

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**BIANCA SIMONI KANCELKIS**

**Aspectos geológicos, geotécnicos e problemas ambientais de áreas irrigadas:  
Bacia Ribeirão dos Cocais - Casa Branca/SP**

**São Carlos /SP**

**2016**

**BIANCA SIMONI KANCELKIS**

**Aspectos geológicos, geotécnicos e problemas ambientais de áreas irrigadas:  
Bacia Ribeirão dos Cocais - Casa Branca/SP**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

**Orientador:** Professor Doutor Lázaro Valentim Zuquette

**VERSÃO CORRIGIDA**

**São Carlos /SP**

**2016**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

K16a Kancelkis, Bianca Simoni  
Aspectos Geológicos, Geotécnicos e Problemas  
Ambientais de Áreas Irrigadas:- Bacia Ribeirão dos  
Cocais - Casa Branca/SP / Bianca Simoni Kancelkis:  
orientador Lázaro Valentin Zuquette. São Carlos, 2016.  
  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação  
e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2016.  
  
1. Problemas Ambientais. 2. Aspectos Geológicos e  
Geotécnicos. 3. Áreas Irrigadas. 4. Pivô Central. 5.  
Casa Branca/SP. 6. Brasil. I. Título.

## FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **BIANCA SIMONI KANCELKIS**.

Título da dissertação: "Aspectos geológicos, geotécnicos e problemas ambientais de áreas irrigadas: Bacia Ribeirão dos Cocais – Casa Branca -SP".

Data da defesa: 08/08/2016

### Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Lázaro Valentin Zuquette (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Rogério Pinto Ribeiro**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Edilson Pissato**  
(Instituto de Geociências/IG-USP)

### Resultado:

Aprovada

Aprovada

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:  
Prof. Dr. **Edmundo Rogério Esquivel**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:  
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

Dedico este trabalho ao meu pai (Luiz  
E. Simoni<sup>+</sup>) e a minha avó (Maria G.  
Moreira<sup>+</sup>). Os sinto ao meu lado todos os  
dias. O amor só aumenta e a saudade  
nunca diminui.

Ofereço a todos os pesquisadores que não  
medem esforços para a realização de suas  
pesquisas.

## AGRADECIMENTOS

Primordialmente a Deus, por sempre atender as minhas preces e me dar força e determinação para alcançar meus objetivos.

Ao Professor Lázaro Valentin Zuquette. Não tenho palavras para expressar minha gratidão ao senhor, não apenas pela orientação, mas pela amizade, confiança e apoio que sempre me deu, principalmente nos momentos mais dolorosos. Ser Mestre é uma grande satisfação. Ser Mestre sob sua orientação é uma honra.

Aos Técnicos dos Laboratórios do Departamento de Geotecnia (Sr. Antônio, Zé, Oscar e Dito) que não mediram esforços para me auxiliar, me ensinar e incentivar frente a tantas amostras.

Aos professores do Departamento de Geotecnia que muito contribuíram para meu aprendizado. Em especial ao professor Esquivel por todo incentivo e ajuda.

Ao Professor Edenir R. Pereira-Filho por tão gentilmente me ajudar com as análises de fertilizantes químicos.

Ao Ednilson Quinto Faria por toda ajuda em trabalho de campo.

Aos meus amigos que estão e ao que já são Mestres e Doutores da sala de Mapeamento: Tálita; Camila, Bruno; Ligia, Ana Paula, Ana Cláudia, Monique, Diego. Muito obrigada por toda amizade! Minha Dissertação tem um pouquinho de cada um de vocês. Em especial agradeço ao Moisés, ao Lucas e a Claudinha, poxa, nem sei o que dizer a vocês! Passamos por tantos momentos felizes e nos tristes nos apoiamos e nos ajudamos e isto é para sempre, não há tempo que apague!

A minha Querida Amiga Luciana Dias Cappelini, o que seria de mim sem o seu suporte químico de ser? Muito obrigada!

A minha mãe (Sônia M. M. Simoni) e ao meu irmão (Marlon A Simoni) não sou ninguém sem vocês, obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Ao Dri, meu companheiro de bons e maus momentos, por toda ajuda e

incentivo...love you, Gordo!

A minha família amada e em especial ao meu avô Rosalvo Moreira, por saber compreender minha ausência nos almoços e sempre me apoiar.

Aos meu atuais e ex-alunos do Senac São Carlos, vocês são, sem a menor sombra de dúvidas, meus maiores motivadores para a busca constante de conhecimento.

As minhas Amigas Irmãs: Maria Elizabeth Esperança de Abreu, Josiane de Fátima Ferreira, Gisele de Lima e Gláucia Maria Saia Cristianni. Não imagino minha vida sem vocês! Obrigada pelas palavras, cada gesto de carinho e preocupação.

Enfim agradeço imensamente os criadores dos MM's, sempre fico mais feliz com eles.



A ignorância gera mais frequentemente confiança do que o conhecimento. São os que sabem pouco, e não aqueles que sabem muito, que afirmam de uma forma tão categórica que este ou aquele problema nunca será resolvido pela ciência.

Charles Darwin

## RESUMO

KANCELKIS, B.S. Aspectos geológicos, geotécnicos e problemas ambientais de áreas irrigadas: Bacia Ribeirão dos Cocais - Casa Branca/SP, 2016 (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo realizado em uma região com presença de muitas áreas irrigadas na Bacia do Ribeirão dos Cocais – Casa Branca/SP, em termos de avaliação de problemas ambientais e aspectos geológicos e geotécnicos. Para sua realização, em uma primeira etapa, foram identificadas e delimitadas as áreas irrigadas por pivô central e os reservatórios, seguida de uma avaliação temporal e espacial. Em seguida, foram realizados trabalhos de campo, com o objetivo de coletar amostras de solo e água para posteriores análises em laboratório. De modo geral, o estudo permitiu concluir que as áreas irrigadas têm seu comportamento em função de características geológicas e geotécnicas dos materiais geológicos, assim como o cálculo da lamina de água para irrigação depende destas propriedades. A bacia objeto do estudo apresenta diversos problemas ambientais como presença de metais no solo, nas águas superficiais e subterrâneas decorrentes do uso de fertilizantes junto da prática de irrigação, assim como problemas na dinâmica das águas superficiais devido a construção dos reservatórios, erosão, assoreamento, eutrofização, turbidez e alterações dos canais de drenagem.

Palavras-Chave: Problemas Ambientais, Aspectos Geológicos e Geotécnicos, Áreas Irrigadas, Pivô Central; Casa Branca/SP; Brasil.

## ABSTRACT

**KANCELKIS, B.S.** Geological and Geotechnical Aspects and Environmental Problems of Irrigated Areas :Basin Ribeirão dos Cocais – Casa Branca/SP, 2016 (Mestrado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos , Universidade de São Paulo, 2016 .

This paper presents the results from a study accomplished in a region with many irrigated areas in the Ribeirão dos Cocais - Casa Branca/SP, in terms of environmental problem, geological and geotechnical aspect assessment. For its accomplishment, in a first step, the central pivot - irrigated areas and reservoirs were identified and delimited, followed by a temporal and spatial analysis. In addition, field work for collecting geological material and water samples for further laboratory tests. In general, the study allowed to conclude that behavior of the irrigated areas is controlled by geological and geotechnical characteristics of the geological materials, as well as the calculation of water layer for irrigation depends on these properties. The basin object of this study presents several environmental problems such as the presence of metals in the soil, surface and ground waters arising from the use of fertilizers by the practice of irrigation, as well as problems in the dynamics of surface water due to the construction of reservoirs, erosion, siltation, turbidity, eutrophication of the reservoirs and drainage channels and changes of drainage channel characteristics.

Key-words – Environmental problems, Geotechnical and geological aspects, central pivot – irrigated areas; Casa Branca/SP - Brasil.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1 – Irrigação localizada, por gotejamento. Fonte: <a href="http://sna.agr.br/2015">http://sna.agr.br/2015</a></i>   | 31 |
| <i>Figura 2 - Irrigação localizada por gotejamento. Fonte: <a href="http://sna.agr.br">http://sna.agr.br</a> (2015).</i>  | 31 |
| <i>Figura 3 - Formação do bulbo úmido Fonte: <a href="http://sna.agr.br">http://sna.agr.br</a> (2015).</i>  | 32 |
| <i>Figura 4 - Distribuição de água no solo. Fonte: Keller e Bliesner, 1990.</i>   | 33 |
| <i>Figura 5 - Movimento de água no solo. Fonte: Withers e Vipond 1977</i>   | 35 |
| <i>Figura 6 - Exemplo de Irrigação de Subsuperfície Natural. Fonte: Withers e Vipond 1977</i>   | 35 |
| <i>Figura 7 - Corte transversal de uma barragem</i>   | 36 |
| <i>Figura 8 - Sistema de irrigação de subsuperfície por gotejamento. Fonte: Testzlaf, R.(2011)</i>  | 37 |
| <i>Figura 9 - Corte lateral evidenciando o bulbo molhado na irrigação de subsuperfície. Fonte: Testzlaf, R. (2011).</i>   | 37 |
| <i>Figura 10 - Reservatório Artificial para armazenamento de água.</i>  | 38 |
| <i>Figura 11 - Reservatório e conjunto bombeador de água para o suprimento do pivô central.</i>   | 38 |
| <i>Figura 12 - Aspersor giratório. Fonte: Gomes, 2013</i>   | 39 |
| <i>Figura 13 - Esquema ilustrativo de um sistema de irrigação por pivô central. Fonte: Mendes et al, 2012.</i>  | 41 |
| <i>Figura 14 - Pivô central do tipo torre móvel.</i>  | 41 |
| <i>Figura 15 - Pivô central do tipo torre fixa.</i>   | 41 |
| <i>Figura 16 - Distribuição das faixas de irrigação. Fonte: Testezlaf, R. 2010</i>  | 42 |
| <i>Figura 17 - Vista aérea de áreas irrigadas por pivô central. Fonte: Google Earth, 2013.</i>  | 42 |
| <i>Figura 18 - Estrutura central do pivô. Foto feita na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais.</i>  | 43 |
| <i>Figura 19 - Vista longitudinal de pivô central em atividade.</i>   | 43 |
| <i>Figura 20 - constituintes de um tensiômetro. Fonte: Google, 2016.</i>  | 52 |
| <i>Figura 21 - Posição dos instrumentos alocados em campo para medição do conteúdo de água no solo. Fonte: Albuquerque, 2010.</i>                                   | 52 |
| <i>Figura 22 - Componentes do Balanço Hídrico em condições naturais. Fonte: Sentelhas e Angelocci, (2009).</i>  | 54 |
| <i>Figura 23 - Estimativa do desenvolvimento do sistema radicular de culturas de ciclo curto em função das fases do ciclo da cultura. Fonte: Albuquerque, 2010.</i> | 57 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 24 - Diagrama Esquemático do mecanismo de impacto de uma gota de água sobre a superfície, em solos com alta (A) e baixa (B) resistência mecânica. Fonte: Al-Durrah &amp; Bradford, 1982.</i> | 67  |
| <i>Figura 25 - Reservatório Eutrofizado. Foto feita na Bacia dos Ribeirão dos Cocais – Casa Branca/SP – Fevereiro/2015.</i>  | 78  |
| <i>Figura 26 - Modelo Conceitual considerado para vertente com área irrigada.</i>  | 83  |
| <i>Figura 27 – Fluxograma de Materiais e Métodos</i>   | 86  |
| <i>Figura 28 - Esquema de montagem das imagens aéreas.</i>   | 87  |
| <i>Figura 29 - Fotos aéreas do ano de 1988 digitalizadas</i>   | 88  |
| <i>Figura 30 - Sobreposição das fotos aéreas do ano de 1988.</i>   | 88  |
| <i>Figura 31 - Coletor em material de PVC utilizado para amostragem de água.</i>   | 90  |
| <i>Figura 32 - Processo de filtração das amostras de água em campo.</i>  | 91  |
| <i>Figura 33 - Amostras acondicionadas em caixa de isopor com gelo.</i>  | 91  |
| <i>Figura 34 – Coleta de amostras de solo utilizando trado</i>   | 92  |
| <i>Figura 35 - Procedimentos para abertura da trincheira</i>   | 93  |
| <i>Figura 36 - Procedimento de Coleta de Amostras Indeformadas em colunas de PVC</i>   | 93  |
| <i>Figura 37 - Esquema do ensaio de infiltração através do Duplo Anel. Fonte: Zuquette &amp; Palma, 2006.</i>  | 94  |
| <i>Figura 38 - Foto do Infiltrômetro Duplo Anel instalado para a realização do ensaio</i>  | 95  |
| <i>Figura 39 - Ensaio de Infiltração Duplo Anel</i>  | 95  |
| <i>Figura 40 - Procedimento de preparação do Duplo Anel.</i>   | 96  |
| <i>Figura 41 - Foto do local com a retirada da camada revolvida do solo.</i>   | 97  |
| <i>Figura 42 - Exemplo de furos feitos por trado.</i>  | 97  |
| <i>Figura 43 - Ensaio de Infiltração com carga constante.</i>  | 98  |
| <i>Figura 44 - Esquema do Penetrômetro Dinâmico Leve</i>   | 99  |
| <i>Figura 45 - Foto do ensaio penetrômetro</i>   | 100 |
| <i>Figura 46 - Coletor de PVC utilizado para a coleta de Sedimentos</i>  | 101 |
| <i>Figura 47 - Foto do Condutivímetro elétrico da marca Analyser 650.</i>  | 102 |
| <i>Figura 48 - Foto do pHmetro - Digmed</i>  | 103 |
| <i>Figura 49 - Foto do Equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica</i>   | 103 |
| <i>Figura 50 - Curvas de Calibração para os elementos Ca, Cd, Cr e Cu</i>  | 104 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 51 - Curvas de Calibração para os elementos Fe, Mg, Mn e Zn</b>   | <b>105</b> |
| <b>Figura 52 - Amostras de solo em processo de secagem.</b>   | <b>106</b> |
| <b>Figura 53 - Processo de destorroamento das amostras de solo</b>  | <b>106</b> |
| <b>Figura 54 - Amostras secas passadas na peneira de malha (#) 10.</b>  | <b>107</b> |
| <b>Figura 55 - Caracterização Táctil Visual realizada nas amostras de solo deformadas.</b>  | <b>108</b> |
| <b>Figura 56 - Material Seco oriundo do ensaio de sedimentação.</b>   | <b>109</b> |
| <b>Figura 57 - Conjunto de Peneiras utilizados</b>  | <b>109</b> |
| <b>Figura 58 - Conjunto de 3 amostras separadas pelas provetas de descanso do densímetro e termômetro.</b>                            | <b>110</b> |
| <b>Figura 59 - Foto do Ensaio de Sedimentação em andamento.</b>   | <b>111</b> |
| <b>Figura 60 - Procedimento de retirada de ar do Picnômetro.</b>  | <b>112</b> |
| <b>Figura 61 - Procedimento de leitura do peso do picnômetro do ensaio de Massa Específica.</b>                                       | <b>112</b> |
| <b>Figura 62 - Ensaio Azul de Metileno. Fonte: Material de aula Pejon (2015).</b>   | <b>114</b> |
| <b>Figura 63 - Preparo das Amostras para o ensaio de CE.</b>  | <b>116</b> |
| <b>Figura 64 - Solução (solo mais água MilliQ) após agitação de 30 segundos.</b>  | <b>116</b> |
| <b>Figura 65 - Processo de filtragem da solução - Conjunto de funis com filtros.</b>  | <b>116</b> |
| <b>Figura 66 - Maceração da amostra de amostras de fertilizantes</b>  | <b>118</b> |
| <b>Figura 67 - Peneira utilizada para preparo da amostra de fertilizantes.</b>  | <b>118</b> |
| <b>Figura 68 - Massa pesada do fertilizante</b>   | <b>119</b> |
| <b>Figura 69 - Esquema das componentes do equipamento para compactação da amostra.</b>  | <b>119</b> |
| <b>Figura 70 – Equipamento de compressão</b>  | <b>120</b> |
| <b>Figura 71 - Massa de fertilizante em forma de pastilha.</b>  | <b>120</b> |
| <b>Figura 72 - Massa de fertilizantes em formato de pastilhas.</b>  | <b>121</b> |
| <b>Figura 73 - Pastilhas de fertilizantes sendo colocadas no equipamento</b>  | <b>121</b> |
| <b>Figura 74 - Marcação dos pontos para início da leitura.</b>  | <b>122</b> |
| <b>Figura 75 - Amostras com ranhuras decorrentes da vaporização pelo laser.</b>   | <b>122</b> |
| <b>Figura 76 - Localização da Área de Estudo.</b>   | <b>127</b> |
| <b>Figura 77 - Dados relativos às médias mensais, desvio padrão e valores máximos e mínimos das chuvas do período de 1960 a 2016.</b> | <b>127</b> |
| <b>Figura 78 - Mapa das Sub-Bacias da Bacia do Ribeirão dos Cocais</b>  | <b>129</b> |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura 79 - Distribuição das Áreas Irrigadas por pivô central.</i>   | 130 |
| <i>Figura 80 - Gráfico de distribuição das áreas irrigadas por classe de extensão.</i>  | 133 |
| <i>Figura 81 - Localização das áreas irrigadas registrada no ano de 1988.</i>   | 134 |
| <i>Figura 82 - Localização das áreas irrigadas registradas no ano de 2000</i>   | 135 |
| <i>Figura 83 - Localização das áreas irrigadas registradas no ano 2013</i>  | 136 |
| <i>Figura 84 - Mapa de inventário geral dos reservatórios na Bacia, ano de 2013.</i>  | 137 |
| <i>Figura 85 – Gráfico de distribuição dos reservatórios por intervalos de áreas em m<sup>2</sup>.</i>  | 139 |
| <i>Figura 86 - Localização dos locais de coletas de amostras de água nas fontes e nos canais de drenagem.</i>   | 140 |
| <i>Figura 87 - Posição dos perfis geológicos na bacia.</i>  | 141 |
| <i>Figura 88 - Perfil geológico na posição 1-1' da Figura 87.</i>   | 143 |
| <i>Figura 89 - Perfil geológico na posição 2-2' da Figura 87.</i>   | 145 |
| <i>Figura 90 - Perfil geológico na posição 3-3' da Figura 87.</i>   | 147 |
| <i>Figura 91 - Exemplo de reservatório eutrofizado com grande magnitude.</i>  | 149 |
| <i>Figura 92 - Exemplo de reservatório eutrofizado com magnitude menor.</i>   | 150 |
| <i>Figura 93 - Exemplo de processos erosivos do tipo sulco nas áreas irrigadas. Pivô P73C.</i>  | 151 |
| <i>Figura 94 - Exemplo de Processo de assoreamento no reservatório nº 22</i>  | 152 |
| <i>Figura 95 - Conjunto de reservatórios com características bem distintas em termos de volume, turbidez e eutrofização.</i>                                | 153 |
| <i>Figura 96 - Interrupção do canal afetando a continuidade do fluxo.</i>   | 154 |
| <i>Figura 97 - Exemplo de mudança na vazão baixa do rio, consequência dos reservatórios a montante, como crescimento da vegetação no canal de drenagem.</i> | 155 |
| <i>Figura 98 - Exemplo de reservatório com alto nível de turbidez.</i>  | 156 |
| <i>Figura 99 - Exemplo de reservatório com turbidez.</i>  | 157 |
| <i>Figura 100 - Sedimentos Finos após filtragem das águas reservatórios.</i>  | 157 |
| <i>Figura 101 - Construção reservatório ao longo do canal de drenagem</i>   | 158 |
| <i>Figura 102 - Exemplo de degradação ambiental com canal de drenagem seco.</i>   | 159 |
| <i>Figura 103 – Exemplo de canalização em Área de Preservação Permanente</i>  | 160 |
| <i>Figura 104 - Exemplo de Área úmida aterrada - PC5 (a) e estrangulamento/destruição do canal de saída da área úmida (b).</i>                              | 161 |
| <i>Figura. 105 - Imagem com o registro de área irrigada em processo de lançamento de fertilizantes.</i>   | 162 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 106 - Imagem com o registro de reservatório seco demonstrando o desaparecimento da fonte natural.</b> | <b>162</b> |
| <b>Figura 107 - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A1 foi retirada.</b>      | <b>163</b> |
| <b>Figura 108 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A1.</b>                            | <b>165</b> |
| <b>Figura 109 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A1 – presença de metais.</b>                 | <b>166</b> |
| <b>Figura 110 - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A2 foi retirada</b>       | <b>167</b> |
| <b>Figura 111 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A2</b>                             | <b>168</b> |
| <b>Figura 112 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A2 – presença de metais.</b>                 | <b>169</b> |
| <b>Figura 113 - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A3 foi retirada</b>       | <b>170</b> |
| <b>Figura 114 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A3</b>                             | <b>171</b> |
| <b>Figura 115 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A3 – presença de metais.</b>                 | <b>172</b> |
| <b>Figura 116 – Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A4 foi retirada</b>       | <b>173</b> |
| <b>Figura 117 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A4</b>                             | <b>174</b> |
| <b>Figura 118 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A4 – presença de metais</b>                  | <b>175</b> |
| <b>Figura 119 - Valores de pH e Condutividade Elétrica obtidos para amostras de água das fontes.</b>            | <b>176</b> |
| <b>Figura 120 - Valores de pH e Condutividade Elétrica obtidos para amostras dos canais de drenagem..</b>       | <b>177</b> |
| <b>Figura 121 - Dados de pH e C.E dos reservatórios.</b>  | <b>178</b> |
| <b>Figura 122 - Localização da área sem pivô de irrigação.</b>  | <b>181</b> |
| <b>Figura 123 - Curvas Granulométricas dos solos da área sem pivô.</b>  | <b>182</b> |
| <b>Figura 124 - Curva da capacidade de infiltração potencial do Ponto 1 com solo revolvido - Área sem pivô.</b> | <b>186</b> |
| <b>Figura 125 – Curva da capacidade de infiltração potencial do Ponto 2 (condição natural) - Área sem pivô</b>  | <b>187</b> |



|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 126 – Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - solo seco – área sem pivô.</i>  | 188 |
| <i>Figura 127 - Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - ponto úmido 1</i>               | 189 |
| <i>Figura 128 - Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - Ponto 2 - solo úmido</i>        | 189 |
| <i>Figura 129 - Fases de desenvolvimento das raízes. Fonte: Cruz et.al. (2008).</i>                          | 191 |
| <i>Figura 130 – Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 77 C. Ano de referência 1988.</i>          | 195 |
| <i>Figura 131 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P77C</i>                    | 196 |
| <i>Figura 132 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 20 C. Ano de referência 1988.</i>          | 199 |
| <i>Figura 133 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P20C</i>                    | 200 |
| <i>Figura 134 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 13 C. Ano de referência 1988.</i>          | 202 |
| <i>Figura 135 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P13 C</i>                   | 203 |
| <i>Figura 136 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 23 C. Ano de referência 1988.</i>          | 205 |
| <i>Figura 137 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P23 C</i>                   | 206 |
| <i>Figura 138 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 18 C. Ano referência 2000.</i>             | 208 |
| <i>Figura 139 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P18C</i>                    | 209 |
| <i>Figura 140 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 51 C. Ano referência 2000.</i>             | 211 |
| <i>Figura 141 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P51C</i>                    | 212 |
| <i>Figura 142 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 65 C – Ponto A. Ano Referência 2000.</i>   | 214 |
| <i>Figura 143 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P65C – Ponto A</i>          | 215 |
| <i>Figura 144 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 65 C - Ponto B. Ano de referência 2000</i> | 217 |
| <i>Figura 145 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P65C - Ponto B</i>          | 218 |
| <i>Figura 146 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 69 C. Ano referência 2000</i>              | 220 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura 147 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P69C</i>           | 221 |
| <i>Figura 148 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 5C. Ano referencia 2013.</i>      | 223 |
| <i>Figura 149 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P5C</i>            | 224 |
| <i>Figura 150 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 30 C. Ano referência, 2013.</i>   | 226 |
| <i>Figura 151 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P30C</i>           | 227 |
| <i>Figura 152 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 49 C. Ano referencia 2013.</i>    | 229 |
| <i>Figura 153 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P49C</i>           | 230 |
| <i>Figura 154 - Localização da área irrigada – Área irrigada - Pivô 112 C. Ano referencia 2013.</i> | 232 |
| <i>Figura 155 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P112C</i>          | 233 |
| <i>Figura 156 – Área sem pivô ocupada com pastagem durante o período de amostragem de solo.</i>     | 236 |
| <i>Figura 157 – Distribuição das sub-bacias, vertentes e áreas irrigadas.</i>                       | 242 |
| <i>Figura 158 – Esquema das relações entre os diferentes aspectos envolvidos na área de estudo.</i> | 246 |

## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Quadro 1: Compilação das Análises das Áreas Irrigadas por Pivô Centra</b> | 235 |
|--|-----|

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| <i>Tabela 1 - Fatores que Afetam a Seleção do Método de Irrigação. Fonte: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.</i>   | 45  |
| <i>Tabela 2 - Eí adotados em projetos no Estado de SP</i>  | 48  |
| <i>Tabela 3 - Valores de Kc nos vários estágios de desenvolvimento da cultura. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)</i>  | 49  |
| <i>Tabela 4 - Valores de Kc nos vários estágios de desenvolvimento da cultura. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979) – (continuação)</i>  | 50  |
| <i>Tabela 5 - Fator de depleção por cultura. Fonte: Doorenbos &amp; Kassam, 1979.</i>  | 58  |
| <i>Tabela 6 - Fator de disponibilidade (y) para grupos de cultura em função da evapotranspiração máxima (ETm). Fonte: Doorenbos e Kassan (1979).</i>   | 59  |
| <i>Tabela 7 - Valores médios de disponibilidade hídrica até 40 cm de profundidade para alguns solos do Estado de São Paulo.</i>  | 60  |
| <i>Tabela 8 - Coeficiente de tanque para tanque classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).</i>                         | 62  |
| <i>Tabela 9 - Coeficiente de tanque para tanque classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979). (continuação Tabela 8).</i> | 62  |
| <i>Tabela 10 - Salinidade recomendada para águas de irrigação. Fonte: EPA – Austrália (1991). * Sólidos Totais Suspensos, ** Condutividade Elétrica.</i>   | 75  |
| <i>Tabela 11 - Valores das Áreas por Pivô.</i>   | 132 |
| <i>Tabela 12 - Áreas dos reservatórios.</i>  | 138 |
| <i>Tabela 13 - Valores de alguns elementos obtidos pela espectrometria de absorção atômica por chama.</i>  | 179 |
| <i>Tabela 14 - Índices físicos do solo área sem pivô</i>   | 183 |
| <i>Tabela 15 - Dados de CE, pH e CTC da área sem pivô</i>  | 184 |
| <i>Tabela 16 - Dados de SE, Vb e Acb da área sem pivô.</i>   | 185 |
| <i>Tabela 17 - Valores de Condutividade Hidráulica (K) obtidos nos furos</i>   | 187 |
| <i>Tabela 18 - Resultados da Lâmina Líquida e Bruta</i>  | 192 |
| <i>Tabela 19 – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 2,5 mm/dia</i>   | 192 |
| <i>Tabela 20 – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 5 mm/dia</i>   | 193 |

|   |            |
|---|------------|
| <b><i>Tabela 21 – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 7,5 mm/dia</i></b> | <b>193</b> |
| <b><i>Tabela 22 - Dados de CE, pH e CTC – Amostras 77C</i></b>  | <b>195</b> |
| <b><i>Tabela 23 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P20 C</i></b>   | <b>199</b> |
| <b><i>Tabela 24 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras 13C</i></b>   | <b>202</b> |
| <b><i>Tabela 25 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras 23C</i></b>   | <b>205</b> |
| <b><i>Tabela 26 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P18C</i></b>  | <b>208</b> |
| <b><i>Tabela 27 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P51C</i></b>  | <b>211</b> |
| <b><i>Tabela 28 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 65 C - PONTO A</i></b>  | <b>214</b> |
| <b><i>Tabela 29 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 65 C - PONTO B</i></b>  | <b>217</b> |
| <b><i>Tabela 30 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P69C</i></b>  | <b>220</b> |
| <b><i>Tabela 31 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 5C</i></b>  | <b>223</b> |
| <b><i>Tabela 32 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 30C</i></b>   | <b>226</b> |
| <b><i>Tabela 33 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P49C</i></b>  | <b>229</b> |
| <b><i>Tabela 34 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 112C</i></b>  | <b>232</b> |
| <b><i>Tabela 35 - Variações texturais dos solos das áreas irrigadas investigadas.</i></b>   | <b>237</b> |
| <b><i>Tabela 36 - Áreas de sub-bacias e porcentagem irrigada.</i></b>   | <b>243</b> |
| <b><i>Tabela 37 - Área das Sub-bacias sem áreas irrigadas.</i></b>  | <b>245</b> |

