

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ROBERTO VANDRÉ ROSA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NO
PÁTIO DE ESTOCAGEM DE CARVÃO DA EX-CAEEB. CAPIVARI DE
BAIXO, SC**

CRICIÚMA, JULHO 2012

ROBERTO VANDRÉ ROSA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NO
PÁTIO DE ESTOCAGEM DE CARVÃO DA EX-CAEEB. CAÍVARI DE
BAIXO, SC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental da
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC.

Orientadora: Prof^ª. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA, JULHO DE 2012

ROBERTO VANDRÉ ROSA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NO PÁTIO DE
ESTOCAGEM DE CARVÃO DA EX-CAEEB. CAÍVARI DE BAIXO, SC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental da
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC.

Criciúma, 03 julho de 2012

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Nadja Zim Alexandre - Mestre - (UNESC) - Orientadora

Prof. Clóvis Norberto Savi – Mestre - (UNESC)

Prof. Sérgio Luciano Galatto – Mestre (UNESC)

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma na minha conclusão acadêmica, em especial a minha família, ao meu pai Roberto, à minha mãe Salete meus irmãos que estiveram presentes me fortalecendo com boas palavras. À minha esposa Inês que com seu eterno amor me compreendeu em todos os momentos de minha vida acadêmica, aos meus filhos Henrique e Artur, frutos de um amor sincero e verdadeiro. A minha orientadora Nádia, que foi extremamente amiga e dedicada. E, em especial aos meus colegas da Tractebel Energia, que não mediram esforços para me ajudar, e contribuir muito para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Como é importante finalizar mais uma etapa em nossa vida com a sensação de que algo ainda há por fazer, ou melhor, para continuar, pois, nossos sonhos e metas não param jamais de habitar nosso pensamento.

Mas com o findar desta etapa em minha vida gostaria de colocar aqui meus agradecimentos a todos os colegas que contribuíram de forma direta ou indireta, para a concretização deste trabalho.

A minha orientadora Nadja pela oportunidade de aprendizado, exemplo de simplicidade frente a uma condição tão importante que conquistou através de sua luta, pela produção do conhecimento, companheirismo, apoio e amizade sincera.

Aos membros da banca que prontamente se dispuseram a avaliar o presente trabalho, compondo a banca examinadora.

Agradeço aos colegas da Tractebel Energia, pelo importante apoio na realização deste estudo. Em especial ao Engenheiro Alexandre, meu supervisor de estágio pela confiança e acessibilidade na busca de dados importantes que compõe a pesquisa.

RESUMO

Trata-se de um estudo de abordagem quantitativa, desenvolvido no município de Capivari de Baixo ao sul de Santa Catarina em uma área com potencial de contaminação condicionada ao aquífero superior sedimentar, cujo objetivo geral foi avaliar a evolução temporal da qualidade da água do aquífero livre, comparando a situação antes e após a impermeabilização do depósito de carvão mineral e recuperação da área da Ex-CAEEB. Os indicadores de qualidade da água utilizados como parâmetros físico-químicos foram o pH, condutividade, ferro, sulfato e acidez. A busca se deu através do levantamento dos dados históricos no banco de dados das análises de monitoramento dos poços piezométricos, realizados nos últimos 7 anos, visando reunir estas informações e comparar com a Resolução CONAMA 396/08 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Fez parte do trabalho também a avaliação dos resultados obtidos na realização de duas análises físico-químicas nos poços piezométricos existentes durante o estágio com o objetivo de estabelecer um parecer sobre a intensidade dos parâmetros analisados. A coleta de dados para avaliação da qualidade da água subterrânea na área de influência do processo de estocagem de carvão mineral seguiu com a amostragem de 07 poços piezométricos, construídos conforme Norma Técnica da CETESB (Norma 06010 de 1988), e as análises químicas e físicas dos parâmetros de interesse seguiu a metodologia Standard Methods for Examination of the Water e Wastewater, 20^a edição. Em conclusão o estudo proporcionou compreender que a impermeabilização do pátio de carvão e a recuperação da área da Ex-CAEEB esta intimamente ligada a estabilização dos valores da água subterrânea nos parâmetros físico-químicos quanto ao pH, condutividade, ferro, sulfato e acidez.

Palavras-chaves: Qualidade da Água. Lençol Freático. Pátio de Carvão. Cinza.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALB – Água do Lençol da Bacia de Cinza
ALP – Água do Lençol do Pátio de Carvão
AMUREL – Associação dos Municípios da Região de Laguna
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
CAEEB – Companhia Auxiliar de Empresas Elétrica Brasileira
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO – Demanda Bioquímica do Oxigênio
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DQO – Demanda Química do Oxigênio
GPS – Global Positioning System
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NA – Nível de Água
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
TSA – Tratamento Solo Aquífero
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTLA – Usina Termelétrica Jorge Lacerda A
UTM – Unidade Técnica de Massa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização dos estados do Brasil, Santa Catarina e destacando o município de Capivari de Baixo.....	33
Figura 2: Mapa geológico regional.....	35
Figura 3: Vista geral da área de estudo no ano de 1992.....	36
Figura 4: Localização dos poços na área de estudo.....	37
Figura 5: Perfis construtivos e litológicos dos poços de monitoramento localizados na área de influência de estudo.....	38
Figura 6: Amostragem nos poços de monitoramento com auxílio de bailler.....	39
Figura 7: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.....	44
Figura 8: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.....	44
Figura 9: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.....	44
Figura 10: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.....	45
Figura 11: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.....	45
Figura 12: Resultados da amostra histórica da pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.....	46
Figura 13: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.....	47
Figura 14: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.....	47
Figura 15: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB02.....	47
Figura 16: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.....	48
Figura 17: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.....	49
Figura 18: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.....	49

Figura 19 Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.	50
Figura 20: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.	50
Figura 21: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.	50
Figura 22: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.	52
Figura 23: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.	52
Figura 24: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.	52
Figura 25: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.	53
Figura 26: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.	53
Figura 27: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.	56
Figura 28: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.	56
Figura 29: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.	56
Figura 30: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.	57
Figura 31: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.	57
Figura 32: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.	58
Figura 33: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.	59
Figura 34: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.	59
Figura 35: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.	59

Figura 36: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.	60
Figura 37: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.	61
Figura 38: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.....	61
Figura 39: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.	62
Figura 40: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.	62
Figura 41: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Contaminantes naturais da água.....	16
Quadro 2: Forma física preponderante representada pelos parâmetros de qualidade da água	17
Quadro 3: Origem dos constituintes principais das águas subterrâneas.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição total das populações urbana e rural no Brasil.....	20
Tabela 2: Escala de pH e pOH e alguns exemplos.	21
Tabela 3: Volume de água em circulação na terra - km ³ /hab x ano.	23
Tabela 4: Disponibilidade de água por habitante/região (1.000 m ³).....	23
Tabela 5: Qualidade de água no TSA de Phoenix, Arizona.	29
Tabela 6: Localização dos poços de monitoramento do lençol freático.	40
Tabela 7: Medição de nível de água e cargas hidráulicas.....	40
Tabela: 8: Parâmetros físico-químicos das amostras atuais dos poços piezométricos amostrados no pátio da Ex – CAEEB.....	42
Tabela: 9: Parâmetros físico-químicos das amostras atuais dos poços piezométricos amostrados no pátio de carvão.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA	15
2.2 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA.....	18
3 METODOLOGIA	32
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	32
3.2 LOCAL DO ESTUDO.....	32
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
4.1 POÇOS DO PÁTIO DA Ex - CAEEB – ALB.....	41
4.1.1 Poço Piezométrico ALB 01	43
4.1.2 Poço Piezométrico ALB 02	46
4.1.3 Poço Piezométrico ALB 03	48
4.1.4 Poço Piezométrico ALB 04	51
4.2 POÇOS DO PÁTIO DE CARVÃO – ALP.....	54
4.2.1 Poço Piezométrico ALP 01	55
4.2.1 Poço Piezométrico ALP 02	58
4.2.3 Poço Piezométrico ALP 03	60
5 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A vida no planeta Terra depende da água, sendo que todas as formas de vida existentes também dependem deste recurso natural. Durante muito tempo ouviu-se falar que a água era um bem finito, e o século XX traz a crise de escassez falta de água e o homem precisa discutir o futuro da água, pois sem este recurso a vida vai se tornar cada vez mais difícil.

Sendo que as principais fontes de poluição tem origem nas atividades humanas, como desmatamento excessivo, mineração e principalmente pelas atividades industriais, onde se utiliza água para a produção de bem de consumo, temos então a necessidade de preservar com qualidade esse bem valioso que a natureza nos oferece, aplicando uma legislação para sua proteção, pois o futuro equilíbrio do nosso planeta depende da preservação da água e de seus ciclos hidrológicos.

A ideia de que o Brasil pode afogar sua população com uma média anual de 36.000 m³ de água por habitante, é uma falsa impressão. A começar pelo fato de que 80% dessa água está na Amazônia, onde vivem apenas 5% da população brasileira. Já o Nordeste, por exemplo, com quase 1/3 da população, tem apenas 3,3% das disponibilidades hídricas do país (BRAGA et al, 2005).

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda localizado no município de Capivari de Baixo, Sul de Santa Catarina, iniciou suas atividades na década de 60 com o objetivo de queimar os rejeitos decorrentes do Lavador de Capivari. A operação do Lavador de Capivari ao mesmo tempo em que proporcionou desenvolvimento econômico e social para a região, gerou uma série de impactos ambientais, uma vez que o beneficiamento do carvão mineral formou depósitos de rejeitos de carvão (fração do material sem valor de venda), que constituíram pilhas com toneladas do resíduo, tornando-se foco de poluição do solo e da água.

Diante deste contexto, é realizado desde 1987 o monitoramento da água no lençol freático na área de influência do depósito de carvão da Eletrosul. Com a privatização desta, o monitoramento passou a ser realizado pela Tractebel Energia.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral avaliar a evolução temporal da qualidade da água do aquífero livre, comparando a situação antes e após a impermeabilização do depósito de carvão. Como objetivos específicos definiram-se:

- I) Levantar os dados de análise dos poços de monitoramento realizados nos últimos 7 anos com os parâmetros de pH, condutividade, acidez, ferro e sulfatos;
- II) Realizar duas campanhas de amostragem nos poços existentes;
- III) Acompanhar a realização das análises físico-química da água;
- IV) Realizar tratamento estatístico nos dados históricos e dos obtidos durante o período de estágio com a finalidade de verificar a tendência de melhoria na qualidade da água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA

A água encontra-se disponível em várias formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta, sendo encontrada principalmente no estado líquido, constituindo um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico. Todos os organismos necessitam de água para sobreviver, sendo a sua disponibilidade um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas, sendo assim é fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físicas e químicas adequadas para utilização pelos organismos, contendo assim substâncias essenciais à vida e estar isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos deletérios aos organismos que compõem as cadeias alimentares (BRAGA et al, 2005).

O autor cita ainda que, além dos problemas relacionados à disponibilidade da água, tais como escassez, estiagens e cheias, há também aqueles relacionados à qualidade da água.

A contaminação de mananciais impede, por exemplo, o seu uso para abastecimento humano, essa alteração da qualidade da água agrava o problema da escassez do seu reuso. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) estima-se que 25 milhões de pessoas no mundo morrem por ano em virtude de doenças transmitidas pela água, como cólera e diarreias. A (OMS) indica que nos países em desenvolvimento 70% da população rural e 25% da população urbana não dispõem de abastecimento adequado de água potável (BRAGA et al, 2005).

Para Telles (2007), as características da água derivam dos ambientes naturais e antrópicos onde se origina, percola ou fica estocada. “[...] a água sofre alterações em suas propriedades nas condições naturais do ciclo hidrológico, assim como manifesta características alteradas pelas ações diretas do homem [...]”, essa qualidade está diretamente ligada ao seu uso, desta forma quando se faz análise da água deve-se associar tal uso aos requisitos mínimos exigidos para cada tipo de aplicação (TELLES, 2007).

As impurezas da água podem estar nas formas dissolvidas ou em suspensão, a água possui cinco tipos básicos de contaminantes naturais, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Contaminantes naturais da água.

Parâmetros	Característica
Sólidos em suspensão	Silte, ferro precipitado, colóides, etc
Sais dissolvidos	Contaminantes iônicos tais como o sódio, cálcio, sulfato, etc.
Materiais orgânicos dissolvidos	Trihalometanos, ácidos húmicos e outros contaminantes não iônicos.
Microorganismos	Bactérias, vírus, cistos de protozoários, algas, fungos, etc.
Gases dissolvidos	Sulfeto de hidrogênio, metano, etc.

Fonte: TELLES, 2007.

Segundo Telles (2007) quando se analisa a qualidade da água, é de fundamental importância o reconhecimento de dois tópicos: os sólidos e os organismos presentes na água.

Com relação aos sólidos presentes na água o autor comenta que todos contaminantes da água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, sendo que estes podem se encontrar na forma de sólidos em suspensão, coloidais ou dissolvidos ou ainda serem classificados como sólidos orgânicos (voláteis) e inorgânicos (não voláteis). No Quadro 2 são destacadas as formas como as impurezas se encontram na água.

Quadro 2: Forma física preponderante representada pelos parâmetros de qualidade da água.

Característica	Parâmetro	Sólidos em suspensão	Sólidos dissolvidos	Gases dissolvidos
Física	Cor		X	
	Turbidez	X		
	Sabor e odor	X	X	X
Química	pH		X	X
	Alcalinidade		X	
	Acidez		X	X
	Dureza		X	
	Ferro e manganês	X	X	
	Cloretos		X	
	Nitrogênio	X	X	
	Fósforo	X	X	
	Oxigênio dissolvido			X
	Matéria orgânica	X	X	
	Metais pesados	X	X	
	Micropoluentes orgânicos		X	
Biológica	Organismos indicadores	X		
	Algas	X		
	Bactérias	X		

Fonte: HESPANHOL, 2003.

A impureza de natureza física (partículas sólidas suspensas ou em estado coloidal) afeta as características da água independentemente de sua natureza química ou biológica e propicia alterações na transparência e na cor (turbidez), podendo ser retirada através da precipitação (BRAGA, 2005).

A impureza de natureza química constitui-se de substâncias orgânicas (proteínas, gorduras, hidratos de carbono, fenóis e substâncias artificiais como detergentes e defensivos agrícolas) e inorgânicas solúveis. Os minerais mais agressivos são os nutrientes (nitrogênio e fósforo), enxofre, metais e compostos tóxicos (BRAGA, 2005).

A vida se apoia no comportamento anormal da água que é uma molécula simples e estranha e que pode ser considerado o líquido da vida, é a substância mais abundante da biosfera onde a encontramos em seus três estados, sólido, líquido e gasoso, sendo o componente majoritário dos seres vivos, podendo representar de 65% a 95% de massa da maior parte das formas vivas, possui extraordinárias propriedades físico-química que são responsáveis por sua importância biológica (PORTO, 1991).

A disponibilidade da água define a estrutura e funções de um ambiente responsável pela sobrevivência das plantas e animais assim como todas as substâncias em circulação no meio celular que constituem um ser vivo. Encontra-se em solução aquosa, desde os elementos minerais que procedentes do solo, percorrem as raízes e caule em direção às folhas, para a elaboração dos alimentos orgânicos, até a passagem dos alimentos elaborados, das mais variadas composições químicas, de uma para outra célula, de um para outro tecido, vegetal ou animal, no abastecimento de matéria e energia indispensáveis às funções vitais de nutrientes, reprodução e proteção do organismo (BRANCO, 1991).

O aumento da retirada da água tem significado para muitos países perdas substanciais e desequilíbrios no ciclo hidrológico, as retiradas para irrigação, para o abastecimento público e usos industriais sobrepujam a quantidade repostada pela precipitação e recarga, logo ocorre um desequilíbrio, que leva a falta de água. Isso pode ocorrer em águas superficiais e subterrâneas, dos 8.512.000 km² do território nacional podem armazenar um volume superior a 112.000 km³ de água subterrânea, essa colossal quantidade de água poderia abastecer a população do planeta durante 250 anos, mas infelizmente nem toda a água subterrânea pode ser extraída, tampouco a sua distribuição é equitativa em todo o País, os diferentes tipos de rochas tem diferentes capacidades de armazenar e transmitir água, e em certas áreas, o regime climático limita a recarga dos aquíferos, reduzindo a produção (BRAGA et al, 2005).

2.2 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

A chuva é uma fonte de água que qualquer pessoa pode conseguir com facilidade, não vale a pena jogá-la na rede de drenagem. O seu armazenamento e infiltração no solo faz parte da medida contra enchentes, aproveitar a água da chuva

será uma das medidas contra o racionamento, entende-se que, o aproveitamento da água da chuva é uma prescrição para a crise do mundo (BRASIL, 2007).

De acordo com Brasil (2007) a água da chuva quando cai leva as partículas em suspensão na atmosfera. A chuva quando cai nas áreas urbanas contém substâncias prejudiciais, como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio emitidos por automóveis e fábricas, além disso, sujeiras e fuligens contendo tais substâncias que são prejudiciais estão acumuladas ou fixas nos telhados, utilizados para a captação, e causam a contaminação da água da chuva, deve-se desprezar o primeiro milímetro da chuva, ou seja, só se deve utilizar a água após o nível de precipitação superar 1mm, dessa maneira a coleta deve ser realizada desprezando-se a água que cai no início da chuva.

Devido a estas variantes, quando a precipitação ocorre em locais poluídos à qualidade desta água é equiparada, pela legislação vigente brasileira, à qualidade de despejos exigindo, desta forma, os mesmo cuidados. Geralmente, a água flui dos telhados, e dos pisos, para as bocas-de-lobo carreando todo tipo de impurezas (dissolvidas, suspensas ou simplesmente arrastadas mecanicamente), para as baixadas ou, quando existe um sistema de drenagem implantado, para um córrego que deságua no rio, causando um impacto que, embora possa ser controlado, caracteriza o que se convencionou chamar de poluição difusa (MACEDO, 2004).

Ao longo do seu percurso, a água pode sofrer um processo natural de diluição e autodepuração, dependendo da concentração dos poluentes nela encontrados, porém, em tempo variável e indefinido para a sua recuperação, em pesquisa da Universidade da Malásia, evidenciou-se que, ao iniciar a chuva, somente os primeiros volumes de água carregam ácidos, microorganismos e outros poluentes atmosféricos, e, normalmente, com pouco tempo de precipitação a chuva já adquire características de água destilada, que pode ser coletada em reservatórios fechados (MACEDO, 2004).

Sabe-se que a chamada chuva ácida é aquela cujo pH é menor de 5,6. A chuva da cidade de São Paulo possui, em média, pH menor que 4,5, no aproveitamento desta água, através dos telhados, agravam-se os riscos de contaminação com as fezes de passarinhos, pombas e outros animais, bem como poeiras, folhas de árvores e os próprios materiais de confecção e revestimento dos telhados, fibrocimentos e tintas (MACHADO, 2004).

