras	49,00	42,00	49,00	57,00	197,00
Média (m)	15,76	15,91	15,99	15,85	15,88
Máximo (m)	18,20	17,40	20,24	17,67	20,24
Mínimo (m)	11,75	14,40	14,55	11,86	11,75
Amplitude (m)	6,45	3,00	5,69	5,81	8,49
Desvio Padrão (m)	1,15	0,92	1,06	1,08	1,05
Almoxarifado (21/05/2010)					
Nº de leituras	49,00	43,00	48,00	57,00	197,00
Média (m)	23,40	23,44	23,32	23,47	23,41
Máximo (m)	24,36	24,78	25,62	25,59	25,62
Mínimo (m)	21,62	21,95	22,00	21,90	21,62
Amplitude (m)	2,74	2,83	3,62	3,69	4,00
Desvio Padrão (m)	0,65	0,50	0,70	0,67	0,64
Poço Planetário (21/05/2010)					
Nº de leituras	51,00	42,00	44,00	52,00	189,00
Média (m)	22,61	22,86	22,71	22,49	22,70
Máximo (m)	25,55	25,38	24,42	25,28	29,00
Mínimo (m)	21,26	20,22	21,80	20,50	20,22
Amplitude (m)	4,29	5,16	2,62	4,78	8,78
Desvio Padrão (m)	1,29	1,52	0,63	1,25	1,30
Poço FATEC Velho					
Nº de leituras	33,00	23,00	28,00	34,00	118,00
Média (m)	21,38	20,28	21,61	20,83	21,06
Máximo (m)	23,54	21,46	25,26	22,41	25,26
Mínimo (m)	20,02	19,15	19,51	19,30	19,15
Amplitude (m)	3,52	2,31	5,75	3,11	6,11
Desvio Padrão (m)	0,69	0,77	0,95	0,82	0,94
Poço PB 01					
Nº de leituras	49,00	42,00	49,00	57,00	197,00
Média (m)	26,58	25,44	26,39	25,35	25,94
Máximo (m)	29,45	29,45	30,00	29,12	30,00
Mínimo (m)	23,30	22,95	22,33	20,45	20,45
Amplitude (m)	6,15	6,50	7,67	8,67	9,55
Desvio Padrão (m)	1,54	1,62	1,36	1,60	1,62
Chuvas (mm/ 4 anos)	1.932,00	1.771,38	1.500,20	2.225,10	

5 CONCLUSÕES

O monitoramento contínuo dos níveis de água medidos principalmente em poços dedicados é uma importante ferramenta de suporte para a correta gestão de águas subterrâneas. Tanto as medições com registros semanais realizadas pela equipe do LABHIDROGEO, quanto às medições de frequência horária realizadas pela CPRM/RIMAS no Campus da UFSM, foram fundamentais para a avaliação da atual situação e projeções futuras dos recursos hídricos subsuperficiais da Bacia Escola do Campus da UFSM.

Com os dados de dinâmica do uso da terra na Bacia na Escola do Campus, constatou-se que houve significativas mudanças no período entre 2007 a 2014. As áreas construídas tiveram um aumento de cerca de 23,71 ha, este crescimento ocorreu principalmente em áreas favoráveis a infiltração e recarga de água subterrânea (Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria/Aquífero Santa Maria, em ZA do SAG). Contudo, destaca-se a importância do planejamento na expansão urbana para uma correta gestão dos recursos hídricos subsuperficiais na Bacia, uma vez que estes podem ser limitados e deve-se preservar a sua sustentabilidade.

A aplicação do método WTF no poço FATEC Velho demonstrou resultados satisfatórios, uma vez que foram encontrados valores plausíveis de recarga para a área (adotando-se para o rendimento específico o S_y médio, obteve-se uma estimativa de recarga igual 36,12% do total precipitado no período). Além disso, foi possível comparar esses resultados com as estimativas de recargas presentes na literatura, encontrando-se similaridades com algumas áreas, principalmente em áreas de ZA do SAG.