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>              | <b>23</b> |
| 1.1 INTRODUÇÃO  | 23        |
| 1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA                           | 24        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA                                       | 24        |
| 1.4 OBJETIVOS   | 25        |
| <b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>               | <b>26</b> |
| 2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS                              | 26        |
| 2.2 - LEGISLAÇÃO  | 26        |
| 2.2.1 - Recursos Hídricos                               | 26        |
| 2.3 - AGRICULTURA IRRIGADA E OS RECURSOS HÍDRICOS       | 28        |
| 2.3.1 - Processo de Irrigação                           | 30        |
| 2.4 - PIVÔ CENTRAL                                      | 40        |
| 2.5 - SÍNTESE DOS DIFERENTES MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.      | 44        |
| 2.6 - CUIDADOS NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO | 45        |
| 2.7 - ELABORAÇÃO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO                | 46        |
| 2.8 - CÁLCULO DA LÂMINA DE ÁGUA PARA PIVÔ CENTRAL       | 48        |
| 2.8.1 Irrigação via Solo e Clima                        | 51        |
| 2.9 - PROBLEMAS AMBIENTAIS                              | 63        |
| 2.10 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO                 | 79        |
| <b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b>                 | <b>82</b> |
| 3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS                              | 82        |
| 3.2 - MODELO CONCEITUAL                                 | 82        |
| 3.3 - ETAPAS  | 83        |
| 3.4 - TRABALHO DE ESCRITÓRIO                            | 87        |
| 3.4.1 - Levantamento de Materiais                       | 87        |
| 3.4.2 - Trabalho de Fotointerpretação e Digitalização   | 87        |
| 3.5 - TRABALHO DE CAMPO                                 | 89        |
| 3.5.1 - Amostras de fertilizantes                       | 89        |
| 3.5.2 - Amostragem de Água                              | 89        |
| 3.5.2.1 - Reservatórios                                 | 89        |
| 3.5.2.2 - Canais de Drenagem                            | 89        |
| 3.5.2.3 - Fontes  | 90        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.5.3 - Procedimento para Coleta  | 90         |
| <b>3.6 - AMOSTRAGEM DE SOLO</b>   | <b>92</b>  |
| 3.6.1 - Deformada   | 92         |
| 3.6.2 - Indeformada   | 93         |
| <b>3.7 - ENSAIO IN SITU</b>   | <b>94</b>  |
| 3.7.1 - Ensaio de Infiltração - Duplo Anel  | 94         |
|   | 97         |
| 3.7.2 - Ensaio de Condutividade Hidráulica em Furo de Sondagem                            | 97         |
| 3.7.3 - Ensaio de Resistência Mecânica à Penetração                                       | 98         |
| <b>3.8 - COLETA DE SEDIMENTOS</b>   | <b>101</b> |
| <b>4 - TRABALHO DE LABORATÓRIO</b>  | <b>102</b> |
| <b>4.1 - AMOSTRAS DE ÁGUA</b>   | <b>102</b> |
| 4.1.1 - Ensaio de Condutividade Elétrica  | 102        |
| 4.1.2 - Ensaio de pH  | 103        |
| 4.1.3 - Espectrometria de Absorção Atômica por Chama                                      | 103        |
| <b>4.2 - AMOSTRAS DE SOLO</b>   | <b>105</b> |
| 4.2.1 - Preparação das Amostras Deformadas  | 105        |
| 4.2.2 - Granulometria Conjunta  | 107        |
| 4.2.3 - Massa Específica dos Sólidos  | 111        |
| 4.2.4 - Método do Azul de Metileno  | 113        |
| 4.2.5 - Condutividade Elétrica (CE)   | 115        |
| 4.2.6 - pH  | 117        |
| 4.2.7 - Massa específica aparente seca, porosidade e índices de vazios                    | 117        |
| <b>4.3 - AMOSTRAS DOS FERTILIZANTES</b>   | <b>117</b> |
| <b>5 - CÁLCULO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO</b>   | <b>123</b> |
| <b>6 - MATERIAIS</b>  | <b>125</b> |
| <b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS</b>  | <b>126</b> |
| <b>4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS COCAIS</b> | <b>126</b> |
| <b>4.2 - MAPA DAS SUB-BACIAS E VERTENTES (ANEXO 1)</b>                                    | <b>128</b> |
| <b>4.3 - INVENTÁRIO DAS ÁREAS IRRIGADAS (ANEXO 2)</b>                                     | <b>130</b> |
| 4.3.1 - Mapa de Inventário Geral  | 130        |
| 4.3.2 - Obtenção das Áreas de Cada Pivô de Irrigação                                      | 131        |
| 4.3.3 - Análise da Distribuição Temporal das Áreas Irrigadas                              | 133        |
| <b>4.4 - INVENTÁRIO DOS RESERVATÓRIOS (ANEXO 3)</b>                                       | <b>137</b> |
| 4.4.1 - Mapa de Inventário Geral  | 137        |
| 4.4.2 - Obtenção das Áreas dos Reservatórios  | 138        |
| <b>4.5 - SELEÇÃO DAS FONTES E PONTOS DOS CANAIS DE DRENAGEM PARA AMOSTRAGEM</b>           | <b>139</b> |
| <b>4.6 - ÁREAS IRRIGADAS X ASPECTOS GEOLÓGICOS</b>  | <b>140</b> |
| <b>4.7 - PROBLEMAS AMBIENTAIS</b>   | <b>149</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 4.7.1 - Eutrofização  | 149        |
| 4.7.2 - Erosão  | 150        |
| 4.7.3 - Assoreamento  | 151        |
| 4.7.4 - Alterações dos canais de drenagem   | 152        |
| 4.7.5 – Alteração da Vazão  | 155        |
| 4.7.6 - Aumento da Turbidez   | 156        |
| 4.7.7 - Interferência no Canal de Drenagem  | 158        |
| 4.7.8 - Alteração em Área de Preservação  | 160        |
| 4.7.9 - Alteração de Áreas úmidas   | 161        |
| 4.7.10 - Fontes de poluentes  | 162        |
| <b>4.8 - ANÁLISE DOS FERTILIZANTES</b>  | <b>163</b> |
| 4.8.1 - Caracterização das Amostras dos Fertilizantes   | 163        |
| <b>4.9 - ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS</b>   | <b>176</b> |
| 4.9.1 - Fontes  | 176        |
| 4.9.2 - Canais de drenagem  | 177        |
| 4.9.3 - Reservatórios   | 177        |
| <b>4.10 - ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA POR CHAMA – FONTE, CANAIS E RESERVATÓRIOS.</b>       | <b>179</b> |
| <b>4.11 - ANÁLISES DA ÁREA SEM PIVÔ</b>   | <b>180</b> |
| 4.11.1 - Localização da Área Sem Pivô   | 180        |
| 4.11.2 – Ensaio de Granulometria Conjunta   | 180        |
| 4.11.3 - Índices Físicos do Solo para Área sem Pivô   | 183        |
| 4.11.4 - Condutividade Elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC)                    | 183        |
| 4.11.5 - Superfície Específica (SE), Valor do Azul de Metileno e Atividade da Fração Argila (Abc) | 184        |
| 4.11.6 - Capacidade de Campo (CC)   | 185        |
| 4.11.7 - Ponto de Murchamento   | 186        |
| 4.11.8 – Ensaio in situ de Infiltração com Duplo Anel   | 186        |
| 4.11.9 – Ensaio de Condutividade Hidráulica in situ – Furo de Sondagem                            | 187        |
| 4.11.10 – Ensaio in situ de Resistência a Penetração  | 188        |
| 4. 11.11 - Cálculo da Lâmina de Água para a Área Sem Pivô   | 190        |
| <b>4.12 - ANÁLISES DAS ÁREAS COM PIVÔ DE IRRIGAÇÃO.</b>   | <b>193</b> |
| 4.12.1 - Área Irrigada - Pivô 77 C  | 193        |
| 4.12.2 - Área Irrigada - Pivô 20 C.   | 198        |
| 4.12.3 - Área Irrigada - Pivô 13 C  | 201        |
| 4.12.4 - Área Irrigada - Pivô 23 C  | 204        |
| 4.12.5 - Área Irrigada – Pivô 18 C  | 207        |
| 4.12.6 - Área Irrigada - Pivô 51 C  | 210        |
| 4.12.7 - Área Irrigada - Pivô 65 C - Ponto A.   | 213        |
| 4.12.8 - Área Irrigada - Pivô 69 C - Ponto B.   | 216        |
| 4.12.9 - Área Irrigada - Pivô 69 C.   | 219        |
| 4.12.9 - Área Irrigada - Pivô 5 C.  | 222        |
| 4.12.10 - Área Irrigada - Pivô 30 C.  | 225        |
| 4.12.12 - Área Irrigada - Pivô 49 C.  | 228        |
| 4.12.13 - Área Irrigada – Pivô 112 C.   | 231        |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 - COMPARAÇÕES DE DADOS DA ÁREA SEM IRRIGAÇÃO COM OS DAS ÁREAS IRRIGADAS | 236 |
| 5.2 – IRRIGAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS                                   | 240 |
| 5.3 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL                                      | 240 |
| 5.4 – QUANTO ÀS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS  | 240 |
| 5.5 – QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DOS FERTILIZANTES                           | 241 |
| 5.6 – QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS                                   | 241 |
| 5.7 – RELAÇÕES DAS SUB-BACIAS/VERTENTES E ÁREAS IRRIGADAS                   | 241 |
| 5.8 – QUANTO AOS PROBLEMAS AMBIENTAIS                                       | 246 |
| 6 - CONCLUSÃO   | 247 |
| 7 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA   | 249 |



# CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas de irrigação proporciona um aumento de produtividade para diversas culturas agrícolas. Por outro lado, a agricultura irrigada demanda o uso de grande volume d'água e energia, sendo apontada como a principal fonte de captação da água disponível nos mananciais, representando mais do que 70% da água consumida pela humanidade.

Durante a segunda metade do século XX a população mundial dobrou, no mesmo período em que o consumo de água quadruplicou. Estima-se que, em função de sua disponibilidade hídrica, o Brasil tenha um potencial 13% superior às capacidades mundiais de incorporação de novas áreas irrigadas. Apesar disso, o uso de irrigação na agricultura demanda cuidados e técnicas especiais para o aproveitamento racional da água, evitando o desperdício e contaminação do entorno.

As melhores práticas de irrigação são aquelas que buscam o uso mais eficiente da água, com base na demanda das culturas com programação da irrigação, evitando a compactação, a erosão, o escoamento superficial e a salinização nos solos, porém, ainda ocorre uma lacuna em como se estruturar e implementar manejo adequado entre os usuários da água e assegurar a aplicação contínua de práticas que conduzem a preservação da bacia hidrográfica onde há áreas irrigadas.

Dentre os diferentes tipos de irrigação o mais comum é o por aspersão, com destaque para o sistema de pivô central.

A irrigação por aspersão deve ser manejada não visando apenas à utilização dos recursos hídricos, mas também a prática associada à precipitação gerada pela aspersão do pivô central, assim como aplicação de fertilizantes, que pode afetar de maneira considerável o meio ambiente causando contaminação de solo, das águas superficiais e subterrâneas.

Os projetos de irrigação nos países com maior controle técnico são desenvolvidos com base em parâmetros climáticos, do solo, das águas e dos tipos de cultura visando o menor uso de quantidade de água e distribuição mais efetiva ao longo do perfil do solo, buscando minimizar problemas ambientais, pois estas áreas irrigadas estão sempre acompanhadas com monitoramento criterioso do clima, das necessidades do solo e dos fluxos de águas quanto a qualidade e disponibilidade, assim como as alterações físico-químicas dos solos e águas.

No Brasil as áreas irrigadas não estão sujeitas aos mesmos rigores técnicos e assim os problemas ambientais associados à atividade são variados, principalmente devido à ausência de monitoramento contínuo.

Com objetivo de avaliar tecnicamente uma região com muitas áreas irrigadas e suas condições, o presente estudo foi desenvolvido a partir de propriedades geotécnicas dos solos das áreas irrigadas, das águas superficiais e subterrâneas, dos reservatórios e das alterações ambientais provocadas pela atividade irrigação,

Desta maneira o estudo busca caracterizar e gerar informações sobre áreas irrigadas, por pivô central, de três diferentes períodos (1988; 2000 e 2013) na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais, na região de Casa Branca, estado de São Paulo, que dada às condições de demanda atual de seus recursos hídricos, principalmente pela prática de irrigação para atender campos produtivos, é classificada, segundo o DAEE, como crítica.

## **1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**

As áreas irrigadas demandam condições específicas de solos, clima e cultivares, assim como água com qualidade e quantidades adequadas.

Por outro lado, geram diversos problemas ambientais que trazem prejuízos econômicos, sociais e ambientais, que podem superar os ganhos com o processo de irrigação.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

A presente pesquisa justifica-se dada a atual situação da área de estudo, uma vez que o Plano Estadual de Recursos Hídricos estabelece como crítica, a bacia hidrográfica, ou parte dela, cuja demanda comprometida esteja maior que 50% da respectiva vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ) e, desta maneira, o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) no uso de suas atribuições, classifica a Bacia do Ribeirão dos Cocais como crítica.

Cientificamente justifica-se para compreensão do comportamento das áreas irrigadas considerando as características geotécnicas para manejo das áreas irrigadas, com diferentes períodos de irrigação.

## 1.4 OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivos:

- Inventário das áreas irrigadas e dos reservatórios de água da Bacia do Ribeirão dos Cocais até o ano de 2013;
- Inventários dos problemas ambientais;
- Avaliar as áreas irrigadas por diferentes períodos de tempo;
- Comparar as características geológicas, geotécnicas, físicas e químicas das áreas irrigadas com uma área sem irrigação;
- Avaliar dados fundamentais para o cálculo e distribuição da lâmina de água.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Neste capítulo serão abordados diversos tópicos relacionados aos temas envolvidos na dissertação.

### **2.2 - LEGISLAÇÃO**

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídrico, visão assegurar água de boa qualidade e quantidade suficiente à atual e às futuras gerações, por isso existe a necessidade da legislação conjunta da União e dos Estados para que haja garantia da gestão que correta do recuso hídrico.

#### **2.2.1 - Recursos Hídricos**

A Constituição Federal de 1988 em seus artigos 20 e 25 atribuiu à União e aos Estados a responsabilidade de legislar sobre os recursos hídricos da nação. Recentemente criou-se a lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997, conhecida como novo código das águas, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistemas de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O artigo 5<sup>o</sup> dispõe sobre seus instrumentos, conforme a seguir:

- I - Os Planos de Recursos Hídricos;
- II - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - A compensação a municípios;
- VI - O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O Estado de São Paulo aprovou a Lei nº 7.663, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos criando, desta maneira, mecanismo para a sociedade, através dos Comitês de Bacia dispor de recursos de controle e gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

O órgão gestor, determinado pela referida lei, no que diz respeito à quantidade dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) foi incumbido de aplicar um dos instrumentos da Política de Recursos Hídricos, a outorga e a fiscalização destes usos.

De acordo com o DAEE, existem no Estado de São Paulo cerca de dezesseis mil cursos d'água superficiais (rios, ribeirões, córregos, lagoas) cadastrados e, com registros de licenças concedidas.

No Estado de São Paulo, a vazão de referência, que representa a disponibilidade hídrica do curso d'água associada a uma probabilidade de ocorrência, é representada pela vazão mínima anual de setes dias consecutivos e período de retorno igual a dez anos, representado por  $Q_{7,10}$ . A vazão mínima remanescente, menor vazão a ser mantida no curso d'água a jusante de seções de controle, é referente ao valor de 50% da  $Q_{7,10}$  e, é utilizada como limitante quando da análise de manifestações prévias, de outorgas de direto de uso de recursos hídricos e nas autorizações de interferências hidráulicas.

Ainda de acordo com o DAEE, a demanda de usuários que manifestam interesse em regularização de uso e/ou interferências de recursos hídricos é cada vez maior e, assim, o consumo de água em várias bacias hidrográficas tem aumentado significativamente, principalmente para suprir demandas de irrigação.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos estabelece como crítica, aquela bacia hidrográfica, ou parte dela, cuja demanda comprometida esteja maior que 50% da respectiva vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ) e, nestes casos as bacias ditas como críticas devem receber gerenciamento especial, conforme segue:

I – O monitoramento da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos, de forma a permitir previsões que orientem o racionamento ou medidas especiais de controle de derivações de águas e de lançamento de efluentes;

II – A constituição de comissões de usuários, supervisionadas pelas entidades estaduais de gestão dos recursos hídricos, para o estabelecimento, em comum acordo, de regras de operação das captações e dos lançamentos;

III – A obrigatoriedade de implantação, pelos usuários, de programas de racionalização do uso de recursos hídricos, com metas estabelecidas pelos atos de outorga.

O Centro de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Diretoria de Bacia do Pardo Grande do DAEE, é responsável pela análise das solicitações de outorga de usos de recursos hídricos localizados nos municípios pertencentes às Unidades de Gerenciamento de Recursos

Hídricos 9 (UGRHI 9), o que caracteriza um importante instrumento para gestão e gerenciamento dos recursos hídricos entre os diversos usuários de maneira que não comprometa os recursos hídricos da bacia hidrográfica.

A agricultura irrigada deve ser licenciada, conforme o termo de outorga, cuja abrangência no Estado do São Paulo se encontra regulamentada pela Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 7.663), pois se trata de uma atividade que gera impactos como, por exemplo, interferência, a montante, com as barragens, canais e linhas de transmissão; a jusante, pela qualidade e disponibilidade da água aos usuários, flora e fauna; contaminação pelo uso intensivo de agroquímicos; salinização; escoamento superficial e erosão (Schmit, 2007), assim, devido ao reconhecimento dessas interferências ambientais, os seguintes usos dos recursos hídricos são sujeitos à outorga:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamentos em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

As derivações, captações, lançamentos, acumulações de volumes de água considerados insignificantes são liberados do processo da outorga.

De acordo com a Lei 4247/ 2003, derivações e captações para usos agropecuários com vazões de até 0,4 litro/s, com seus efluentes correspondentes, também são considerados insignificantes, bem como as extrações de água subterrânea inferiores ao volume diário equivalente a 5.000 litros e respectivos efluentes.

## **2.3 - AGRICULTURA IRRIGADA E OS RECURSOS HÍDRICOS**

A agricultura irrigada depende inteiramente da disponibilidade de recursos hídricos, sem água destinada para este fim a atividade deixa de existir. De acordo com Ministério da Integração Nacional (2008), as vazões demandadas pela agricultura irrigada já apresentam conflitos com o abastecimento humano. O setor agrícola é o maior consumidor de água. Ao

nível mundial a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos), e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (Christofidis, 1997).

Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, ao nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no hemisfério sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano (Paz *et al.*, 2000)

Ainda de acordo com Paz *et al.* (2000) a expansão da agricultura irrigada é uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água. O autor ressalta que em termos médios para se produzir uma tonelada de grão são necessárias mil toneladas de água.

De acordo com a FAO (2013) a superfície irrigada na América Latina é de aproximadamente 16 milhões de hectares, grande parte desta área corresponde ao México e o restante se distribui entre Argentina, Brasil, Chile e Peru.

A incorporação e expansão de áreas irrigadas devem estar associadas ao aumento dos níveis de produtividade atuais, desta maneira, é necessário se ter critérios quanto às práticas apropriadas de irrigação sem que estas resultem em danos ao sistema solo-planta. No mundo, 10 milhões de hectares de áreas são abandonados anualmente por efeito da salinização e processos decorrentes. Aproximadamente 23% da área cultivada no planeta se constituem de solos salinos e 37% de solos sódicos (FAO, 2013).

Paz *et al.* (2000) considera que uso eficiente da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade que se utiliza por unidade de qualquer atividade e, que favoreça a manutenção e a melhoria da qualidade de água, associa o uso eficiente ao manejo dos recursos ambientais. O autor ainda ressalta que o planejamento é indispensável para compatibilizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitoramento e qualidade dos recursos hídricos para se obter melhoria e eficiência do uso do recurso.

### 2.3.1 - Processo de Irrigação

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2011) O processo de irrigação é um método artificial de aplicação de água na agricultura, cujo principal objetivo é viabilizar os cultivos nos locais onde a escassez de água limita a atividade agrícola.

A adição de água pode ser feita das seguintes formas:

- Total – quando a água necessária para atender a demanda hídrica das culturas é aplicada via irrigação;
- Suplementar – quando a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda evapotranspirométrica da cultura;
- Com déficit hídrico - quando se planeja atender somente uma fração da demanda hídrica da cultura;
- Salvação- irriga-se somente num período relativamente curto ou em um estágio evolutivo da cultura.

### 1 - Métodos de Irrigação

A irrigação pode ser feita através de diferentes métodos, tais como:

- Aspersão,
- Localizada,
- Superfície e
- Subterrânea.

Cada método apresenta vantagens e desvantagens, o que não torna um melhor do que o outro, mas sim o que se melhor se adapta nas áreas a serem utilizados (Withers e Vipond, 1977).

O método adequado de irrigação a ser selecionado, depende de alguns aspectos que devem ser considerados, como a disponibilidade e qualidade da água, energia, a topografia e o tipo de solo, o custo de implantação, o clima e a cultura.

De acordo com Gomes (1994), no Brasil até o início dos anos 80, irrigava-se aproximadamente 1 milhão de hectares, sendo o método superficial por inundação o que ocupava a maior parte dessas áreas. A partir daí, com o incentivo do Programa Nacional de Irrigação (PRONI), houve um grande impulso na irrigação pressurizada, alcançando no ano agrícola 86/87 uma área irrigada de 2,3 milhões de hectares.

#### **Irrigação Localizada**



Neste tipo de irrigação, a água é aplicada ao solo diretamente na região das raízes, molhando apenas parte do volume do solo, com baixa vazão e pressão, permitindo alta frequência de irrigação o que mantém o solo com umidade elevada. Neste método de irrigação localizada, as técnicas de gotejamento e a microaspersão são os mais utilizados.

De acordo com Withers e Vipond (1977) o gotejamento foi originalmente desenvolvido para a aplicação de água em cultivos em estufa e em plantas que se encontravam relativamente distantes umas das outras, como no caso de pomares e parreiras. Entretanto, devido as vantagens que apresenta, passou a ser utilizado em campo. A aplicação da água é pontual em gotas através dos gotejadores que possuem orifícios de diâmetro muito reduzido, diretamente sobre a zona radicular da planta, Figuras 1 e 2. Ainda de acordo com os autores, este método permite aplicar, junto com a água, fertilizantes solúveis.



**Figura 1** – Irrigação localizada, por gotejamento. Fonte: <http://sna.agr.br> (2015).



**Figura 2** - Irrigação localizada por gotejamento. Fonte: <http://sna.agr.br> (2015).

Na microaspersão, a água é aspergida pelos microaspersores, em círculos de 1 a 3 m de raio, e pode chegar até 5 m. Nesta técnica a água é conduzida através de tubulação a baixa pressão, entretanto, ainda maior do que o gotejamento e fornecem vazões de 20 a 120 l/h (GOMES, 1986).

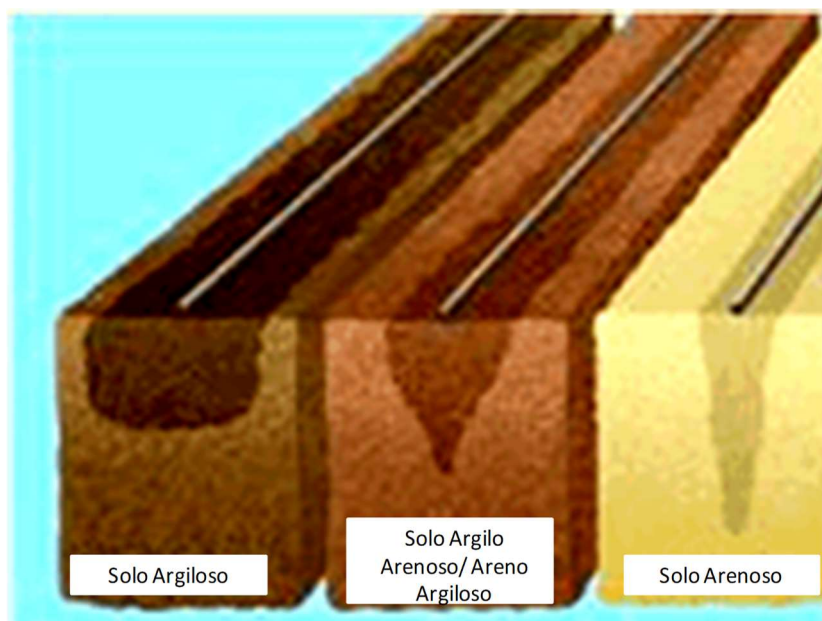
Apesar dos orifícios de saída dos microaspersores serem maiores que os dos gotejadores, há uma tendência de entupimento a água utilizada para abastecer sistema não é limpa. Este problema pode ser resolvido com o implemento de filtros ao longo do sistema de abastecimento, além da verificação constante dos bocais (Withers & Vipond, 1977).

A utilização da técnica de microaspersão permite que ocorra uma distribuição da umidade, de forma lateral ao emissor, maior quando comparada ao gotejamento, permitindo, assim, melhor ajuste da área úmida à área do sistema radicular. Em solos com maior

porcentagem de areia, a microaspersão proporciona uma maior área úmida no bulbo quando comparada ao bulbo úmido formado pelo gotejador.

Dada as condições de evapotranspiração, armazenamento de água no solo, escoamento superficial e sistema radicular, a irrigação por gotejamento deve ser realizada em intervalos menores do que a realizada por microaspersão.

De acordo com Withers e Vipond (1977) a forma e o tamanho do bulbo úmido formado pelo gotejador dependem das características do solo, da vazão do gotejador e do tempo de aplicação. O tamanho e a forma do bulbo molhado são parâmetros importantes para projetos e manejo de sistemas de irrigação localizada. Em solos argilosos o bulbo úmido é mais raso e largo, em solos argiloso/arenoso ou areno/argiloso o bulbo úmido diminui a extensão e aumenta a profundidade e em solos arenosos a extensão do bulbo úmido diminui sensivelmente na horizontal e a profundidade aumenta consideravelmente, quando se utiliza um gotejador com a mesma vazão, a Figura 3 apresenta as três situações descritas acima.



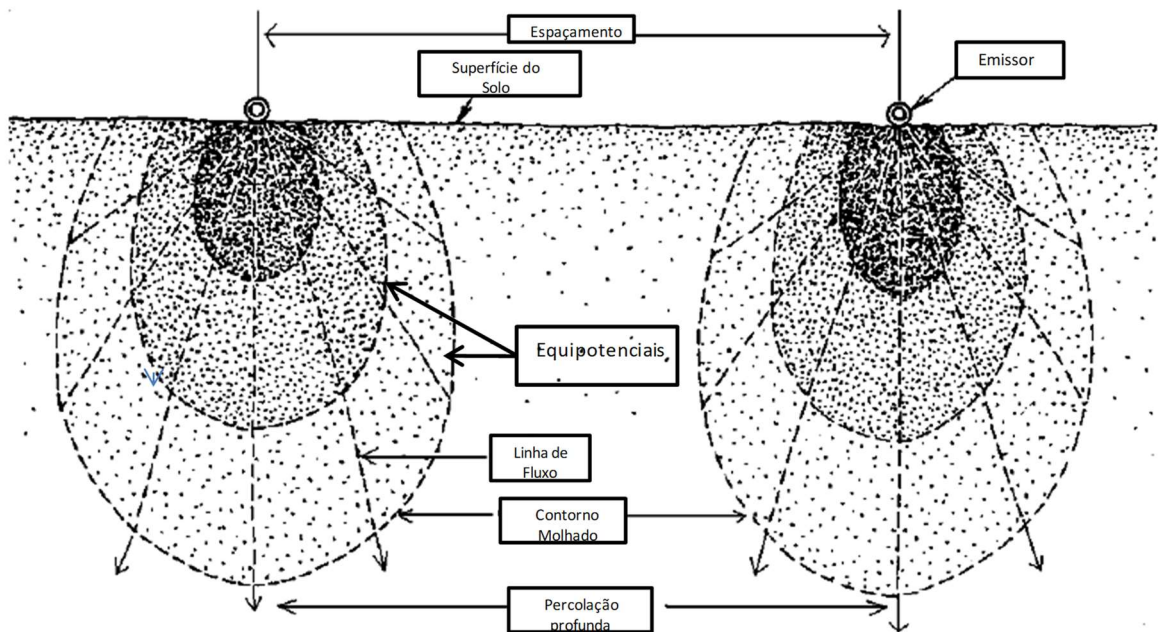
**Figura 3** - Formação do bulbo úmido Fonte: <http://sna.agr.br> (2015).

O aumento da vazão contribui para o movimento horizontal da água, sem acréscimo na profundidade atingida. Quanto maior o tempo de irrigação, mais alongada se torna a forma do bulbo, considerando a mesma vazão para as diferentes texturas.

De acordo com Gomes (1994), em locais onde a irrigação é prática essencial, o valor mínimo da área molhada, pelos gotejadores, em relação ao espaçamento da cultura deve ser de 33%, e para locais onde a irrigação é de caráter suplementar o valor mínimo deverá ser de 20%. A área umedecida corresponde a uma área maior do que a visualizada na superfície do solo e

deve ser medida um dia após o teste de campo e na faixa de 10 a 20 cm de profundidade, onde normalmente situa-se o maior diâmetro molhado.

A Figura 4 apresenta a distribuição de água no solo.



**Figura 4** - Distribuição de água no solo. Fonte: Keller e Bliesner, 1990.

As vantagens da irrigação localizada se expressam através da alta eficiência de aplicação, redução nas perdas por escoamento superficial e percolação profunda, economia de água e energia. As principais desvantagens em relação ao método de gotejamento é o processo de entupimento que ocorre ao longo da tubulação de água, assim, como o acúmulo de sais na extremidade no bulbo umedecido, devido a aplicação de fertilizantes juntamente com a água.

## **Irrigação em Superfície**

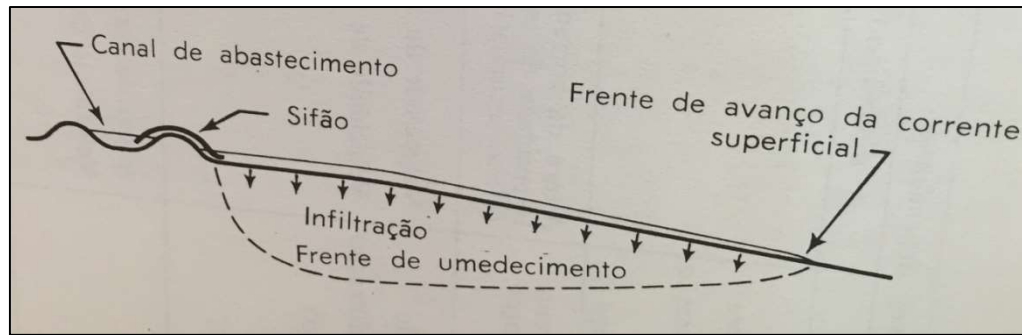
Este método de irrigação é o predominante nas principais regiões do mundo onde há manejo de áreas irrigadas. A irrigação superficial trata-se da aplicação da água diretamente sobre a superfície do solo. As formas, que se destacam, de aplicação de irrigação superficial, são por sulcos, por bacia de inundação, em faixas laterais e em terraços (Withers e Vipond, 1977).

Gomes (1994) e Withers e Vipond (1977) é de fundamental importância considerações sobre escoamento superficial e infiltração para viabilização deste método sistema de irrigação. Os autores destacam que objetivo primordial de qualquer que seja o método de irrigação a ser utilizado é o fornecimento de água até o sistema radicular, sem que haja prejuízo ao meio através de saís, havendo, portanto, a necessidade de uma percolação otimizada.

Para Walker (1989) a profundidade de umedecimento é uma função de fatores hidráulicos e do solo. Fatores hidráulicos, tais como, vazão; declividade do canal; rugosidade da superfície e forma do canal estão relacionados ao escoamento superficial enquanto a infiltração torna-se função dos fatores do solo, tais como, resistência à infiltração na superfície do solo; permeabilidade vertical; permeabilidade horizontal e velocidade de drenagem.