As fezes contribuem com bactérias e parasitas gastrointestinais, o chumbo e o arsênico também podem se apresentar entre os contaminantes. Por esse motivo, é aconselhável que a água de lavagem dos telhados, ou a primeira água, seja descartada (40 litros para cada 100m² de área de telhado). No mais, em geral, a água de chuva é mole, sendo apropriada para processos industriais, além da irrigação e utilização em piscinas (MACHADO, 2004).

O crescimento mundial é estimado em 43 milhões de pessoas/ano, determinando um acréscimo de 1 bilhão de pessoas em 23 anos, o maior percentual desse crescimento se dá nos países “em desenvolvimento”, que geralmente possuem infraestrutura urbana deficiente, sujeitos à degradação ambiental e a problemas de saúde pública. Também é preocupante a progressiva defasagem entre o crescimento populacional das cidades e a necessária infraestrutura urbana para seu atendimento. Na Tabela 1 constata-se a crescente concentração da população brasileira nas áreas urbanas, de 75,6% (1991) em comparação à média mundial de 40% (BRAGA et al, 2005).

Tabela 1: Distribuição total das populações urbana e rural no Brasil.

Ano	População urbana (% do total)	População rural (% do total)
1940	31,6	68,4
1950	36,8	63,2
1960	46,5	53,5
1970	56,1	43,9
1980	68,4	31,6
1991	75,6	24,4

Fonte: BRAGA et al, 2005.

A Tabela 2 apresenta os valores de pH e pOH de alguns indicadores naturais e industrializados.

Tabela 2: Escala de pH e pOH e alguns exemplos.

[H ⁺]	[OH ⁻]		pH	EXEMPLOS
10 ⁰ (=1)	10 ⁻¹⁴		0	
10 ⁻¹	10 ⁻¹³		1	Solução ácida de baterias Solução de ácido muriático 1M
10 ⁻²	10 ⁻¹²		2	Suco de limão (pH = 2,2) Suco gástrico (pH = 1 a 3)
10 ⁻³	10 ⁻¹¹		3	Suco de laranja (pH = 3,5) Vinagre (pH = 2,5 a 2,8)
10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰		4	Refrigerante (pH = 2,5 a 4,0)
10 ⁻⁵	10 ⁻⁹		5	Café e Suco de tomate Chuva ácida (pH < 5,6) Chuva normal (pH = 6,2)
10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	ACIDEZ CRESCE	6	Vinho (pH = 5,0 a 7,5) Leite (pH = 6,3 a 6,7) Urina e Saliva
10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	NEUTRO	7	Água pura Lágrima (pH = 7,3) Sangue (pH = 7,3 a 7,5)
10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	ACIDEZ DIMINUI	8	Clara de ovo, Xampu Água do mar (pH = 7,8 a 8,3)
10 ⁻⁹	10 ⁻⁵		9	
10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴		10	Leite de magnésia (pH = 10,5) Sabão líquido
10 ⁻¹¹	10 ⁻³		11	Água sanitária (pH = 10,5 a 11,5) Produtos de limpeza com amônia
10 ⁻¹²	10 ⁻²		12	
10 ⁻¹³	10 ⁻¹		13	Solução 0,1M de NaOH Limpa forno
10 ⁻¹⁴	10 ⁰ (=1)			14

Fonte: MACÉDO, 2004.

O aproveitamento da água pluvial tem importante destaque para usos não potáveis nas áreas urbanas, tais como rega de jardins públicos, lavagem de passeios, descarga de vasos sanitários, além das aplicações industriais. No entanto, quando a potabilidade é requisitada, este recurso deve ser bem avaliado. No Brasil, por exemplo, as vantagens hidrológicas naturais não justificam sua utilização para fins potáveis, excetuando casos extremos de algumas partes do país onde não há outra opção (FONSECA, 2004).

O reaproveitamento de água servida nas residências e a captação de água de chuva já são muito aplicados na Califórnia, sendo prevista para o século XXI, a falta de água para 1/3 da população mundial (HESPANHOL, 2003).

Giampá (2006) esclarece que parte da água que cai sobre a superfície terrestre, percola e enche os interstícios até reaparecer á superfície para se juntar a um rio, a um lago ou ao mar. Para Tucci (1997), o estrato subterrâneo saturado com água é chamado de aquífero, sendo assim a superfície da água subterrânea exposta á pressão atmosférica, abaixo da superfície terrestre, é conhecida como lençol freático, a água subterrânea ocorre mais comumente nos estratos porosos saturados e nas rochas fendidas ou fissuradas, também são raros os rios subterrâneos fluindo sob condições de canal aberto e são possíveis de ocorrer unicamente em regiões calcárias.

A superfície terrestre ao receber a precipitação pluvial interage com o solo através da infiltração, do escoamento superficial e da percolação. Estes contribuem para as recargas hídricas, tanto em forma de alimentação dos fluxos de água subterrâneos como em descargas nos reservatórios superficiais, além da umidade dos solos e da atmosfera. Considera-se, atualmente, que a quantidade de água total na Terra seja de 1.386 milhões de km³, onde 97,5% do volume total formam os oceanos e os mares e somente 2,5% constituem-se de água doce, este volume tem permanecido aproximadamente constante durante os últimos 500 milhões de anos. Vale ressaltar, todavia, que as quantidades estocadas nos diferentes reservatórios individuais da Terra variam substancialmente ao longo desse período de acordo com a Tabela 3 (MACEDO, 2002).

Tabela 3: Volume de água em circulação na terra - km³/hab x ano.

Precipitação nos oceanos	458.000
Precipitação nos continentes	119.000
Descarga total dos rios	43.000
Volume vapor atmosférico	13.000
Evaporação dos oceanos	503.000
Evaporação dos continentes	74.200
Contribuição dos fluxos subterrâneos às descargas dos rios	43.000

Fonte: MACEDO, 2002.

Isto vem chamando a atenção dos especialistas e estudiosos para a “crise da água”, principalmente porque estatisticamente é possível que este volume se esgote em 30 ou 40 anos, considerando o seu uso por uma população mundial de 5 a 6 bilhões de habitantes (Tabela 4).

Tabela 4: Disponibilidade de água por habitante/região (1.000 m³).

Região	1950	1960	1970	1980	2000
África	20,6	16,5	12,7	9,4	5,1
Ásia	9,6	7,9	6,1	5,1	3,3
América Latina	105,0	80,2	61,7	48,8	28,3
Europa	5,9	5,4	4,9	4,4	4,1
América do Norte	37,2	30,2	25,2	21,3	17,5
Total	178,3	140,2	110,6	89	58,3

Fonte: BRAGA et al , 2005.

O lençol freático sobe e desce de acordo com o volume da precipitação, sendo que raramente é estático ou horizontal, a sua superfície se inclina no sentido do fluxo subterrâneo no rumo da saída para a superfície (BAIRD, 2002).

A água subterrânea corresponde a 60% do consumo de água potável no Brasil (TRESSOLDI, 2002), e na região metropolitana de São Paulo a água subterrânea contribui com 13% da água de abastecimento (TRESSOLDI, 2002).

As águas subterrâneas ocorrem preenchendo os poros, fraturas, fissuras e outras formas de vazios das rochas. Esses elementos têm dimensões milimétricas, porém ocorrem em tão grande número que estocam aproximadamente 97% das reservas de água doce que são encontradas no estado líquido nos domínios dos

continentes. Os 3% restantes formam os rios, lagos e constituem a umidade do solo que dá suporte ao desenvolvimento da biomassa. Certamente, pelo fato de ocorrer escondido no subsolo, os mananciais de água subterrânea têm sido pouco considerados pelos interessados no negócio de água no mundo, em geral, e no Brasil, em particular (BRASIL, 2007).

Praticamente todas as atividades humanas no mundo moderno apresentam algum tipo de risco que a tornem fontes de contaminação de águas subterrâneas. Vazamento em dutos, tanques, falhas em processos industriais, problemas no tratamento de efluentes, atividade de mineração, disposição inadequada de resíduos, uso indevido de defensivos agrícolas e acidentes de transporte de substâncias químicas são as principais fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas (BRASIL, 2007).

Dependendo da extensão e localização das fontes, estas podem ser pontuais quando são de pequena escala e facilmente identificáveis; dispersas ou difusas quando são formadas por diversas fontes menores caoticamente distribuídas. Em relação a escala temporal, estas fontes podem ser classificadas em permanentes, intermitentes e acidentais (BAIRD, 2002).

Os compostos contaminantes das águas subterrâneas são classificados nos seguintes tipos principais: orgânicos aromáticos, hidrocarbonetos oxigenados, hidrocarbonetos com elementos específicos, metais, não metais, microorganismos e radionuclídeos (TRESSOLDI, 2002).

Segundo Macêdo (2002) alguns íons, cloretos, sulfatos, sódio, ferro, manganês assim como radionucleícos podem estar associados a causas naturais, pela lixiviação e solubilização dos minerais constituintes das rochas. As altas concentrações de elementos maiores (Cálcio, Magnésio e Sódio), compostos iônicos na forma de carbonatos, sulfatos, sulfitos e fluoretos, salinizam as águas tornando-as impróprias ao consumo humano e uso industrial.

A atividade agrícola intensiva com o uso indiscriminado de fertilizantes e defensivos agrícolas pode comprometer a qualidade das águas. Os fertilizantes inorgânicos aumentam as concentrações de sais nos solos que por sua vez são lixiviados atingindo os níveis freáticos e drenagens (GIAMPÁ, 2006).

As características litológicas do meio aquífero influenciam, de forma considerável, a qualidade química da água subterrânea. A solubilização das rochas cristalinas é difícil, pois elas são constituídas por silicatos, relativamente resistentes

ao intemperismo e menor do que a das rochas sedimentares. Deve-se ter em conta, também, que a grande fragmentação dos constituintes minerais das rochas sedimentares é fator de incremento das superfícies de contato rocha-água, portanto de maior solubilização (BRASIL, 2007).

As características gerais das águas subterrâneas dos domínios de rochas cristalinas e sedimentares, em diferentes litologias, principalmente em condições de clima temperado, têm sido apresentadas em alguns textos. Esses dados devem ser considerados com cautela quando utilizados como referência para condições de clima tropical. Embora as propriedades químicas das águas subterrâneas dependam, principalmente, dos tipos de rocha que a água percola, águas associadas a um mesmo tipo de rocha podem apresentar características diferentes de uma região para outra, em função do clima e da fonte de recarga (GIAMPÁ, 2006). As diferentes origens dos constituintes das águas subterrâneas são mostradas no Quadro 3.

Quadro 3: Origem dos constituintes principais das águas subterrâneas.

Componente	Origem
Na ⁺	Dissolução do NaCl; poluição; intemperismo de plagioclásio; chuvas.
K ⁺	Intemperismo e K-feldspato; degradação da biomassa; dissolução de aerossóis trapeados.
Mg ²⁺	Intemperismo de anfibólio, piroxênio, biotita, clorita, dolomita, olivina; chuvas.
Ca ²⁺	Intemperismo da calcita, plagioclásio, dolomita; dissolução de aerossóis trapeados; degradação da biomassa.
HCO ₃ ⁻	Intemperismo da calcita, dolomita e silicatos.
SO ₄ ²⁻	Intemperismo da pirita; poluição; dissolução do CaSO ₄ ; chuvas.
Cl ⁻	Dissolução do NaCl; poluição; chuvas.
H ₄ SiO ₄	Intemperismo de silicatos.

Fonte: BAIRD, 2002.

Para Brasil (2007) os sedimentos e rochas sedimentares são formados pela deposição natural de fragmentos de rochas ou de minerais em ambiente aquático natural, tais como rios, lagos, oceanos, desertos, praias e estuários.

Nesses processos de deposição os grãos deixam espaços vazios, poros ou intersticial entre si, resultando no tipo de porosidade/permeabilidade dita intersticial, intergranular ou primaria.

Esses elementos têm dimensões milimétricas, porém são tão grande número que sedimentos e rochas sedimentares constituem o aquífero, relativamente, mais importantes de uma área. Como resultado dos processos de solidificação do magma, ou das pressões e temperaturas a que foram submetidos os corpos rochosos no interior da crosta terrestre, as rochas cristalinas e metamórficas são relativamente compactas (BRASIL, 2007).

Em consequência, apresentam porosidade/permeabilidade primaria ou intersticial praticamente nula. Entretanto, sob o efeito dos esforços tectônicos a que foram submetidas, as rochas cristalinas, metamórficas e compactas, em geral, apresentam rupturas tais como falhas, fraturas, fissuras e outras formas de rachaduras, que constituem o tipo de porosidade/permeabilidade dita secundaria ou fissural. Os calcários e dolomitos são formados por precipitação química a partir de soluções aquosas concentradas, ou pela deposição de carapaças de organismos marinhos. Essas rochas têm um comportamento hidrogeológico especial, na medida em que os seus vazios porosidade e permeabilidade primária ou secundária foram ampliados pelos processos de dissolução cárstica, isto é, engendradas pela ação das águas de infiltração (BRASIL, 2007).

Quando determinada área é desenvolvida para uso humano, muitos sistemas que retêm a água do ciclo hidrológico são removidos, há aumento rápido do escoamento urbano devido à pavimentação e também pela remoção de vegetação que é fundamental na recarga dos aquíferos (PORTO et al, 1991).

A resolução 396/08 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Com essa legislação, as águas subterrâneas, assim como já acontece com as águas de superfície, passam a ser classificadas de acordo com suas características hidrogeoquímicas naturais e seus níveis de poluição.

A referida Resolução em seu Artigo 3º classifica as águas subterrâneas em:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de

proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

A classificação visa, entre outros fins, prevenir e controlar a poluição e promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas que, uma vez contaminadas, demandam processos lentos e onerosos para recuperação, como exemplo de água subterrânea temos o aquífero, que são formações hidrogeológicas, armazenam e transmitem grandes quantidades de água.

Um dos mais importantes aquíferos do mundo é o Guarani, que passa pelos territórios do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, possuindo uma área estimada em 1,2 milhão de km² e abriga um volume estimado de 45.000 km³ de água (BRAGA et al, 2005).

O Brasil possui um grande volume de água doce em reservatórios subterrâneos, sendo que uma boa parte se localiza em zonas de fácil acesso e, quando exige tecnologias de perfuração, são de custo acessível, esta facilidade estimula a desenfreada exploração dos mananciais como se fossem particulares

(comercial, industrial, condomínios e até mesmo em residências). A água dos lençóis está sendo extraída em volumes cada vez mais crescentes, fazendo com que cresça na mesma proporção, a preocupação com a recarga destes aquíferos (TELLES 2007).

Os reservatórios hídricos naturais, encontrados em diversas profundidades, se formam através do ciclo hidrológico, em condições ambientais favoráveis (solo, topografia, clima, etc) e tendo como principal fator de recarga natural, as mesmas condições hidrogeológicas de sua formação, em locais conhecidos como “zona” ou “área de recarga”, e a provável contaminação destes reservatórios ocorre quando a qualidade da água de recarga direta, ou seja, a água de precipitação ou de escoamento que promove a infiltração no solo está comprometida a ponto de contaminar o solo e o lençol freático (TELLES 2007).

Para os locais onde a captação de água excede a condição de recarga natural dos lençóis, foram desenvolvidas tecnologias de compensação para este aquífero, aumentando a disponibilidade de água através de soluções de efluentes de estações de tratamento, e para desenvolver um projeto de recarga artificial, confiável e sustentável, é necessário que a qualidade do efluente a ser lançado ao solo esteja de acordo com os padrões adequados. Com esta finalidade, um tratamento adicional dos efluentes controla a contaminação da água e do solo, evita a penetração (intrusão) de água salina em aquífero costeiro, evita o rebaixamento superficial do solo estrutural do aquífero (subsistência do solo) e pode ainda aumentar a disponibilidade da água para uso imediato ou futuro (PORTO et al, 1991).

Por outro lado, as próprias características do efluente a ser lançado, quando adequadamente empregado à recarga de aquífero, favorecem a biodegradação da matéria orgânica presente, e sua infiltração e percolação no solo equivalente a um tratamento auxiliar, podendo atingir níveis de qualidade equivalentes ao tratamento avançado, dependendo das condições hidrogeológicas locais (PORTO et al, 1991).

Hespanhol (2003) descrevem dois métodos de recarga artificial do aquífero. Os poços de injeção consistem na construção de poços projetados especificamente para esta finalidade, estabelecendo-se desde a superfície e através da camada insaturada até o aquífero. Resultam em custos significativamente elevados tanto para a construção de poço, como aplicação do tratamento necessário à proteção da qualidade de água do aquífero.

Os autores destacam também o método de infiltração superficial utilizando bacias ou canais. A aplicação deste método depende das condições hidrogeológicas locais, e podem proporcionar níveis de tratamento significativo, devido ao movimento dos efluentes através do solo, da camada insaturada e no próprio aquífero.

Este é o sistema designado Tratamento Solo Aquífero (TSA), que vem sendo empregado com sucesso em diversas partes do mundo como na Região do Dan em Israel, Chipre, Estados Unidos nos estados de Arizona, Califórnia, Nevada, entre outros (HESPANHOL, 2003).

Na Tabela 5 são apresentados resultados obtidos no sistema TSA de Phoenix, no estado americano de Arizona, cuja bacia de infiltração foi construída no leito do Salt River. Dados do sistema TSA para reuso agrícola, que opera na Região do Dan, comprovam a elevada eficiência na remoção de compostos e íons específicos, prejudiciais às culturas irrigadas com a água bombeada do aquífero, alimentado artificialmente com o esgoto tratado.

Tabela 5: Qualidade de água no TSA de Phoenix, Arizona.

Variáveis	Efluente secundário (mg/L)	Amostras do aquífero (mg/L)
Sólidos dissolvidos totais	750	790
Sólidos suspensos	11	1
Amônia	16	0,1
Nitrato	0,5	5,3
Nitrogênio orgânico	1,5	0,1
Fosfato	5,5	0,4
Fluoreto	1,2	0,7
Boro	0,6	0,6
DBO	12	1
Carbono Orgânico Total	12	1,9
Zinco	0,19	0,03
Cobre	0,12	0,016
Cádmio	0,008	0,007
Chumbo	0,082	0,066
Coliformes fecais em 100mL e após cloração	3500	0,3

Fonte: HESPANHOL, 2003.

Os sistemas TSA têm em média, custos 40% inferiores aos de sistemas de tratamento convencionais equivalentes que operam na superfície, e proporcionam níveis de tratamento elevados em termos de remoção de compostos orgânicos (DBO, DQO, COT), organismos patogênicos (coliformes fecais e vírus) e compostos inorgânicos (nitrogênio e metais) (HESPANHOL, 2003).