A correlação dos dados de níveis dos poços com os volumes das chuvas na Bacia Escola do Campus da UFSM mostrou haver relação entre as chuvas e a variação dos níveis da água. Constatou-se que as chuvas registradas no dia em que foram aferidos os níveis de água, são as que causam maior influência na sua variação, determinando uma recarga eficiente. Atribui-se a esses resultados a predominância de materiais arenosos que facilitam a infiltração e uma maior condutividade hidráulica, comportamento esperado para ZA do SAG. Contudo, estatisticamente os valores de correlação não foram relevantes.

A análise da flutuação dos níveis da água mostraram grandes variações nos poços em funcionamento, de cerca de 60 metros, e algumas amplitudes sazonais em todos os poços. Somente dois poços apresentaram tendência de aprofundamento dos níveis da água, como foi

o caso dos poços PB01 e FATEC Velho. Estes poços apresentam certa proximidade entre eles (50 m), mas estão fora do raio de influência de poços em bombeamento, podendo ser objeto de estudo mais detalhado deste caso. Os demais poços dedicados monitorados apresentaram tendência à recuperação do NA ao longo do período.

Os cálculos de raio de influência de alguns poços tubulares ativos na Bacia Escola do Campus, que se encontram mais próximos aos poços dedicados monitorados, revelaram não haver interferência nos raios dos cones de influência entre poços ativos (explorando água) e poços dedicados. As distâncias dos raios do cone de influência variaram de cerca de 11 a 64 m.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que mesmo às áreas impermeabilizadas apresentando um alto crescimento para a Bacia Escola do Campus (23,71 ha), esta modificação ainda não afetou em larga escala os volumes das recargas dos recursos hídricos subterrâneos. Contudo em dois poços (FATEC Velho e PB01), próximos entre eles, analisados houve perda de recarga, podendo haver influência da impermeabilização do solo.

Perspectivas futuras:

- Instalar tubos guia de diâmetro $\frac{3}{4}$ de polegada para serem realizados registros da flutuação dos níveis da água subterrânea, utilizando o freatímetro TLC em um número maior de poços tubulares ativos;
- Ampliar o monitoramento automático com sensores que realize leituras horárias no NA na área, a fim de não se perder registros de recarga e criar a possibilidade de conhecer melhor a dinâmica subterrânea na área;
- Aplicações de modelos que expliquem a partir da quantidade de chuva (mm) ou grau de umidade do solo, se pode ter uma relação direta de chuva e recarga.
- Fazer um acompanhamento qualitativo das águas subterrâneas no Campus da UFSM, a fim de uma maior preservação dos recursos hídricos subterrâneos.
- Viabilizar um plano diretor para a área da Bacia Escola do Campus, para que se tenha uma expansão urbana ordenada para proteger a recarga em ZA do Membro Passo das Tropas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L. et al. **DRASTIC**: A standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. United States: EPA, 1987.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L. et al. Diretrizes para o desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo, Brasil. **Boletín geológico y minero**, v. 123, n. 3, p. 353-366, 2012.

ARAÚJO, R. K. de. **Dinâmica da contaminação por efluente sanitário em área de um Campus universitário**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php#ind21>>. Acesso em: 23 out. 2013.

Brasil/ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas (2006). **ABNT/NBR 12.244/2006 e 12.212/2006**. Disponível em: < http://www.abnt.org.br/m3.asp?cod_pagina=1179 >. Acesso em: 28 Jan. de 2013.

BRASIL/CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução N°. 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes para a gestão das águas subterrâneas. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 23 out.2013.

BRASIL/FUNASA – Fundação Nacional da Saúde, Ministério da Saúde. Controle e Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. **Portaria nº 518/2004**. Disponível em < http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html 2011>. Acesso em: 04 Abr. 2014.

BRASIL/CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. **Mapa hidrogeológico folha de Santa Maria – SH.22-V-C-IV**, escala 1:100.000. 1994.

BRASIL/CPRM. **Relatório de perfuração do poço FATEC Velho**. Relatório interno. 1996.

BRASIL/CPRM – **Tipos de aquíferos**. 2013. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1377&sid=129>> Acesso em: 07 de mar. 2014.

BRASIL/CPRM/SIAGAS – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – Sistema de Águas Subterrâneas, cadastro de poços tubulares do município de Santa Maria. Disponível em < http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php > acesso em: 20 Jun. 2012.

BRASIL/CPRM/RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas. Disponível em <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>> acesso em 20 Jan. 2015.