Neste método, geralmente, a água será retida no canal ou tubulação que a conduzirá da fonte de suprimento e na parte mais elevada do terreno, será lançada (Withers e Vipond 1977). Os autores ressaltam que, a umidade solo é considerada como uniforme quando do início da irrigação. A água irá mover-se no declive e ao mesmo tempo ocorrerá o processo de infiltração, desta maneira, a frente de umedecimento se formará tanto na vertical como na horizontal, conforme apresenta a Figura 5, a seguir. O processo de infiltração fará com que o volume de água retida no canal diminua, até ao momento que a vazão se torne igual a infiltração, momento no qual ocorrerá o encerramento do caminamento de água ao longo do canal.

Quando a descarga de água é distribuída como infiltração ao longo do canal, o escoamento superficial atingirá o equilíbrio e, assim, não ocorrerá perda de água através deste processo (Coelho, 1986); (Withers e Vipond, 1977).

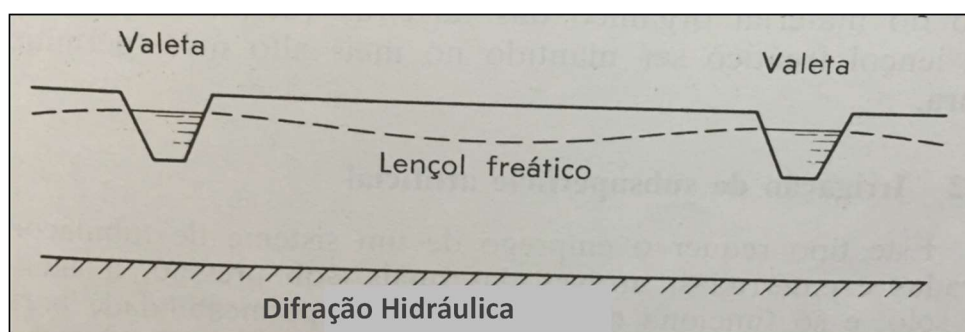


**Figura 5** - Movimento de água no solo. Fonte: Withers e Vipond 1977

De acordo com Costa & Souza (2006), as principais vantagens da irrigação por superfície é o menor custo anual por unidade de área e a potencialidade para minimizar o consumo de energia para irrigação. Assim, como a principal desvantagem associa-se aos solos inadequados, ou seja, rasos ou com elevada capacidade de infiltração.

### Irrigação em Subsuperfície

Neste método de irrigação, a água é aplicada diretamente sob a superfície do solo. De acordo Withers e Vipond (1977), este método pode ser dividido em irrigação de subsuperfície natural e artificial. Em ambas as formas há redução de perdas de água por evaporação. Ainda de acordo com autores, a irrigação subsuperfície natural, é possível dada às condições geológicas e topográficas. De acordo com A Figura 6 a seguir, apresenta um exemplo de irrigação de subsuperfície natural.



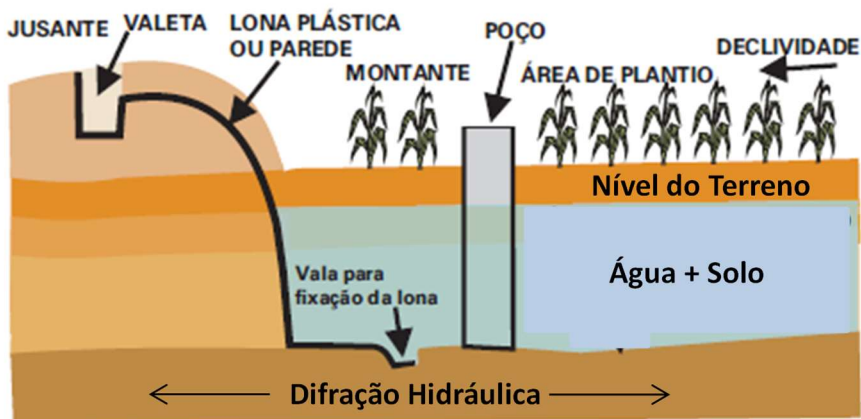
**Figura 6** - Exemplo de Irrigação de Subsuperfície Natural. Fonte: Withers e Vipond 1977

Para aplicação deste método de irrigação é necessário a escavação de uma vala que irá até a camada impermeável do solo a qual, depois de limpa, será revestida com uma manta de

polietileno com espessura de 200 micras. A barreira deverá ser construída em locais tais como, aluviões que se formam no leito de rios temporários ou em canais de drenagem (Melo et.al, 2011).

A barragem transversal irá barrar o fluxo de água que escoar na superfície e no interior do solo favorecendo o acúmulo de água no interior do solo. A água da chuva, que será retida e confinada lentamente, ajudará a elevar o nível do lençol freático que ficará próximo as raízes das plantas.

A Figura 7 apresenta o método de irrigação de subsuperfície natural. Pesquisadores da Embrapa Semiárido, recomendam que seja construído, ao se implementar este método de irrigação, um poço que será abastecido com o acúmulo de água e, a mesma poderá ser utilizada para outras finalidades que não apenas a irrigação.



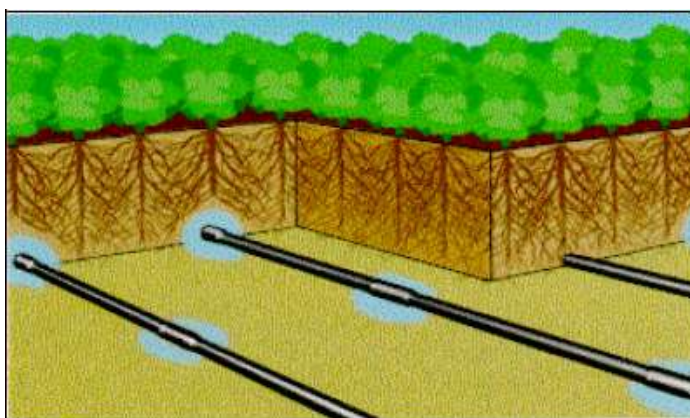
**Figura 7** - Corte transversal de uma barragem

Conforme mencionado acima, este método é favorecido pelas condições geológicas da área onde será implementado o projeto, desta maneira, de acordo com Bernardo et.al (2008) para que este método natural funcione, necessariamente, deverá atender alguns requisitos, tais como, o terreno a ser irrigado deverá ser plano e sua superfície uniforme; é fundamental haver uma camada permeável, como, por exemplo, areia, solo orgânico, ou solo argiloso estruturado, logo abaixo da superfície do solo para que ocorra rápido movimento lateral e vertical da água e para diminuir as perdas de água por percolação, abaixo da camada permeável.

A irrigação de subsuperfície artificial consiste no emprego de um sistema de tubulações que ficam enterrados a uma profundidade de aproximadamente 50 cm com espaçamento de 45 cm. A água pressurizada utilizada para o abastecimento da tubulação pode ser captada de canais de drenagem como de reservatórios construídos para armazenamento da água (Withers e

Vipond , 1977). As Figuras 8 e 9 apresentam a representação da irrigação de subsuperfície por gotejamento.

Oliveira e Klar (1999) realizaram um ensaio entre estufa e utilizaram os métodos de gotejamento por superfície e subsuperfície. As culturas ensaiadas foram pepino e feijão vagem. A lâmina de água utilizada foi mantida idêntica para os dois métodos, assim, como a quantidade de fertilizantes. Os autores constataram que o sistema de irrigação de subsuperfície por gotejamento, apresentou resultados significativos em relação ao método de irrigação superficial por gotejamento.



**Figura 8** - Sistema de irrigação de subsuperfície por gotejamento. Fonte: Testzlaf, R.(2011)



**Figura 9** - Corte lateral evidenciando o bulbo molhado na irrigação de subsuperfície. Fonte: Testzlaf, R. (2011).

Para os autores Pires *et al* (1999) e Testzlaf (2011) as vantagens deste método de irrigação, consistem na aplicação uniforme de água e nutrientes diretamente na zona radicular, principalmente de fósforo e potássio; diminuição de perdas de água por evaporação da superfície irrigada; menor acúmulo de sais na água da superfície. E as desvantagens estão associadas a falta da visualização do movimento da água para a cultura e ao entupimento dos emissores pelas raízes caso não sejam bem manejados.

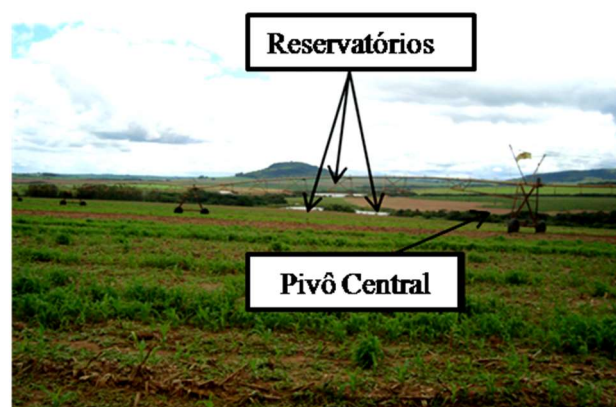
### **Irrigação em Aspersão**

De acordo com Pires *et al* (1999), neste método de irrigação, o suprimento de água para as plantas é realizado por meio de chuva artificial, através do lançamento de água no ar, de onde cairá em forma de gotas.

Para que a irrigação por aspersão ocorra é necessário que haja uma fonte de abastecimento de água, muitas vezes encontrada através de reservatórios artificiais, uma unidade bombeadora e um conjunto de tubos para a condução da água até os aspersores (Withers e Vipond,1977). A Figuras10 e 11 apresentam, respectivamente, a unidade bombeadora e os reservatórios artificiais, construídos para abastecer os aspersores, neste caso, no equipamento mecanizado, pivô central de irrigação.



**Figura 10** - Reservatório Artificial para armazenamento de água.



**Figura 11** - Reservatório e conjunto bombeador de água para o suprimento do pivô central.

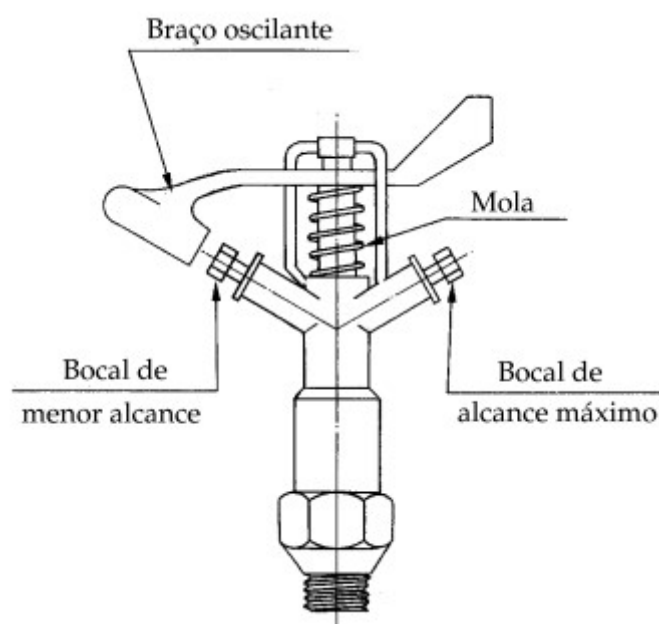
A distribuição da água, no terreno, ocorre de forma fracionada que é obtido pela passagem do fluxo de água sob pressão pelos bocais dos aspersores.

De acordo com Gomes (2013) a função dos aspersores consiste em pulverizar o jato de água e, com o movimento giratório, o repartir, sobre uma superfície aproximadamente circular, onde o raio desta superfície molhada denotará o alcance do aspersor. Ainda de acordo com o autor, os aspersores podem ser rotativos ou estacionários. Withers e Vipond (1977) ressaltam que o tipo mais comum de aspersores é o rotativo ou giratório.

Os aspersores rotativos possuem uma ou duas saídas ou bocais, que são inclinadas que giram impulsionados pela pressão da água (Gomes, 2013; Withers e Vipond 1977).

O movimento giratório do aspersor é produzido por meio de um braço oscilante ligado ao tubo de fornecimento de água, que é impulsionado pelo jato que atinge a lâmina d'água e a desloca para o lado. Quando retorna, choca-se com o elemento giratório e retorna a sua posição original, obrigado pela ação de uma mola ou de um contrapeso (Gomes, 2013; Olitta,1984). A Figura 12 apresenta um aspersor giratório, com todos os elementos constituintes.





**Figura 12** - Aspersor giratório. Fonte: Gomes, 2013

De acordo com Pires *et al* (1990), muitos fatores podem alterar as características de aplicação da lâmina de água dos aspersores, tais como: o tipo, a pressão de serviço, o diâmetro, o número e o ângulo de inclinação dos bocais. Desta maneira, para cada combinação entre pressão de serviço e diâmetro do bocal, obtêm-se diferentes vazões e superfície circular molhada.

Olitta (1984), Gomes (2013) e Withers e Vipond (1977) os aspersores podem ser classificados em três categorias, baixa, média e alta pressão, assim, os critérios técnicos e econômicos utilizados para a definição de cada um está diretamente associada à intensidade de precipitação, a uniformidade de aplicação de água e ao tamanho da gota em função do diâmetro do bocal e custo de operação e manutenção. Gomes (2013) descreve que aspersores de baixa pressão operam com pressões inferiores a 20 mca, e as vazões não ultrapassam 1 m<sup>3</sup>/h, geralmente são empregados em espaçamentos inferiores a 15 m. Os aspersores de média pressão operam com uma variação de pressão de 20 a 40 mca, e a vazão aplicada na faixa de 1 a 6 m<sup>3</sup>/h, dentro de espaçamento de 12 a 36 m e os aspersores de alta pressão operam com pressões superiores a 40 mca, com vazões acima de 6 m<sup>3</sup>/h com alcance maior que 30 m. Em Canhões hidráulicos a vazão pode chegar a 120 m<sup>3</sup>/h

Assim como nos demais métodos de irrigação, a quantidade máxima de água fornecida, deverá ser aquela igual a velocidade de infiltração. Entretanto, para prevenir problemas

ambientais associados a perda da estrutura do solo e arejamento do solo, é recomendável que a precipitação seja menor.

Quando se tem aspersores que não se encontram regulados, dentro de suas devidas categorias de operação, operam em pressões acima ou abaixo da especificação. Operação com a pressão acima acarreta em pulverização excessiva da água, o que produz gotas de tamanho menor 1 mm e como consequência haverá excesso de precipitação próximo ao aspersor, logo, perda no alcance do jato. Operação com a pressão abaixo dos limites recomendados ocorrerá maior precipitação na extremidade da área molhada, o causará faltada uniformidade de aplicação e produzirá gotas de tamanho maior 4mm.

Pires *et al.*, (1990) ressalta que como vantagens, este método não exige sistematização do terreno, é de fácil instalação em culturas já estabelecidas, e pode ser utilizado em diferentes tipos de solo. A aplicação de fertilizantes e defensivos podem ocorrer juntamente com a da lâmina de água. Se bem manejado é possível não ocorrer salinidade do solo. Ainda de acordo com os autores as desvantagens, neste método de irrigação a distribuição da água é diretamente afetada pelo vento, facilita a disseminação de patógenos e, dependendo do tamanho da gota, pode causar problemas de compactação do solo ao longo do tempo

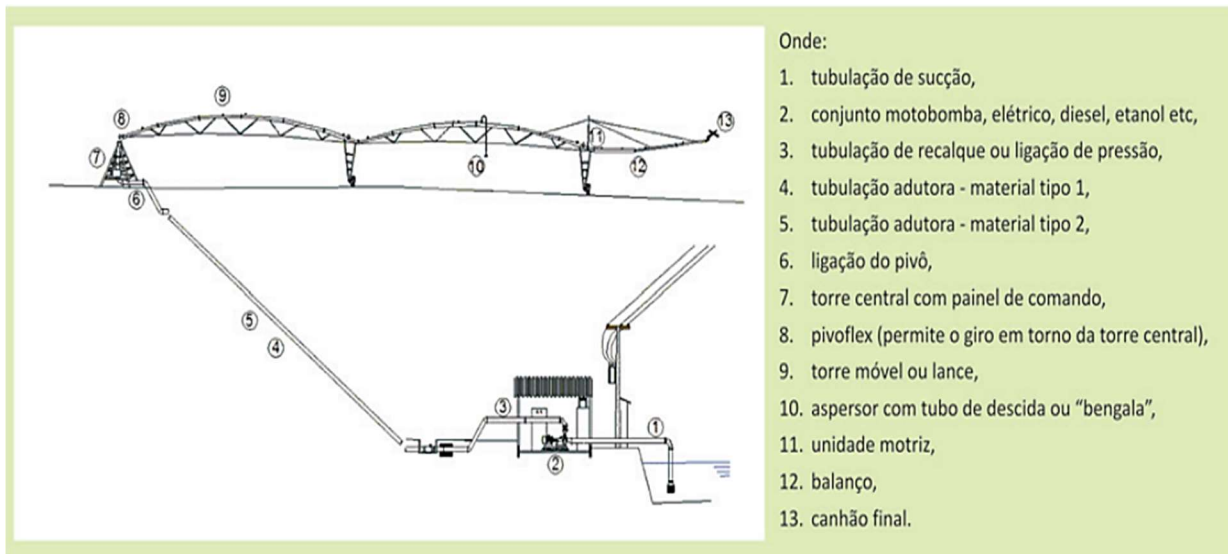
## 2.4 - PIVÔ CENTRAL

O pivô central é um sistema de irrigação no qual uma linha lateral suspensa por torres de sustentação dotadas de rodas e motores gira em torno de um ponto central, que é chamado de pivô, movido por energia elétrica, o qual é abastecido por uma adutora que pode ser de PVC ou metálica e um conjunto de moto bomba, bombeando água de rios e/ou represas (LIMA *et al.* 1996). A Figura 13 representa um conjunto de irrigação por pivô central.

Para Coelho (2006), dado as atuais condições ambientais relacionadas a água e a necessidade de redução dos impactos ambientais associados ao método de irrigação de superfície, os métodos de aspersão e gotejamento se evidenciaram como solução para a expansão de áreas irrigadas.

Muitos agricultores aderiram à utilização do pivô central e de acordo com os autores Coelho (2006), Lima (2013) e Gomes (2013) é o equipamento de irrigação com mais comercialização no Brasil. Gomes (2013) ressalta que, atualmente, a superfície total irrigada por pivô central é superior a dez milhões de hectares, entre as quais, aproximadamente, 75%

está implantada nos Estados Unidos, onde há 100 mil equipamentos em operação nos Estados de Kansas, Nebraska, Texas, Colorado, Idaho e Washington (Coelho, 2006).



**Figura 13** - Esquema ilustrativo de um sistema de irrigação por pivô central. Fonte: Mendes *et al*, 2012.

De acordo com Lima *et al.*(1996) alguns pivôs possuem rodas na torre central permitindo que o conjunto possa ser rebocado para outra área. Este sistema não é muito empregado, pois o deslocamento frequente do pivô de uma área para outra pode afetar a estrutura do mesmo.

As torres de suporte do pivô central podem ser fixas ou móveis e caminham em círculos em torno da torre de suporte central, Figuras 14 e 15.



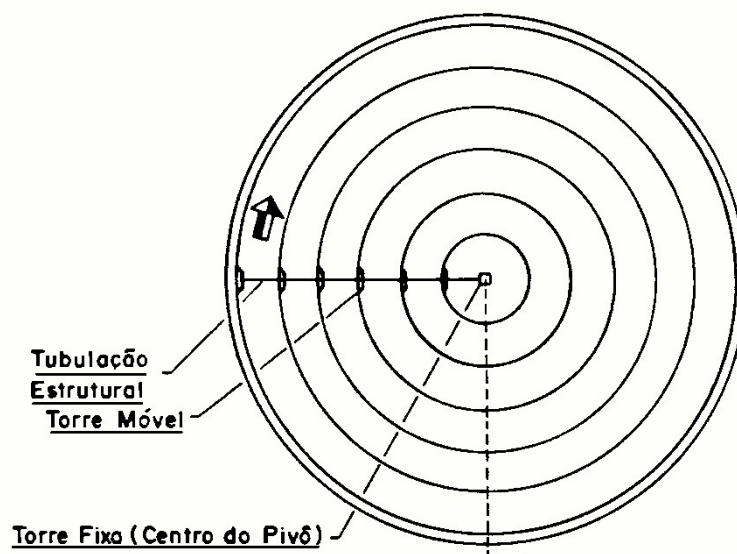
**Figura 14** - Pivô central do tipo torre móvel.



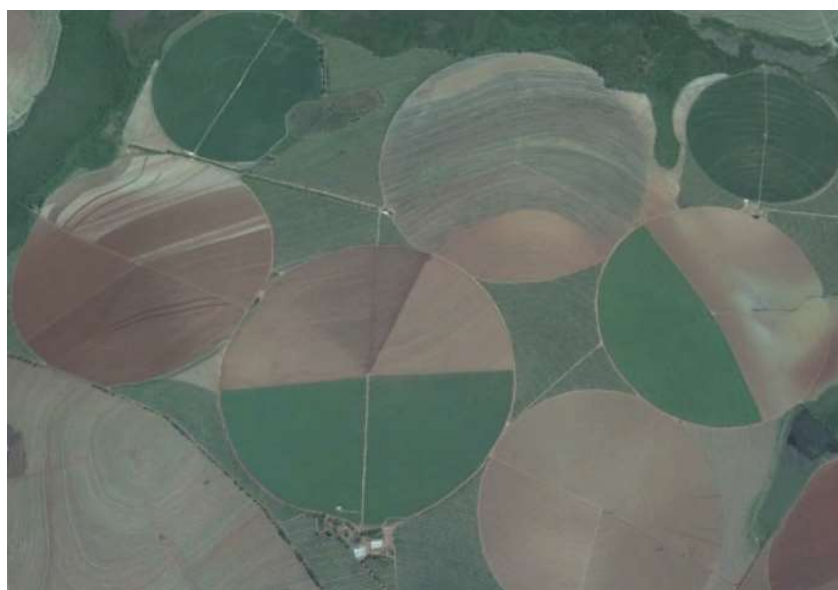
**Figura 15** - Pivô central do tipo torre fixa.

### A velocidade

A velocidade angular de deslocamento do pivô depende da velocidade da última unidade motriz, que se localiza na periferia do círculo. Durante o processo de irrigação, as unidades motrizes giram lentamente ao redor da estrutura central, conservando-se em linha reta, devido a um dispositivo de alinhamento existente nas torres. Existe nestes equipamentos motorizados, um sistema de segurança que o imobiliza caso ocorra desalinhamento acentuado em alguma das unidades motriz, devido a obstáculo no terreno que impeça ou dificulte o movimento (Gomes, 2013). As Figuras 16 e 17 representam, respectivamente, o alinhamento de um sistema de irrigação por pivô central e uma vista área de uma área com pivô central.



**Figura 16** - Distribuição das faixas de irrigação. Fonte: Testezlaf, R. 2010



**Figura 17** - Vista aérea de áreas irrigadas por pivô central. Fonte: Google Earth, 2013.

As Figuras 18 e 19, a seguir, apresentam estrutura do pivô central e o mesmo em atividade de irrigação.



**Figura 18** - Estrutura central do pivô. Foto feita na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais.



**Figura 19** - Vista longitudinal de pivô central em atividade.

Lima *et.al*, (2013) este método de irrigação, aspersão por pivô central, oferece como principais vantagens a economia de mão-de-obra, por se tratar de um equipamento inteiramente automatizado, mantém uniformidade e velocidade na aplicação, podem ser aplicados fertilizantes via água, se adaptam em terrenos planos e ondulados e além de possibilitar a adição de uma unidade motriz, quando necessário, para irrigar as áreas além das projetadas. Como desvantagens destacam-se a perda de 20 % do terreno, visto que a área irrigada é circular, bem como encharcamento na extremidade da linha do pivô.

## **2.5 - SÍNTESE DOS DIFERENTES MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.**

Cada método apresenta suas vantagens e desvantagens, assim, como suas especificidades quanto ao local de instalação e as necessidades de cada cultura a ser irrigada. Portanto, cada método deve ser criteriosamente analisado antes de sua implementação. Ressalta que os projetos de dimensionamento devem contemplar e acompanhar, efetivamente, a intensidade de água que será disponibilizada, pois tanto o excesso como a diminuição podem acarretar problemas de cunho ambiental para as regiões onde há áreas irrigadas.

A Tabela 1 a seguir apresenta uma síntese dos diferentes métodos de irrigação apresentados acima nesta dissertação.

**Tabela 1** - Fatores que Afetam a Seleção do Método de Irrigação. Fonte: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

| <b>Método</b>               | <b>Fatores</b>                        |   |  |   |
|-----------------------------|---------------------------------------|---|--|---|
| <b>Métodos de Irrigação</b> | <b>Declividade</b>                    | <b>Métodos de Irrigação</b>   | <b>Declividade</b>   | <b>Métodos de Irrigação</b>                               |
| Aspersão                    | Adaptável a diversas condições        | Adaptável às mais diversas condições  | Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares   | Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência |
| Localizada                  | Adaptável às mais diversas condições. | Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.                            | Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.                          | Nenhum efeito no caso de gotejamento                      |
| Subirrigação                | Área deve ser plana ou nivelada.      | O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado. | Adaptável à cultura do milho desde que o solo não fique encharcado o tempo todo. Pode prejudicar a germinação. | Não tem efeito.   |

## 2.6 - CUIDADOS NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Independente de qual método de irrigação seja utilizado, a quantidade de água assim como a uniformidade de distribuição deve ser criteriosamente planejada ao longo do desenvolvimento do projeto. Pois tanto falta como o excesso irá refletir em danos econômicos e ambientais.

Desta maneira o projeto deverá levar em consideração fatores tais como, levantamento topográfico, disponibilidade e qualidade da água, parâmetros de solo e planta e, estimativa do consumo de água. Pires *et al*, (1990). No que diz respeito à estimativa de água, alguns cuidados devem ser tomados, visto que a falta de dados mais elaborados de evapotranspiração, conduzirá utilização de valores médios mensais, assim, a utilização de índices de valor reduzido para projetos de irrigação em condições de clima subtropical, poderá subestimar as necessidades de irrigação, por não incluir baixas evaporações dos dias chuvosos e nublados no cálculo. Vários são os componentes necessários e relevantes para a estimativa da lâmina de água a ser aplicada para os diferentes métodos de irrigação, assim, faz se necessário com a compreensão da

obtenção dos mesmos. O item 7 irá discorrer sobre tais componentes assim como os critérios necessários para a obtenção.

## **2.7 - ELABORAÇÃO DE PROJETO DE IRRIGAÇÃO**

### **Considerações Iniciais**

Bernardo (1989) a irrigação tem como finalidade fornecer água às culturas para atender as exigências hídricas durante o ciclo de desenvolvimento, desta maneira a quantidade de água necessária às culturas é função de fatores relacionados à cultura plantada, ao solo e ao clima.

Rodrigues *et al.* (2004) a agricultura é o setor que utiliza maior volume de água. O autor ressalta que esta condição se acentua na atividade de irrigação devido ao uso de projetos e equipamentos mal dimensionados e manejados.

Para que a agricultura irrigada atenda ao seu propósito de fornecimento de água, sem que para esta condição haja má utilização do recurso natural e também problemas em relação ao excesso de água aplicada, há necessidade de ser adequar a quantidade de água aplicada

A lâmina de água a através do correto dimensionamento da lâmina de água ser utilizada, deverá ser adequada para cada método de irrigação, assim como a uniformidade de distribuição.

Pires *et al.* (1999) para se estimar a lâmina de irrigação no sistema convencional de aspersão, coletores são distribuídos de maneira a formar uma malha quadriculada entre dois ou quatro aspersores para avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema. A distância entre coletores irá variar de acordo com o espaçamento dos aspersores e, de maneira geral, serão alocados por volta de 100 coletores em cada ponto de avaliação (Gomes, 1994).

### **Coefficiente de Uniformidade**

Rocha (1999) depois de implementado, o projeto do sistema de irrigação de aspersão precisa ser reavaliado para que ocorra a verificação se o desempenho estimado está conforme com o preestabelecido, ou se haverá necessidade de ajustes ao sistema. Ainda de acordo com o autor a avaliação constante do sistema de aspersão possibilita a melhoria da performance do equipamento.



Segundo Frizzone (1992) os parâmetros observados na performance do sistema de aspersão são o coeficiente de uniformidade de distribuição e a eficiência da aplicação e são de extrema importância no planejamento de operação do sistema.

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. O primeiro deles foi proposto por Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CUC). Wilcox & Swailes (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75% (CUE); já Criddle *et al.* (1956) introduziram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (CUD). Hart (1961) propôs um coeficiente de uniformidade usando também o desvio-padrão como medida de dispersão (CUH). Quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal, tem-se que CUC é igual a CUH.

De acordo com Klar (1991) o coeficiente de uniformidade exprime a variabilidade da lâmina de irrigação na superfície do solo e eficiência de irrigação poderá ser aproximada aos coeficientes utilizados para avaliação da uniformidade de aplicação. Ainda de acordo com o autor coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é considerado o mais importante deles e é dado por:

$$CUC = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - m|}{n.m} \right) \quad (1)$$

Onde:

CUC: é em porcentagem ou decimal;

n: é o número de observações;

m: é a lâmina média aplicada;

$x_i - m$ : é o desvio absoluto de cada observação.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (UD) valoriza os menores valores:

$$UD = \frac{m_{25}}{m} \quad (2)$$

Onde:

$m_{25}$ : é a média dos 25% menores valores de precipitação.

O coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) é dado por:

$$CUE = 100 - \%CV \quad (3)$$

Onde:

% CV: é o coeficiente de variação das observações dos pluviômetros.

### **Eficiência de Irrigação**

Pires *et al* (1999) considerando uma perda de 5% por evaporação durante a irrigação por aspersão, a Eficiência de Irrigação ( $E_i$ ) pode ser então aproximada por  $0,95.CUC$ . Ainda de acordo com os autores, as perdas por evaporação durante as irrigações são pequenas, para as condições tropicais e subtropicais.

Os valores adotados em projetos de irrigação no Estado de São Paulo são os seguintes:

**Tabela 2** -  $E_i$  adotados em projetos no Estado de SP

| Sistema de Irrigação  | $E_i$    |
|-----------------------|----------|
| Inundação             | 30 – 50% |
| Sulcos de infiltração | 40 – 60% |
| Aspersão convencional | 75 – 85% |
| Auto-propelido        | 75 – 80% |
| Pivo-central          | 80 – 90% |
| Localizada            | 80 – 95% |

Considerando eficiência de irrigação, a lâmina bruta de irrigação será:

$$h_b = \frac{h_i}{E_i} \quad (4)$$

Onde:

$h_b$ : lâmina bruta de irrigação (mm),

$h_i$ : lâmina de irrigação segundo as equações 1 e 2 (mm);

$E_i$ : eficiência de irrigação.