Algumas condições hidrogeológicas são favoráveis à recarga artificial com esgoto doméstico tratado através do sistema TSA, entre estas estão (HESPANHOL, 2003):

- Solos permeáveis, com taxas de infiltração razoáveis;
- Camada insaturada com espessura suficiente para estocar o volume de recarga necessário;
- Ausência de camadas impermeáveis que causem excessiva acumulação dos volumes infiltrados antes de atingir o aquífero;
- Distribuição granulométrica na camada insaturada superior a prática do sistema TSA;
- Coeficiente de transmissividade que não causem relação excessiva de água no aquífero;
- Aquífero não confinado;

De forma a dar suporte ao projeto de recarga, são aplicados alguns parâmetros locais, resumindo-se basicamente em:

- Tipos de solo;
- Perfil litológico da camada insaturada e do aquífero;
- Níveis de água, gradiente regional, locação e volumes específicos da recarga natural;
- Características de poços e bombeamentos existentes;
- Parâmetros do aquífero (transmissividade e vazão específica);
- Característica de qualidade da água do aquífero: poluição, existente ou potencial, oriunda de aterros ou qualquer outra fonte e fatores contaminantes do solo, que possam ser lixiviados durante a recarga.

Portanto, de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/08 para garantir a qualidade da água dentro de sua classificação, os órgãos ambientais devem promover a implementação de Áreas de Proteção de Aquífero e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento. A resolução também prevê a criação de

Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, a serem implementadas em caráter excepcional e temporário quando a captação em determinados corpos de água representar risco para a saúde humana, para ecossistemas ou para os próprios aquíferos.

Em seu ciclo hidrológico a água se renova através de sistemas naturais como um recurso limpo e seguro. Entretanto, a água quando poluída pode ser tratada e readquirir seus benefícios diversos, a qualidade da água utilizada e seu objetivo específico de reuso estabelecem os níveis de tratamento recomendado, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de operação e manutenção associados (HESPANHOL, 2003).

“O impacto da atividade humana sobre o ambiente é hoje um dos assuntos mais discutidos no mundo, e foi a partir da Revolução Industrial com o uso dos combustíveis fósseis, que a humanidade se transformou no principal fator de alteração geológica do planeta” (UFRGS, 2000 p.673).

Como esse aumento da atividade está intimamente associado ao crescimento da demanda energética, essa crescente necessidade de energia elétrica, faz com que maiores quantidades de combustíveis fósseis sejam explorados e consumidos, assim o carvão mineral queimado em caldeiras de usinas termelétricas mostra-se como uma forma de suprimento desta carência energética. O aumento do consumo de carvão mineral traz, contudo, problemas de ordem ambiental decorrentes da grande quantidade de cinzas geradas e principalmente da presença de pirita (FeS_2) nele contido, sendo que a oxidação desses rejeitos piritosos de carvão mineral estocados em pátios a céu aberto, e sem uma impermeabilização adequada do solo, tornam-se extremamente nocivo ao meio ambiente devido a formação da drenagem ácida, responsável pelo comprometimento da qualidade das águas subterrâneas e dos recursos hídricos locais (UFRGS, 2000 p.641).

A mineração do carvão pode alterar as concentrações de metais em todos os compartimentos do ecossistema, e nos componentes biológicos que regulam os processos de decomposição, em virtude de uma baixa biomassa bacteriana e de fungos causados pela presença das concentrações elevadas de metais pesados. As baixas condições de pH destas áreas contribuem para a crescente solubilização de numerosos elementos-traço do substrato, particularmente metais, e são fatores limitantes no estabelecimento da vegetação natural ou introduzida nestes habitats (UFRGS, 2000).

METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A abordagem metodológica adotada para este estudo foi quantitativa, uma vez que o estudo pretendeu aprofundar-se nas questões referentes ao tema.

Para Oliveira (2002, p.115), o método quantitativo,

[...] conforme o próprio termo indica, significa quantificar opiniões, dados, nas formas de coleta de informações, assim como também com o emprego de recursos e técnicas estatísticas desde as mais simples, como porcentagem, média, moda, mediana e desvio padrão, até as de uso mais complexo, como coeficiente de correlação, análise de regressão etc., normalmente utilizados em defesas de teses.

3.2 LOCAL DO ESTUDO

Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade avaliar a evolução temporal da qualidade da água do aquífero livre, comparando a situação antes e após a impermeabilização do depósito de carvão mineral do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e recuperação da área da Ex-CAEEB, em Capivari de Baixo, sul da Santa Catarina Figura 01.

Figura 1: Localização dos estados do Brasil, Santa Catarina e destacando o município de Capivari de Baixo.



Fonte: Google Maps, 2012.

Com população de 21.674 habitantes distribuídos em uma área aproximada de 53 km², o município apresenta altitude média de 12m acima do nível do mar, clima mesotérmico úmido, com verão quente e temperatura média de 19,5°C (CAPIVARI DE BAIXO, 2012; IBGE, 2010).

Até 1941, o local onde hoje se encontra Capivari de Baixo era uma região agrícola. Com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) houve um aumento considerável da população, sobretudo a partir de 1945 quando esta entrou em operação (CAPIVARI DE BAIXO, 2012).

Durante a década de 1960, devido à necessidade de se gerar energia elétrica para região, foram construídas as primeiras unidades do Complexo

Termelétrico Jorge Lacerda no município de Capivari de Baixo, que utiliza como matéria-prima o carvão mineral catarinense.

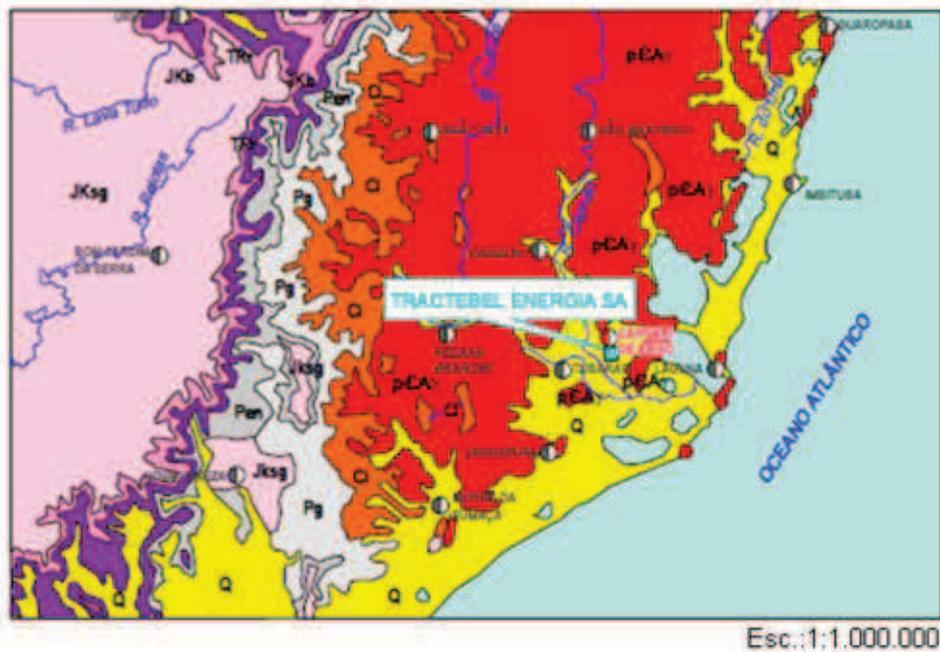
Naquela época, uma das empresas que operava na região foi a Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras (CAEEB), responsável por receber o carvão mineral extraído das minas localizadas na região de Criciúma, Urussanga e Lauro Muller, e vendê-lo para as usinas termelétricas.

O desenvolvimento dessa atividade gerou uma série de impactos ambientais sobre o solo e a água, uma vez que consistia em manter no local, os estoques reguladores de carvão.

Esta situação gerou em um primeiro momento, a contaminação do aquífero superior sedimentar, onde a circulação das águas subterrâneas ocorre de forma preferencial através de porosidade granular primária. A drenagem mais próxima do local afetado trata-se do rio Capivari, situado a noroeste, distante cerca de 600m da área de estudo. Esse rio deságua no rio Tubarão que se encontra um pouco mais distante, cerca de 900m. Esses rios localizados nas proximidades do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda constituem a área de descarga dos fluxos subterrâneos do aquífero freático da área em estudo.

Geologicamente sobre esta área encontram-se sedimentos aluvionares recentes e inconsolidados, sílticos, arenosos e argilosos, com cascalhos, seixos e matacões de idade quaternária (DNPM, 2001). A Figura 2 mostra o mapa geológico regional.

Figura 2: Mapa geológico regional.



LEGENDA

QUATERNÁRIO

GRUPO PATOS

Q Depósitos recentes: sedimentos inconsolidados arenosos, silteos e argilosos; seixos, cascalhos e matações.

JURO - CRETÁCEO

GRUPO SÃO BENTO

JKsg Formação Serra Geral: rochas básicas relacionadas a vulcanismo fissural, diques e sills diabásicos.

JKb Formação Botucatu: arenitos quartzosos eólicos com estratificação cruzada.

TRIÁSSICO

TR Sub - Grupo do Rio do Rastro (Formações Santa Maria e Rosário do Sul): siltitos, siltitos arenosos e arenitos silteos, conglomerados intraformacionais e lamitos vermelhos.

PERMIANO/ CARBONÍFERO SUPERIOR

GRUPO PASSA DOIS

Pen Sub - Grupo Estrada Nova: folhelhos silteos, arenitos finos, siltitos, leitos e nódulos de calcário, Quartzitos

GRUPO TUBARÃO

Pg Sub - Grupo Guatá: siltitos areno - argilosos com lentes de arenitos.

O Formação Itararé: drifts, varvitos com seixos pingados, tilitos, diamictitos, arenitos conglomeráticos, siltitos, folhelhos carbonosos, ritmitos.

PRÉ - CAMBRIANO A

GRUPO PEDRAS GRANDES (SC)

pEA Granitos intrusivos: Quartzito - monzonito Morro da Fumaça; Rio Chicão; Imaru; Palmeira do Meio.

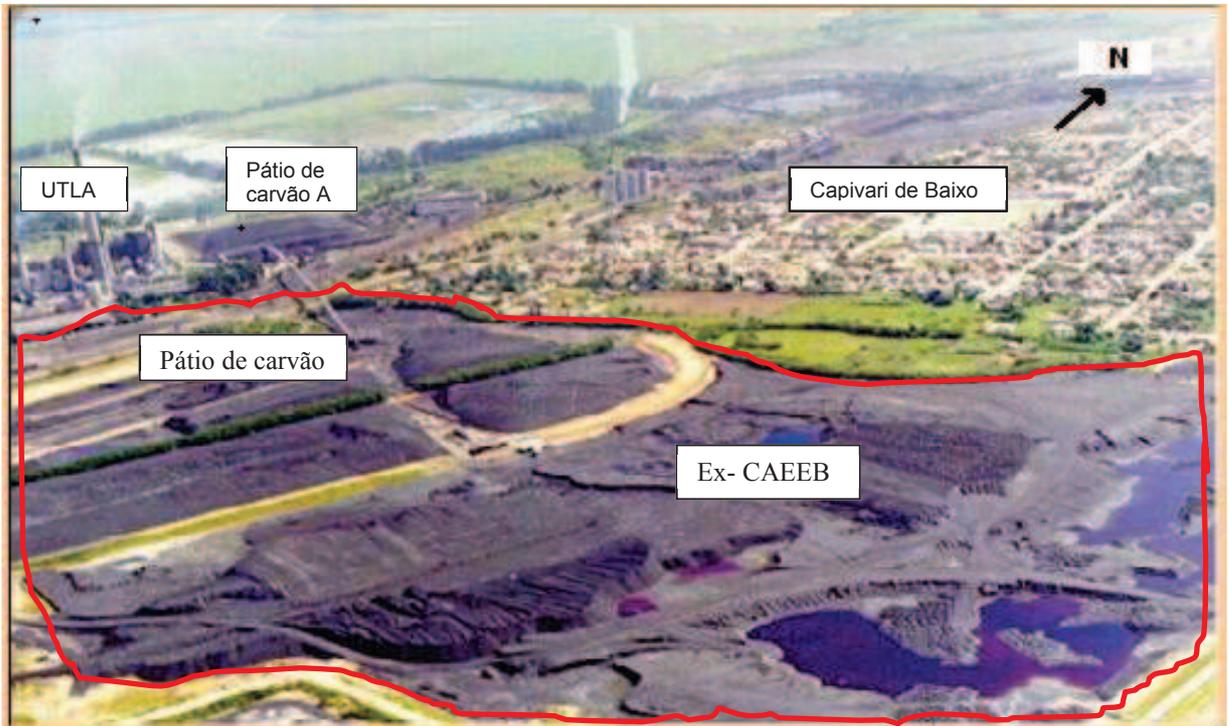
Fonte: DNPM Carta geológica do Brasil ao Milionésimo, 2001.

Em 1992 a CAEEB foi extinta e suas atribuições passaram a ser de responsabilidade da ELETROSUL. Com as atribuições foram também repassados à ELETROSUL, o passivo ambiental daquela empresa, uma vez que toda área da Ex-CAEEB passou a fazer parte do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

O monitoramento da água no lençol freático na área de influência do depósito de carvão mineral é efetuado desde 1987. Com a privatização o monitoramento passou a ser realizado pela Tractebel Energia, que conta com 07 poços de monitoramento nessa área de estudo, cuja frequência de amostragem é quinzenal.

Embora não se tenha exigência formal dos órgãos ambientais, a Tractebel Energia reduziu de 10 hectares para 5,5 hectares as áreas de depósito do carvão mineral que abastecem as usinas A, B e C do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. A Figura 3 mostra destacando em vermelho a situação da área de estudo no ano de 1992.

Figura 3: Vista geral da área de estudo no ano de 1992.



Fonte: Acervo da Tractebel Energia, 2012.

A recuperação da área ocorreu com a retirada do carvão mineral, raspagem do solo, recobrimento com argila e posterior reflorestamento para

instalação do Parque Ambiental Jorge Lacerda. Para acompanhamento das condições da água subterrânea foram implantados 7 poços de monitoramento. A Figura 4 mostra destacando em vermelho a situação da área de estudo e a localização dos poços.

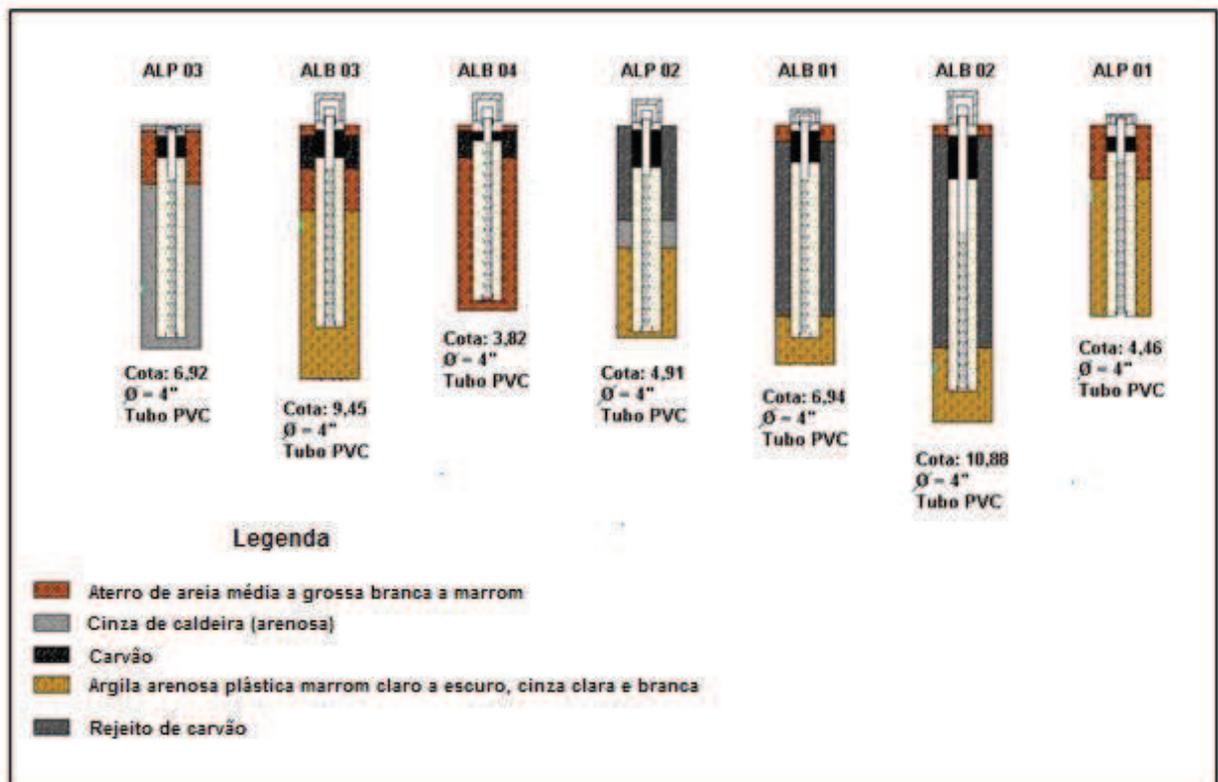
Figura 4: Localização dos poços na área de estudo.



Fonte: Google Earth, 2012.

A Figura 05 mostra o perfil construtivo e litológico dos 7 poços de monitoramento estudados.

Figura 5: Perfis construtivos e litológicos dos poços de monitoramento localizados na área de influência de estudo.



Fonte: Acervo Tractebel Energia, 2012.

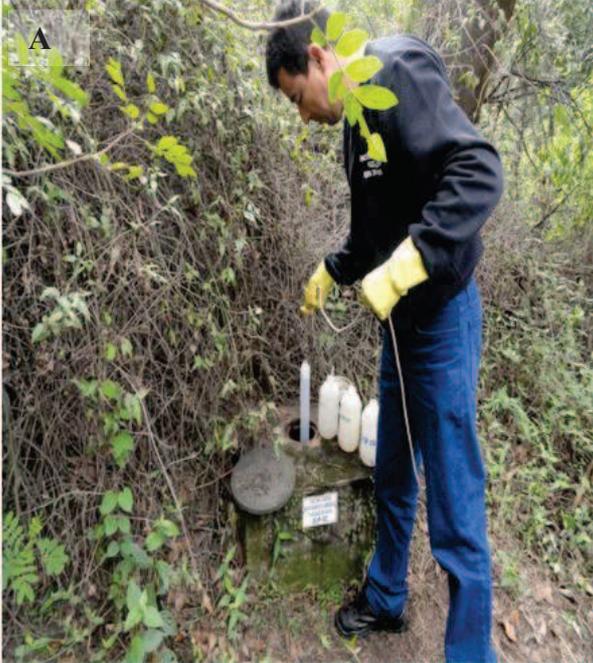
Para complementar os dados históricos resgatados nos arquivos da Tractebel, foram realizadas duas campanhas amostrais nos 7 poços de monitoramento. As análises físico-químicas foram realizadas conforme determina o Standard Methods for Examination of the Water e Wastewater, 20ª edição. A amostragem seguiu as recomendações da Norma Técnica da CETESB nº 6010 de 1988.