BARRETO, C. E. A. G. **Balço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** 2006, 271 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUSSI, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 52-61, 2009.

BARRETO, C. E. A. G.; GOMES, L. H.; WENDLAND, E. Balço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. 2010, São Luís. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.** São Paulo: ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2010. CD-ROM

BAUMHARDT, E. **Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo na região da campanha gaúcha.** 2014, 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CARMO, J. A. R. DO. **Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do Rio Vacacaí-Mirim, RS.** 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CHARALAMBOUS A. N. Groundwater and the law. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 44, 147–158. 2011.

CLEARY, R.M. **Águas Subterrâneas.** Princeton Groundwater, Inc. Clean Environment Brasil, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. Disponível em < <http://www.clean.com.br/cleary.pdf> >. Acesso em: 29. Jan.2015.

COELHO, V. H. R.; ALMEIDA, C. DAS N.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B. Análise da flutuação do nível d'água para estimativa da recarga subterrânea da bacia representativa do

Rio Gramame no nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17 n.2, p. 241-252, Abr. a Jun. 2012.

CONICELLI, B. P. Gestão das águas subterrâneas transfronteiriças: O caso do Sistema Aquífero Guarani. 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2007. Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23283/15377>> Acesso em: 04 Abr. 2014.

COOPER, J. R.; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. **Am Geophys. Union Trans.**, Washington, v. 27, p. 526-534. 1946.

COSTA , I. T. et al. Variabilidade da condutividade elétrica e temperatura na coluna de água em dois poços tubulares desativados no Campus da UFSM. 2012 Santa Maria. **In Anais...** 29º Jornada Acadêmica Integrada - JAI, 29º Salão de Iniciação Científica, Santa Maria, 2014.

COSTA, M. L. M. **Estabelecimento de Critérios de Outorga de Direito de Uso para as Águas Subterrâneas**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

COSTA, M. L. M. et al. proposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 16, n.1, p. 105-113 Jan/Mar 2011,

COTTA JUNIOR, J. T.; TEUBNER, E. R. Monitoramento do uso do Solo e Cobertura Florestal na Microbacia do Rio Batatal, Alfredo Chaves, ES. **Anais...** GIS BRASIL, 2000, Salvador. CD_Rom, Salvador, 2000.

CUSTODIO, E.; SILVA JUNIOR, G. C. DA. Conceptos básicos sobre o papel ambiental das águas subterrâneas e os efeitos da sua exploração. **Boletín Geológico y Minero**, v. 119, p. 93-106, 2008.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, PEDRON, F. de A.. Solos do Município de Santa Maria. **Ciência & Ambiente** , Santa Maria, v. 38. p. 59-77, 2009.

DAMBRÓS C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V. Aproximando ideias e construindo reflexões na busca da sustentabilidade das águas subterrâneas. 2010, São Luís. **Anais...** XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Paulo: ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas 2010. CD-ROM

DAMBRÓS, C.; **Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo.** . 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias hidrográficas com floresta e campo nativo. **Geografia** (Rio Claro. Impresso), v. 39, p. 363-382, 2014.

ERTEL, T; SILVÉRIO DA SILVA, J. L; LÖBLER, C. A. Avaliação da Exploração de Água no Poço Estrada Jardim Botânico do Campus da UFSM. 2012, Santa Maria **Anais... 27^a** Jornada Acadêmica Integrada. - JAI, Santa Maria, RS. 2012.

ERTEL, T. et al. Avaliação da exploração de água em poço tubular do Campus da UFSM. 2013, Bento Gonçalves. **Anais... XX.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2013 a.

ERTEL, T. et al. Estudo da relação entre os índices pluviométricos e recarga nos poços tubulares do Campus da UFSM. 2013, Santa Maria. **Anais... Jornada Acadêmica Integrada - JAI.** 28^o Salão de Iniciação Científica, Santa Maria, 2013 b.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - **Decreto Estadual N. Nº 42.047/2002.** Disponível em: < <http://www.sema.rs.gov.br> > Acesso em: 20 Jun. 2013

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente – Bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul. Mapa. 2005.

FARIAS, P. V. C; **Flutuação dos Níveis de Água Subterrânea em Microbacias Hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim.** 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F., DA SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v. 26 n. 2, p. 18-30. 2014

FEITOSA, F. A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** (Org e Coord.). 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FLAUZINO, F. S. et al. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 22, p. 75-91. abr. 2010.