## **2.8 - CÁLCULO DA LÂMINA DE ÁGUA PARA PIVÔ CENTRAL**

De acordo Lima (2013) a lâmina bruta (LB) a ser aplicada diariamente por aspersão via pivô central, pode ser calculada pela equação abaixo:

$$LB \text{ (mm/dia)} = (K_{c\max} E_{Tr\max}) / E_a \quad (5)$$

Onde:

$K_{c\max}$ : valor máximo de  $K_c$  para cultura,

$E_{Tr\max}$ : evapotranspiração de referência média máxima para a região (mm/dia) e

$E_a$ : eficiência de aplicação de água do pivô (em geral 0,9 que equivale a 90%, ou seja, 10% da água pode ser perdida por arraste pelo vento e evaporação).

De acordo com Pires (1999) o  $K_c$  varia com a planta, local, clima, práticas culturais, desenvolvimento vegetativo, disponibilidade de água no solo, estágio de desenvolvimento e condições de cultivo com ou sem controle de ervas daninhas.

Os autores Doorenbos e Pruitt (1984) e Doorenbos e Kassam, (1979) elaboraram uma compilação dos valores de  $K_c$  para as principais culturas ao longo de seu ciclo e conforme pode ser visualizado na Tabela 3 os autores encontraram dois valores de  $K_c$  para duas situações, a primeira trata-se do valor sob alta umidade relativa ( $UR_{\min} > 70\%$ ) e vento fraco ( $V < 5\text{m/s}$ ) e a segunda do valor: sob baixa umidade relativa ( $UR_{\min} < 20\%$ ) e vento forte ( $V > 5\text{m/s}$ ).

De acordo com Pires (1999) e Lima (2013) estes valores são recomendados pela FAO como diretriz para irrigação quando não se tem dados determinados no local de interesse.

**Tabela 3** - Valores de  $K_c$  nos vários estágios de desenvolvimento da cultura. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

| Cultura         | Estádios de desenvolvimento da cultura (I) |                |                |                  |                  | Período total de crescimento |
|-----------------|--|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|
|                 | I  | II             | III            | IV               | V                |                              |
| <b>Alfafa</b>   | 0,3-0,4                                    |                |                |                  | 1,05-1,2         | <b>0,85-1,05</b>             |
| <b>Algodão</b>  | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8        | 1,05-1,25      | 0,8-0,9          | 0,65-0,7         | <b>0,8-0,9</b>               |
| <b>Amendoim</b> | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8        | 0,95-1,1       | 0,75-0,85        | 0,55-0,6         | <b>0,75-0,8</b>              |
| <b>Arroz</b>    | <b>1,1-1,15</b>                            | <b>1,1-1,5</b> | <b>1,1-1,3</b> | <b>0,95-1,05</b> | <b>0,95-1,05</b> | <b>1,05-1,2</b>              |

**Tabela 4** - Valores de Kc nos vários estágios de desenvolvimento da cultura. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979) – (continuação)

| Cultura                 | Estádios de desenvolvimento da cultura (1) |                          |                       |                       |                       | Período total de crescimento |
|-------------------------|--|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
|                         | I  | II                       |                       | I                     | II                    |                              |
| Banana                  |  |                          |                       |                       |                       |                              |
| -tropical               | 0,4-0,5                                    | 0,7-                     | 1,0-1,1               | 0,9-1,0               | 0,75-0,85             | 0,7-0,8                      |
| -sub-tropical           | 0,5-0,65                                   | 0,85<br>0,8-0,9          | 1,0-1,2               | 1,0-1,15              | 1,0-1,15              | 0,85-0,95                    |
| Batata                  | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8                  | 1,05-1,2              | 0,85-0,95             | 0,7-0,75              | 0,75-0,9                     |
| Beterraba               | 0,4-0,5                                    | 0,75-<br>0,85            | 1,05-1,2              | 0,9-1,0               | 0,6-0,7               | 0,8-0,9                      |
| Cana                    | 0,4-0,5                                    | 0,7-1,0                  | 1,0-1,3               | 0,75-0,8              | 0,5-0,6               | 0,85-1,05                    |
| Cebola                  |  |                          |                       |                       |                       |                              |
| -seca                   | 0,4-0,6                                    | 0,7-0,8                  | 0,95-1,1              | 0,85-0,9              | 0,75-0,85             | 0,8-0,9                      |
| -verde                  | 0,4-0,6                                    | 0,6-<br>0,75             | 0,95-1,05             | 0,95-1,05             | 0,95-1,05             | 0,65-0,8                     |
| Citros                  |  |                          |                       |                       |                       |                              |
| - Com controle de ervas |  |                          |                       |                       |                       | 0,65-0,75                    |
| -sem controle de ervas  |  |                          |                       |                       |                       | 0,85-0,9                     |
| Ervilha (fresca)        | 0,4-0,5                                    | 0,7-<br>0,85             | 1,05-1,2              | 1,01-1,15             | 0,95-1,1              | 0,8-0,95                     |
| Feijão - verde          |  |                          |                       |                       |                       |                              |
| - seco                  | 0,3-0,4<br>0,3-0,4                         | 0,65-<br>0,75<br>0,7-0,8 | 0,95-1,05<br>1,05-1,2 | 0,9-0,95<br>0,65-0,75 | 0,85-0,95<br>0,25-0,3 | 0,85-0,9<br>0,7-0,8          |
| Fumo                    | 0,3-0,4                                    | 0,7-0,8                  | 1,0-1,2               | 0,9-1,0               | 0,75-0,85             | 0,85-0,95                    |
| Girassol                | 0,3-0,4                                    | 0,7-0,8                  | 1,0-1,2               | 0,7-0,8               | 0,35-0,45             | 0,75-0,85                    |
| Melancia                | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8                  | 0,95-1,05             | 0,8-0,9               | 0,65-0,75             | 0,75-0,85                    |
| Milho                   |  |                          |                       |                       |                       |                              |
| -verde                  | 0,3-0,5                                    | 0,7-0,9                  | 1,05-1,2              | 1,1-1,15              | 0,95-1,1              | 0,8-0,95                     |
| -em grãos               | 0,3-0,5                                    | 0,8-<br>0,85             | 1,05-1,2              | 0,8-0,95              | 0,55-0,6              | 0,75-0,9                     |
| Pimenta (fresca)        | 0,3-0,4                                    | 0,6-<br>0,75             | 0,95-1,1              | 0,85-1,0              | 0,8-0,9               | 0,7-0,8                      |
| Repolho                 | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8                  | 0,95-1,1              | 0,9-1,0               | 0,8-0,95              | 0,7-0,8                      |
| Soja                    | 0,3-0,4                                    | 0,7-0,8                  | 1,1-1,15              | 0,7-0,8               | 0,4-0,5               | 0,75-0,9                     |
| Sorgo                   | 0,3-0,4                                    | 0,7-<br>0,75             | 1,1-1,15              | 0,75-0,8              | 0,5-0,55              | 0,75-0,85                    |
| Tomate                  | 0,4-0,5                                    | 0,7-0,8                  | 1,05-1,25             | 0,8-0,95              | 0,6-0,65              | 0,75-0,9                     |
| Trigo                   | 0,3-0,4                                    | 0,7-0,8                  | 1,05-1,2              | 0,65-0,75             | 0,2-0,25              | 0,8-0,9                      |
| Videira                 | 0,35-0,55                                  | 0,6-0,8                  | 0,7-0,9               | 0,6-0,8               | 0,55-0,7              | 0,55-0,75                    |

(1) Caracterização dos estádios - Estádio I: Da germinação até 10% de cobertura solo; Estádio II: De 10 a 80% de cobertura do solo; Estádio III: De 80% da cobertura do solo até o início do amadurecimento; Estádio IV: Do início do amadurecimento até a colheita; Estádio V: Colheita.

## 2.8.1 Irrigação via Solo e Clima

### Considerações Iniciais

O projeto de irrigação contemplará, além da estimativa da lâmina de água a ser aplicada, o momento adequado da aplicação de água via os métodos de irrigação e, deverá levar em consideração aspectos do sistema produtivo, tais como, adubação, aplicação de defensivos e aspectos climatológicos.

Desta maneira a irrigação poderá ser realizada via solo, clima, ou pela associação dos mesmos. Poderá, também, ser realizada nos estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a maior ou menor sensibilidade ao estresse hídrico e seu efeito na produção.

Os itens seguintes tratarão das vias por onde a irrigação poderá ser dimensionada. Cada uma delas tem sua relevância e considerada componentes importantes ligadas ao manejo da irrigação, tais como, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e evapotranspiração.

### 1 - Irrigação via Solo

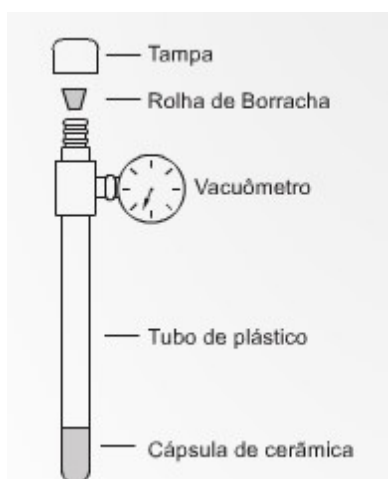
Neste método a irrigação é feita por estimativa da umidade do solo e para tanto a determinação da mesma é feita através de alguns métodos de campo, conforme segue:

- **Tensiômetros**

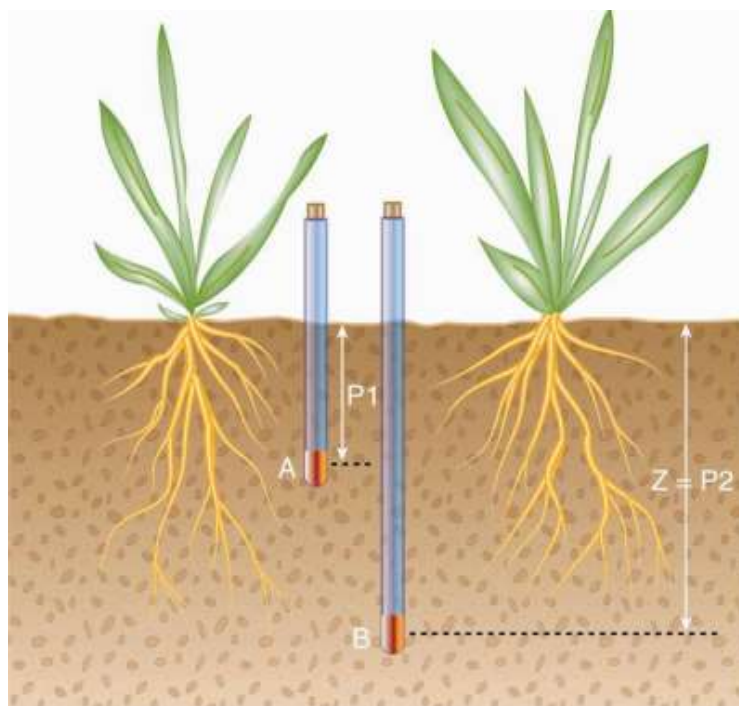
Pires (1999); Gomes (1994) e Klar (1991) ressaltam que o tensiômetro tem sido utilizado em diversas áreas e culturas com obtenção de bons resultados no manejo das irrigações. O tensiômetro é um aparelho útil que permite o monitoramento do potencial matricial da água no solo até o limite de -0,1 MPa.

O intervalo de uso nos tensiômetros situa-se entre o zero (saturação) até aproximadamente -0,08 MPa. Em linhas gerais, os tensiômetros, auxiliam na determinação do momento da irrigação, ou seja, quando irrigar, assim como de forma indireta controlar e conferir a lâmina de irrigação o que ajuda na determinação do quanto irrigar. A utilização do tensiômetros contribui na identificação de irrigações excessivas ou deficientes Pires *et.al.*(1999).

As Figuras 20 e 21 representam, respectivamente, as partes constituintes de um tensiômetro e como deve ser alocado em campo.



**Figura 20** - constituintes de um tensiômetro. Fonte: Google, 2016.



**Figura 21** - Posição dos instrumentos alocados em campo para medição do conteúdo de água no solo. Fonte: Albuquerque, 2010.

Conforme pode ser observado na Figura 21, é necessário que o instrumento seja colocado no mínimo a duas profundidades, uma na zona de máxima atividade radicular e outra nas proximidades da parte inferior da zona radicular, assim como devem ser alocados em pelo menos 3 a 4 pontos representativos da área. As medidas no ponto A, dentro da zona radicular ativa, são as que serão utilizadas para o critério do estabelecimento do dia da irrigação e as medidas no ponto B, no limite da zona radicular, servirão como medidas complementares para que se tenha um controle sobre o movimento da água no solo durante a extração de água pela cultura. (Albuquerque, 2010).

De acordo com Sentelhas e Angelocci (2009) a interpretação das leituras fornecidas pelos tensiômetros, são as seguintes:

- Altas (próximas de 0,8 bar) indicam baixo teor de água no solo e leituras baixas (menores que 0,1 bar) indicam solo saturado;
- Leituras entre 0,1 e 0,3 bar indicam umidades próximas da capacidade de campo;
- Leituras entre 0,3 e 0,75 bar indicam o momento de iniciar a irrigação para a maioria das culturas.

- **Gravimétrico**

Trata-se de um método comumente utilizado em diversos laboratórios. Este método baseia-se na quantificação do peso, devido à perda de água por evaporação, que é determinado por dessecação direta em estufa a 100°C.

Segundo Correa (1984) este método é o mais o preciso e também o mais antigo, entretanto, como uma desvantagem apresenta o tempo de leitura que gera em torno de 18 a 24 horas.

## **2 - Irrigação via clima**

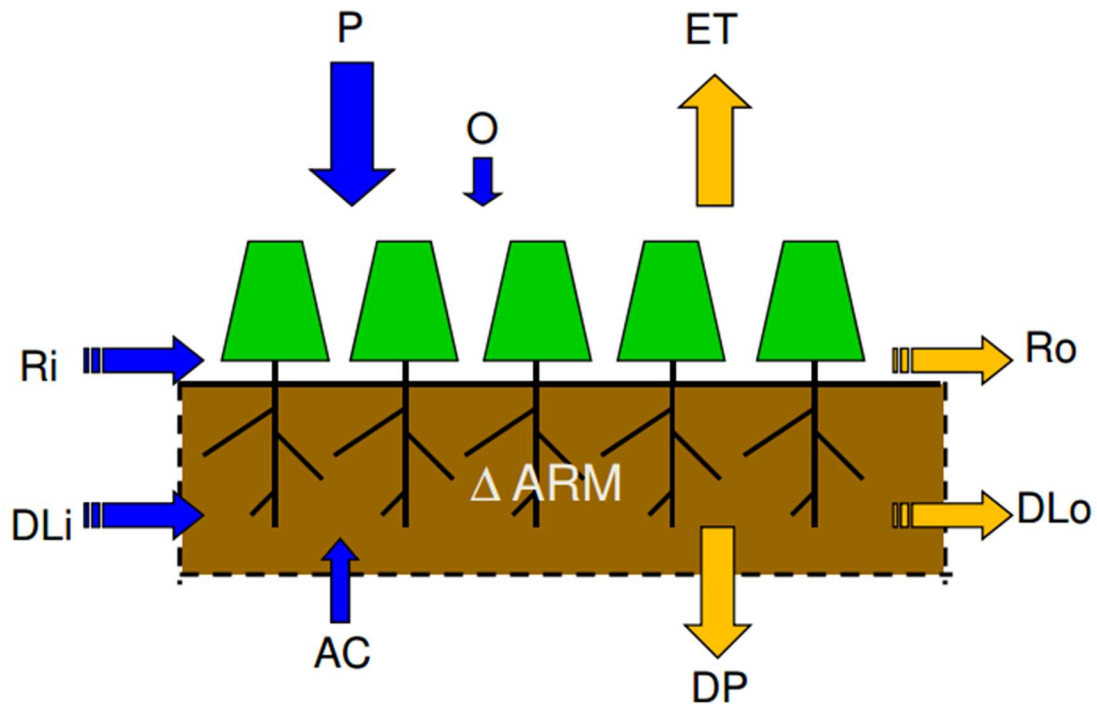
O manejo das irrigações via clima é realizado por estimativa da evapotranspiração, avaliado pelo princípio do balanço hídrico (Sentelhas e Angelocci, 2009).

O planejamento hídrico atua como suporte para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos e desta maneira o balanço hídrico em primeira instância permite uma avaliação da disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (Lima e Santos 2009).

De acordo com Pires et al (1999), Sentelhas e Angelocci (2009), Albuquerque (2010), o balanço hídrico considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo. Desta maneira a irrigação e a precipitação são componentes de entrada no balanço hídrico. As perdas por percolação profunda, escoamento superficial e evapotranspiração são as componentes consideradas de saída do balanço hídrico.

As perdas por escoamento superficial ou percolação profunda devem ser eliminadas com o adequado manejo de água.

A Figura 22 representa os componentes do balanço hídrico para as condições naturais, tanto os de entrada como os de saída.



**Figura 22** - Componentes do Balanço Hídrico em condições naturais. Fonte: Sentelhas e Angelocci, (2009).

O armazenamento de água no solo (ARM) será equacionado através dos componentes de entrada e de saída. Os componentes de entrada são: P (chuva); O (orvalho); Re (escoamento superficial); DLi (escoamento subsuperficial) e AC (ascensão capilar) e os de saída são: ET (evapotranspiração); Ro (escoamento superficial); DLo (escoamento subsuperficial) e DP (drenagem profunda).

Desta maneira a equação do Balanço Hídrico é dada por:

$$\Delta \text{ARM} = (P + O + R_e + DLi + AC) - (ET + R_o + DLo + DP) \quad (6)$$

Segundo Sentelhas e Angelocci (2009) a chuva representa a principal entrada de água em um sistema, ao passo que a contribuição do orvalho só assume papel importante em regiões muito áridas, sendo assim desprezível. As entradas de água pela ascensão capilar também são muito pequenas e somente ocorrem em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos. Mesmo assim, a contribuição dessa variável é pequena, sendo também desprezível. Já os fluxos horizontais de água ( $R_i$ ,  $R_o$ ,  $DLi$  e  $DLo$ ), para áreas homogêneas, se compensam, portanto, anulando-se. A ET é a principal saída de água do sistema, especialmente nos períodos secos, ao passo que DP constitui-se em outra via de saída de água do volume controle de solo



nos períodos excessivamente chuvosos. Considerando os componentes considerados desprezíveis, a equação do Balanço Hídrico será dada por:

$$\Delta ARM = P - ET - DP \quad (7)$$

De acordo Pires e Arruda (1995) a irrigação precisa ser quantificada pela estimativa da lâmina de irrigação, para proporcionar umedecimento uniforme no solo até onde houver concentração da maioria das raízes absorventes.

A estimativa da lâmina de irrigação ( $h_i$ ) que ficará armazenada no solo e que poderá se tornar disponível a planta é dada pelas seguintes equações:

$$h_i = \frac{U_{cc} - U_{PMP}}{10} d_{g.p.y} \quad (8)$$

Ou

$$h_i = \frac{U_{cc} - U_i}{10} d_{g.p} \quad (9)$$

Onde:

$h_i$ : lâmina de irrigação, em mm;

$U_{cc}$ : umidade do solo com base na capacidade de campo, em %;

$U_{PMP}$ : umidade do solo com base no ponto de murcha permanente, em %;

$U_i$ : umidade do solo no momento de irrigação, em %;

$d_g$ : densidade global do solo, em  $g.cm^3$ ;

$p$ : profundidade efetiva das raízes( $z$ ), em cm;

$y$ : fator de consumo de água no solo, ou fator de depleção (adimensional).

10: Constante necessária para conversão de unidades.

Pires *et al* (1999) ressalta que a equação (6) é mais utilizada para avaliações generalizadas das necessidades hídricas, enquanto que a equação 7 é mais adequada para controle das irrigações.

## 2.1 - Capacidade de Campo

- **Determinação pelo Método Indireto**

A umidade do solo na capacidade de campo ( $U_{cc}$ ) corresponde à capacidade máxima de retenção da água no solo, e pode ser determinada através do método indireto que relaciona a umidade na capacidade de campo ao teor de argila mais silte (Arruda *et al.*, 1987), desta maneira a  $U_{cc}$  pode ser dada pela seguinte relação:

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629.X) - 0,00348 (X)^2 \quad (10)$$

Onde:

$U_{cc}$ : capacidade máxima de retenção de água (%)

X: teor de argila mais silte (%)

## 2.2 - Ponto de Murchamento

A umidade no ponto de murchamento ( $U_{PMP}$ ) representa à umidade na qual o solo não supri água as plantas em quantidade suficiente para manter a turgescência e a planta entra em murcha permanente.

De acordo com Withers e Vipond (1977) para fins de irrigação, o ponto de murchamento (PM) representa o limite inferior de disponibilidade de água do solo. De acordo com Pires *et al.* (1999) há duas maneiras de se determinar a  $U_{PMP}$ , uma através do método direto, ou seja, fisiológico e a outra através do método indireto que de acordo com Arruda *et al.* (1987) relaciona-se com o teor de argila mais silte e é dado pela equação (8) abaixo.

$$U_{PM} = \frac{398,9.X}{(1.308,1 + X)} \quad (11)$$

Onde:

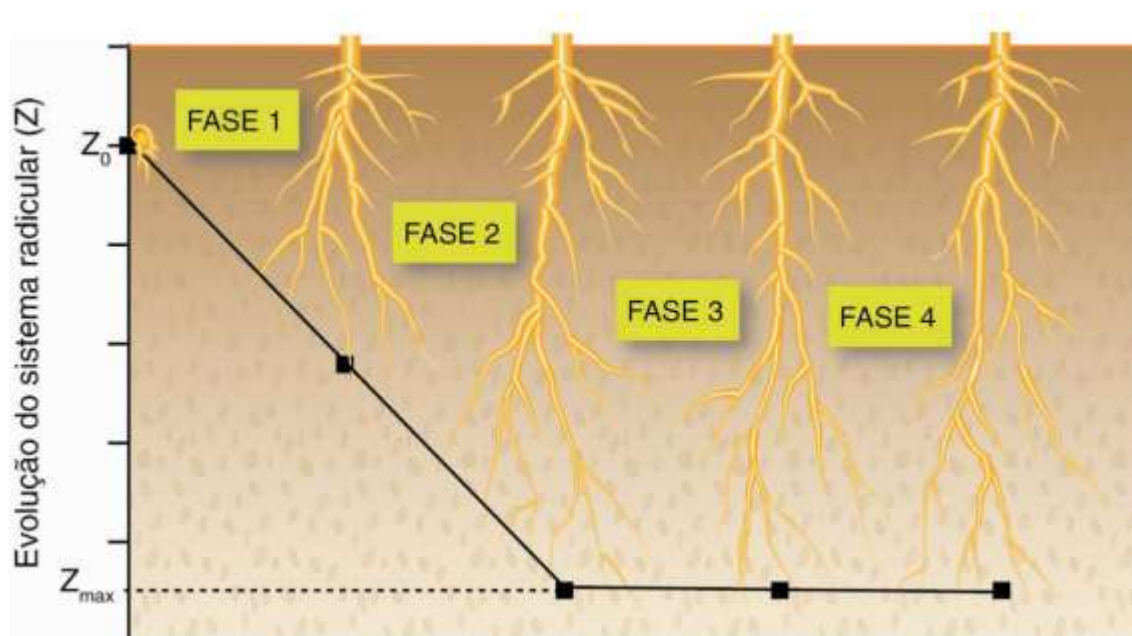
$U_{PM}$  = teor de água no solo no ponto de murchamento

X: teor de argila mais silte (%)

### 2.3 - Profundidade Efetiva das Raízes

A profundidade efetiva das raízes ( $z$ ) compreende desde a superfície do solo até a o limite onde se concentra a maior parte das raízes absorventes ou finas. Esta profundidade é importante não somente para determinação da lâmina de irrigação como também para a instalação de sensores para monitoramento da água do solo no controle das irrigações.

De acordo com Albuquerque (2010) a profundidade efetiva do sistema radicular ( $z$ ) pode ser estimada para algumas culturas, entretanto, esta estimativa apresenta os valores após a cultura ter atingido o seu pleno desenvolvimento. Ainda segundo o autor, na fase inicial da planta, esses valores serão menores, pois o sistema radicular encontra-se em desenvolvimento. A Figura 23 apresenta as fases de estimativa de desenvolvimento do sistema radicular e, considera-se que na fase inicial o sistema radicular desenvolve-se a partir da profundidade de semeadura até atingir o seu valor máximo que deve ocorrer no término da fase 2 em culturas de ciclo curto. Assume-se que o desenvolvimento da raiz é linear a partir da profundidade de semeadura até atingir a fase 4, conforme representa a Figura 23, onde  $Z_0$  é a profundidade de semeadura e  $Z_{max}$  é a profundidade efetiva do sistema em seu desenvolvimento máximo.



**Figura 23** - Estimativa do desenvolvimento do sistema radicular de culturas de ciclo curto em função das fases do ciclo da cultura. Fonte: Albuquerque, 2010.

Ao se assumir uma profundidade efetiva ( $Z$ ) para o sistema radicular da cultura, pode ser que na realidade esse esteja mais raso ou mais profundo. Desta maneira poderá ocorrer duas situações:

- a) Se o  $Z$  estiver realmente mais raso, supondo que esteja mais profundo – implicará que o solo na zona radicular ficará seco por mais tempo, com irrigações menos frequentes;
- b) Se o  $Z$  estiver realmente mais profundo, supondo que esteja mais raso – implicará que o solo na zona radicular permanecerá sempre úmido, com irrigações mais frequentes (Albuquerque, 2010).

#### 2.4 - Consumo de Água no Solo ( $y$ )

Tendo em vista o maior ou menor grau de dificuldade que a planta poderá ter para extrair água do solo, foi estabelecido o fator de depleção ou de consumo de água no solo ( $y$ ) que expressa a porcentagem da água disponível no solo que pode ser consumida antes das irrigações sem que ocorram prejuízos ao desenvolvimento e produção das plantas, assim relaciona-se com susceptibilidade da cultura ao estresse hídrico (Gomes,1994); (Fischer e Hagan, 1965).

Cada cultura apresenta seu fator de depleção, de maneira geral utilizam-se os valores apresentados na Tabela a seguir.

**Tabela 5** - Fator de depleção por cultura. Fonte: Doorenbos & Kassam, 1979.

| <b>Tipo de cultivo</b>        | <b>Fator de consumo de água (<math>y</math>)</b> |
|-------------------------------|--|
| Hortaliças de folhas          | 0,25   |
| Hortaliças de raízes e frutos | 0,25-0,40  |
| Cereais e pastagens           | 0,50   |
| Café e citros                 | 0,50-0,60  |
| Pomares                       | 0,50-0,70  |

Conforme pode ser observado na Tabela 4, as hortaliças, que são culturas altamente exigentes em água, apresentam o valor em torno de 0,25, permanecendo o solo com uma reserva de 75%. Culturas como cereais e pastagens podem ter o valor de  $y$  em torno de 0,50 e as fruteiras perenes em 0,40 (Doorenbos e Kassam, 1979).

O coeficiente de disponibilidade representa a fração de esgotamento de água no solo, assim, os autores Doorenbos e Kassan (1979) separaram as principais culturas em quatro grupos para relacionar os valores de  $y$  à taxa evaporativa da atmosfera, conforme pode ser observado na Tabela 6, a seguir.

**Tabela 6** - Fator de disponibilidade ( $y$ ) para grupos de cultura em função da evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>). Fonte: Doorenbos e Kassan (1979).

| Grupo de Cultura | ET máxima (mm/dia) |       |       |      |      |       |       |       |       |
|------------------|--------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 2                  | 3     | 4     | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1                | 0,50               | 0,425 | 0,35  | 0,30 | 0,25 | 0,225 | 0,20  | 0,20  | 0,175 |
| 2                | 0,675              | 0,575 | 0,475 | 0,40 | 0,35 | 0,325 | 0,275 | 0,25  | 0,225 |
| 3                | 0,80               | 0,70  | 0,60  | 0,50 | 0,45 | 0,425 | 0,375 | 0,35  | 0,30  |
| 4                | 0,875              | 0,80  | 0,70  | 0,60 | 0,55 | 0,50  | 0,45  | 0,425 | 0,40  |

(1 – cebola, pimentão e batata; 2 – banana, repolho, uva, ervilha e tomate; 3 – alfafa, feijão, citros, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo; 4 – algodão, milho, azeitona, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar e fumo)

De acordo com Pires *et al.* (1999) apesar de serem estimativas, os valores do fator de consumo de água ( $y$ ) apresentados, servem para avaliação da lâmina de irrigação, para situações onde não há dados para ponto de partida.

## 2.5 - Umidade do Solo ( $U_i$ )

A  $U_i$  equivale à umidade do solo no momento da irrigação. O potencial crítico de água no solo determina o momento da irrigação. Este componente da equação indica o valor o qual as irrigações podem ser realizadas sem que ocorram prejuízos à produtividade.

Brunini *et al.* (1988) obtiveram valores médio de disponibilidade hídrica para profundidade de até 40 cm através de medições sistemáticas da água disponível e também através do armazenamento da água no solo em condições de campo e em laboratório para diversas regiões, solos e condições topográficas.

A Tabela 7 apresenta a disponibilidade de água, de acordo com os autores citados acima, para alguns solos do Estado de São Paulo.

**Tabela 7** - Valores médios de disponibilidade hídrica até 40 cm de profundidade para alguns solos do Estado de São Paulo.

| <b>Tipos de solo</b>             | <b>Disponibilidade de água (mm/cm)</b> |
|----------------------------------|--|
| Latossolos                       | 0,85-1; 05-1,25                        |
| Podzolizados – Areias Quartzosas | 0,80                                   |

Pires *et al.* (1999) ressaltam que estes valores podem ser utilizados inicialmente para os tipos de solo avaliados, ou seja, quando houver a impossibilidade da determinação da lâmina de irrigação.

## 2.6 - Evapotranspiração da Cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) é processo conjunto da transpiração da cultura e a evaporação da água da superfície do solo. De acordo com Albuquerque (2010) a partir do momento que ocorre a cobertura completa do solo pela cultura, a evaporação torna-se desprezível e, assim, somente no período do plantio e no início do crescimento vegetativo a evaporação do solo é considerável.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser medida diretamente por lisímetros que também estimam valores de coeficiente de cultura (Kc) e desta forma fornece meios para o cálculo da demanda de água.