Os poços de monitoramento foram esvaziados 24 horas antes da amostragem, uma vez que a água parada no poço pode não ser representativa da qualidade do aquífero. O procedimento de esgotamento deve assegurar que toda água estagnada no poço e no pré-filtro seja substituída por água de formação. A operação deve permitir o rebaixamento do nível de água acima do topo do filtro para assegurar que a água se mova ascendentemente no mesmo (CETESB, 1988).

A fim de reduzir ao mínimo as alterações químicas e físicas durante o processo de coleta das amostras nos poços piezométricos, foram utilizados amostradores descartáveis, tipo bailer (Figura 6A e 6B). Estes amostradores trabalham com uma vazão de 500 mililitros por minuto.

Figura 6: Amostragem nos poços de monitoramento com auxílio de bailler.

A) amostragem no poço ALB 01



B) amostragem no poço ALP 02



Fonte: Do Autor, 2012.

Os dados foram armazenados em planilha Excel e representados em gráficos. Os resultados comparados aos valores recomendados pela resolução do CONAMA 396/2008.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O levantamento das coordenadas geográficas dos poços piezométricos localizados na área de estudo foi obtido com a utilização de equipamento GPS (Global Positioning System) da Garmim, e os resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Localização dos poços de monitoramento do lençol freático.

Área	Poço	Coordenadas Geográficas (Graus)	
		Sul	Oeste
Bacia de cinza	ALB 01	28.46107°	48.95436°
	ALB 02	28.45626°	48.95384°
	ALB 03	28.45982°	48.95804°
	ALB 04	28.45515°	48.95715°
Pátio de carvão	ALP 01	28.45291°	48.96264°
	ALP 02	28.45355°	48.96655°
	ALP 03	28.45615°	48.96680°

Fonte: DO AUTOR, 2012.

As medições dos níveis de água (NA) dos poços piezométricos localizados na área de estudo foram obtidas com equipamento Solinst-Interface Meter, e os resultados encontram-se na Tabela 7, e os valores de carga hidráulica do aquífero freático da área de estudo, obtidos a partir das cotas topográficas.

Tabela 7: Medição de nível de água e cargas hidráulicas.

Área	Poço	Cota Topográfica (m)	Nível de Água (m)	Carga Hidráulica (m)
Bacia de cinza	ALB 01	6,94	1,99	4,95
	ALB 02	10,88	4,93	5,95
	ALB 03	9,45	2,80	6,65
	ALB 04	3,82	1,64	2,18
Pátio de carvão	ALP 01	4,46	1,46	3,00
	ALP 02	4,91	1,98	2,93
	ALP 03	6,92	2,46	4,46

Fonte: DO AUTOR (profundidade do NA indicada em referência à boca do poço), 2012.

A análise e discussão dos resultados basearam-se nos dados encontrados em relação aos parâmetros da qualidade da água nos últimos sete anos. Foram realizadas duas amostragem nos poços correspondentes com intervalo de dois meses durante o período de estágio.

A comparação da qualidade da água estudadas nos 4 poços piezométricos da Ex-CAEEB (ALB) se encontram nas Figuras 7 a 26.

Os parâmetros analisados no presente trabalho tanto na amostra histórica como nas amostras atuais foram: pH, condutividade, ferro, sulfato e acidez nos poços piezométricos da Ex - CAEEB (ALB).

4.1 POÇOS DO PÁTIO DA Ex - CAEEB – ALB

Estes poços piezométricos estão localizados a jusante do pátio de carvão. Os poços piezométricos ALB 01 e ALB 02 estão localizados a leste na área de estudo. O poço piezométrico ALB 03 está localizado ao sul entre a bacia de cinza A do Complexo Jorge Lacerda e a área de estudo. O poço piezométrico ALB 04 localiza-se mais ao norte da área de estudo na divisa do município de Capivari de Baixo. Na Tabela 8 apresentam-se os resultados dos parâmetros físico-químicos das amostras atuais realizadas durante o período de estágio.

Tabela: 8: Parâmetros físico-químicos das amostras atuais dos poços piezométricos amostrados no pátio da Ex – CAEEB.

Poço	Parâmetro analisado	Período amostrado	
		20/03/2012	25/05/2012
ALB01	pH	6,3	6,4
	Condutividade (uS/cm)	690	714
	Ferro (ppm)	2,2	2,7
	Sulfato (ppm)	245,9	308,1
	Acidez (ppm CaCO ₃)	29,7	33,6
ALB02	pH	7,0	7,1
	Condutividade (uS/cm)	502	510
	Ferro (ppm)	6,1	6,4
	Sulfato (ppm)	37,4	35,6
	Acidez (ppm CaCO ₃)	45,3	49,8
ALB03	pH	6,2	6,4
	Condutividade (uS/cm)	720	709
	Ferro (ppm)	10,6	9,6
	Sulfato (ppm)	388,2	337,4
	Acidez (ppm CaCO ₃)	60,1	67,5
ALB04	pH	6,8	6,9
	Condutividade (uS/cm)	633	597
	Ferro (ppm)	5,5	4,7
	Sulfato (ppm)	85,9	98,2
	Acidez (ppm CaCO ₃)	43,9	40,4

Fonte: DO AUTOR, 2012.

Nas análises que se seguem observa-se de um modo geral nos poços piezométricos em relação à amostra histórica e a amostra atual, primeiramente em relação ao pH, valores próximos dos padrões, sugerindo para a influência do poder alcalinizante das cinzas dispostas na área de estudo.

Em todos os pontos encontra-se uma forte tendência na redução dos teores de sulfato em relação ao histórico, objetivando para a eficácia dos sistemas de controle implementados, bem como os valores do ferro apresentam uma variação significativa.

Segundo Campos (2004), a proteção sanitária dos poços tubulares é a única forma de garantir a função filtro da zona vadosa dos aquíferos. O isolamento da porção rasa entre o revestimento e a parede do poço e a manutenção de distâncias mínimas entre pontos potenciais de contaminação e os de captação são medidas importantes para a proteção do aquífero. O controle da qualidade técnica das empresas construtoras de poços é uma medida eficaz na questão da gestão da qualidade das águas subterrâneas.

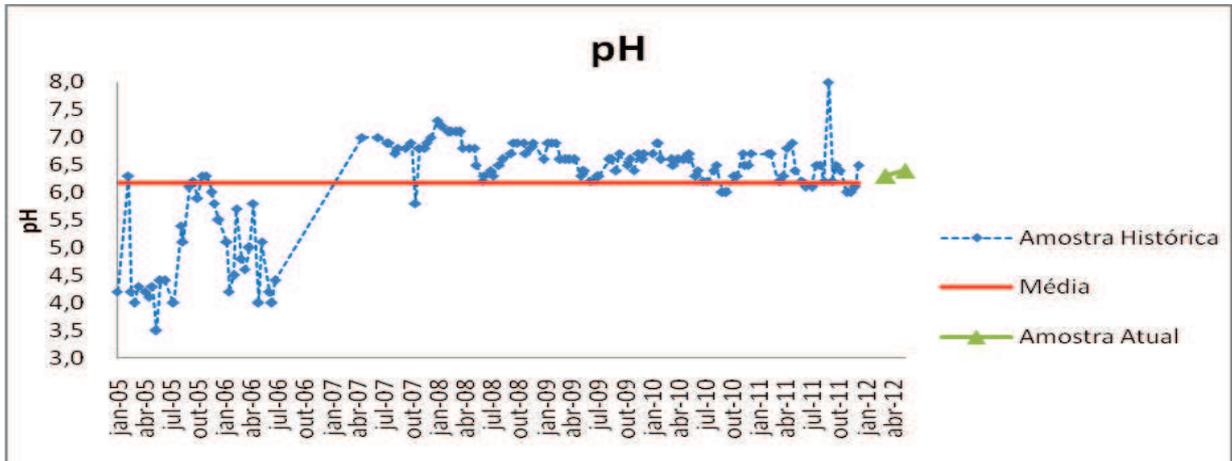
Deve-se, no entanto, atentar para a localização dos poços piezométricos ALB 01 e ALB 03 que sofria uma influência significativa dos poços piezométricos ALP 01, ALP 02 e ALP 03 em decorrência do sentido de recarga dos mesmos, antes da impermeabilização do pátio de carvão, fato este que estão evidenciados nos resultados dos parâmetros físico-químicos dos dados históricos disponibilizados nos gráficos dos mesmos.

4.1.1 Poço Piezométrico ALB 01

A Figura 7 apresenta o pH no período da amostra histórica em 2005, com valor ácido, porém a partir do início das ações do projeto de recuperação observa-se uma elevação deste valor tendenciado para dentro dos valores estabelecidos pela legislação vigente, sendo este processo observado a partir do ano de 2007. Nas amostras atuais, após a impermeabilização do pátio de carvão este valor mostra-se em 6,4. Observa-se neste ponto uma forte tendência de elevação do pH corroborando para o alcance de níveis pré-estabelecidos.

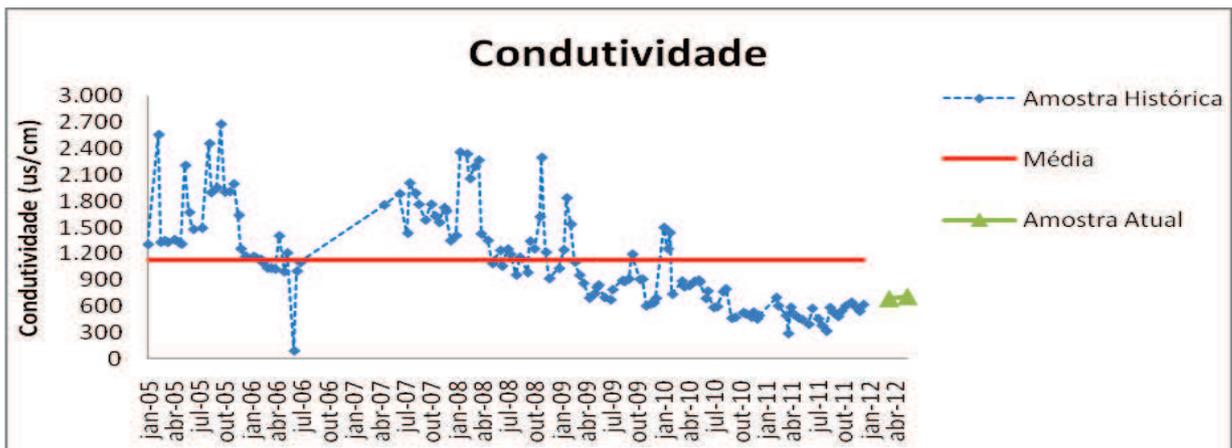
Dentro deste processo os demais parâmetros caminham para valores de estabilização conforme se observa nas Figuras 8 a 11, provavelmente influenciado pelas ações ambientais citadas. A condutividade inicia na amostra com um valor de 2.680 uS/cm e nas atuais com 714 uS/cm, o ferro de 58 ppm a 2,74 ppm, o sulfato de 1.627 ppm a 308,1 ppm e a acidez de 260 ppm CaCO₃ a 33,6 ppm CaCO₃, respectivamente.

Figura 7: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.



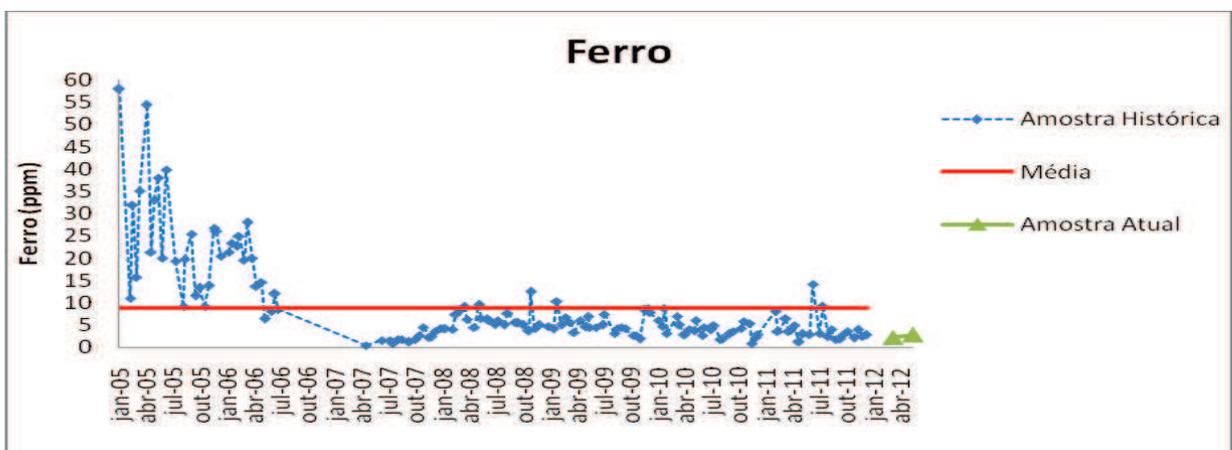
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 8: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.



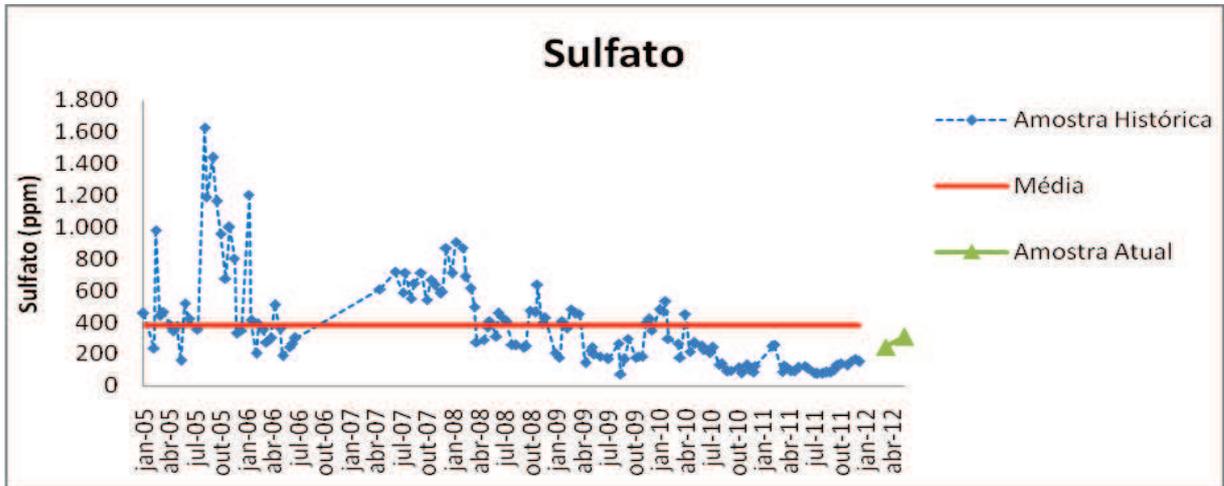
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 9: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.



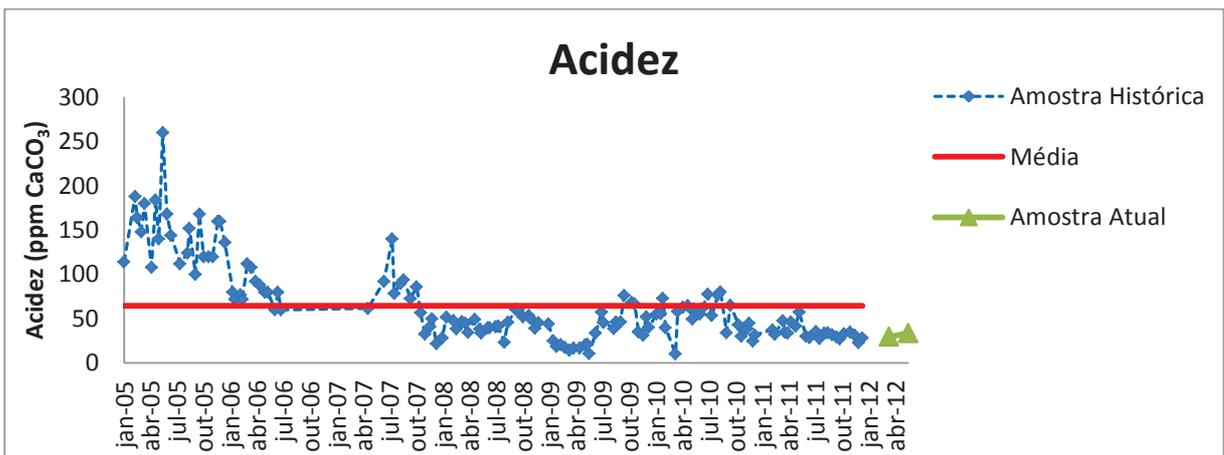
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 10: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 11: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 01.



Fonte: Do Autor, 2012.

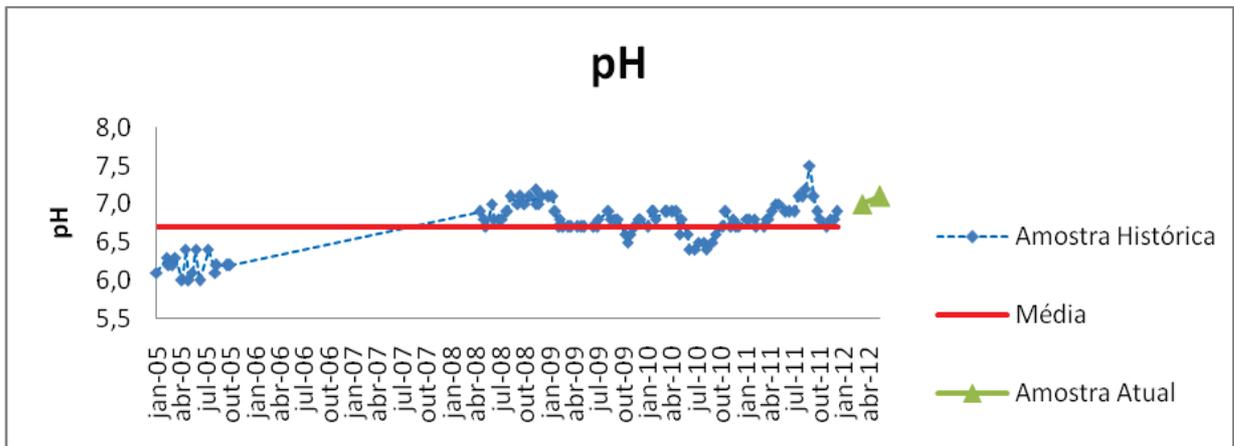
Como podemos observar nos gráficos apresentados do poço piezométrico ALB 01, tivemos durante certo período (abril de 2006 a abril de 2007) uma interrupção de coleta de água, devido à falta de acesso durante o projeto de recuperação ambiental na área de estudo próximo ao mesmo. A partir de abril de 2007 quando se iniciou novamente o seu monitoramento, observa-se que o pH começou a ter uma evolução considerável para neutro. A condutividade, ferro, sulfato e acidez também obtiveram uma redução elevada, comprovando também nas amostras atuais. A contribuição dos efeitos benéficos do uso da cinza proveniente da queima do carvão, utilizada como uma camada adicional na área de estudo, onde a mesma tem um teor alcalino, contribuiu para reduzir a acidez do solo.