FRANZBLAU, A. (1958). A primer of statistics for non-statisticians. New York: Harcourt, Brace & World.

FREITAS, M. A. de; GOFFERMANN, M. (2011). Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas-RIMAS no Estado do Rio Grande do Sul. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. 2011.

FURLANETTO, E. L. et al. **Sustentabilidade em arranjos produtivos locais**: uma proposta metodológica de análise. In: Cândido, G. A. et al. Desenvolvimento sustentável e sistemas de indicadores de sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande: Ed. UFCG, 2010.

GASPARETO, N. V. L. et al. Carta Geológica de Camobi, 1:50.000. FINEP/UFMS. . (1990).

GIARDIN, A.; FACCINI, U. F. Heterogeneidades faciológicas e hidroestratigrafia do Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica e resultados preliminares. **Anais... XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002**, Florianópolis-SC. Anais CD-ROM. São Paulo: ABAS, 2002.

GIARDIN, A.; FACCINI, U. F. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil. **Águas Subterrâneas**. n°18, v. 01, p.39-53 2004.

GOMES, A. R. et al. Análise multitemporal utilizando imagens CBERS-2 e LANDSAT-TM no entorno da represa dos rios Jaguari e Jacareí, São Paulo. **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 2009.

GRABHER, C. et al. **Termos técnicos em gestão dos recursos hídricos**. Americana/SP: Consórcio Intermunicipal das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, 2006.

HAGEDORN, Benjamin. et al. Estimating recharge in fractured aquifers of a temperate humid to semiarid volcanic island (Jeju, Korea) from water table fluctuations, and Cl, CFC-12 and ³H chemistry. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 3, p. 650-662, 2011.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, v.10, p.91-109. 2002.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. 86 p. 1983.

HEINE, C. A. et al. Monitoramento da depleção e detecção dos limites de exploração do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti (RS): uma aplicação de geoprocessamento no gerenciamento municipal do uso sustentável de recursos hídricos subterrâneos. **Gaea-Journal of Geoscience**, v. 1, n. 1, p. 26-35, 2005.

HEINE, C. A. **Análise de Sustentabilidade do Sistema Aquífero Guarani na Região Urbano-Industrial de Ivoti no Rio Grande do Sul**. 2008, 223 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 2008.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 38, Jan. a Jun. 2009.

HIDROBRASIL. Relatório técnico para obtenção de Outorga do direito de Uso de Água Subterrânea. Relatório interno. 2008.

HORN, J. F. C. **Regime hidrológico de duas microbacias contíguas: um comparativo entre uso urbano e rural**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

KALF, F. R. P.; WOOLLEY, D. R. Applicability e methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. **Hydrogeology Journal**, v.13, nº. 1, p. 295 – 312. 2005.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KUNG, W-J. et al. An approach to evaluate groundwater recharge from streamflow and groundwater records. **Geosciences Journal** v. 17, nº. 3, p. 353 – 362, Sep. 2013. DOI 10.1007/s12303-013-0027-x

KURODA, K. et al. Assessment of groundwater pollution in Tokyo using PPCPs as sewage markers. **Environmental science & technology**, v. 46 n. 3, p. 1455-1464. 2012

LÖBLER, C. A. et al. Avaliação dos Níveis dos Poços de Abastecimento da UFSM. 2010 Santa Maria. **Anais...** 25º Jornada Acadêmica Integrada - JAI, 25º Salão de Iniciação Científica, Santa Maria. 2010.

LÖBLER, C. A; TOSCANI, R. R; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Monitoramento dos Poços Tubulares do Campus da UFSM. 2011 Santa Maria. **Anais...** 26º Jornada Acadêmica Integrada - JAI. 26º Salão de Iniciação Científica. Santa Maria, 2011.

LÖBLER, C. A; ERTEL, T; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Relação Entre os Índices de Precipitação e Recarga nos Poços Tubulares do Campus da UFSM. 2012 Santa Maria. **Anais...** 27ª Jornada Acadêmica Integrada – JAI. 27º Salão de Iniciação Científica. Santa Maria, 2012.