De acordo com Albuquerque (2010) a ETc é estimada a partir da Evapotranspiração de Referência (ETo) e do Kc. Para a determinação da ETo existem diferentes métodos podem utilizar uma ou mais variáveis e a escolha depende do clima local, assim, as estimativas podem ser feitas por meio de equações simples a complexas. O uso de fórmulas mais simples, ou estimativas com base em médias mensais, para cálculos frequentes de irrigação, pode resultar em dados imprecisos (Jensen,1973). Para os autores Arruda & Barroso (1984) há de ser ter cuidado com o uso de dados mensais de evapotranspiração, onde ocorrem precipitações elevadas, pois poderá levar ao subdimensionamento do equipamento, por considerar os dias nublados e chuvosos onde a evapotranspiração é baixa.

Alguns métodos são descritos por Alfonsi *et al.* (1990) para estimativa da evapotranspiração de referência. Dentre estes métodos destacam-se Penman (1948), Penman

(1956) simplificado e Tanque Classe A. De acordo com os autores o método de Penman é o mais preciso, porém tem sido menos utilizado pelos agricultores, pela necessidade da medida de muitas variáveis de clima. Neste método a medição da umidade por meio da temperatura de bulbo úmido e seco necessita de leitura três vezes por dia e o procedimento de cálculo é complexo.

O método de Penman simplificado o evaporímetro de Piché substitui o anemômetro, o que o torna um método de aplicação mais simples. Entretanto, o custo de aquisição é alto e com advento das estações climatológicas os agricultores que possuem áreas nas proximidades do equipamento podem utilizar dos dados gerados, o que não justifica a aquisição do equipamento Penman Simplificado.

O tanque classe A é um evaporímetro útil e eficiente e, tem sido utilizado para o manejo das irrigações em várias culturas em diferentes áreas. O equipamento fornece uma medida do efeito integrado da radiação, do vento, da temperatura e da umidade relativa do ar sobre a evaporação de uma superfície livre de água (Albuquerque, 2010). Necessita de apenas medição diária única os cálculos são simplificados, entretanto, torna-se passível de erro de leitura ou transbordamento devido a chuvas intensas. A partir da evaporação do tanque classe A (ECA) a evapotranspiração de referência é calculada pela seguinte equação:

$$ET_o = K_p \cdot ECA \quad (12)$$

Onde:

ET<sub>o</sub>: evapotranspiração de referência (mm/dia)

K<sub>p</sub>: coeficiente do tanque classe A;

ECA: evapotranspiração do tanque classe A (mm/dia).

De acordo com os autores Doorenbos e Kassam (1979), os valores de K<sub>p</sub> variam com o tamanho e a característica de vegetação da bordadura onde está instalado o tanque, com a velocidade do vento e a umidade relativa. A Tabela 8 apresenta os valores de K<sub>p</sub>.

**Tabela 8** - Coeficiente de tanque para tanque classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

| UR (%)    | Tanque instalado em área com grama |            |              |           | Tanque instalado em solo descoberto |            |              |           |
|-----------|------------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------------------------------|------------|--------------|-----------|
|           | Tamanho da bordadura (1)           | Baixa <40% | Média 40-70% | Alta >70% | Tamanho da bordadura (1)            | Baixa <40% | Média 40-70% | Alta >70% |
| Leve <175 | 1                                  | 0,55       | 0,65         | 0,75      | 1                                   | 0,70       | 0,80         | 0,85      |
|           | 10                                 | 0,65       | 0,75         | 0,85      | 10                                  | 0,60       | 0,70         | 0,80      |
|           | 100                                | 0,70       | 0,80         | 0,85      | 100                                 | 0,55       | 0,65         | 0,75      |
|           | 1000                               | 0,75       | 0,85         | 0,85      | 1000                                | 0,50       | 0,60         | 0,70      |

**Tabela 9** - Coeficiente de tanque para tanque classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento. Fonte: Doorenbos e Kassam (1979). (continuação Tabela 8).

| UR (%)                | Tanque instalado em área com grama |            |              |           | Tanque instalado em solo descoberto |            |              |           |
|-----------------------|------------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------------------------------|------------|--------------|-----------|
|                       | Tamanho da bordadura (1)           | Baixa <40% | Média 40-70% | Alta >70% | Tamanho da bordadura (1)            | Baixa <40% | Média 40-70% | Alta >70% |
| Moderado<br>175 – 425 | 1                                  | 0,50       | 0,60         | 0,65      | 1                                   | 0,65       | 0,75         | 0,80      |
|                       | 10                                 | 0,60       | 0,70         | 0,75      | 10                                  | 0,55       | 0,65         | 0,70      |
|                       | 100                                | 0,65       | 0,75         | 0,80      | 100                                 | 0,50       | 0,60         | 0,65      |
|                       | 1000                               | 0,70       | 0,80         | 0,80      | 1000                                | 0,45       | 0,55         | 0,60      |
| Forte<br>425 – 700    | 1                                  | 0,45       | 0,50         | 0,60      | 1                                   | 0,60       | 0,65         | 0,70      |
|                       | 10                                 | 0,55       | 0,60         | 0,65      | 10                                  | 0,50       | 0,55         | 0,65      |
|                       | 100                                | 0,60       | 0,65         | 0,70      | 100                                 | 0,45       | 0,50         | 0,60      |
|                       | 1000                               | 0,65       | 0,70         | 0,75      | 1000                                | 0,40       | 0,45         | 0,55      |
| Muito forte<br>> 700  | 1                                  | 0,40       | 0,45         | 0,50      | 1                                   | 0,50       | 0,60         | 0,65      |
|                       | 10                                 | 0,45       | 0,55         | 0,60      | 10                                  | 0,45       | 0,50         | 0,55      |
|                       | 100                                | 0,50       | 0,60         | 0,65      | 100                                 | 0,40       | 0,45         | 0,50      |
|                       | 1000                               | 0,55       | 0,60         | 0,65      | 1000                                | 0,35       | 0,40         | 0,45      |

1-Distância (m) entre o extremo da bordadura e o tanque, medida na direção dos ventos predominantes.

De acordo com Pereira *et al.* (1997) a evapotranspiração das culturas estima o consumo de água e representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais, desta maneira, de acordo com os autores Doorenbos & Kassam (1979) a Etc pode ser obtida através da equação abaixo:

$$E_{Tc} = E_{To} \cdot K_c \quad (13)$$

Onde:

E<sub>Tc</sub>: evapotranspiração da cultura (mm/dia)

E<sub>To</sub>: evapotranspiração de referência (mm/dia)

K<sub>c</sub>: coeficiente de cultura

O coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) varia com a planta, local, clima, práticas culturais, desenvolvimento vegetativo, disponibilidade de água no solo, estágio de desenvolvimento e



condições de cultivo com ou sem controle de ervas daninhas (Pires, et.al., 1999). Este coeficiente tem sido, intensivamente, objeto de determinação local em estudos de consumo de água. A FAO, através dos autores Doorenbos e Kassan (1979); Doorenbos e Pruitt, (1984) apresentou uma compilação dos valores de Kc para as principais culturas ao longo de seu ciclo, que na ausência de dados determinados no local de interesse, são utilizados para irrigação.

Após determinada à lâmina de irrigação, a estimativa do consumo de água pelas plantas e as precipitações ocorridas, o balanço hídrico contabilizará diariamente as entradas e as saídas do sistema. Desta maneira, após as irrigações o armazenamento de água no solo estará completo, assim a precipitação será somada ao balanço hídrico como entrada, e a evapotranspiração da cultura (ETc) será subtraída como saída e, quando consumido o valor da lâmina, realiza-se a irrigação (Pires, et. al.,1999).

## 2.9 - PROBLEMAS AMBIENTAIS

Pires *et.al.* (1999), ressaltam que sempre ocorre que a lâmina aplicada pela irrigação ou a intensidade pluviométrica supera a capacidade de infiltração do solo para um determinado intervalo de tempo e, quando isso acontece, há acúmulo de água na superfície que passa a escorrer dada a ação da força gravitacional atuando sobre aquela massa.

Para Carter (1990) a água irá escoar com maior ou menor velocidade em função da declividade, da estrutura, da cobertura e da presença ou não de camadas de impedimento no solo e, quanto maior a velocidade, maior sua energia cinética e o seu efeito desagregador e subsequente carregamento de partículas. As partículas transportadas pelo escoamento superficial podem acarretar assoreamento de cursos de água e reservatórios, também os fertilizantes e agroquímicos, são carregados juntamente às partículas de solo, causando, uma alteração física e no segundo química. O assoreamento dos canais de drenagem compromete a sua capacidade de fornecimento de água e demais funções

Segundo Schmidt (2007) existe preocupação com erosão dentro do sulco de irrigação desde a década de 1930. Desta maneira, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de implementar sistemas que possam auxiliar para minimizar o problema, a maioria visando diminuir o carregamento de partículas pela água de drenagem.

Segundo Carter (1990), dentre os vários sistemas desenvolvidos, os mais comumente citados e utilizados são:

- Faixa vegetada ao final;

- Microbacias de retenção de sedimentos ao longo dos sulcos;
- Tubo coletor enterrado de drenagem ao final em substituição ao canal coletor;
- Distribuição de restos culturais ao longo dos sulcos;
- Manejo da irrigação;
- Sistema de produção, onde o cultivo mínimo e plantio direto são, há muitos anos, reconhecidas práticas conservacionistas.

## 1 - Compactação

Dentre as principais alterações decorrentes das ações antropogênicas sobre o meio físico está o processo de compactação dos solos, atribuído à redução do volume de macroporos e rearranjo das partículas na matriz do solo. Este processo, por um lado, reduz o tamanho e continuidade dos poros e, por outro, aumenta o peso específico seco do solo e sua resistência mecânica à penetração. A esse conjunto de alterações associam-se processos negativos, como redução da aeração do solo e da taxa de infiltração e condutividade hidráulica saturada (REICHERT *et al.*, 2007). Além de comprometer o desenvolvimento das plantas pela restrição ao crescimento radicular, redução da disponibilidade hídrica e aeração deficiente, verifica-se ainda o aumento do escoamento superficial que pode levar à aceleração de processos geológicos, tais como a erosão hídrica e o assoreamento de canais, gerando um cenário de degradação.

Schmidt (2007) ressalta que no método de irrigação por aspersão outro fator importante deve ser levado em consideração, trata-se da desagregação do solo causada pelo impacto da gota de gota, que segundo Carter (1990) tem o efeito similar ao da gota da chuva, diferenciando pelas seguintes características:

- Apenas uma pequena parte da bacia hidrográfica receberá impacto num dado momento de tempo e o volume de água é determinado, ou seja, apenas a área irrigada;

As gotas de água formadas pelos aspersores variam em função do sistema utilizado e provocam a compactação da área irrigada, acarretando problemas relacionados a degradação ambiental, como arraste das partículas do solo através do escoamento superficial, e comprometimento do processo de infiltração, conforme será abordado no próximo item.

Para o entendimento do impacto das gotas de água na superfície do solo, torna-se necessário uma breve abordagem sobre os agregados do solo.

Segundo Coelho (1996) o termo agregado refere-se à estrutura do solo. Esta estrutura é definida através de partículas primárias, a saber, areia, silte e argila, que formam partículas

compostas, denominados agregados. Os agregados do solo são unidades independentes, apesar da justaposição entre eles, e possuem propriedades físicas diferenciadas.

Os elementos que influenciam na formação dos agregados são: a argila, a matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio. Para que os agregados se formem, são necessárias duas condições fundamentais, uma força mecânica que aproxime as partículas do solo, que pode ser através do crescimento das raízes das plantas, por animais de hábitos terrestres, pelos fenômenos de expansão e contração do solo ou pela floculação e, a segunda deve ocorrer após a aproximação das partículas, ou seja, é necessário que exista um agente cimentante para consolidar essa união, gerando o agregado (Kiehl, 1979).

Lespch (2010) considera que os agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo são os minerais de argila e a matéria orgânica. Para Coelho (1996) os agregados em solos arenosos correm devido à atuação da matéria orgânica, que segundo o autor, é mais eficiente do que a argila como agente cimentante, pois provoca uma intensa e constante atividade microbiana que “une” as partículas do solo através dos micélios dos fungos e das secreções bacterianas.

Lespch (2010); Taylor e Ashcroft (1972) afirmam que a água possui um efeito significativo sobre agregados dos solos. A água quando entra em contato com os agregados e estes são umedecidos rapidamente, ocorre penetração através de toda superfície externa existente, isto ocorre devido às forças capilares e de adsorção que se manifestam rapidamente, não permitindo com que o ar escape. O ar aprisionado no interior do agregado poderá atingir índices elevados de pressão e provoca “literalmente” uma explosão do agregado. O desprendimento de partículas dos agregados é a maior causa do selamento superficial do solo.

A qualidade da água utilizada para irrigação influencia diretamente a estabilidade dos agregados do solo. Quando se utiliza águas com alta quantidade de sódio, este elemento ocasiona o deslocamento dos elementos cálcio e o magnésio do sistema coloidal do solo o que permitirá a ação do sódio sobre os agregados, os tornando macios e quebradiços levando-os a destruição completa, o que possibilitará a ocorrência de deformação de solos sódicos (Zalis, 1998).

De acordo com Coelho (1996) o método de irrigação por aspersão através do pivô central, onde o sistema opere a baixa pressão, gera problemas com relação à infiltração de água no solo, uma vez que a taxa de precipitação e o diâmetro médio das gotas formadas, aumentam com a redução da pressão.

A condutividade hidráulica controla o processo de infiltração de água no solo, assim, a condutividade hidráulica será reduzida na camada superior do solo quando houver rompimento

dos agregados do solo pela energia cinética da gota, este fenômeno é conhecido como selamento.

O selamento da camada superior do solo foi observado por Bishop *et al.* (1981) durante sua pesquisa sobre o tempo de avanço em sulcos com e sem compactação causada pelo rodado do trator e, refere-se a uma compactação da camada superficial do solo. De acordo com Duke (1988) a compactação da camada superficial terá efeito direto sobre a taxa de infiltração de água, e pode ser causado devido a:

- Compactação física,
- Desagregação de partículas em função do impacto físico da água se deslocando pelo sulco ou pelo impacto da gota;
- Pela expansão de argilas;
- Pela desagregação de torrões causada pelo aprisionamento de ar em seu interior.

Samani *et al.* (1985) verificaram que na camada adensada, a densidade é maior, e a porosidade e condutividade hidráulica são menores. Schmidt (2007) ressalta que esses fatores, mesmo para um pacote espesso de solo, podem interferir negativamente na capacidade de infiltração. Durante sua pesquisa de campo, Trout (1990) observou que a presença do selamento reduziu em 50% a taxa de infiltração.

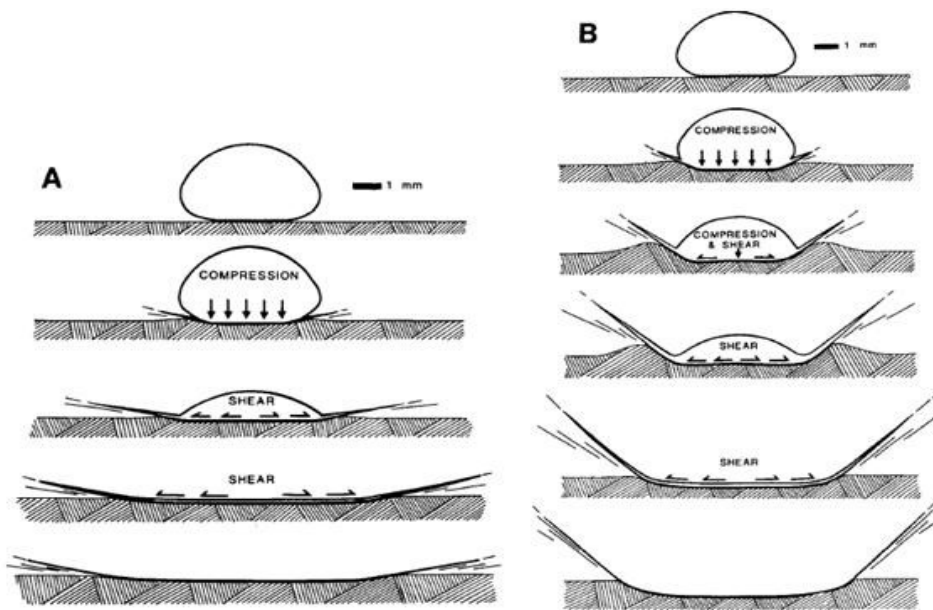
O desprendimento das partículas dos agregados, ocasionado pelo impacto da gota de água, gera o selamento da camada superficial e conseqüentemente diminui a capacidade de infiltração do solo, este fator associado a uma lâmina excessiva de água acarretará um maior escoamento superficial. Este fenômeno ocasiona o deslocamento das partículas sólidas do solo que levam os agroquímicos aplicados às culturas irrigadas. Este conjunto de fatores ocasiona a contaminação dos canais de drenagem à jusante da área irrigada, que serão assoreados pelas partículas sólidas assim como serão contaminados pelos agroquímicos.

Para Coelho (1996) quando uma gota atinge o solo, carrega uma energia cinética a quantidade exata depende do seu tamanho e de sua velocidade de queda, no momento do choque com a superfície do solo. O autor ressalta que estas gotas, quando em queda, atuam como pequenos golpes de martelo sobre a superfície do solo e se atingirem um agregado do solo o mesmo irá sofrer desagregação.

Al-Durrah & Braford (1992) descreveram sobre os mecanismos envolvidos na desestruturação de solos com alta (A) e baixa resistência (B) mecânica com relação ao impacto da gota de água no solo, conforme Figura 24. Quando uma gota de água cai perpendicularmente à superfície do solo, os autores observaram que no instante do impacto, ocorre uma distribuição da pressão e da força tangencial que são simétricas em relação ao centro do impacto.

Ainda segundo os autores em solos saturados, não existe tempo suficiente para que a massa da água da gota se infiltre durante o momento de impacto, sendo assim, a superfície do solo ficará sujeita à ação de uma força vertical, que dependendo da resistência mecânica do solo, sofrerá uma deformação côncava proporcional e se iniciará o processo de escoamento superficial.

Ao se impactar com a superfície do solo, a gota de água, proporciona a desagregação das partículas do solo, ocasionando o selamento sobre a superfície do solo, que ocorre pela força compressiva da água como também ao arraste das partículas gerada pela força tangencial (Coelho, 1996).



**Figura 24** - Diagrama Esquemático do mecanismo de impacto de uma gota de água sobre a superfície, em solos com alta (A) e baixa (B) resistência mecânica. Fonte: Al-Durrah & Bradford, 1982.

## **Avaliação do Grau de Compactação**

Segundo Stolf (1991), penetrômetros são aparelhos destinados a determinar a resistência do meio no qual penetram e podem ser divididos em dois grupos: a) Penetrômetros convencionais para uso agrícola: para efetuar a medida, o conjunto é pressionado contra o solo a uma velocidade constante e a resistência oferecida ao avanço de sua ponta pode ser lida ou registrada através de um dinamômetro (penetrômetros estáticos); b) Penetrômetros de impacto, que eram somente utilizados pela engenharia civil, mas que na década de 80, foram adaptados no Brasil para fins agrícolas (STOLF et al., 1983) com dimensões numa escala de 20 vezes menores que os de uso para a engenharia civil. A medida é feita através do impacto de um peso que cai de uma altura constante, em queda livre, sobre uma haste, fazendo dessa forma, que ela penetre no solo. Conta-se o número de impactos necessários para que o aparelho penetre a uma determinada espessura (penetrômetros dinâmicos).

Mas segundo Camargo (1997), uma série de cuidados devem ser observados para evitar que as medidas com este equipamento não sejam invalidadas, como por exemplo, a influência na resistência à penetração (RP) da textura do solo, da umidade, e do tipo de equipamento, uma vez que penetrômetros diferentes em solos iguais resultam em medidas diferentes de RP.

A compactação causa uma redução no volume de poros, aumentando a densidade do solo. As causas das alterações na densidade podem ser naturais, difíceis de serem definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como, por exemplo, a eluviação de argilas e também, por meio das forças mecânicas originadas da pressão causadas pelas rodas das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo (BELTRAME e TAYLOR, 1980). Esses autores afirmam que essa pressão é originária das forças de tração e da própria força peso do trator e implementos. O tráfego excessivo, feito indiscriminadamente sobre diferentes condições de umidade do solo, é o principal responsável pela compactação (KLEIN e LIBARDI, 2002), passando a existir, dessa forma, um efeito cumulativo. Portanto, após vários anos de manejo numa determinada área, poderá surgir uma camada compactada que afetará a dinâmica da água (HAKANSSON *et al.*, 1988) e de nutrientes, pois há interferência nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes (ALVARENGA *et al.*, 1997), além de aumentar a obstrução ao desenvolvimento radicular e provocar uma má aeração do solo (TORMENA *et al.*, 1998; GROHMANN e QUEIROZ-NETO, 1996). Essas modificações na estrutura do solo poderão ser diferentes de acordo com o tipo de preparo efetuado. Bauder *et al.* (1981) e Tavares Filho e Tessier (1998) relatam que o

sistema de manejo convencional se destaca como um sistema que, além de pulverizar a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão, propicia a formação de impedimentos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos implementos. Do ponto de vista prático, existe muita dificuldade em se caracterizar e quantificar a compactação, de modo que se possa indicar ao agricultor o momento em que ele deve proceder algum tipo de intervenção no solo. Uma das formas de se caracterizar e quantificar a compactação é através da utilização da técnica de penetrometria com penetrômetros dinâmicos (de impacto) e estáticos (velocidade de penetração constante) (BRADFORD, 1986; PEDROTI *et al.* 2001; DIAS-JÚNIOR e PIERCE, 1996). A resistência à penetração (RP) do cone do penetrômetro no solo está relacionada com a resistência à penetração radicular e, portanto, associada com restrições do crescimento das plantas (GROHMANN e QUEIROZNETO, 1996; MOURA-FILHO e BUOL, 1972; ALVARENGA *et al.*, 1983; OLIVEIRA *et al.*, 1983; BICK e SIEMENS, 1991; STELLUTI *et al.*, 1998). Outras abordagens para avaliar a compactação são as curvas de compressão (DIAS-JÚNIOR, 2000), a caracterização dos intervalos hídricos ótimos (INHOFF *et al.*, 2001; SILVA e KAY, 1997; TORMENA *et al.* 1998) e a utilização de plantas indicadoras de compactação (SILVA e ROSOLEM, 2001).

Canarache (1990) sugere que valores acima de 2,5 (MPa) começam a restringir o pleno desenvolvimento das plantas. Já outros pesquisadores como Sene *et al.* (1985), consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

## **2 - Modificações das condições de infiltração e escoamento superficial**

A alteração de ecossistemas naturais ocorre na medida em que há substituição por atividades antrópicas, o que ocasiona diversos tipos de degradação ambiental, acelerados pelo uso e manejo inadequado dos solos. A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas a práticas agrícolas inadequadas, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas, limitando sua utilização agrícola e tornando-o mais suscetível à erosão.

Segundo Rocha *et al.* (2000), o aumento da atividade humana também influi na disponibilidade hídrica das bacias, assim, é fator importante a ser analisado, pois tem provocado importantes alterações e consequentes impactos sobre esses ecossistemas, o que demanda planejamento ambiental, que deve contemplar não apenas os ambientes criados e alterados

pelos seres humanos, mas também o ambiente natural ao seu redor. Ressalta-se também que a bacia hidrográfica é uma unidade natural de planejamento ambiental, o que permite que seja o local onde esses estudos possam ser mais bem avaliados.

De acordo com Aguire *et al.* (2007) a dinâmica de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas exige estudos para a compreensão dos diversos impactos provocados pela ação antrópica e estratégias adequadas para a conservação dos recursos naturais nessas áreas. Os principais impactos ocasionados por modificações no uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas são: a redução da capacidade de infiltração, o aumento do escoamento superficial e erosão, a sedimentação dos cursos d'água, a diminuição da profundidade do leito dos cursos d'água e, conseqüentemente, o aumento de cheias e inundações.

De acordo com Tripathietal (2003), o estudo das bacias individuais e diversificadas torna-se necessário para possibilitar o desenvolvimento de planos de administração a serem desenvolvidos e também para aplicar os resultados de uma bacia para outra com características similares.

Dentre os estudos relacionados às modificações antrópicas impostas às bacias hidrográficas, destaca-se os que buscam avaliar condições de infiltração e escoamento superficial, principalmente por meio de modelagem matemática e ensaios em campo. Essas avaliações podem ser diretas, a partir do estudo de parâmetros como a condutividade hidráulica, ou indiretas, por meio de parâmetros que condicionam alterações nas taxas de infiltração e escoamento superficial, como compactação do solo e redução de sua porosidade, *crusting* e modificações no microrelevo (rugosidade superficial do terreno). Todos esses parâmetros são intensamente influenciados pelo preparo do solo para usos agrícolas, sobretudo em culturas de ciclo curto ou semi-perenes, as quais requerem preparos como aragem e gradagem, além da construção de cordões de nível para controle do escoamento superficial.

A compactação e o *crusting*, isto é, a formação de uma camada ou crosta lisa e endurecida, são facilmente observados em áreas, sob intensa passagem de maquinários, sobretudo em estradas secundárias e carreadores. A ruptura das estruturas do solo e o rearranjo das partículas, sobretudo as mais finas, promovem uma diminuição da quantidade e continuidade dos poros, reduzindo ou mesmo impossibilitando a infiltração.

Desta maneira, o estudo das condições ambientais do meio físico tem como objetivo auxiliar tomada de decisões, tanto nos agrossistemas como na expansão urbana, possibilitando a compreensão das características do meio e seu comportamento dinâmico frente a intensificação da atividade humana.



## - Infiltração

De acordo com Libardi (2005) se inicialmente o solo estiver seco, durante o processo de infiltração, a capacidade de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final, conhecido como capacidade de infiltração.

O processo de infiltração depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores. Rawls et al. (1996) afirmam que os fatores que interferem na infiltração: os ligados ao solo, que incluem a textura do solo, massa específica, teor de matéria orgânica, porosidade e tipo de argila e químicas, além da umidade, capacidade de retenção e a condutividade hidráulica.

A compreensão e a avaliação da capacidade de armazenamento de água no solo, bem como os fluxos que ocorrem tanto na superfície, infiltração e evaporação, quanto na profundidade do solo, drenagem interna, são importantes quando se trata da irrigação, drenagem, erosão, biologia da fauna e flora desse solo, lixiviação de elementos químicos, poluição do solo e da água, entre outros aspectos.

De acordo com Villella e Mattos (1975) a infiltração de água no solo é o fator condicionante do escoamento superficial e este processo depende basicamente da porosidade, grau de saturação e declividade do terreno, sendo que os dois últimos contribuem para a ocorrência do escoamento superficial.

Em irrigação, a velocidade de infiltração básica (VIB) é que vai determinar se o solo suporta a intensidade de aplicação imposta por determinado tipo de emissor. Ela deve ser levada em conta na escolha do emissor, principalmente nas irrigações por aspersão (MANTOVANI *et al.*, 2009). A determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para tanto, torna-se necessário adotar métodos, cuja determinação baseia-se em condições semelhantes às aquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido (PRUSKI *et al.*, 1997). A velocidade de infiltração (VI) da água no solo é uma determinação que tem sido amplamente estudada e ainda não existe um consenso geral e bem estabelecido sobre qual é a melhor técnica para a sua determinação.

A infiltração da água no solo deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo (CUNHA *et al.*, 2009). Segundo (FAGUNDES *et al.*, 2012) vários métodos de campo têm sido utilizados para determinar a VI de um solo, dentre eles pode-se destacar o método do infiltrômetro de anel, por

ser simples e de fácil execução.

### **- Escoamento Superficial**

De acordo os autores Canholi (2005); Prusk *et al.* (2004), o escoamento superficial é fenômeno gerado pela precipitação que supera a capacidade de infiltração do solo.

De acordo com Canholi (2005) existem quatro caminhos para se estudar o processo de infiltração:

- A) razão de infiltração variável e específica do local;
- B) razão constante da infiltração;
- C) balanço de massa através do método racional;
- D) número de curva (CN) do Service Conservation Soil (SCS).

Através destes caminhos torna-se mais fácil fornecer dados reais das parcelas de precipitação que escoam superficialmente, tomando como referência uma precipitação específica.

Segundo os autores Villela & Mattos (1975) a intensidade e a duração das precipitações são fatores climáticos que influenciam o escoamento superficial. A capacidade de infiltração será atingida rapidamente quanto maior a intensidade da precipitação, desta maneira, o volume excedente será escoado superficialmente. Ainda de acordo com os autores a duração da precipitação favorece a geração de escoamento superficial, pois precipitações de longa duração contribuem para saturação do solo.

Precipitações antecedentes se constituem em outro fator climático importante que contribuem para o escoamento superficial, pois a saturação dos espaços vazios pela água ocorrerá mais rapidamente se o solo já estiver úmido.

O escoamento superficial pode ser intensificado ou retardado, quando se considera o uso e o tipo de solo e o associa à sua capacidade de infiltração da água. De acordo com os autores Porto *et.al.* (1999), a forma da bacia influencia no escoamento superficial, áreas alongadas, normalmente, possuem vertentes com maior declividade e o escoamento superficial será mais intensificado. Ainda de acordo com os autores a topografia também influencia o escoamento superficial, pois a declividade das encostas proporciona a sua geração.

Em áreas agrícolas irrigadas onde o método de irrigação utilizado é o de aspersão via pivô central, o ajuste entre a precipitação gerada é fundamental para que a mesma não ultrapasse o somatório entre a capacidade de infiltração e armazenamento do solo.

Dado ao fato da diminuição da taxa de infiltração da água no solo com o passar do

tempo, a taxa de aplicação ótima varia com a lâmina total e o tipo de emissor de água utilizado no equipamento (Coelho, 1996).

Schimidt (2004) ressalta a necessidade de se considerar, no manejo do solo de áreas irrigadas, aspectos que minimizem a formação dos fatores que causam o escoamento superficial, tais como selamento superficial, a compactação ou adensamento sub-superficial, que estão associados à aplicação de lâminas de irrigação excessivas.

Os autores von Bernuth & Gilley (1985) efetuaram uma pesquisa para avaliar diferentes tipos de aspersores para pivô central, considerando uma baixa infiltração devido o selamento da camada superficial do solo por ação da gota de água. Os autores utilizaram um conjunto de seis diferentes kits de aspersores, dez tipos de solos, quatro diferentes tipos de vazão, quatro lâminas de irrigação e cinco posições diferentes ao longo do pivô central. Concluíram que de fato ocorre diminuição da infiltração quando se aumenta o diâmetro da gota e a velocidade de queda. Também concluíram que o selamento ocorre de forma rápida logo após o início da precipitação.