De acordo com Nunes (2006) o pH é uma das variáveis ambientais mais importantes nos ecossistemas aquáticos, ao mesmo tempo em que é uma das mais difíceis de interpretar devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo.

4.1.2 Poço Piezométrico ALB 02

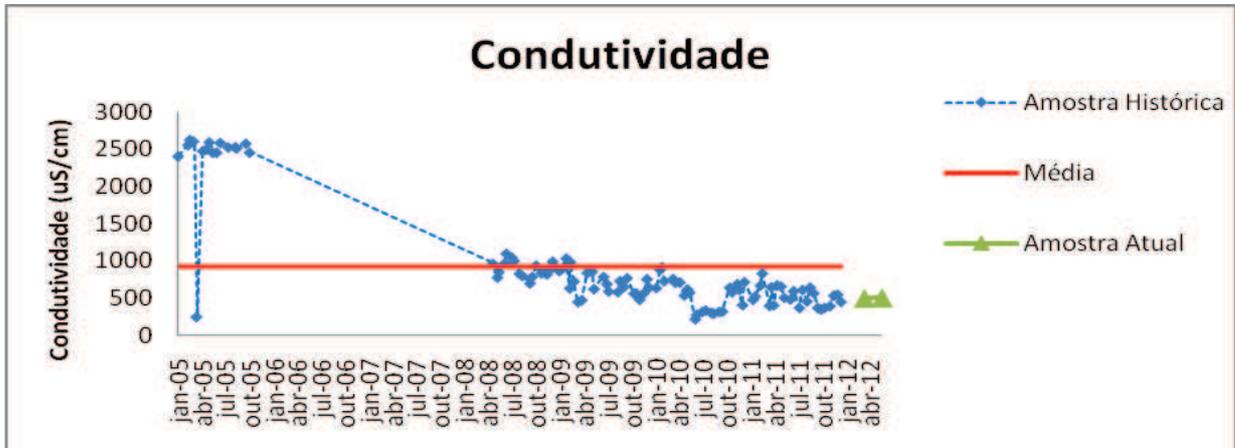
O poço piezométrico ALB 02 conforme a Figura 12 apresenta um pH que varia entre a amostra histórica e a amostra atual nos valores de 6,1 a 7,1 respectivamente, sendo que os demais parâmetros observados nas Figuras 13 a 16 obedecem a uma tendência de normalidade: condutividade 2480 uS/cm a 502 uS/cm, ferro 169 ppm a 6,1 ppm, sulfato 2.875 ppm a 37,4 ppm e acidez 500 ppm CaCO_3 a 45,3 ppm CaCO_3 .

Figura 12: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.



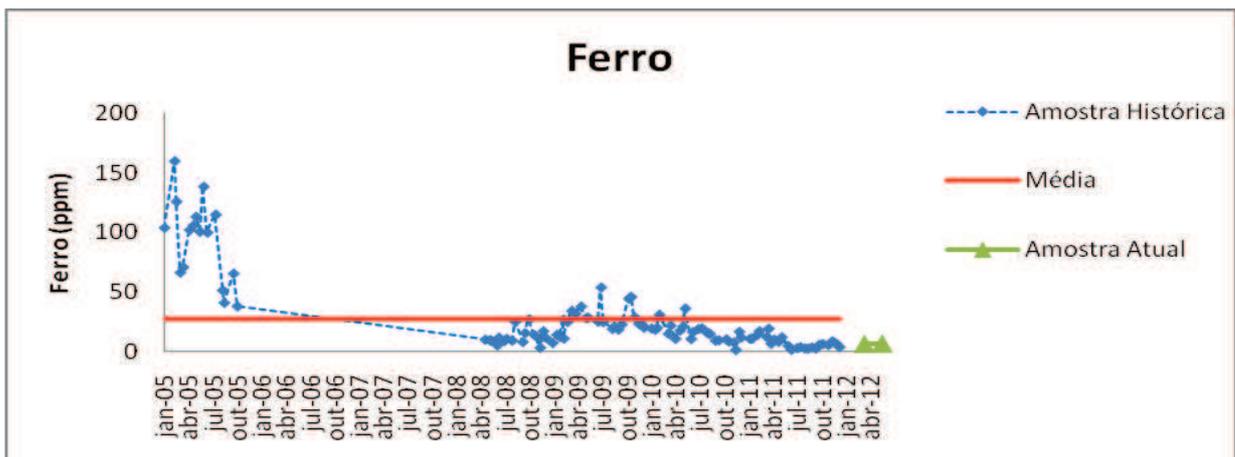
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 13: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.



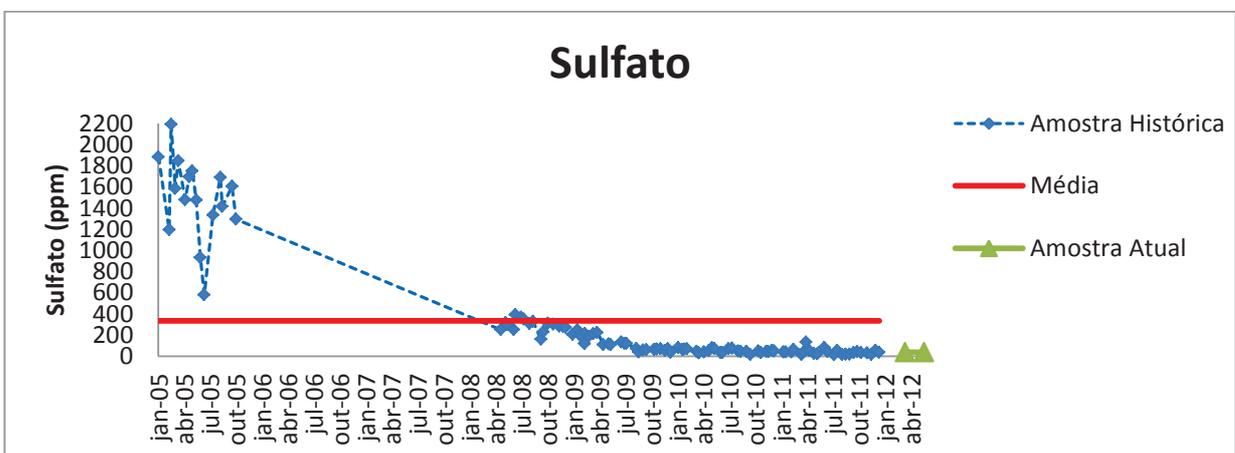
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 14: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.



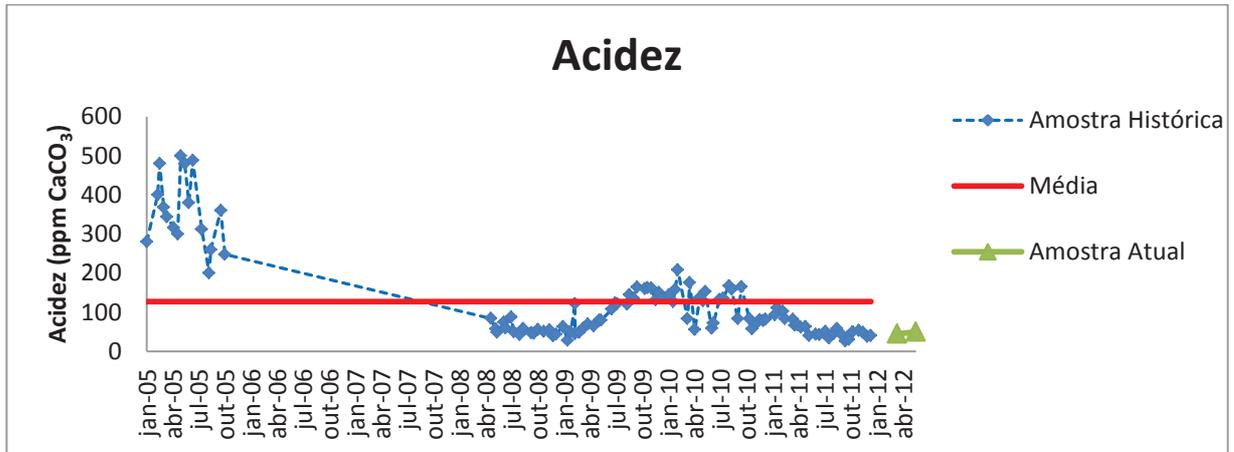
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 15: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 16: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 02.



Fonte: Do Autor, 2012.

Observando os resultados dos gráficos do poço piezométrico ALB 02, também tivemos durante certo período (outubro de 2005 a abril de 2008) uma interrupção de coleta de água, devido á falta de acesso durante o projeto de recuperação ambiental na área de estudo próximo ao mesmo. Observa-se que a partir de abril de 2008 quando se iniciou novamente o seu monitoramento, o pH que não estava ácido, teve uma elevação para neutro. Quanto aos outros parâmetros condutividade, ferro, sulfato e acidez a redução foi bem elevada, se comprovando também nas amostras atuais. Mostrando assim contribuição dos efeitos benéficos do uso da cinza proveniente da queima do carvão, utilizada como uma camada adicional na área de estudo, onde a mesma tem um teor alcalino, contribuindo assim para reduzir a acidez do solo.

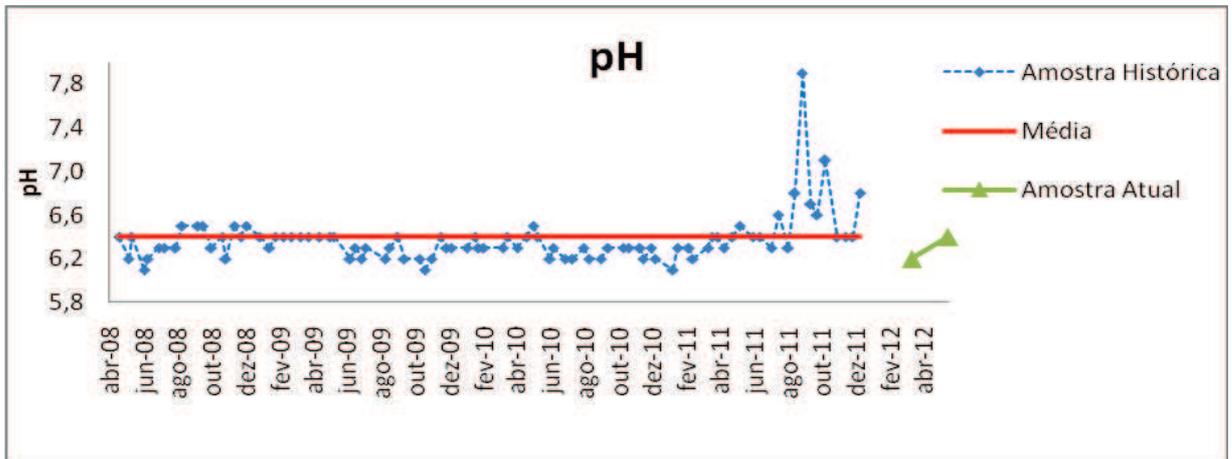
Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. O parâmetro ferro pode estar relacionado à geologia da área, como à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço (MENEZES et al, 2009).

4.1.3 Poço Piezométrico ALB 03

Os dados dispostos nas Figuras 17 a 21 apresentam os resultados dos valores do pH, do poço piezométrico ALB 03 que varia entre a amostra histórica e a amostra atual de 6,1 a 6,4. A condutividade de 2.360 uS/cm a 720 uS/cm, ferro 73,4

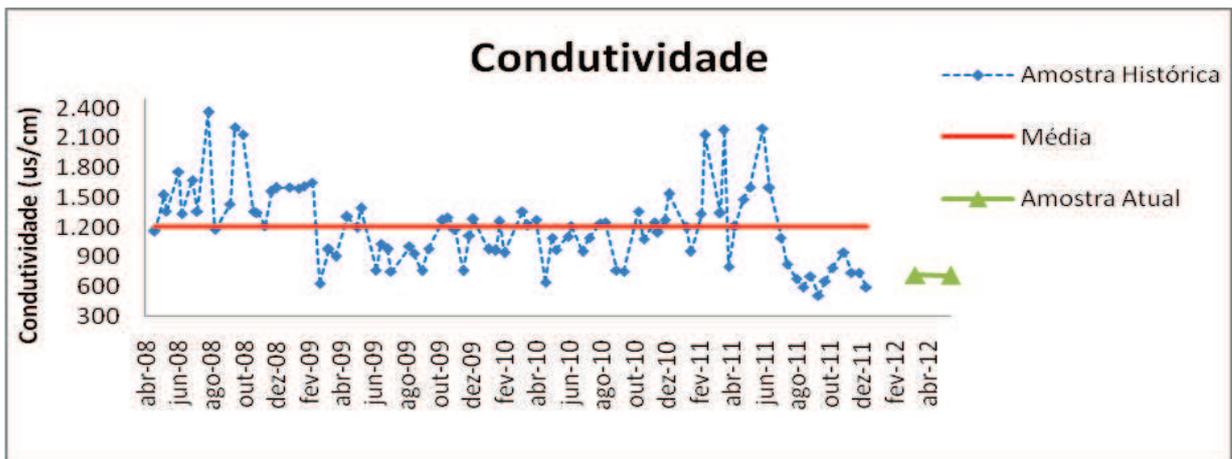
ppm a 10,6 ppm, sulfato 670 ppm a 337,4 ppm e a acidez 308,2 ppm CaCO_3 a 60 ppm CaCO_3 . É importante salientar que estes resultados sofrem uma influência em relação à disposição do poço, que se encontra na área de recarga dos poços piezométricos ALP 02 e ALP 03. A redução destes valores é visível principalmente à conclusão da impermeabilização do pátio de carvão.

Figura 17: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.



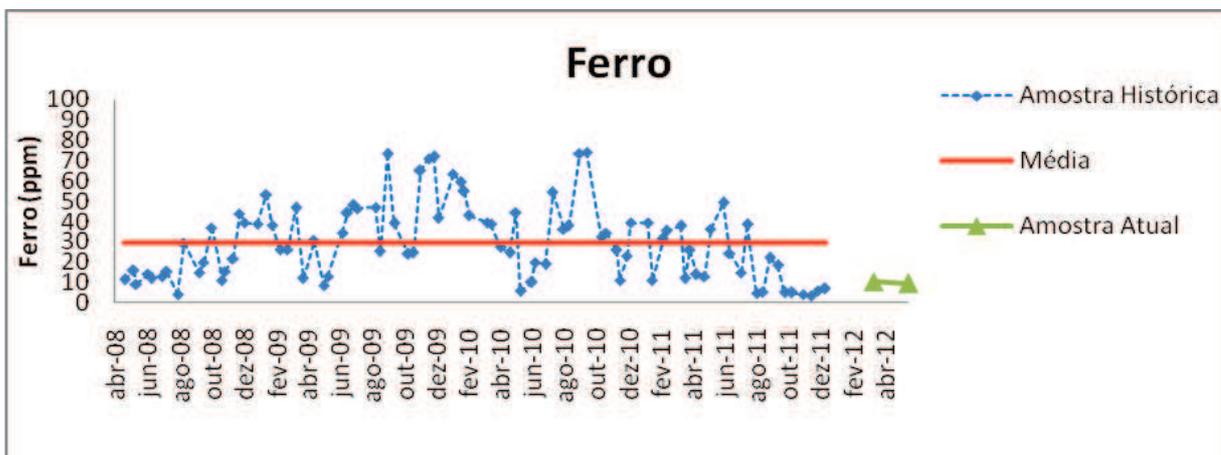
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 18: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.



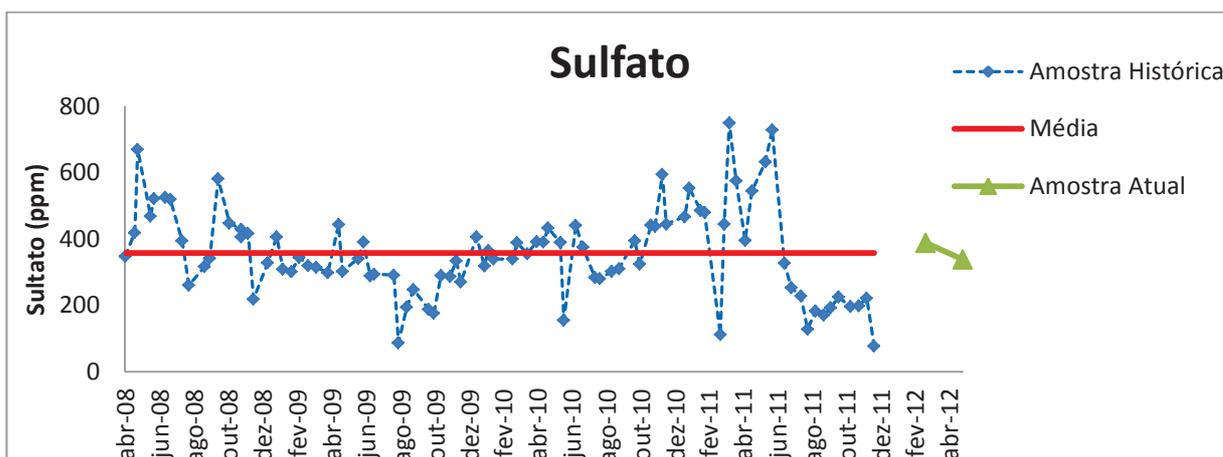
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 19: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.