LÖBLER, C. A.; ERTEL, T.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Estimativas de recarga das águas subterrâneas no Campus da UFSM. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** XX. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2013.

LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, Taubaté, Jan/Mar 2015.

LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; ALLASIA, D. G. Mudança multitemporal da impermeabilização do solo no Campus da UFSM com uso de imagens do Landsat 5. 2015. No Prelo.

LUCAS, M. C. **Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani**. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) Escola de engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2012.

LUCAS, M. C.; GUARABARA, R. C.; WENDLAND, E. Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. **Boletín Geológico y Minero**, v. 123, n. 3, p. 311-323. 2012.

LUIZ, T. B. P. et al. variabilidade em parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos em poços de monitoramento no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2013, Santa Maria. **Anais...** 28º Jornada Acadêmica Integrada - JAI, Santa Maria. 28º Salão de Iniciação Científica. Santa Maria, 2013.

LUIZ, T. B. P.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Variabilidade da condutividade elétrica em poços de monitoramento do campus da UFSM. 2013, Bento Gonçalves. **Anais... XX. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, 2013

MACHADO, J. L. F., FREITAS, M. A. Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final. Porto Alegre: CPRM. 2005.

MACHADO, J. L. F. A Verdadeira face do “Aquífero Guarani”: Mitos e fatos. 2005, São Paulo. **Anais... XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste**. São Paulo, 2005.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. **Introdução à Geologia de Engenharia**. UFSM. 4° ed. Santa Maria. 2011.

MARION, F. A; CAPOANE, V; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no Campus da UFSM, Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 29, p. 97-109, 2007.

MARION, F. A; MELLO FILHO, J. A; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Análise da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas por geoprocessamento no Campus da UFSM RS. **Terr@ Plural**, v. 4, p. 065-076, 2010.

MARTELLI, G. V; **Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MATOS, J. C. C. T. de. **Proposição de método para definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MAZIERO, T. A. **Monitoramento de água subterrânea em área urbana: aspectos quantitativos**. 2005 85 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2005.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. 2005, São Paulo. **Anais... XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste**. São Paulo, 2005.

MESSIAS, C. G. et al. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, V.2, N.4, p.112 – 125, 2012.

MESTRINHO, S. S. P. **Monitoramento em Águas Subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO, J. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. 3ªed. cap.7.2. p.673–685. 2008.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos Qualitativos da Água Subterrânea no Campus da UFSM, Santa Maria-RS**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NASCIMENTO, M. D. do; MOURA, N. S. V. Análise espacial da expansão urbana de Santa Maria-RS e tendências atuais. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 41 n. 1. 2014.

NIEDERAUER, J. E.; CANTARELLI, P. D. D. N.; KERSTEN, D, S. Sustentabilidade hídrica: conservação do Aquífero Guarani face a áreas irrigadas por águas subterrâneas. **Anais Florianópolis**: CYTED, 2008. Disponível em: <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/main_brasil2008.htm>. Acesso em: 25.out.2013.

OBUOBIE, E. et al. Groundwater level monitoring and recharge estimation in the White Volta River basin of Ghana. **Journal of African Earth Sciences**. Africa do Sul v.71–72, p. 80–86, 2012.

OLIVEIRA, E. de; SOUZA, J. C. S. de. **Água subterrânea: conservação e gerenciamento**. In.: MACHADO, R. As Ciências da Terra e sua importância para a Humanidade. A contribuição brasileira para o Ano Internacional do Planeta Terra-AIPT. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, Livros Textos, 2008. 140p.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – OEA; GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY – GEF. Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Programa Estratégico de Ação – PEA. [S.l.], 2009. 102 p. (Manuais e Documentos Técnicos, 5)

PAIVA, G. P. **Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma micro-bacia do Rio Piranga (MG)**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

PES, J. H. F. Sustentabilidade e os problemas jurídicos e políticos na tutela do Aquífero Guarani. **Anais eletrônicos...** Santa Maria: UFSM, 2013. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/congressodireito/anais/2013/5-10.pdf>>. Acesso em: 25. Out. 2013.

RATTNER, H. Sustentabilidade-uma visão humanista. **Ambiente & sociedade**, nº 5, p. 233-240. 1999

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUDINISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 702p.