Ainda segundo os autores citados anteriormente, solos que apresentam capacidade de infiltração muito baixa, quando irrigados por pivô apresentará escoamento superficial muito elevado e neste caso, o tipo de aspersor utilizado não irá interferir no processo.

Os autores Undersander *et. al.* (1995) o método de irrigação por aspersão através de pivô central, com a utilização de aspersores de baixa e alta pressão, para analisar o escoamento superficial do solo em culturas de milho e sorgo. Os autores concluíram que o escoamento superficial foi maior quando se utilizou aspersores de baixa pressão.

Quando se trata de irrigação, qualquer que seja o método utilizado poderá ocorrer escoamento superficial, assim, a determinação da lâmina de irrigação com base em estudo dos dados climáticos e de solo da área onde será instalado o sistema de irrigação é imprescindível. Ocorre que, por vezes, a falta de dados do local leva a utilização de valores médios estimados ou até mesmo históricos e, este fator contribui para que ocorram problemas de cunho ambiental, tal como o escoamento superficial. Desta maneira, o correto dimensionamento da lâmina de água a ser aplicada, contribui para que problemas relacionados a arraste das partículas do solo possa ser evitado.

### **3 - Salinização**

Para Cruciani (1983) a salinização refere-se a um processo de acúmulo de sais na camada superficial do solo e que são carreados para os canais de drenagem através do escoamento

superficial.

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. De acordo com os autores Ribeiro *et al.*, (2003) e Sousa (2007) estima-se a existência de cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo

De acordo com os autores Ongley (2000); Jalali e Merrikhpour (2007) a expansão das áreas irrigadas, gera problemas de degradação dos recursos naturais solo e água, principalmente aqueles relacionados à salinidade solo. Os autores ressaltam que esses problemas ocorrem principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a precipitação anual não é suficiente para que ocorra a lavagem dos sais acumulados na zona radicular e, assim, manter a concentração de sais em níveis aceitáveis. No Brasil o problema é verificado em todo país, acontecendo especialmente na região Nordeste, onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas foram salinizadas (Gheyi, 2000).

De acordo com Schmidt (2007); Khan & Abdullah (2003); Zalis (1998) mesmo com os adventos e inovações dos processos tecnológicos voltados para agricultura, milhões de hectares continuam sendo salinizados contribuindo severamente para a redução da produção agrícola mundial. Segundo Ghassemi *et al.* (1995) aproximadamente um terço da área irrigada mundial se apresenta degradada em virtude do processo de acúmulo de sais.

De acordo com Junior & Silva (2010) a fertirrigação, é a principal via geradora de altas concentrações de sais em áreas irrigadas.

Para os autores Filho *et al.* (1991); Queiroz *et al.*, (1997) a prática da irrigação altera os atributos físicos e químicos do solo, devido má qualidade das águas que, assim como, as soluções utilizadas na fertirrigação contêm elevados teores de sais solúveis.

Para os Rhoades e Loveday (1990) cerca de metade da área irrigada no mundo apresenta alguma proporção de salinização e cerca de 10 milhões de hectares são abandonados anualmente por esse problema. Ainda segundo os autores o processo de salinização dos solos ocorre devido a alguns fatores, tais como:

- Função do material geológico de origem;
- Teor de sais da água de irrigação e das chuvas, lençol freático raso, fertilizante e outros produtos adicionados ao solo.

A literatura australiana classifica e recomenda a classificação das águas de irrigação de acordo com a Tabela 10 a seguir:

**Tabela 10** - Salinidade recomendada para águas de irrigação. Fonte: EPA – Austrália (1991). \* Sólidos Totais Suspensos, \*\* Condutividade Elétrica.

| CLASSE | DESCRIÇÃO                    | *STD (mg/L) | **CE (ms/cm) | CE (ds/m) |
|--------|------------------------------|-------------|--------------|-----------|
| 1      | Salinidade baixa             | 0 - 125     | 0 - 270      | 0 - 0,3   |
| 2      | Salinidade média             | 125 - 500   | 270 - 780    | 0,3 - 0,8 |
| 3      | Salinidade alta              | 500 - 1500  | 780 - 2340   | 0,8 - 2,3 |
| 4      | Salinidade muito alta        | 1500 - 3500 | 2340 - 5470  | 2,3 - 5,5 |
| 5      | Salinidade extremamente alta | > 3500      | > 5470       | > 5,5     |

Para os autores Withers e Vipond (1977); CRUCIANI (1983); Pires *et.al.* (1999); Schmidt (2007) a mitigação do processo de salinização é conduzir a irrigação com uma lâmina de água adequada, desta maneira o excesso de sais será lixiviado, constantemente, para abaixo da zona do sistema radicular, não e não ocorrerá acúmulo de sais na mesma.

Segundo Bouwer (1987) no manejo da irrigação não deverá haver previsão de uma nova precipitação, como lâmina adicional, para que ocorra o arraste dos sais, pois existe uma ineficiência dos sistemas de irrigação com superdimensionamento da lâmina de água.

#### 4 - Lixiviação de Sais

O processo de lixiviação, de acordo Hornsby (1990), trata-se de um processo de movimentação de fluxo de massa de água através do perfil do solo de produtos químicos e sais, oriundos em sua maioria dos defensivos e fertilizantes agrícolas utilizados nas culturas irrigadas. Ainda de acordo com autor, trata-se de um importante fator no processo de salinização, em regiões onde a precipitação é baixa pois ocorre acúmulo de sais na superfície, somado ao fato que alguns elementos tóxicos ao homem e aos animais como, por exemplo, Cd, Cr, Cu, Mn, Zn, são provenientes dos minerais constituintes dos solos cujo intemperismo é acelerado pela presença abundante de água.

Conforme já mencionado no item 8.3 sobre salinização, o autor Bouwer (1987) coloca a necessidade da não previsão de uma nova precipitação via irrigação, Ayers e Westcot (1999) mencionam que quando ocorre à acumulação de sais, de maneira excessiva, os sais podem ser lixiviados, aplicando-se na zona radicular mais água que a necessária às culturas, durante seu período de crescimento, pois esta quantidade extra de água irá percolar abaixo da zona radicular,

removendo pelo menos uma parte dos sais acumulados. Os mesmos autores ressaltam que em longo prazo, a quantidade de sais removidos por lixiviação deve ser igualou superior à dos sais aplicados com a água de irrigação, para evitar sua acumulação e concentração em níveis perigosos e, assim provocar contaminação das águas subterrâneas.

### **- pH e Mobilidade de Nutrientes**

Abreu *et al.* (2007), mencionam que o conhecimento das formas químicas dos nutrientes na solução do solo é mais importante para estimar as mobilidades e disponibilidades desses elementos às plantas do que a determinação dos teores totais na solução do solo. São vários os fatores que influenciam na disponibilidade dos nutrientes, segue abaixo os principais:

- Material de origem do solo e estágio de intemperismo;
- Teores de argila e matéria orgânica;
- Interações positivas (sinergismo) e negativas (antagonismo) com outros nutrientes;
- Reações de oxirredução;
- Espécie cultivada;
- Intensidade do uso do solo;
- Por exsudatos orgânicos de raízes e os subprodutos de microorganismos;
- pH do solo.

A faixa de pH em que a maioria dos nutrientes se encontram disponíveis para as plantas na solução do solo está por volta de 5,5 e 6,5. Considerando-se que a maioria dos solos brasileiros apresenta acidez média a alta, sendo a correção desta, ou seja, a calagem, um fator decisivo para promover o equilíbrio na disponibilidade de todos os nutrientes.

## 5 - Contaminação da Água Subterrânea

A preocupação a respeito da poluição das águas subterrânea é recente e restrita em nosso país, uma vez que o usuário do recurso subterrâneo, particular ou governamental, ainda desconhece sua importância e ignora as graves consequências de sua contaminação (Hirata, 1993). Uma justificativa para esse fato é que ao contrário da contaminação das águas superficiais, identificada na maioria das vezes, a contaminação das águas subterrâneas não é visível e sua exploração é muito distribuída, dificultando assim a identificação do problema. A ação protetora ou de interrupção é aplicada tardiamente, além de que quando a contaminação se torna perceptível, geralmente já atingiu uma larga extensão (Custodio *et al.*, 1996).

Como a recarga das águas no subsolo ocorre, na maioria dos casos, devido à infiltração da água de chuva em excesso no solo, atividades realizadas neste solo podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A poluição de aquíferos ocorre onde o descarte da carga contaminante gerada pela atividade antrópica (urbana, industrial, agrícola, mineradora) é inadequadamente controlada e certos componentes excedem a capacidade de atenuação das camadas do solo (Foste, *et al.*, 2006).

## 6 - Contaminação das águas subterrâneas

O cultivo e manejo do solo exercem grande influência na qualidade das águas subterrâneas e nas taxas de recarga de alguns aquíferos. Algumas práticas agrícolas são capazes de causar contaminação difusa por nutrientes e pesticidas, especialmente em áreas com solos pouco espessos com boa drenagem, e ocasionar um aumento da salinidade das águas, especialmente em regiões mais áridas ((Foster, *et al.*, 1991).

Os tipos de atividade agrícola que geram contaminação difusa mais preocupante das águas subterrâneas são as relacionadas com extensas áreas de monocultura. Práticas agrícolas envolvendo o cultivo de culturas perenes apresentam menor perda por lixiviação que em locais onde as plantações sazonais são praticadas, devido ao menor distúrbio e aeração do solo e também ao aumento da demanda de nutrientes pelas plantas (Chilton, 1996).

O impacto das atividades agrícolas modernas sobre a qualidade das águas subterrâneas tornou-se conhecido em alguns países industrializados durante a década de 1970, entretanto estava restrito ao uso de fertilizantes, principalmente compostos nitrogenados (Foster, 1993).

Um outro fator preocupante é o efluente principal da indústria do álcool, a vinhaça. A vinhaça ou vinhoto possui altas concentrações de potássio, cloreto, nitrogênio total, cálcio, sulfato, fósforo total, concentração significativa de alguns metais e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada que pode causar sérios danos aos cursos superficiais de água. Devido a esse problema, optou-se pela disposição da vinhaça no solo, por aspersão ou irrigação por canais, como fertilizante.

## 7 - Eutrofização dos Corpos de água

De acordo com Barreto et.al. (2013) a eutrofização consiste no aumento excessivo de nutrientes na água, podendo ser causada por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros.

Para Smith e Schindler (2009), a eutrofização refere-se a um desequilíbrio que ocasiona a multiplicação de matéria vegetal, que ao se decompor provoca danos como a diminuição do oxigênio dissolvido. Os mesmos autores ressaltam que em áreas agrícolas, a utilização inadequada de fertilizantes orgânicos e minerais pode provocar o excesso de importantes nutrientes nos solos, que podem chegar aos cursos d'água, devido a processos como lixiviação e escoamento superficial. A Figura 25 apresenta um reservatório em uma dada área agrícola com utilização do método de irrigação por aspersão, via pivô central.



**Figura 25** - Reservatório Eutrofizado. Foto feita na Bacia dos Ribeirão dos Cocais – Casa Branca/SP – Fevereiro/2015.



Segundo Benites (2014) o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo e o sexto maior produtor. Ainda de acordo com o autor, grande parte dos nutrientes aplicados via fertilizantes são perdidas por diferentes mecanismos.

Para os autores Gomes et.al. (2014) os nutrientes que são perdidos para os diferentes compartimentos ambientais são potenciais geradores de impactos, tais como, acidificação e de solos e eutrofização dos corpos de água. Os autores pesquisaram sobre a Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar os impactos ambientais potenciais de diferentes fertilizantes nitrogenados na sua etapa de uso, aplicados a cultura do milho, para tanto, utilizaram os seguintes fertilizantes: ureia, ureia em mistura com zeólita, sulfato de amônio e nitrato de cálcio na dosagem de 120 kg N/ha. Os autores concluíram que os fertilizantes contribuem significativamente para a ocorrência de eutrofização, principalmente ao longo de sua produção pela emissão de elementos fosfatados.

## **2.10 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO**

A salinidade em áreas irrigadas ocorre em decorrência do uso de águas de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-plantas e, qualquer que seja a sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a quantidade e qualidade dos sais presentes variem bastante (Medeiros e Gheyi, 1994).

De acordo com Aragues (1994), nas últimas décadas foram estabelecidas diversas classificações de qualidade das águas para irrigação que, em geral, foram perdidas por serem muito generalistas, portanto pouco precisas, ou excessivamente restritivas, portanto não extrapoláveis a outras situações. De qualquer forma, nestas classificações se consideram comumente (1) o efeito da salinidade (expressa como condutividade elétrica, CE) sobre o rendimento das culturas, e (2) os efeitos combinados da salinidade (CE) e da sodicidade (expressa como Relação de Adsorção de Sódio, RAS) sobre a estabilidade estrutural dos solos. O efeito tóxico de alguns microelementos e os efeitos nutricionais deve ser considerado em certas circunstâncias Bernardo *et al.* (2005) relaciona cinco parâmetros básicos para se analisar a água e determinar a sua qualidade para irrigação, são eles: a) concentração total de sais solúveis ou salinidade; b) proporção relativa de sódio em relação aos outros cátions ou capacidade de infiltração do solo; c) concentração de elementos tóxicos; d) concentração de bicarbonatos; e) aspecto sanitário.

Geralmente, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais do que as de zonas áridas, águas subterrâneas são mais salinas que as águas de rios e estas, próximas da foz, contêm mais sais do que as águas próximas à nascente; a concentração de sais nas águas de rios varia com a estação do ano, sendo maior no outono que na primavera (Holanda e Amorim, 1997).

O problema de salinidade em áreas irrigadas torna-se agravado quando o balanço de sais revela uma maior entrada que saída, indicando um maior acréscimo de sais na área considerada (Biggar *et al.*, 1984).

A qualidade da água para irrigação está relacionada com os seus efeitos prejudiciais ao solo e à cultura, requerendo, muitas vezes, técnicas especiais de manejo para compensar eventuais problemas associados com o seu uso.

A adequação da água para irrigação depende tanto da própria qualidade, quanto de fatores relacionados com as condições de uso. Uma mesma qualidade de água pode ser considerada adequada para certa cultura ou solo, mas ser imprópria para outros. Portanto, é de extrema importância a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos, pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas. Além das características físico-químicas da água, outros fatores devem ser considerados e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação (Ayers e Westcot, 1999).

Os principais sais encontrados tanto no solo como na água são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>), o sulfato de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) e o carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como o pH e temperatura na fonte, razão por que esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se têm carbonatos e/ou bicarbonatos (Ulzurrún, 2000). Silva Junior *et al.* (1999), analisando águas provenientes de diversas fontes nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, concluíram que as águas do cristalino do Nordeste brasileiro possuem baixos níveis de sulfatos, carbonatos e potássio, além de constatarem a predominância de águas cloretadas sódicas independentes do nível de salinidade.

A qualidade da água de irrigação deve ser avaliada, principalmente com relação aos nutrientes (N, S, Ca, Mg, Cl, Fe e B), ao sódio, carbonatos, bicarbonatos, a salinidade e pH. Segundo Ayerse e Westcot, (1999) não existe um limite fixo da qualidade das águas e seu uso é determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e seus efeitos nos rendimentos das culturas. Diversos perímetros irrigados no Nordeste, onde se usa, normalmente

águas com baixos teores de sais (CE entre 0,1 a 1,0 dS/m) e, mesmo assim, uma parte significativa destas áreas apresentam problemas graves de salinidade, devido ao manejo inadequado da irrigação e drenagem. Neste caso, a salinização do solo existe, não pela água utilizada na irrigação conter sais em excesso, mas devido a elevação do lençol freático provocado pela aplicação de lâminas excessivas de água, perdas de água em canais de distribuição e drenagem deficiente (Cruciani,2010).

## **CAPÍTULO 3 -MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

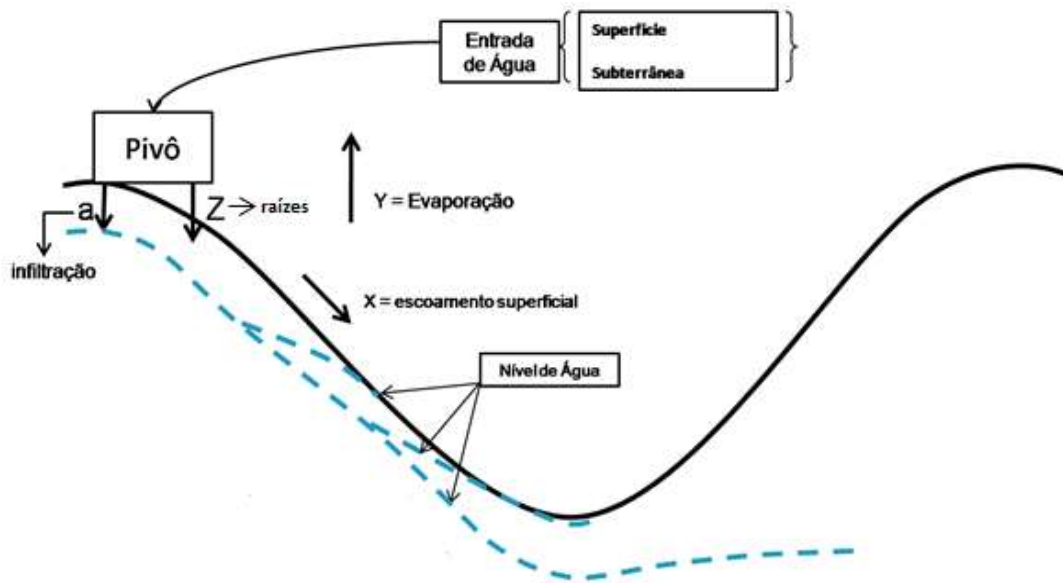
Para a realização da presente dissertação várias etapas foram previamente determinadas e cumpridas ao longo da pesquisa, as quais podem ser verificadas pelo fluxograma da Figura 27.

### **3.2 - MODELO CONCEITUAL**

Para o entendimento dos problemas ambientais e geotécnicos a elaboração de um modelo conceitual, foi de fundamental importância, para a compreensão de todos os fatores ligados a atividade de irrigação, com a utilização do pivô centra. Conforme pode ser observado na Figura 26 a seguir, consideraram-se os elementos X (escoamento Superficial), Y (Evaporação), A (infiltração) e Z (profundidade efetiva das raízes) uma vez que os mesmos podem contribuir para a ocorrência de fatores que irão afetar componentes geotécnicos e provocar degradação ambiental.

O pivô central é abastecido por água de mananciais superficiais ou subterrâneos. O mau dimensionamento da lâmina de água, a ser aplicada durante o processo de irrigação, pode acarretar em um uso elevado do recurso. Normalmente a lâmina a ser aplicada é calculada com base em dados preestabelecidos, um tanto quanto generalista, que não consideram as condições locais da região, assim, a aplicação de uma lâmina de água maior do que a necessária para uma cultura agrícola favorece perdas de água por escoamento superficial. A desagregação das partículas do solo gerada pelo impacto da gota provoca o selamento da camada superficial, o que irá diminuir a capacidade de infiltração (a) de água no solo. A associação entre o selamento e a diminuição da infiltração, ocasionará o processo de escoamento superficial. Estes processos podem gerar mudanças nos componentes geotécnicos o que poderá afetar a captação da mesma pelas raízes das plantas (Z).

Assim, se o dimensionamento da lâmina de água no processo de aspersão não for adequado, as características ambientais iniciais podem ser afetadas gerando uma nova condição de superfície, favorecendo a evaporação, o aumento do escoamento superficial e diminuir a infiltração.



**Figura 26** - Modelo Conceitual considerado para vertente com área irrigada.

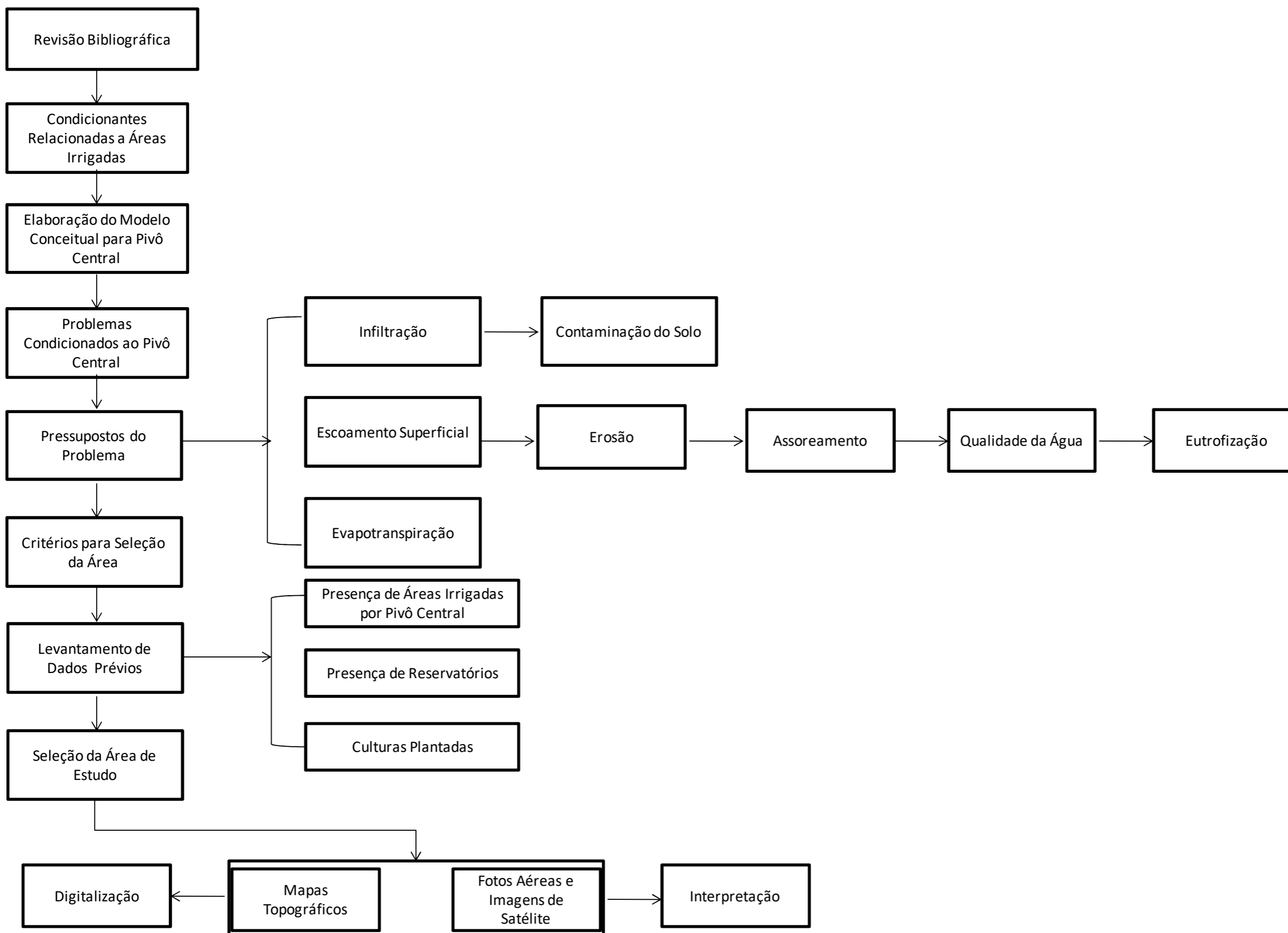
Assim, o Escoamento Superficial (X) poderá ocasionar:

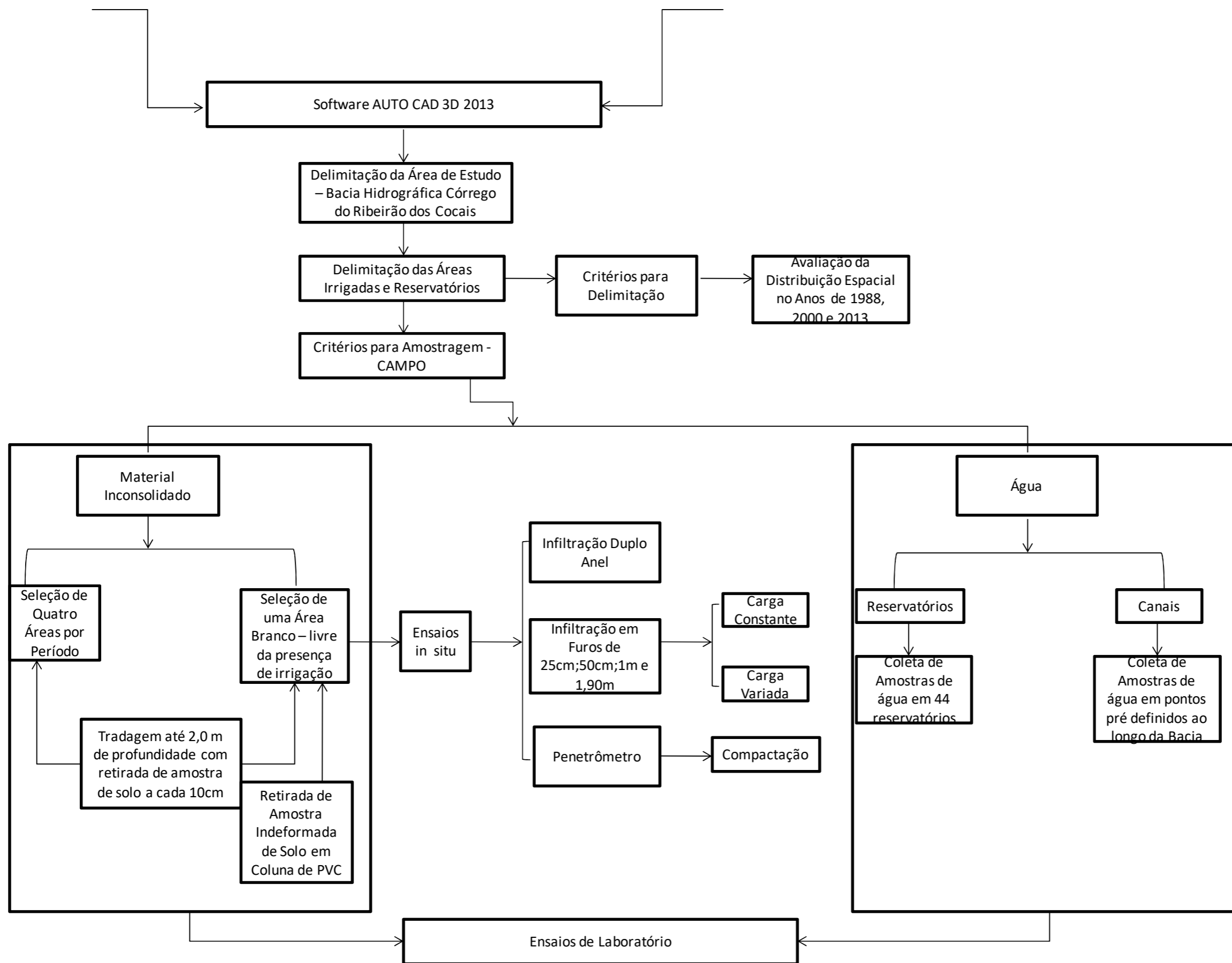
- Processos erosivos;
- Assoreamento;
- Alteração da Qualidade da água;
- Eutrofização.

O acúmulo de água na superfície do solo, em decorrência do escoamento superficial (X), proporcionará aumento da Evaporação (Y) e acarretará novas condições de superfície.

### 3.3 - ETAPAS

O fluxograma da Figura 27 apresenta de forma detalhada cada passo para a realização da presente pesquisa.