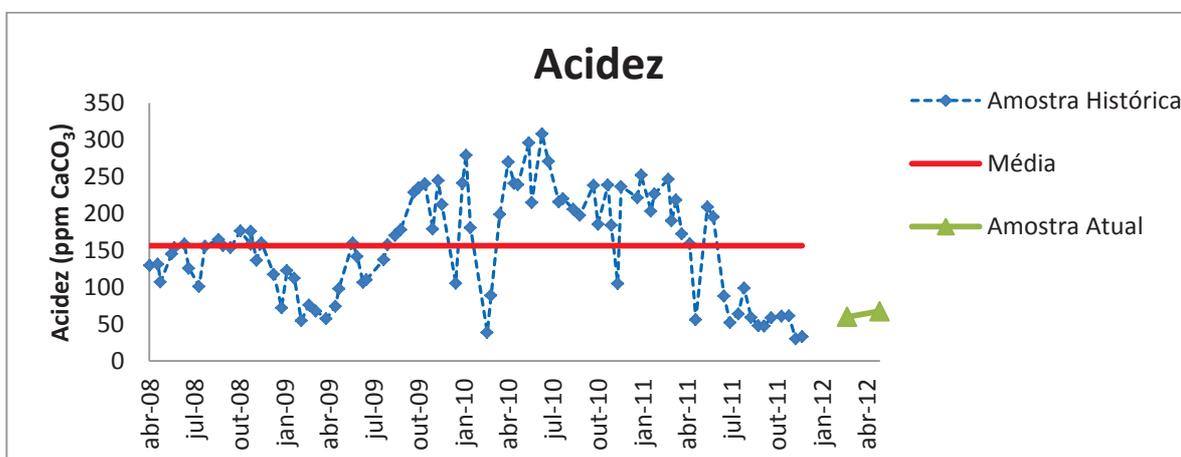
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 20: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 21: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 03.



Fonte: Do Autor, 2012.

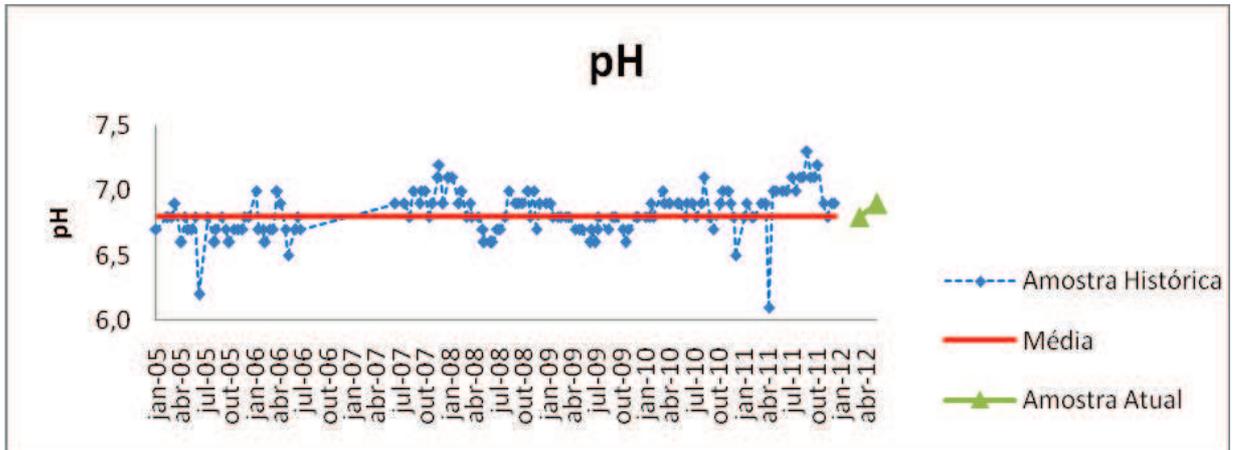
De acordo com os gráficos apresentados do poço piezométrico ALB 03, podemos observar que o mesmo está a jusante do pátio de carvão, recebendo uma recarga mais ácida. O projeto de impermeabilização do pátio de carvão foi finalizado em meados de 2011, e podemos observar através dos resultados dos gráficos que aproximadamente a partir de abril de 2011, o poço piezométrico começou a ter uma evolução nos seus parâmetros, elevando seu pH e reduzindo a condutividade, ferro, sulfato e acidez, também se comprovando também nas amostras atuais. Como esse poço piezométrico também se encontra na área da Ex-CAEEB, o solo do mesmo recebeu as cinza proveniente da queima do carvão, utilizada como uma camada adicional nesta, onde a mesma tem um teor alcalino, contribuindo assim para reduzir a acidez do solo.

Destaca Gama et al (2006) que os minerais sulfurosos estão geralmente debaixo da capa do solo e do nível freático, que dentro de certas condições naturais existe um mínimo contato com o oxigênio, permitindo a geração da água ácida com uma velocidade muito baixa, tendo efeito na qualidade da água insignificante. Mas quando a rocha sulfurosa é exposta ao ar e à água, reagem acelerando a velocidade de geração ácida e conseqüentemente ocasionando o risco ambiental.

4.1.4 Poço Piezométrico ALB 04

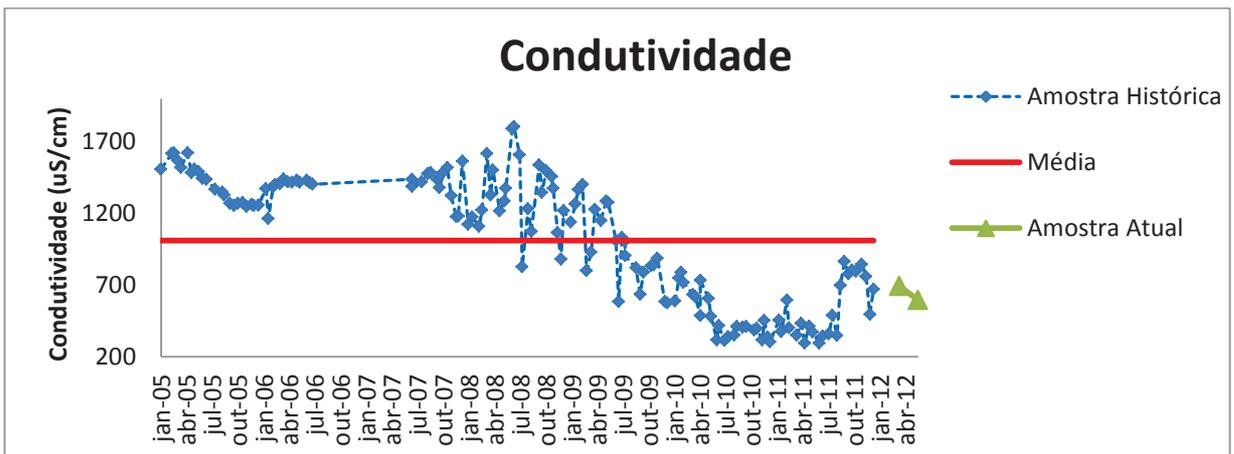
O poço piezométrico ALB 04 de acordo com a sua localização ao contrário do ALB 03, não sofre influência intensa de recarga dos poços piezométricos ALP 01, ALP 02 e ALP 03 do pátio de carvão. Pode-se observar esta influência nos resultados iniciais das amostras históricas que apresentam seus valores mais próximos dos padrões do que os demais poços, comprovadas também nas amostras atuais. Sendo que os gráficos seguem nas Figuras 22 a 26 onde: pH de 6,2 a 6,8, condutividade 1.622 uS/cm a 693 uS/cm, ferro 34 ppm a 5,5 ppm, sulfato 495 ppm a 85,9 ppm e acidez 160 ppm CaCO₃ a 43,9 ppm CaCO₃.

Figura 22: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.



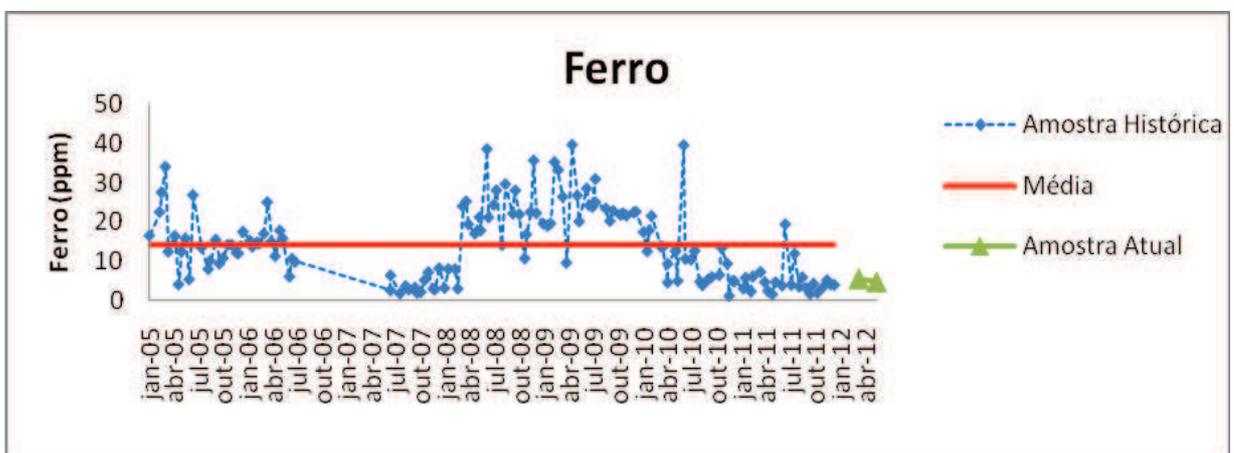
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 23: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.



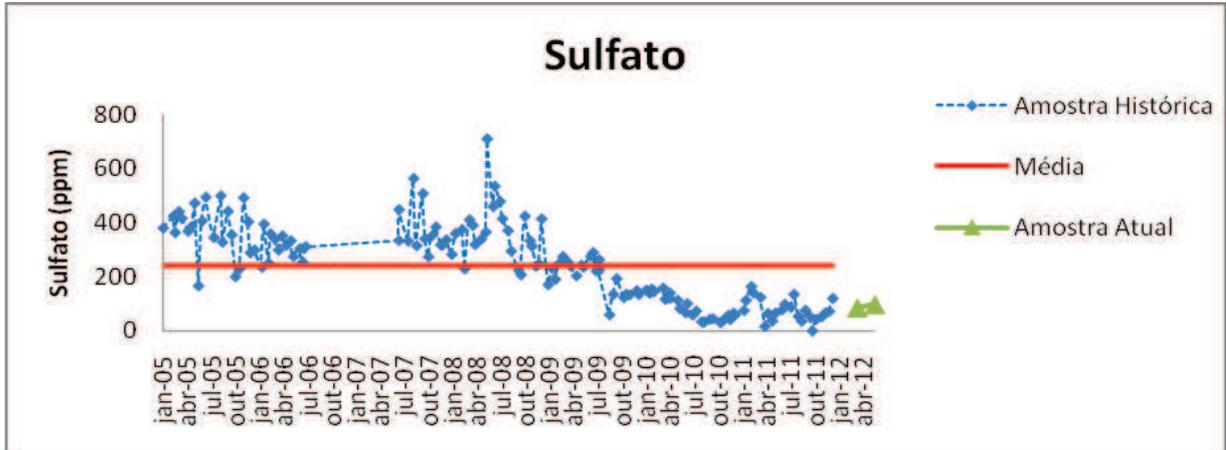
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 24: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.



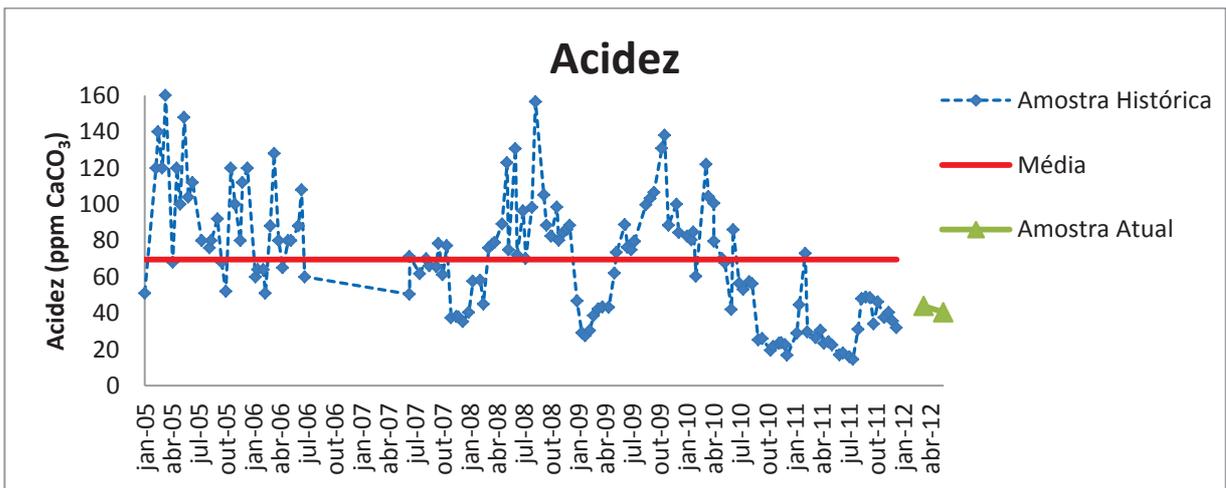
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 25: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 26: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALB 04.



Fonte: Do Autor, 2012.

Podemos observar nos gráficos apresentados do poço piezométrico ALB 04, que tivemos durante certo período (julho de 2006 a julho de 2007) uma interrupção de coleta de água, devido à falta de acesso durante o projeto de recuperação ambiental na área de estudo próximo ao mesmo. Observa-se pela amostra histórica que a água do poço piezométrico tem uma qualidade considerável aceitável e, portanto não sofre uma recarga um pouco ácida devido sua localização, comprova-se também que a partir de julho de 2007 quando se iniciou novamente o seu monitoramento, os pH vem elevando-se gradativamente. A contribuição dos efeitos benéficos do uso da cinza proveniente da queima do carvão, utilizada como

uma camada adicional na área de estudo, foi maior na redução considerável da condutividade, ferro, sulfato e acidez, comprovado nas análises atuais.

Para Costa et al (2003) a seleção de parâmetros para avaliação da qualidade de águas subterrâneas é necessária em função da grande variedade de elementos potencialmente presentes nas águas, do acesso e representatividade das amostras, da complexidade hidrogeoquímica e do custo das análises laboratoriais.

4.2 POÇOS DO PÁTIO DE CARVÃO – ALP

Os poços piezométricos do pátio de carvão possuem as seguintes localizações geográficas: Ao norte encontra-se ALP 01, mais a oeste ALP 02 e ao sul ALP 03.

A comparação da qualidade da água estudadas nos 3 poços piezométricos do Pátio de carvão (ALP) se encontram nas Figuras 27 a 41.

Os parâmetros analisados no presente trabalho tanto na amostra histórica como nas amostras atuais foram: pH, condutividade, ferro, sulfato e acidez nos poços piezométricos do Pátio de carvão (ALP).

Salienta-se que estes poços piezométricos estão à jusante do fluxo do lençol freático que anteriormente sofria influência de contaminação de outro pátio de carvão da UTLA (Usina Termoelétrica Jorge Lacerda A) que não fez parte da área de estudo, porém, interferiu nos resultados encontrados nas amostras históricas e atuais, principalmente dos poços ALP 02 e ALP 03. Neste item, é importante colocar que esta área também recebeu a impermeabilização do solo finalizado em 2009.

Analisando os dados em sua totalidade observa-se que assim como os poços ALB, os poços da área ALP sofreram uma influência positiva nos últimos anos em decorrência do sistema de controle adotado.

As fases de planejamento e dimensionamento de um projeto de controle são os momentos adequados para diagnosticar os possíveis impactos ambientais e realizar os ajustes necessários, de modo que os possíveis efeitos adversos, oriundos da implementação do projeto, sejam minimizados (BERNARDO, 2006).

A seguir na Tabela 9 apresentam-se os resultados dos valores físico-químicos da água do lençol freático encontrados em cada poço ALP durante o período de estagio, com intervalo de dois meses cada, que servira de base para as

análises e discussão dos resultados e sua correlação aos parâmetros dos dados históricos coletados no banco de dados.

Tabela: 9: Parâmetros físico-químicos das amostras atuais dos poços piezométricos amostrados no pátio de carvão.

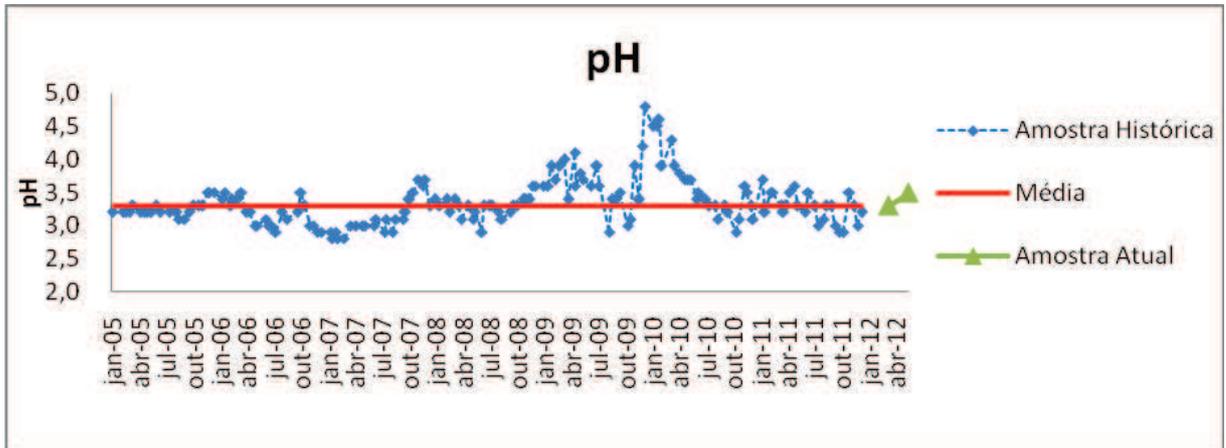
Poço	Parâmetro analisado	Período amostrado	
		20/03/2012	25/05/2012
ALP01	pH	3,3	3,5
	Condutividade (us/cm)	2988	3112
	Ferro (ppm)	316,0	294,0
	Sulfato (ppm)	2417,0	2377,0
	Acidez (ppm CaCO ₃)	1185,0	1089,0
ALP02	pH	6,0	6,1
	Condutividade (us/cm)	2066	1670
	Ferro (ppm)	73,0	68,0
	Sulfato (ppm)	1773,0	1639,0
	Acidez (ppm CaCO ₃)	286,2	271,6
ALP03	pH	6,2	6,3
	Condutividade (us/cm)	2681	2789
	Ferro (ppm)	75,9	78,2
	Sulfato (ppm)	2655,0	2478,0
	Acidez (ppmCaCO ₃)	410,0	375,6

Fonte: DO AUTOR, 2012.