REBOUÇAS, A. C. **Importância das Águas Subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO, J. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. 3ªed. cap.1.2. p.13-29. 2008.

RECKZIEGEL, T. **Modelo conceitual de avaliação ambiental solo/água para reabilitação de sítio degradado - Estudo de Caso - Bacia Escola Campus**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ROSSETTI, L. A. F. G. et al. Estimativa da diminuição da área de recarga de um aquífero, com o uso de geotecnologias: o caso da cidade de Rio Claro-SP. **Anais...** I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. 2009

SANTIAGO, M. R. **Análises das Ocorrências Anômalas de Flúor em Águas Subterrâneas**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SANTIAGO, M. R.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. (2011). Classificação hidroquímica de águas subterrâneas do SAG no RS e SC. 2011, Gramado. **Anais...** XIII Cong. Bras. Geoquímica, Rio de Janeiro, 2011. CD-ROM

SANTOS, A. B; PETRONZIO, J. A. C. Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. In: ANAIS... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, 2011, Curitiba, p.6185. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0210.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2014.

SCANLON, B.R., HEALY, R.W., COOK, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, fev. p.18-39, 2002.

SCHELLE, E. **Aspectos hídricos do Aquífero Serra Geral na cidade de Cascavel**. 2009. 100 p. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE, Cascavel PR. 2009.

SCHUSTER, S. L. et al. Comparação de variáveis quantitativas e qualitativas dos poços tubulares Planetário e Biblioteca do Campus da UFSM. 2013, Santa Maria. **Anais...** Jornada Acadêmica Integrada - JAI, Santa Maria. 28º Salão de Iniciação Científica, Santa Maria, 2013.

SHARDA, V.N. et al. Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India. **Journal of Hydrology**. v. 329, 224 – 243, 2006. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.02.015.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources - A New Appraisal and Assessment for the 21st Century**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, 1998.

SILVA, L. A. DA. **Regime de escoamento e recarga subterrânea de nascentes na região do Alto Rio Grande – MG**. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

SILVEIRA, G. D. et al. Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8(1), 5-11. 2003.

SILVÉRIO DA SILVA J. L. et al. Características morfológicas do Membro Alemoa, Formação Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2010, Santa Maria: **Anais...** VIII RSBCS, Reunião Sul brasileira de Ciência do Solo, UFSM, Santa Maria, 2010.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; SANTIAGO, M. R.; DRESSLER, V.L. Concentrações anômalas de fluoretos em águas subterrâneas do SAG. 2011, Gramado. **Anais...** XIII Cong. Bras. Geoquímica, Rio de Janeiro, 2011. CD-ROM

SILVERIO DA SILVA, J. L. et al. Captações de Água Subterrânea no Campus da UFSM, Santa Maria – RS. **Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 9, n. 9: p. 1953-1969, 2012.

Simon, A. L. H.; Trentin, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do Google Earth. **Ar@cne**, n. 116. 2009.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p. 2005.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4^o ed. 4^o reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. UFSM em números. Disponível em <<http://portal.ufsm.br/indicadores/select/13>>. Acesso em: 07 Dez. 2014.

VALENTINI, D. R. **Planejamento ambiental como base ao plano diretor do Campus da UFSM, RS**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

VALLE, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. S.; PACHECO, F. A. L. Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of The Total Environment**, v. 493, p. 812-827. 2014.

VIALI, L. **Estatística não paramétrica**. Série Extas. PUC/RS. 2008

XAVIER-DA-SILVA, J. **SGIs Uma Proposta Metodológica**. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Rio de Janeiro: LAGEOP, 1992. v. 4.

XU, Y.; BEEKMAN, H. E. **Groundwater recharge estimation in Southern Africa**. UNESCO IHP, Series n°. 64, UNESCO: Paris. ISBN 92-9220-000-3, 2003.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, Abr. a Jun. p. 15-25, 2005.

WANKLER, F. L.; FACCINI, U. F.; SILVA, P. L. Contribuição ao estudo do aquífero Passo das Tropas, na região de Santa Maria, RS: compartimentação estrutural e sua influência no comportamento hidrogeológico. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2007.

WENDLAND, E.; BARRETO, C. E. A. G.; GOMES, L. H. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), v. 342, p. 261-269, 2007.