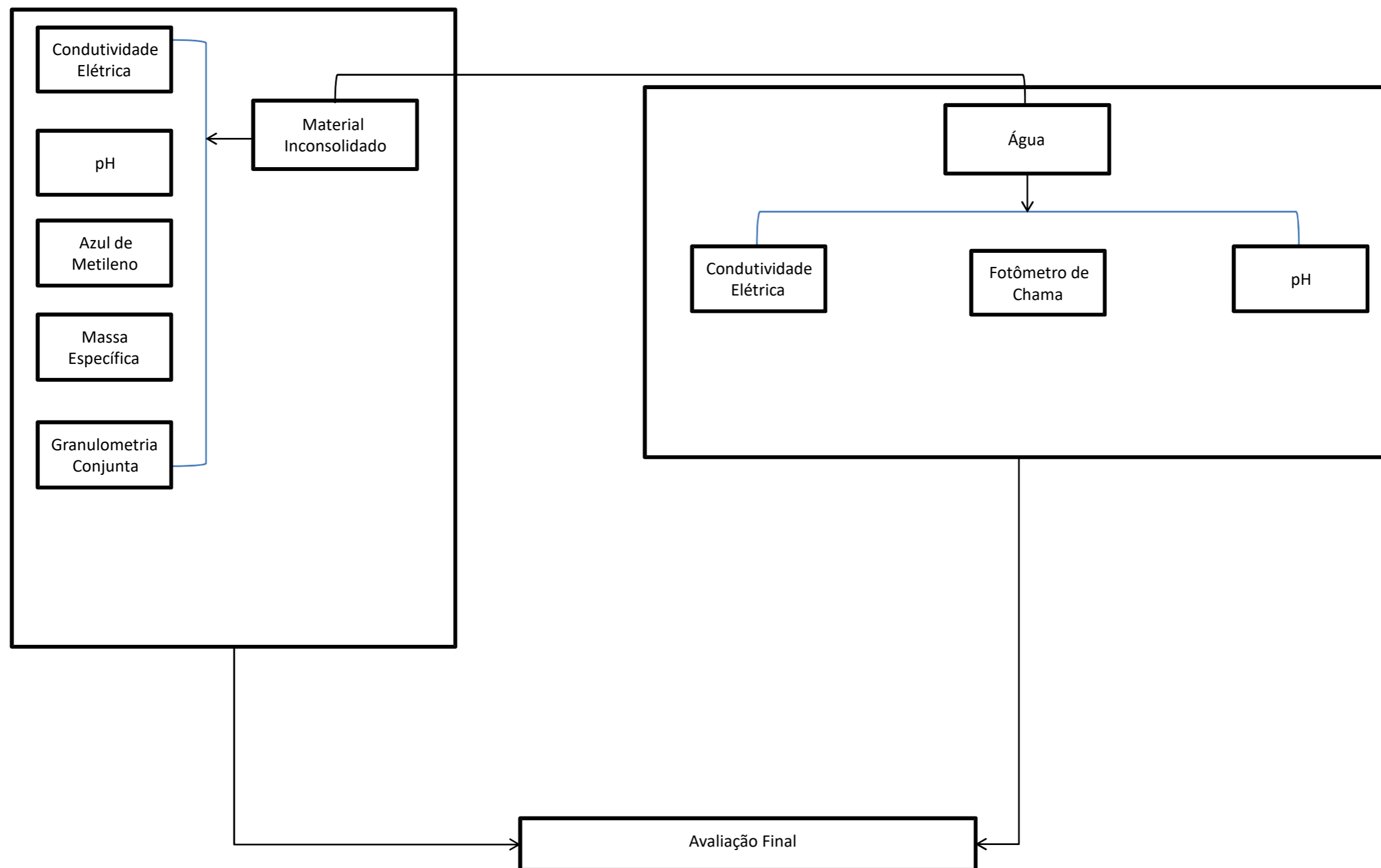


Figura 27 – Fluxograma de Materiais e Métodos



### 3.4 - TRABALHO DE ESCRITÓRIO

#### 3.4.1 - Levantamento de Materiais

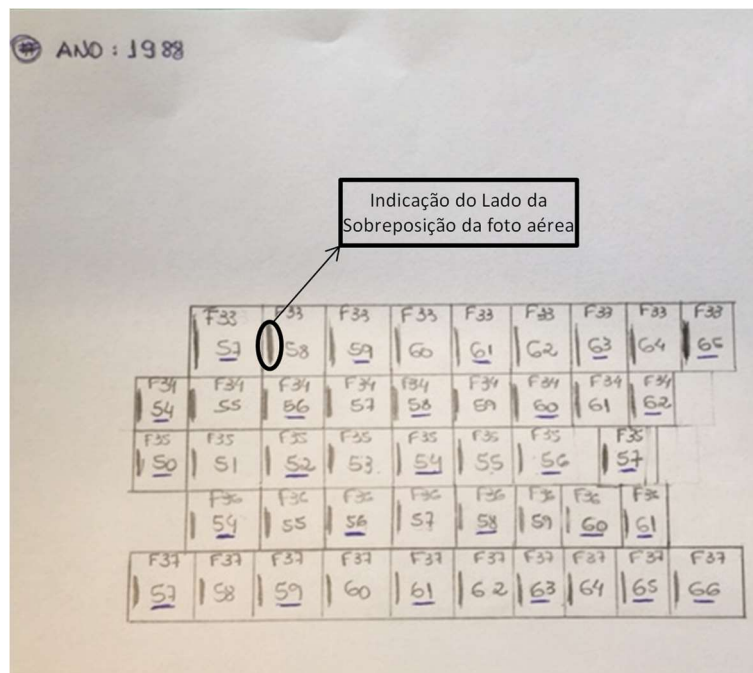
Para a realização da pesquisa foi necessário se levantar os seguintes materiais:

- Cartas topográficas dos municípios de Casa Branca, Pirassununga, Tambaú e Santa Cruz das Palmeiras na escala de 1:50000;
- Fotos aéreas dos anos de 1988;
- Fotos de imagem de Satélite Google Earth – Image 2014 CNES/Astrium
- Referencial bibliográfico

As cartas topográficas foram digitalizadas e através do software AutoCAD Map 3D 2013 e do ArcGis 10 as cartas foram georreferenciadas e em seguida realizou-se a delimitação da Bacia Hidrográfica dos Ribeirão dos Cocais, conforme mapa em anexo.

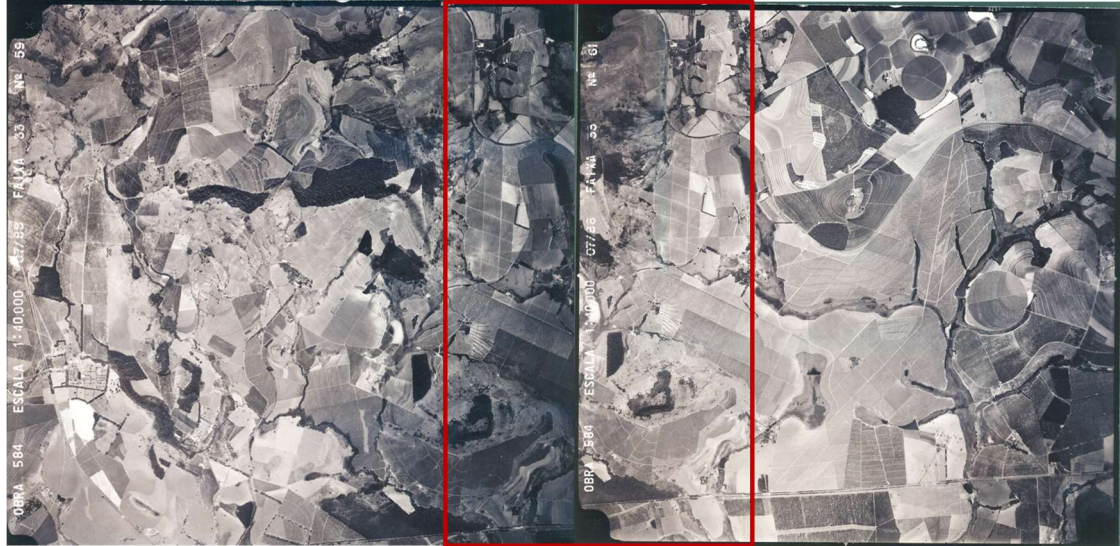
#### 3.4.2 - Trabalho de Fotointerpretação e Digitalização

As fotos aéreas da área de estudo foram, inicialmente, montadas por faixas, conforme esquema especificado da Figura28.

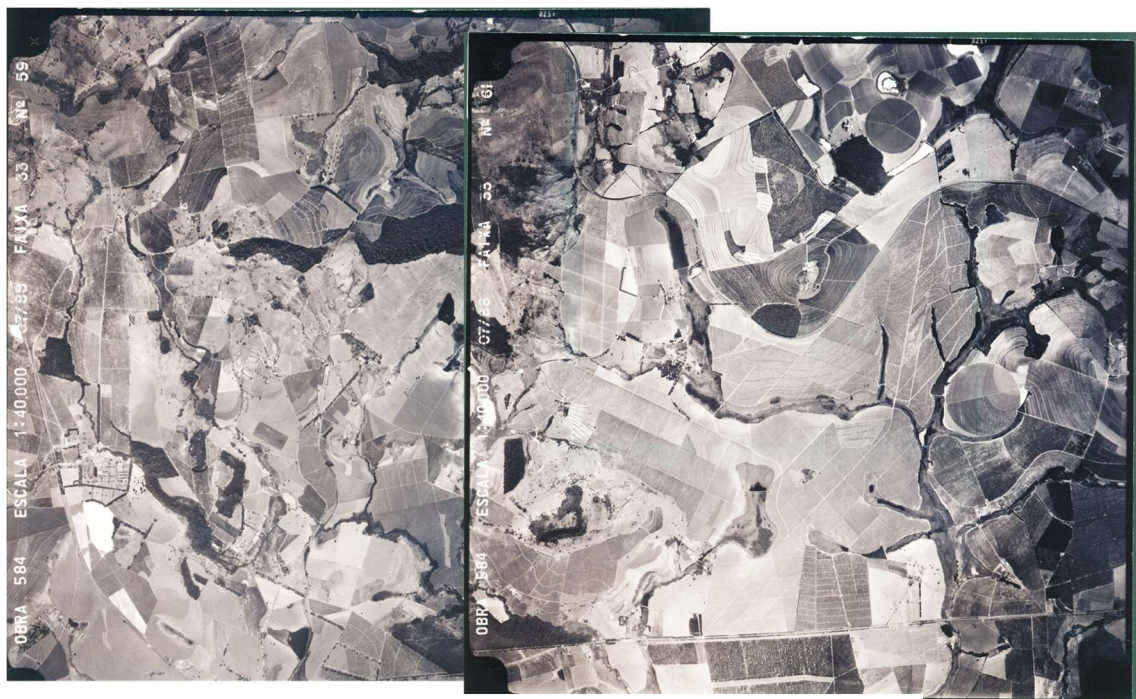


**Figura 28** - Esquema de montagem das imagens aéreas.

Após o entendimento da sobreposição das fotos pelo esquema representado acima, as mesmas foram digitalizadas, conforme imagem da Figura 29 a seguir, o retângulo em vermelho aponta para região da sobreposição entre as fotos.



**Figura 29** - Fotos aéreas do ano de 1988 digitalizadas



**Figura 30** - Sobreposição das fotos aéreas do ano de 1988.

A imagem da Figura 30 apresenta a sobreposição das fotos aéreas, e desta maneira se procedeu com todas as fotos das faixas indicadas na Figura 28, até a formação do mosaico da área de estudo para o ano de 1988 e identificação dos pivôs de irrigação.

Com as imagens de satélite foi possível a delimitação dos pivôs de irrigação dos anos de 2000 e 2013.

### **3.5 - TRABALHO DE CAMPO**

O trabalho de campo realizado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais, foi desenvolvido através das etapas descritas abaixo.

#### **3.5.1 - Amostras de fertilizantes**

Os fertilizantes utilizados na região são variados em função de aspectos econômicos e dos tipos de culturas, e 4 amostras dos mais frequentemente utilizados nas propriedades rurais da região de Casa Branca/SP foram selecionadas para caracterização química.

#### **3.5.2 - Amostragem de Água**

##### **3.5.2.1 - Reservatórios**

A Bacia Hidrográfica dos Cocais se caracteriza por sua atividade agrícola, assim, buscou-se proceder à coleta de água num grupo de reservatório construído para armazenamento de água e abastecimento dos pivôs de irrigação.

##### **3.5.2.2 - Canais de Drenagem**

A hidrografia foi digitalizada utilizando-se como base as cartas topográficas e alguns pontos selecionados a jusante dos reservatórios.

### 3.5.2.3 - Fontes

Considerando a frequência das áreas irrigadas foram selecionadas três fontes para amostragem de água.

### 3.5.3 - Procedimento para Coleta

O procedimento de coleta de água foi feito de acordo com Filizola et al (2006).

Para a coleta de água utilizou-se o coletor de PVC conforme Figura 31.



**Figura 31** - Coletor em material de PVC utilizado para amostragem de água.

As amostras de água foram acondicionadas em garrafas de PVC de 300ml. O armazenamento foi realizado em duplicata, em uma das garrafas foi adicionado 1ml de HCL concentrado para se conservar as propriedades iniciais da amostrada coletada, quanto aos possíveis metais presentes. Todas as garrafas foram identificadas de acordo com número dado ao reservatório.

As amostras de água passaram pelo processo de filtração antes de serem acondicionadas nas garrafas, conforme Figura 32. Este procedimento foi realizado para que os sedimentos finos ficassem retidos no filtro, assim, como possíveis vestígios de matéria orgânica.



**Figura 32** - Processo de filtração das amostras de água em campo.

Depois de acondicionadas nas garrafas de PVC, as amostras foram colocadas em uma caixa de isopor com gelo, para manter a temperatura baixa no sentido de evitar possíveis reações químicas, conforme indica Figura 33.



**Figura 33** - Amostras acondicionadas em caixa de isopor com gelo.

Em laboratório as amostras foram armazenadas em geladeira, com a temperatura de 10°C, até se iniciar as análises de Condutividade Elétrica (CE), pH e Espectrometria de Absorção Atômica por Chama.

## 3.6 - AMOSTRAGEM DE SOLO

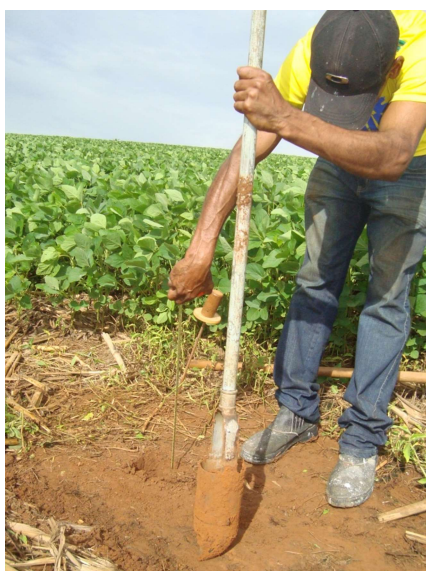
### 3.6.1 - Deformada

As áreas irrigadas selecionadas para amostragem foram segunda a idade e a distribuição espacial, assim, foram realizadas coletas de solo indeformadas em doze (12) diferentes áreas de irrigação, quatro (4) de cada período de implantação, ou seja, anos de 1988, 2000 e 2013.

Para efeitos de comparação dos resultados das análises laboratoriais, foram realizadas no pivô P65, duas coletas de solo, uma em cada extremidade do pivô com área de 0,32Km<sup>2</sup>.

Também se procedeu à coleta de solo na área isenta de irrigação, para que a mesma pudesse ser usada como parâmetro de comparação em relação às áreas com irrigação em condições similares.

A coleta de solo foi realizada através de trado, figura 34, até uma profundidade de dois (2) metros, a cada dez (10) cm. O solo coletado foi acondicionado em sacos plásticos e posteriormente levado ao laboratório.



**Figura 34** – Coleta de amostras de solo utilizando trado

### 3.6.2 - Indeformada

Para a área sem irrigação foram coletadas amostras indeformadas em anéis de PVC, conforme as Figuras 35 e 36.

Para tanto, foi aberta uma trincheira de aproximadamente um (1) metro de profundidade para a coleta de amostra em diferentes profundidades.



**Figura 35** - Procedimentos para abertura da trincheira



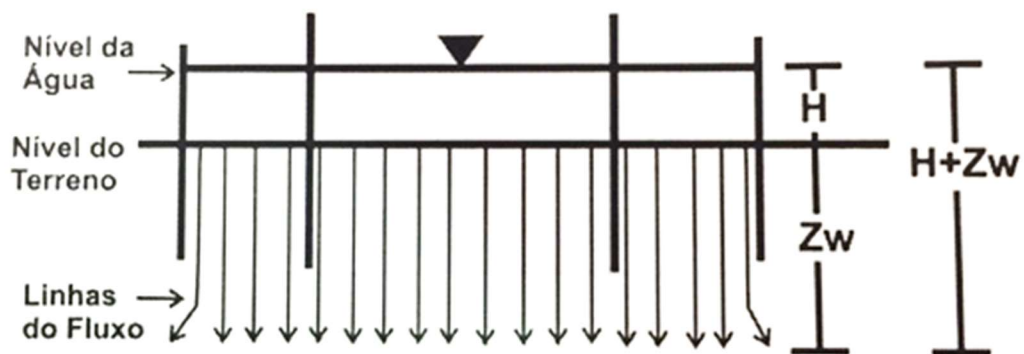
**Figura 36** - Procedimento de Coleta de Amostras Indeformadas em colunas de PVC

### 3.7 - ENSAIO IN SITU

#### 3.7.1 - Ensaio de Infiltração - Duplo Anel

##### Aspectos do ensaio

O infiltrômetro de duplo anel é um ensaio no qual a infiltração de água no solo permanece a uma carga constante por meio de dois anéis concêntricos, que são cravados ao solo a uma profundidade de 5 cm a 10 cm. A função do anel externo é assegurar que o fluxo de água no solo proveniente do anel central seja efetivamente vertical, evitando, assim, linhas de fluxo em outras direções, como apresentado na Figura 37. A lâmina de água no anel externo deve estar sempre abaixo da lâmina do anel central, conforme Figura 38.



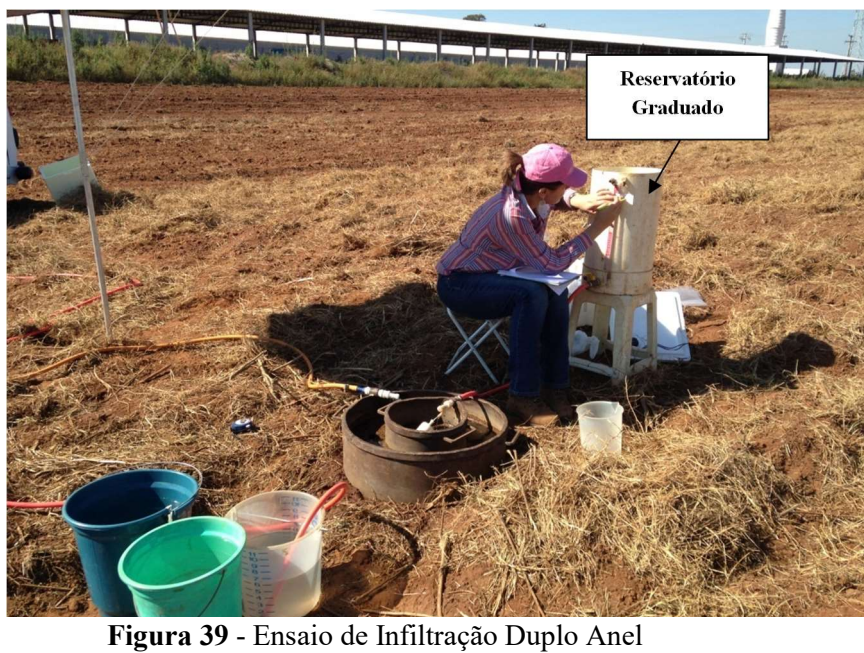
**Figura 37** - Esquema do ensaio de infiltração através do Duplo Anel. Fonte: Zuquette & Palma, 2006.





**Figura 38** - Foto do Infiltrômetro Duplo Anel instalado para a realização do ensaio

Para determinação da condutividade hidráulica, realiza-se leitura da variação de volume de água no anel central, com auxílio de um reservatório graduado a ele conectado, a intervalos de tempo regulares até obter-se um regime permanente de infiltração, conforme Figura 39.



**Figura 39** - Ensaio de Infiltração Duplo Anel

A condutividade hidráulica saturada de campo ( $k_{fs}$ ) é obtida a partir da seguinte expressão (Equação 12), baseada na equação de Darcy para carga constante:

$$k_{fs} = Q / (H + Z_w/Z_w) At \quad (12)$$

Onde:

$k_{fs}$ : condutividade hidráulica saturada de campo;

Q: volume de água infiltrada;

h: altura da lâmina d'água no anel central quando a regime constante;

$Z_w$ : profundidade da frente de saturação;

A: área da seção do anel central;

t: tempo entre duas leituras.

É possível traçar uma curva característica do processo de infiltração, a partir dos dados obtidos durante o ensaio em função do tempo.

### **Procedimentos para o ensaio**

O ensaio de infiltração com o Infiltrômetro Duplo Anel foi realizado na área sem pivô. O ensaio foi conduzido em dois pontos distintos, entretanto, em um ponto foi retirada a camada superficial já revolvida e no outro se manteve esta camada de aproximadamente 5 cm de espessura com vista a avaliação da influência da camada mais superficial, conforme as Figuras 40 e 41.



**Figura 40** - Procedimento de preparação do Duplo Anel.



**Figura 41** - Foto do local com a retirada da camada revolvida do solo.

### 3.7.2

### - Ensaio de

### Condutividade Hidráulica em Furo de Sondagem

O ensaio foi conduzido em quatro furos, conforme figura 42 com carga constante, e a obtenção dos resultados foi de acordo com as diretrizes da ABGE (1996).

A Figura 43 apresenta a realização do ensaio, com ajuda de uma mangueira conectada a reservatórios, a água foi colocada até que se estabilizasse no nível. Os furos ensaiados apresentaram as seguintes profundidades: 25 centímetros; 50 centímetros; 1 metro e 1 metro e 90 centímetros.



**Figura 42** - Exemplo de furos feitos por trado.



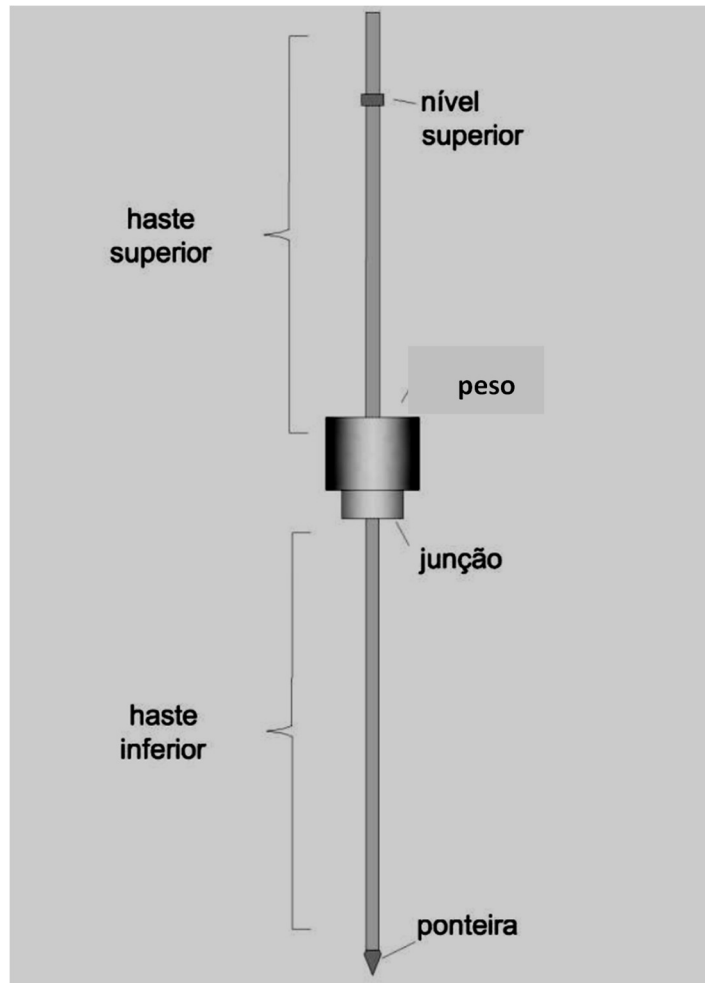
**Figura 43** - Ensaio de Infiltração com carga constante.

### 3.7.3 - Ensaio de Resistência Mecânica à Penetração

A compactação do solo pode ser avaliada por meio da sua resistência mecânica à penetração. Um equipamento utilizado para avaliação a penetração é o Penetrômetro dinâmico leve, que permite obter valores de resistência.

O funcionamento do penetrômetro dinâmico, figura 44, baseia-se na penetração de uma haste com ponteira metálica no solo através do impacto de um peso, com massa conhecida, de uma altura fixa, fornecendo uma energia constante a cada golpe. O comprimento da haste maior é de 2 metros e da menor aproximadamente 1 metro, o que garante a altura de queda do martelo. Ambas as hastes têm diâmetro de 20,5 mm. O diâmetro da ponteira é maior do que o das hastes para neutralizar o efeito do atrito lateral (Furegatti, 2012)

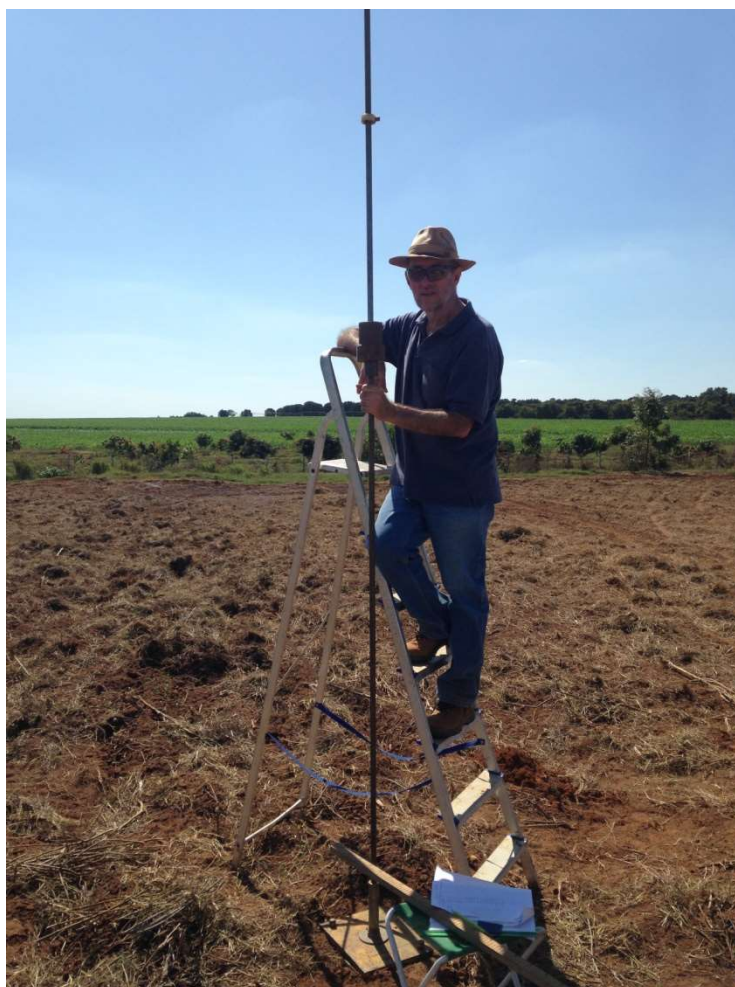
A associação da quantidade de golpes e a profundidade de penetração da ponteira, permite a verificação a resistência à penetração do solo em diferentes profundidades, o que permite de maneira direta a avaliação do grau de compactação.



**Figura 44** - Esquema do Penetrômetro Dinâmico Leve

Foram realizados três ensaios com o penetrômetro dinâmico na área sem irrigação, sendo um em solo seco e dois em solo úmido, ou seja, logo após o ensaio de infiltração através do duplo anel. A Figura 45 apresenta uma visão geral do ensaio do penetrômetro em campo.

Para determinação da resistência à penetração utilizou-se um penetrômetro dinâmico leve. O ensaio iniciou-se a partir da superfície do solo até uma profundidade de cerca de 2m. O penetrômetro utilizado é composto por duas hastes metálicas, uma inferior, que é rosqueada a ponteira metálica, e a superior onde se desliza verticalmente o êmbolo (martelo) a partir de uma altura conhecida, impactando a junção responsável pela união das hastes.



**Figura 45** - Foto do ensaio penetrômetro

A partir do número de golpes e da profundidade de penetração da haste em cada golpe, determina-se a resistência do solo à penetração e, para cada local de ensaio, construiu-se uma curva relacionando a resistência com a profundidade. A resistência do solo foi obtida por meio da equação 13, apresentada por Cassan (1982), utilizada por Vanagsetal (2004) e Furegatti (2012).

$$R = \frac{mgH}{A \cdot \Delta Z} m/m+m' \quad (13)$$

Onde:

R: resistência à penetração (Pa);

A: área da base do cone (m<sup>2</sup>);

g: aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

H: altura de queda do martelo (m);

m: massa do martelo (kg),

m': massa total do penetrômetro (kg).

$\Delta z$ : profundidade da penetração da haste para um golpe (m)

A partir dos dados dos ensaios torna-se possível a elaboração de gráficos com a visualização em três eixos – resistência a penetração em função da profundidade (m) e umidade (%) – e, assim, avaliar o comportamento, quanto a compactação.

### 3.8 - COLETA DE SEDIMENTOS

As coletas de sedimentos foram feitas em nove (9) reservatórios selecionados junto às áreas irrigadas mais antigas instaladas, no ano 1988.

Para a coleta de sedimentos utilizou-se o mesmo coletor utilizado para coletar água. O coletor era lançado da margem do reservatório a uma distância de aproximadamente cinco (5) metros e após chegar ao fundo do reservatório era puxado para que pudesse ser preenchido com sedimentos, figura 46.



**Figura 46** - Coletor de PVC utilizado para a coleta de Sedimentos

## 4 - TRABALHO DE LABORATÓRIO

As amostras de solo, sedimento e água foram ensaiadas nos laboratórios do Departamento de Geotecnia- EESC/USP. Para as análises das amostras de fertilizantes os ensaios foram conduzidos no Laboratório GAIA da Universidade Federal de São Carlos e, a espectrometria de absorção atômica por chamas, para a quantificação de metais em água, foi ensaiada no Laboratório Central de Análises Químicas do Instituto de Química, também na EESC/USP.

### 4.1 - AMOSTRAS DE ÁGUA

#### 4.1.1 - Ensaios de Condutividade Elétrica

O ensaio de Condutividade Elétrica foi realizado de acordo com o Boletim Técnico, 106 do Instituto Agrônomo (19--).

Utilizou-se 50 ml de cada amostra de água que foram colocadas em becker de vidro para o procedimento de leitura. A Leitura foi realizada no condutivímetro Analyser 650, Figura 47.



**Figura 47** - Foto do Condutivímetro elétrico da marca Analyser 650.



As amostras que apresentaram maior valor de CE foram submetidas ao ensaio de Espectrometria de Absorção Atômica por Chama, conforme será apresentado no item 4.1.4 Espectrometria de Absorção Atômica.

#### 4.1.2 - Ensaio de pH

As leituras foram realizadas no pHmetro Digimed, foto na Figura 48.



Figura 48 - Foto do pHmetro - Digimed

#### 4.1.3 - Espectrometria de Absorção Atômica por Chama

O ensaio foi conduzido no equipamento PinAAcle 900T, figura 49. Neste equipamento os átomos metálicos em solução são excitados com determinada quantidade de energia e ao retornarem ao estado fundamental liberam a energia absorvida em um comprimento de onda específico, que é proporcional à concentração do elemento metálico na solução.



Figura 49 - Foto do Equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica

A amostra é atomizada na chama, através da qual passa radiação com comprimento de onda adequada a cada elemento a ser analisado. A quantidade de radiação absorvida é uma medida quantitativa da concentração do elemento a ser analisado.

Este ensaio foi realizado nas amostras de água coletadas de reservatório, rio e nascente que apresentaram os maiores valores de CE, respectivamente, R47, Ponto B e Nascente D.

Para a condução do ensaio foram estabelecidas as curvas de calibração, apresentadas nas Figuras 50 e 51.