4.2.1 Poço Piezométrico ALP 01

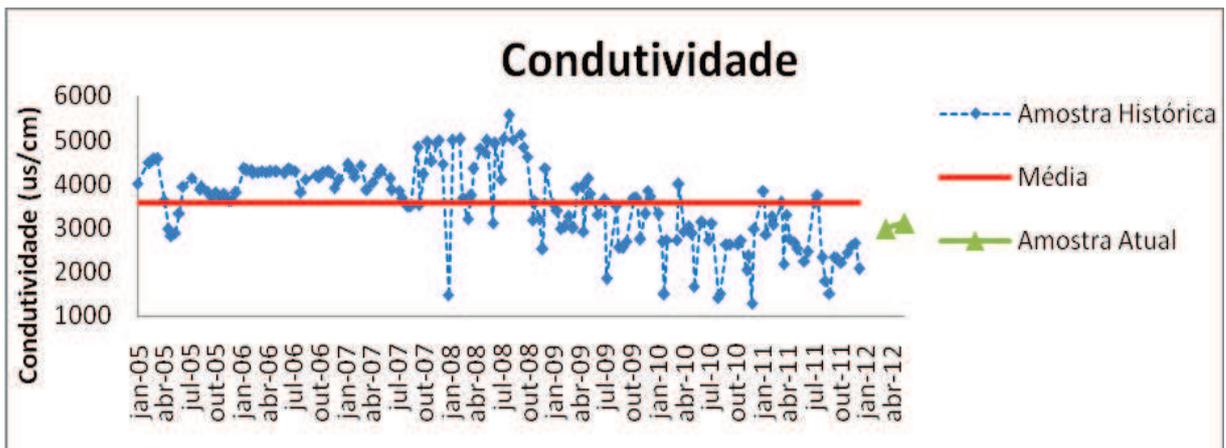
Nas Figuras 27 a 31 encontram-se os valores dos parâmetros físico-químicos entre as amostras históricas e as atuais. O pH 3,3 a 3,5, condutividade de 4.480 uS/cm a 3.112 uS/cm, ferro de 305,8 ppm a 294 ppm, sulfato 7.335 ppm a 2.377 ppm e acidez 3.080 ppm CaCO₃ a 1.089 ppm CaCO₃. Observa-se que os valores iniciais da amostra histórica encontram-se distantes significativamente dos padrões estabelecidos pela legislação vigente. Destaca-se que o poço ALP 01 apresenta o principal ponto de contaminação do lençol freático. Na amostra atual dos parâmetros analisados, o pH, a condutividade e o ferro não apresentaram redução. Em contrapartida, o sulfato e acidez mostraram uma redução importante.

Figura 27: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01



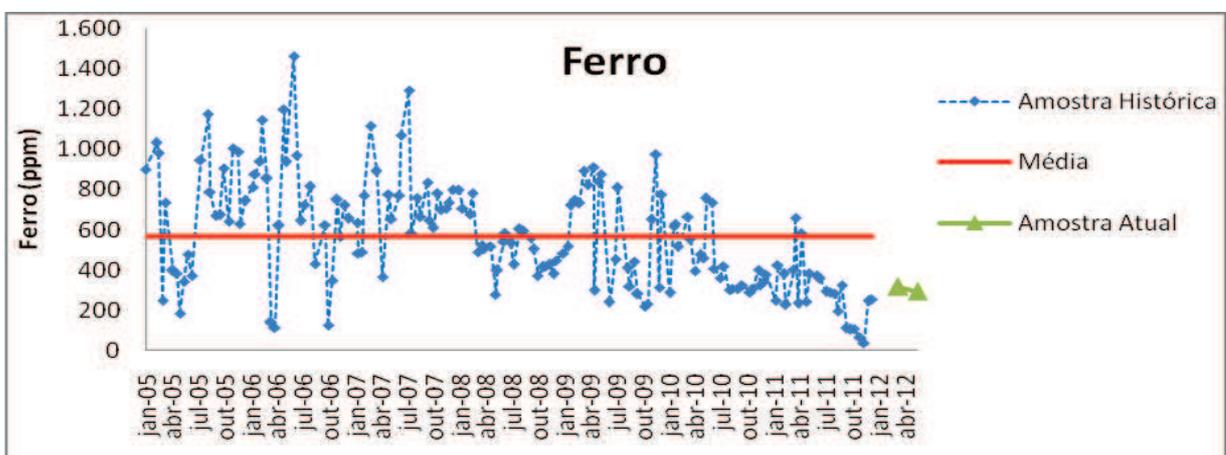
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 28: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.



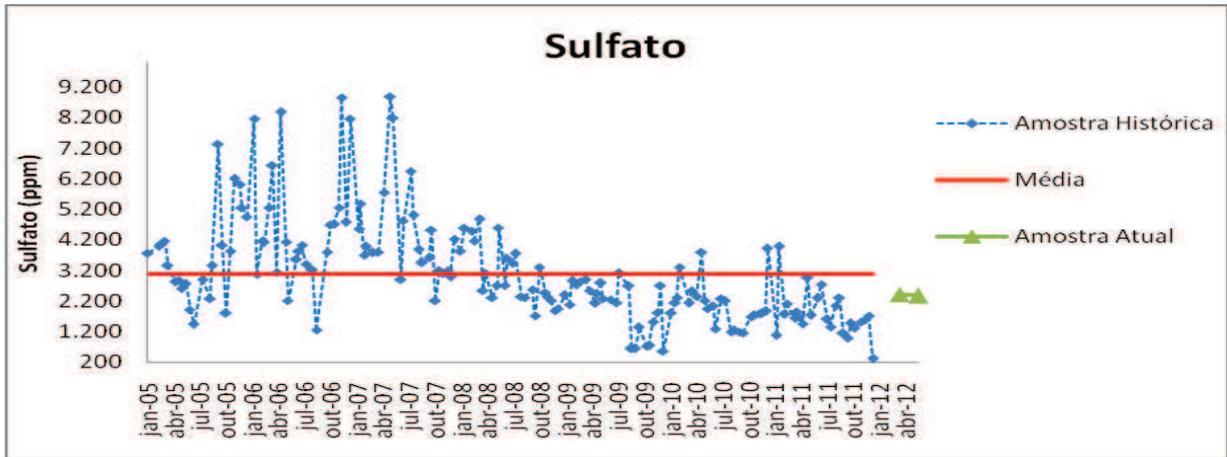
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 29: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.



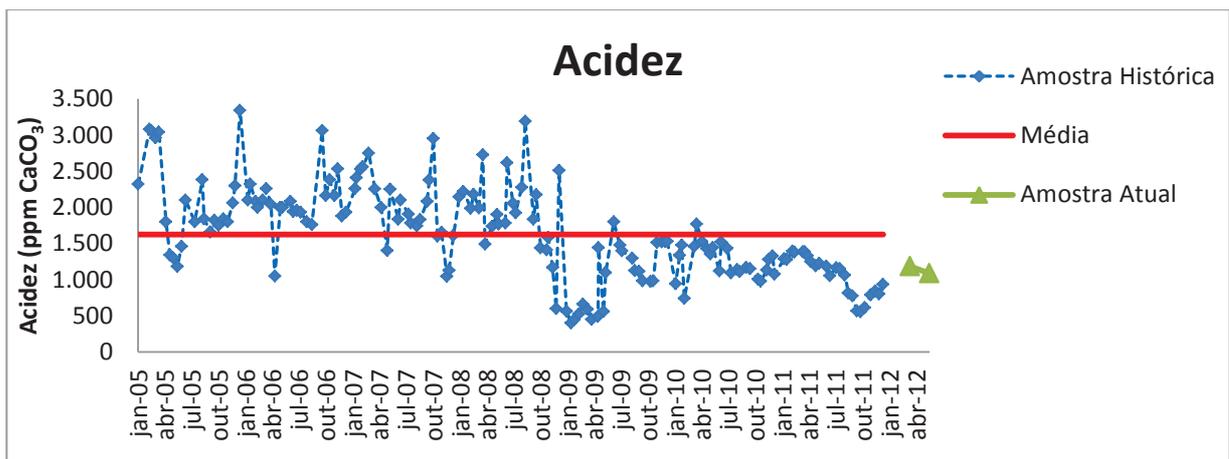
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 30: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 31: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 01.



Fonte: Do Autor, 2012.

Este poço piezométrico vem tendo uma evolução temporal bem lenta nos parâmetros físico-químicos analisados, comprovados nas análises históricas e atuais realizadas durante o estágio, provavelmente porque o mesmo está à jusante de uma área de depósito de carvão de uma empresa privada, localizada aproximadamente a 800m da área de estudo. O mesmo vem sofrendo uma recarga um pouco acida devido o sentido do fluxo, conforme podemos observar pelo seu pH. A condutividade, ferro, sulfato e acidez tendem a uma redução considerável nos seus parâmetros físico-químicos a partir de 2009, portanto estamos tendo uma evolução temporal considerável no poço piezométrico, essa evolução devera melhorar a partir da total recuperação da área localizada a 800m do mesmo.

Conforme a Resolução do CONAMA 396/08 em seu Art. 18, os resultados das análises da água deverão ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo:

I - identificação do local da amostragem, data e horário de coleta, entrada da amostra no laboratório, anexando à cadeia de custódia;

II - indicação do método de análises utilizado para cada parâmetro analisado;

III - limites de quantificação praticados pelo laboratório e da amostra, quando for o caso, para cada parâmetro analisado;

IV - resultados dos brancos do método e “surrogates” (rastreadores);

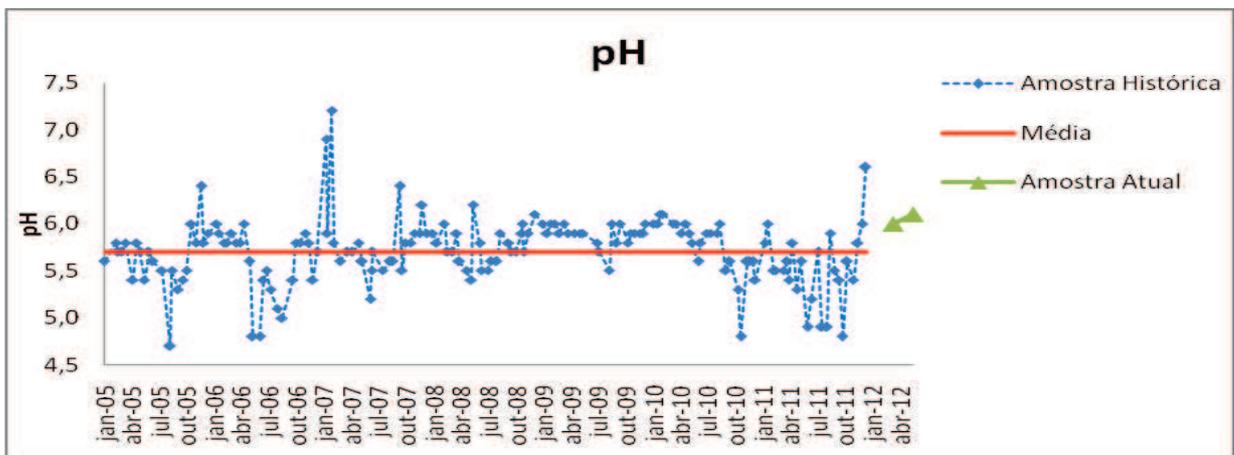
V - incertezas de medição para cada parâmetro; e

VI - ensaios de adição e recuperação dos analitos na matriz (spike).

4.2.2 Poço Piezométrico ALP 02

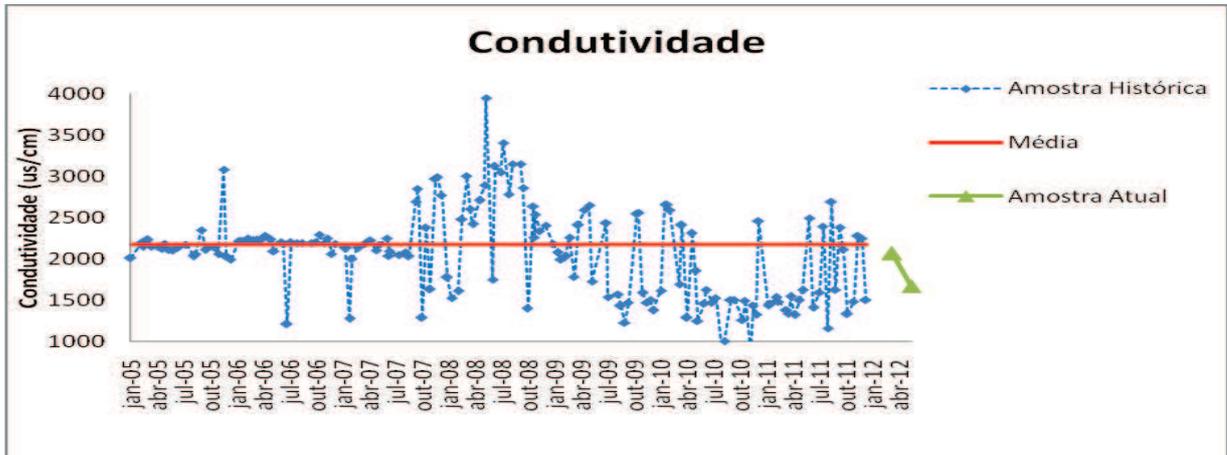
O poço piezométrico ALP 02 apresenta em seus resultados das amostras históricas e atuais nas Figuras 32 a 36 os valores de pH variando em 4,7 a 6,1, condutividade de 3.080 uS/cm a 1.670 uS/cm, ferro de 144 ppm a 68 ppm, sulfato 3.840 ppm a 1.639 ppm e acidez 640 ppm CaCO₃ a 271,6 ppm CaCO₃.

Figura 32: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02



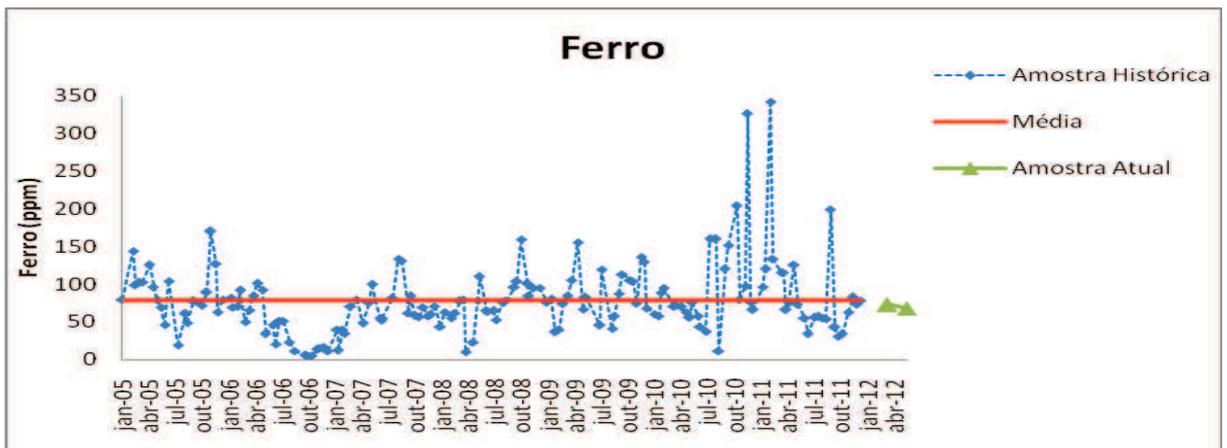
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 33: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.



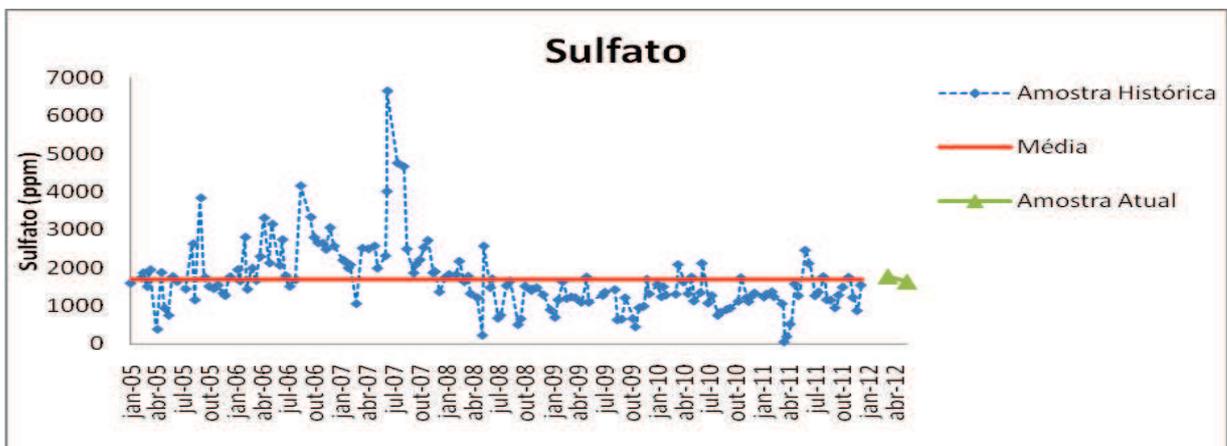
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 34: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.



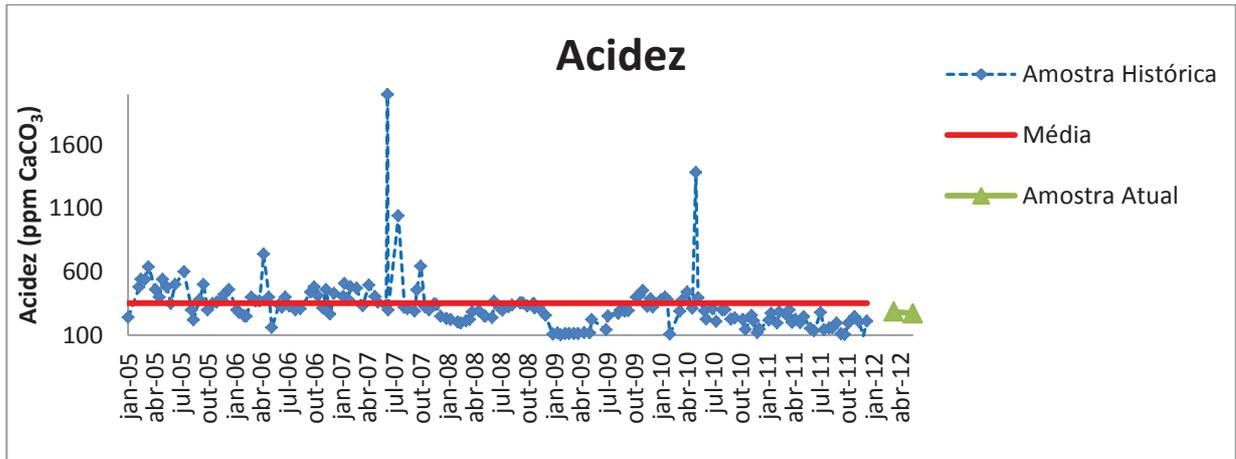
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 35: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 36: Resultados Da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 02.



Fonte: Do Autor, 2012.

Tendo em vista a localização deste poço, pode-se afirmar que o mesmo não sofre recarga tão intensa de contaminação do lençol freático como o ALP 01, observado principalmente nos resultados das amostras atuais. Esse poço piezométrico está à jusante do fluxo do lençol freático que anteriormente sofria também a influência de contaminação de outro pátio de carvão da UTLA. Sustenta-se a esta afirmação à viabilidade dos sistemas de controle implementados no pátio de carvão da UTLA que contribui para uma melhor recarga na área de estudo, observadas nas análises físico-química realizadas durante o período de estágio. O pH vem tendo uma evolução considerável para neutro. A condutividade e o sulfato ainda estão elevados, mas encontram-se reduzindo. O ferro e a acidez vêm se mostrando estável com tendência a queda também.

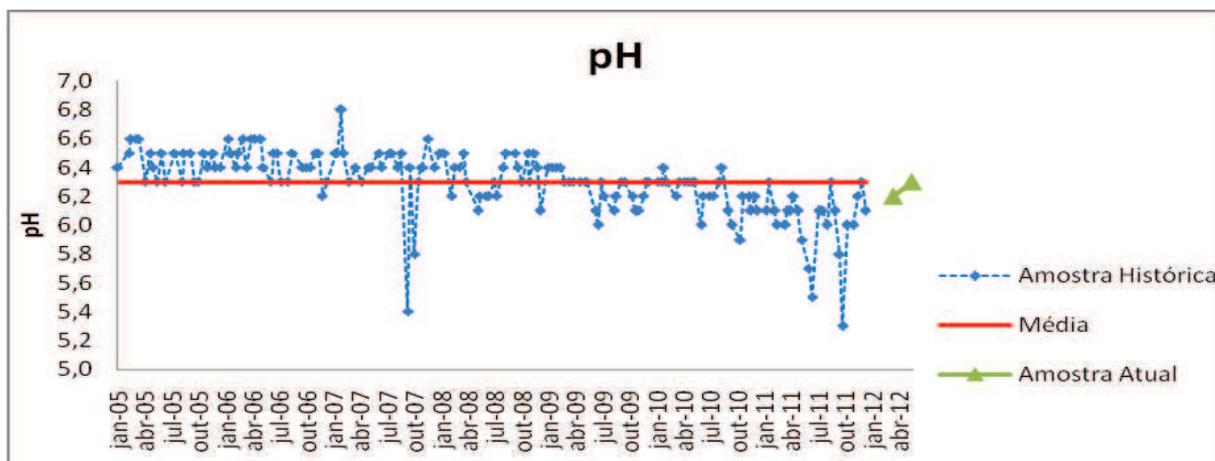
Brouyère et al. (2004), a partir de observações de campo, concluem que os mecanismos de recarga do aquífero livre são controlado principalmente por fluxo gravitacional durante os eventos de chuva. Desta forma, o modo pelo qual a água se movimenta no planeta, as características de cada local e outros fenômenos, podem ser explicados pelo ciclo da água ou ciclo hidrológico.

4.2.3 Poço Piezométrico ALP 03

Os parâmetros físico-químicos do poço ALP 03 apresentados nas Figuras 37 a 41 em relação á amostra histórica e atual seguem com pH variando de 6,4 a

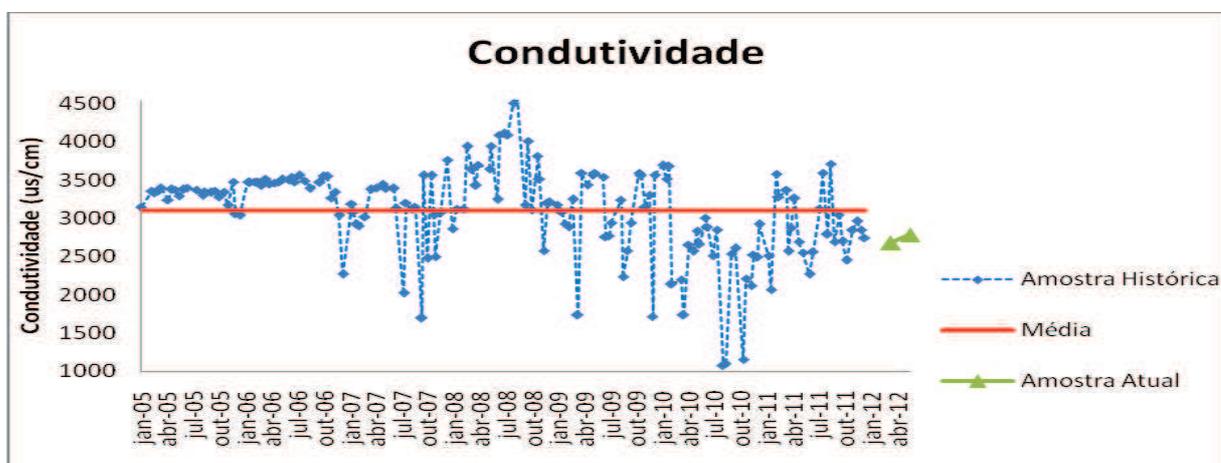
6,3, a condutividade 3.104 uS/cm a 2.681 uS/cm, ferro 188ppm a 78,2ppm, sulfato 2.993ppm a 2.478ppm e acidez 456ppm CaCO₃ a 375,6ppm CaCO₃.

Figura 37: Resultados da amostra histórica do pH de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.



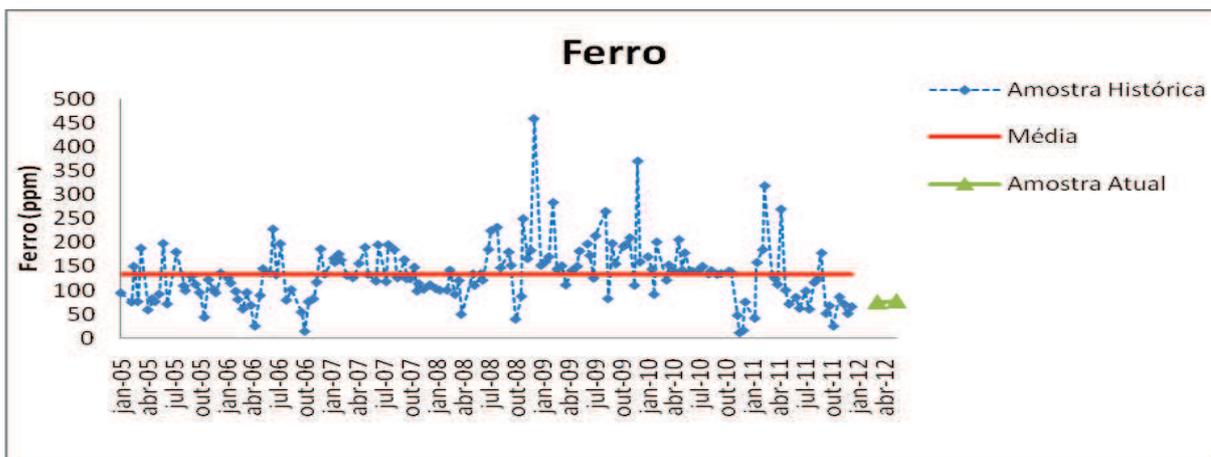
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 38: Resultados da amostra histórica da condutividade de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.



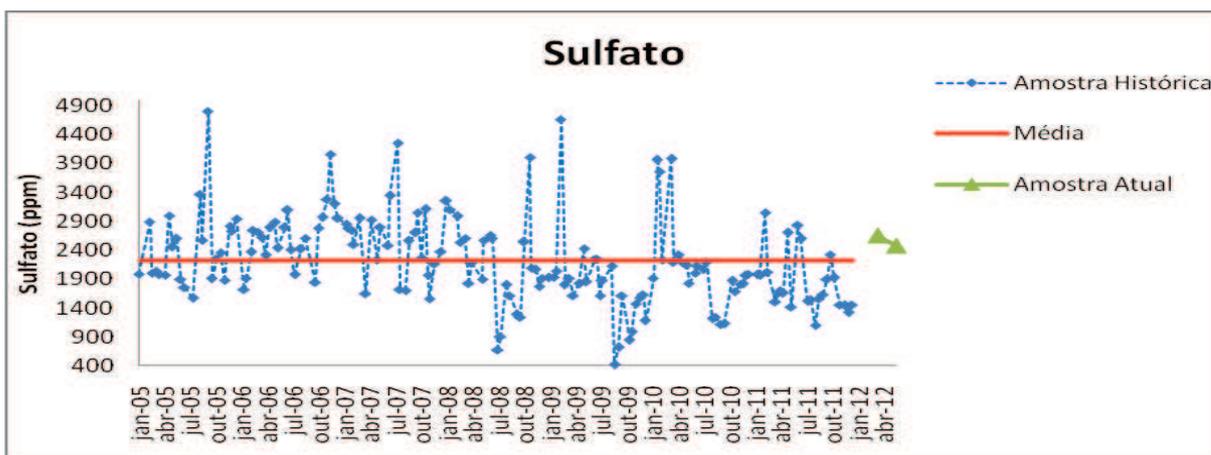
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 39: Resultados da amostra histórica do ferro de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.



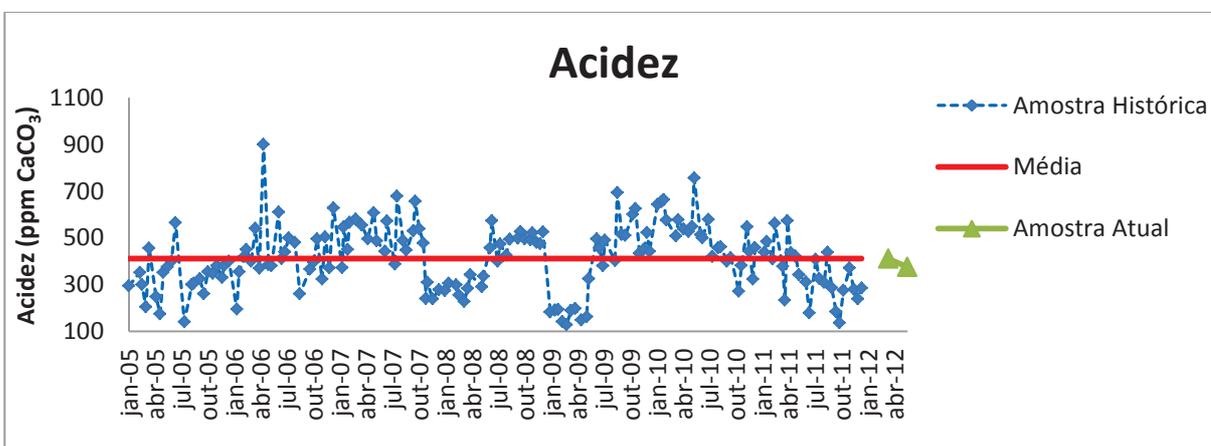
Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 40: Resultados da amostra histórica do sulfato de 2005 a 2011, média e amostra atual – ALP 03.



Fonte: Do Autor, 2012.

Figura 41: Resultados da amostra histórica da acidez de 2005 a 2011, média e amostra atual – APL 03.



Fonte: Do Autor, 2012.

Podemos observar nos gráficos apresentados do poço piezométrico ALP 03 que o pH tende a uma estabilidade de valores, a condutividade, sulfato e acidez diferem com pouca variação, e o ferro apresentou resultado abaixo de 100 ppm, conforme podemos observar nas amostras históricas e atuais.

Tendo em vista que a recarga do poço ALP 03 também sofria a influência do pátio de carvão da UTLA, esperava-se que o mesmo obtivesse redução considerável, como a do poço ALP 02, pelo fato que o solo sofreu alterações na sua litologia ao longo dos anos, o mesmo através do escoamento superficial pela ação do tempo tende a ser recompor naturalmente, essa tendência de melhora se dará devido aos projetos de recuperação implementados na área de estudo, e também nas outras áreas.

O ferro e manganês estão presentes nas formas insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}) em diversos tipos de solos, mas também podem ter origem antropogênica por meio de despejos industriais. Na ausência de oxigênio dissolvido, como em águas subterrâneas ou fundo de lagos e represas, estes íons estão sob a forma solúvel reduzida (Fe^{2+} e Mn^{2+}). Estas formas reduzidas, ao serem expostas na atmosfera (ex: na torneira de casa) voltam a se oxidar às suas formas insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}), precipitando e podendo causar coloração na água (VON SPERLING, 2005).

5 CONCLUSÃO

Nos últimos anos, o homem tem utilizado com muita apropriação, os recursos naturais, porém, em virtude desse uso, possuímos fartura de alimentos, combustíveis e tecnologias inovadoras que em sua maior parte contribuem em demasia para a produção da saúde humana. Ao contrário deste cenário, a degradação do meio ambiente vem acontecendo de forma desordenada gerando uma diminuição da biodiversidade, contaminação de fontes de água e solo, entre outros impactos profundos da natureza.

A visão que se deve ter da utilização de recursos naturais em benefício da humanidade está diretamente ligada a projetos de sustentabilidade qualquer que seja a sua área de abrangência.

Está ciente que embora os grandes benefícios advindos da utilização do carvão mineral como principal fonte de geração de empregos e uma melhor economia para uma determinada região possam estar em evidência, também temos que incorporar ações efetivas que trabalhem paralelamente com projetos que colaborem para impactos benéficos para a natureza e conseqüentemente ao homem.

Entre os principais parâmetros de controle do impacto ambiental advindo da impermeabilização do carvão deve ser incluída uma política intensiva de melhoria no manejo destes projetos. Esta política deve compreender mais estudos, pesquisas e ações extensionistas de controle da qualidade da água advinda do lençol freático. Do mesmo modo, de ações repressivas por parte do Governo, quando necessárias, pois água de boa qualidade torna-se, cada dia mais, um bem muito escasso.

Assim sendo, cada vez mais, os técnicos que tratam desse assunto deverão cuidar para que ações sejam implementadas de forma programada, e que seus benefícios não sejam ilusórios ou momentâneos. Mas sob enfoque de desenvolvimento sustentado, de modo a gerar benefícios a curto, médio e longo prazo, sem degradar o solo e o meio ambiente.

O conceito moderno de gestão ambiental não implica somente a fiscalização da degradação do meio ambiente, mas, sobretudo, a criação de condições necessárias para assegurar a harmonia dos recursos naturais por meio de novas políticas para seu uso.

Os resultados encontrados no presente trabalho são úteis como orientação para as ações na área devido ao caráter do estudo desenvolvido, sendo imprescindível a realização de estudos de detalhe nas áreas identificadas com potencial perigo de contaminação a fim de subsidiar os trabalhos de monitoramento e controle da qualidade das águas subterrâneas.

Considerando o panorama identificado e visando à proteção das águas é fundamental a adoção de medidas voltadas ao estabelecimento de boas práticas bem como o norteamento destas pela legislação vigente em especial a Resolução do Conama 396/08. Além disso, o zoneamento da vulnerabilidade deve ser utilizado para a análise integrada considerando-se outros tipos de fontes potenciais de contaminação, visto que auxilia a tomada de decisão dos órgãos gestores da qualidade ambiental.

Os estudos realizados são fundamentais para nortear políticas públicas de uso e ocupação territorial, visto que se trata de uma região em crescente desenvolvimento no Estado de Santa Catarina. Portanto, os dados aqui apresentados devem ser utilizados como subsídio às ações voltadas à proteção desse importante manancial de água subterrânea do município de Capivari de Baixo.

E considerando os resultados positivos deste estudo, espera-se que esta pesquisa estimule os conhecimentos dos profissionais envolvidos em recuperação de áreas com passivo ambiental.

REFERÊNCIAS

BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2.ed Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 8.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318p.

BRANCO, Samuel Murgel; et al. **Hidrologia ambiental**. São Paulo: Edusp, 1991, 414p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 38 p.

BROUYÈERE, S.; DASSARGUES, A.; HALLET, V. **Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hebe chaly aquifer in Belgium: A field investigation**. Journal of Contaminant Hydrology, v.72, n.1-4, p.135-164, 2004.

CAMPOS, José Eloi Guimarães. **Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos**. Revista Brasileira de Geociências: 34(1):41-48, março de 2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica n. 06010 de 1988. Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas. Disponível no site: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em 15 de abril de 2012.

COSTA, Ana Marcilene Ribeiro da Costa et al. **Uso e Qualidade da Água Subterrânea na Cidade de Manaus**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2003.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível no site: <<http://www.dnpm.gov.br>> Acesso em 11 de maio de 2012.

FONSECA, Denise Pini Rosalem da; SIQUEIRA, Josafá Carlos de. **Sobre as águas: desafios e perspectivas**. Rio de Janeiro: PUC RJ; Aparecida, SP: Idéias & Letras, 2004. 194 p.

GAMA, Carlos Dinis da Gama et al. **Impacto Ambiental das Águas Subterrâneas pela Drenagem Ácida de Rochas na Exploração de Minas**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2006

GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALES, Valter Galdiano. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Signus, 2006, 502p.

GOOGLE EARTH. Disponível no site: <http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em 21 de junho de 2012.

GOOGLE MAPS. Disponível no site: <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>. Acesso em 20 de junho de 2012.

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. Reuso de Água, 2003, Barueri, São Paulo: Manole, 2003, 579p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível no site: <http://www.ibge.gov.br>.> Acesso em 13 de abril de abril 2012.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Introdução a química ambiental: química & meio ambiente & sociedade**. Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002. 487 p.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Águas & Águas**. 2. ed. atual e rev São Paulo: Varela, 2004. 977 p

MACHADO, Carlos José Saldanha (Org.). **Gestão de águas doces**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

MENEZES, Juliana M. **Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais**: Bacia Hidrográfica do Rio são Domingos- RJ. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.4, p.687-698, out./dez. 2009.

NUNES, et al. **Avaliação dos parâmetros Físicos-Químicos da Água Subterrânea Utilizada nos Distritos de Campos dos Goytacazes**, RJ. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Rio de Janeiro: 2006

OLIVEIRA, Silvio Luiz. **Tratado de Metodologia Científica: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses.** São Paulo: Pioneira, 2002.

PORTO, Rubem La Laina et al. **Hidrologia Ambiental.** São Paulo: EDUSP, 1991, 414p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAPIVARI DE BAIXO. Disponível em: <<http://www.capivaridebaixo.sc.gov.br>>. Acesso em 17 de abril de 2012.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em 07 de abril de 2012.

TELLES, Dirceu D' Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas.** 8.ed. São Paulo: Blucher, 2007, 331p.

TRACTEBEL ENERGIA. Disponível em: <http://portal.tractebelenergia.com.br> . Acesso em 20 de maio de 2012.

TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Universidade, 1997. 943p.

TRESSOLDI, Marilda. **Proposições para investigação de parâmetros controladores da contaminação do subsolo e das águas subterrâneas.** 242 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS. **Carvão e meio ambiente.** Porto Alegre: Universidade, 2000, 991p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e Tratamento de Esgotos.** 3. Ed.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.