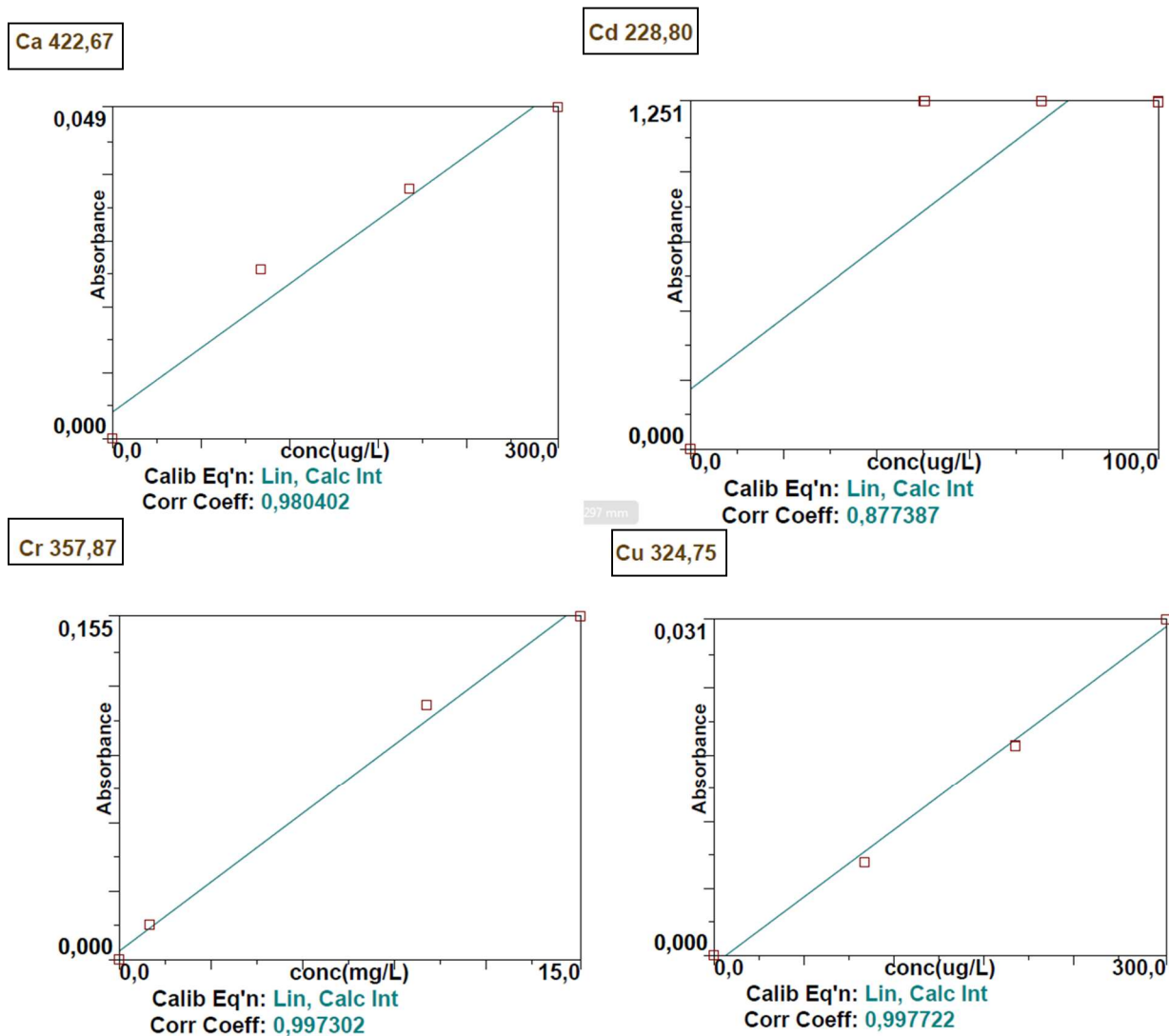


Figura 50 - Curvas de Calibração para os elementos Ca, Cd, Cr e Cu

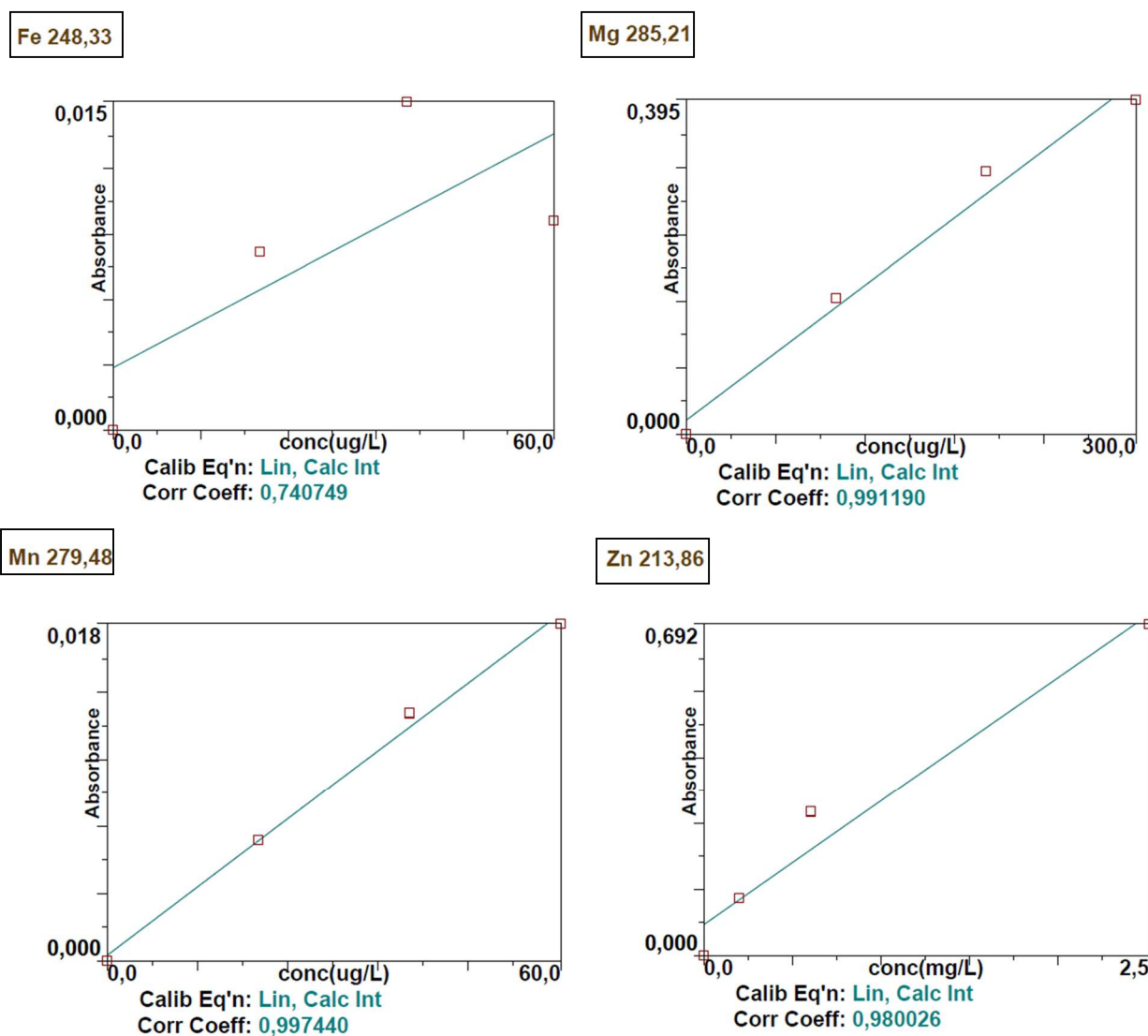


Figura 51 - Curvas de Calibração para os elementos Fe, Mg, Mn e Zn

## 4.2 - AMOSTRAS DE SOLO

### 4.2.1 - Preparação das Amostras Deformadas

Cada ponto coletado de solo gerou em média, dezenove (19) amostras que foram acondicionadas em recipientes de alumínio e colocadas para secar a sombra, Figura 52. Após secas, foram destorroadas e passadas na peneira de malha #10, Figuras 53 e 54 respectivamente, e armazenadas novamente em sacos plásticos e cada conjunto de amostra separado por bandejas.



**Figura 52** - Amostras de solo em processo de secagem.



**Figura 53** - Processo de destorroamento das amostras de solo



**Figura 54** - Amostras secas passadas na peneira de malha (#) 10.

#### **4.2.2 - Granulometria Conjunta**

O ensaio foi conduzido de acordo com metodologia descrita em Nogueira (1995).

##### **1 - Obtenção da Umidade**

Para a condução do ensaio de granulometria conjunta foi determinado o teor de umidade em triplicata de cada amostra. As amostras foram pesadas em cápsulas (previamente com massa determinada) e em seguida encaminhadas para a estufa, a uma temperatura de 110°C, onde permaneceram por 24 horas. Após este período as amostras foram novamente pesadas e o teor de umidade determinado de acordo com Nogueira (1995).

## 2 - Análise tátil-visual

Para a condução destes ensaios, realizou-se em primeira instância a caracterização tátil visual das amostras (Figura 55), onde foi possível verificar a presença maior ou menor de material fino ou grosso e, assim, pesar quantidades necessárias das amostras, ou seja, adequada para que o densímetro obtivesse leitura.



**Figura 55** - Caracterização Tátil Visual realizada nas amostras de solo deformadas.

Assim, para amostras com características maiores de material grosso, utilizou-se uma massa de 100 gramas e para amostras com características maiores de material fino a massa utilizada foi de 80 gramas.

## 3 - Peneiramento

Após o término do ensaio de sedimentação, o material foi vertido dentro de uma peneira de malha 200 e a proveta lavada com água através de pisseta, para que não ocorra perda de material. O material retido na malha 200 foi transferido para recipientes e os mesmos foram levados para secar em estufa a uma temperatura de 100°C.

Após este procedimento, o material seco, figura 56 foi colocado em um conjunto de peneiras figura 57 e o processo de peneiramento ocorreu durante 15 minutos, em seguida o material retido em cada malha, foi pesado.



**Figura 56** - Material Seco oriundo do ensaio de sedimentação.



**Figura 57** - Conjunto de Peneiras utilizados

As malhas utilizadas foram: 4, 10, 16, 30, 50, 70, 100, 140, 200.

#### 4 - Ensaio de Sedimentação

O ensaio de sedimentação foi realizado para três amostras de cada ponto coletado, padronizou-se as profundidades de 10 cm, 1 metro e 2 metros para todos os pontos, a exceção ocorreu em amostras onde o material rochoso aflorou antes dos 2 metros de profundidade.

Após pesada, foi adicionada a massa 125 ml de defloculante (Hexametáfosfato de Sódio) e levada ao dispersor por 15 minutos, com auxílio de uma peseta com água destilada para não ocorrer perda da massa pesada. Ao final deste procedimento, o volume foi transferido para a proveta de 1000ml com auxílio de funil e o copo lavado com água destilada, até o preenchimento da proveta até o menisco. Depois de preparada, a solução ficou doze (12) horas em repouso e, então, iniciou-se as leituras com o auxílio do densímetro. O intervalo de leitura entre as provetas das diferentes amostras foi de 10 minutos. Os intervalos de leituras em cada proveta seguiram os tempos, em minutos, de: 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 1440.

Ao todo foram realizadas quarenta e duas (42) sedimentações no prazo de cinco (5) dias, ou seja, nove (9) amostras por dia. Devido à quantidade de amostras, optou-se por manter a provetas de descanso do densímetro e do termômetro entre cada conjunto de três amostras, conforme Figuras 58 e 59.



**Figura 58** - Conjunto de 3 amostras separadas pelas provetas de descanso do densímetro e termômetro.

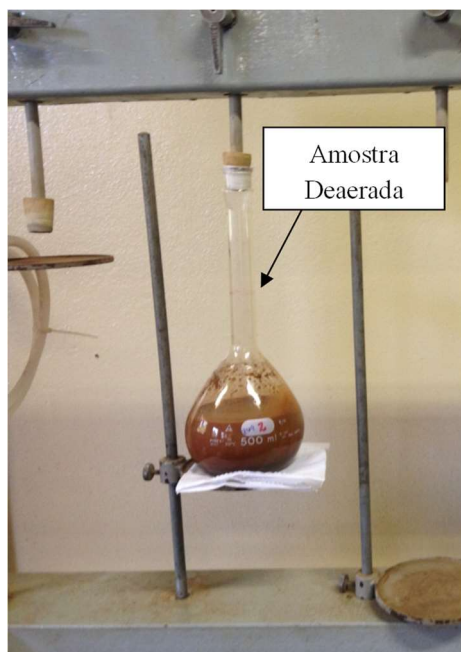




**Figura 59** - Foto do Ensaio de Sedimentação em andamento.

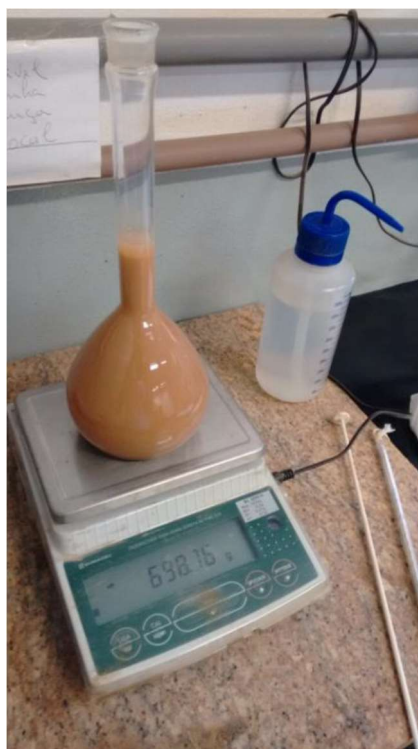
#### **4.2.3 - Massa Específica dos Sólidos**

As mesmas amostras submetidas ao ensaio de granulometria, também, foram submetidas ao ensaio de massa específica dos sólidos. E assim, como no ensaio de sedimentação, O ensaio foi conduzido de acordo com metodologia descrita Nogueira (1995). Para tanto se pesou 70 gramas de massa seca para cada amostra e acrescentou-se água destilada, suficiente para individualizar as partículas constituintes da amostra, e após 12 horas de repouso as mesmas foram levadas para o agitador, onde foram deixadas por 15 minutos, para homogeneizar. Após este processo, a amostra é retirada do agitador e, com auxílio de pisseta com água destilada e funil é transferida para o picnômetro de 500ml devidamente calibrado, que será colocado no equipamento de retirada de ar e, então aplica-se uma pressão de  $88\text{kN/m}^2$ , conforme figura 60.



**Figura 60** - Procedimento de retirada de ar do Picnômetro.

Após o ajuste do menisco do picnômetro com a adição de água destilada, o mesmo é levado para a geladeira a uma temperatura de aproximadamente 10°C, e permanece em repouso por 12 horas e, à partir deste intervalo, inicia-se o procedimento de leitura do peso do picnômetro, conforme descrito na ABNT NBR 6508 (Figura 61).



**Figura 61** - Procedimento de leitura do peso do picnômetro do ensaio de Massa Específica.

#### 4.2.4 - Método do Azul de Metileno

##### Teoria do ensaio

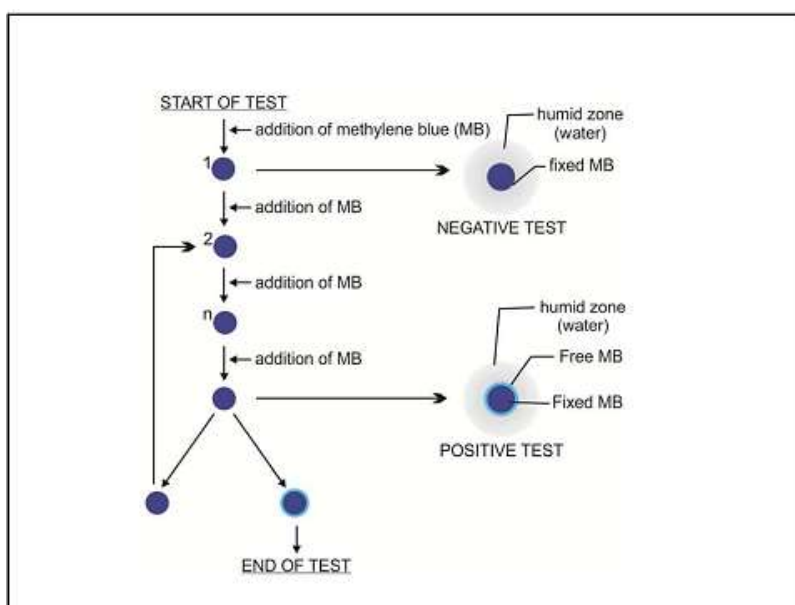
O azul de metileno é um corante orgânico que apresenta a composição  $C_{16} H_{18} N_3 S Cl \cdot 3H_2 O$ , com o nome de cloridrato de metiltiamina.

O mecanismo da adsorção de azul de metileno pelas partículas do solo consiste na troca iônica entre os cátions existentes na superfície das mesmas como, por exemplo, cátions de cálcio, sódio, magnésio e potássio, e os cátions resultantes da dissociação da molécula de azul de metileno em solução aquosa. Em consequência desta troca catiônica forma-se à volta da partícula uma camada monomolecular de azul de metileno.

Dentre as aplicações dadas à adsorção de azul de metileno, na presente dissertação, utilizou-se para a determinação da capacidade de troca catiônica dos minerais de argilas.

Para a determinação da CTC dos minerais de argila, utilizou-se a método de Lan (1977) adaptado por Pejon (1992), as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão, procurou-se não ultrapassar o correspondente de peso de 1 grama para cada amostra. Em seguida foram alocadas em copos de 100 ml de pvc e acrescentou-se 10ml de água destilada. Após prontas as amostras foram levadas para a agitação em agitador magnético e então se iniciava a adição de azul de metileno. A adição do azul de metileno seguiu da seguinte maneira: - 1ml de azul com tempo de espera de trinta (30) segundos, após este procedimento, retira-se uma gota com o bastão de vidro e a coloca no papel de filtro Watmann's 42 e se observa se houve ou não a formação, caso negativo, repete-se o teste até se obter a adsorção. Quando o resultado se apresentava positivo, aguardavam-se mais três (3) minutos para confirmação.

A Figura 62 abaixo apresenta os passos do ensaio para a obtenção da adsorção do azul do metileno.



**Figura 62** - Ensaio Azul de Metileno. Fonte: Material de aula Pejon (2015).

### Capacidade de Troca Catiônica

A capacidade de troca catiônica foi determinada através da seguinte equação:

$$CTC = (V_x C_x 100) / M \quad (17)$$

Onde:

CTC: meq/100g

V: Volume gasto da solução de azul (ml)

C: Concentração da Solução (N)

M: Massa de solo seca (g)

### Superfície Específica (SE)

A superfície específica do material foi determinada pela seguinte equação:

$$SE = (3,67 \times V) / M \quad (18)$$

Onde:

SE: Superfície específica do material (m<sup>2</sup>g)

V: Volume gasto da solução de azul (ml)

M: Massa de solo seca (g)

### Atividade da Fração Argila (Acb)

A atividade das argilas foi determinada pelas seguintes equações:

$$V_b = (1,5 \times V \times 100) / m \times 100 \quad (19)$$

Onde:

V<sub>b</sub>: valor do azul de metileno (g/100g de agregado)

V: Volume gasto da solução de azul (ml)

M: Massa de solo seca (g)

$$A_{cb} = (V_b / \% \text{Arg}) \times 100 \quad (20)$$

Onde:

% Arg: porcentagem de argila obtida através da curva granulométrica

#### 4.2.5 - Condutividade Elétrica (CE)

O ensaio de CE foi realizado de acordo com metodologia descrita pelo Boletim Técnico 106 do Instituto Agrônômico (2009). Para este ensaio utilizou-se a proporção 1:1, assim, pesou-se 50g de amostra de solo e se adicionou 50 ml de água MilliQ com CE de 0,2 µS/cm para que a condutividade inicial da água não interferisse no resultado quando na presença do solo.

A condução do ensaio de CE foi realizada por conjunto de amostras de cada ponto, figura 63. O ensaio de CE tem duração de duas (2) horas, a contar do momento que se adiciona a água e agita-se, com o bastão de vidro, por trinta (30) segundos, a partir de então a cada meia hora realiza-se agitação por trinta segundos até que se complete 5 agitações, figura 64. Após esta primeira etapa, a solução de água mais solo passa pelo processo de filtragem, conforme Figuras 65.



**Figura 63** - Preparo das Amostras para o ensaio de CE.



**Figura 64** - Solução (solo mais água MilliQ) após agitação de 30 segundos.



**Figura 65** - Processo de filtragem da solução - Conjunto de funis com filtros.

Após este processo o material filtrado era transferido para um tubo de ensaio e a leitura da CE efetuada.

#### 4.2.6 - pH

Para a realização do ensaio do pH, utilizou-se a metodologia descrita em Embrapa (1997). Para este ensaio a proporção foi de 1:2,5, assim, pesou-se 10 gramas de solo e adicionou-se 25 ml de água. Após realizou-se a agitação por cinco minutos e em seguida as amostras ficaram em repouso por uma hora. Logo após este tempo de repouso, as amostras foram agitadas novamente, com a mistura homogeneizada, colocou-se o eletrodo e procedeu-se a leitura do pH.

#### 4.2.7 - Massa específica aparente seca, porosidade e índices de vazios

Os ensaios foram desenvolvidos de acordo com Nogueira (1995) e as equações utilizadas foram:

- Massa Específica aparente seca -  $\rho_d = \frac{MS}{V}$  (21)

- Porosidade:  $n = \frac{e}{1+e}$  (22)

- Índice de Vazios:  $e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$  (23)

Onde:

$\rho_d$ : massa específica aparente seca

$\rho$ : massa específica

$\rho_s$ : massa específica dos sólidos

$w$ : teor de umidade

### 4.3 - AMOSTRAS DOS FERTILIZANTES

As amostras foram submetidas a equipamentos para detecção dos elementos químicos que estão presentes na constituição dos fertilizantes. Neste sentido foi utilizado um procedimento com as amostras em estado sólido e com o uso da técnica de espectrometria a laser.

## Procedimentos

Para identificação dos elementos químicos presentes nas amostras de fertilizantes, as mesmas foram submetidas a uma análise no Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS ++). As amostras foram previamente preparadas antes de ser submetida ao equipamento. Como as amostras estavam na forma de grânulos, foi necessário macerar as mesmas (Figura 66) e passá-las na peneira número 30 (malha  $600\mu\text{m}$ ), figura 67, para dar andamento ao ensaio, e utilizando uma quantidade ao redor de 0,5 gramas.



**Figura 66** - Maceração da amostra de amostras de fertilizantes



**Figura 67** - Peneira utilizada para preparo da amostra de fertilizantes.

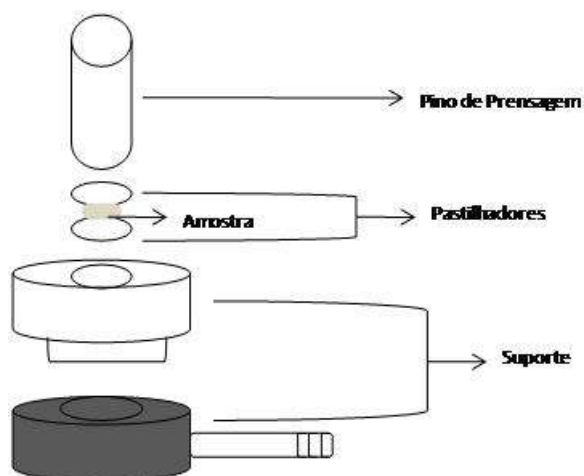


As amostras, depois de pesadas, foram acondicionadas em um recipiente cilíndrico de plástico (Figura 68).



**Figura 68** - Massa pesada do fertilizante

Cada parcela foi colocada em um molde de aço, também cilíndrico, e levada ao equipamento de compressão, Figura 69 onde é aplicada uma pressão de 42 N, para dar a forma de pastilha enrijecida, conforme Figuras 70 e 71.



**Figura 69** - Esquema das componentes do equipamento para compactação da amostra.

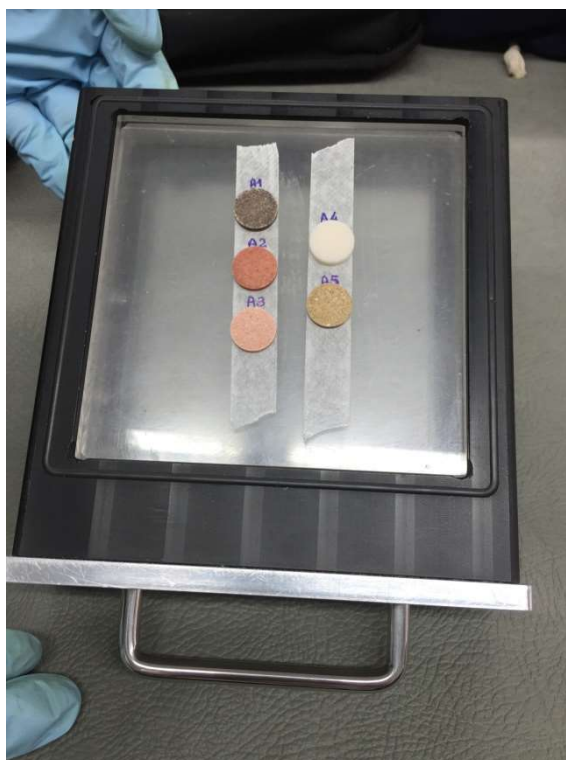
Após a aplicação da pressão, figura 70, o fertilizante, antes uma massa macerada, é transformado em uma pastilha enrijecida, figura 71, e levado para o equipamento Libs. As pastilhas, dos diferentes fertilizantes, são colocadas em uma placa de plástico, figura 72, e introduzidas no equipamento, figura 73.



**Figura 70** – Equipamento de compressão



**Figura 71** - Massa de fertilizante em forma de pastilha.



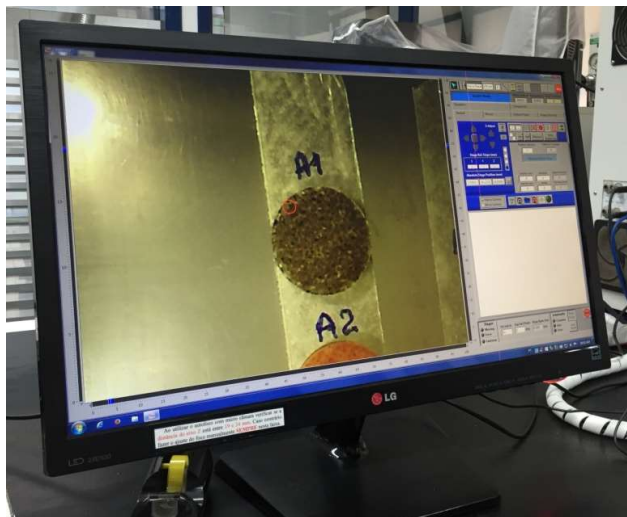
**Figura 72** - Massa de fertilizantes em formato de pastilhas.



**Figura 73** - Pastilhas de fertilizantes sendo colocadas no equipamento

A leitura é realizada através do laser pulsado que provoca uma quebra das moléculas presentes no material e uma evaporação, formando assim um plasma, ou seja, uma densa nuvem gasosa de átomos, íons e elétrons e, assim, é possível identificar qualitativamente os elementos

químicos constituintes na amostra. A Figura 74 apresenta a amostra, já no equipamento, sendo delimitada por onde laser pulsado fará a quebra das moléculas. A Figura 75 apresenta as amostras com pequenas ‘estrias’ feitas por onde passou o laser.



**Figura 74** - Marcação dos pontos para início da leitura.



**Figura 75** - Amostras com ranhuras decorrentes da vaporização pelo laser.

## 5 - CÁLCULO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO

A lâmina de água para irrigação considerando a cultura do milho foi calculada por 2 procedimentos: balanço hídrico simplificado e outra empírica proposta por Lima (2013).

### PROPOSTA DE BALANÇO HIDRICO SIMPLIFICADO

Para o cálculo da lâmina de irrigação foi realizado utilizando o Método via Clima o qual considera a seguinte equação:

$$h_i = \frac{U_{cc} - U_i}{10} \cdot d_g \cdot p \cdot y$$

Onde:

$h_i$ : lâmina de irrigação, em mm;

$U_{cc}$ : umidade do solo com base na capacidade de campo, em %;

$U_{PMP}$ : umidade do solo com base no ponto de murcha permanente, em %;

$U_i$ : umidade do solo no momento de irrigação, em %;

$d_g$ : densidade global do solo, em g/cm<sup>3</sup>;

$p$ : profundidade efetiva das raízes(z), em cm;

$y$ : fator de consumo de água no solo, ou fator de depleção (adimensional).

10: Constante necessária para conversão de unidades.

A Capacidade de Campo e o Ponto de Murchamento foram obtidos por meio do cálculo indireto proposto por Arruda (1987) seguindo as seguintes equações:

#### Capacidade de Campo

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \cdot X) - 0,00348 (X)^2$$

Onde:

$U_{cc}$ : capacidade máxima de retenção de água (%)

$X$ : teor de argila mais silte (%)

Ponto de Murchamento

$$U_{PM} = \frac{398,9.X}{(1.308,1 + X)}$$

Onde:

$U_{PM}$  = teor de água no solo no ponto de murchamento

X: teor de argila mais silte (%)

Os teores de argila mais silte foram extraídos da curva granulométrica da área não irrigada.

PROPOSTA DE LIMA (2013).

Para fins de análise comparativa, também se realizou o cálculo da lâmina de água através da seguinte fórmula utilizada para pivô central:

$$LB \text{ (mm/dia)} = \frac{(Kc \text{ max} \times ETr \text{ max})}{Ea}$$

Onde:

$Kc_{max}$ : valor máximo de  $Kc$  para cultura,

$ETr_{max}$ : evapotranspiração de referência média máxima para a região (mm/dia) e

$Ea$ : eficiência de aplicação de água do pivô (Considerou-se como 90% e 10% da água perdida por arraste pelo vento e evaporação)

Os dados de entradas foram obtidos através da literatura, ou seja, procurou-se reproduzir de maneira fiel o cálculo baseado em dados existentes que são usualmente utilizados no dimensionamento da lâmina.

## 6 - MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo são apresentados a seguir, de acordo com as etapas de trabalho:

- Mapa topográfico da região da Bacia do Ribeirão dos Cocais, em escala 1:50000;
- Fotografias aéreas,
- Imagens de satélite do ano de 1988, 2000 e 2013;
- Softwares ArcMap 10.1 e AutoCAD Map 3D 2013;
- Trado;
- Penetrômetro dinâmico;
- Infiltrômetro de duplo anel; - Materiais para abertura de trincheiras e coleta de amostras deformadas e indeformadas (espátulas, tubos de PVC de parede rígida, sacos e caixas para armazenamento das amostras);
- Balança semi-analítica;
- Conjunto de peneiras e provetas (análise granulométrica conjunta);
- pHmetro;
- Condutivímetro Elétrico.

## **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS**

### **4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS COCAIS**

A bacia do Ribeirão dos Cocais está situada na porção centro-nordeste do Estado de São Paulo, entre as cidades de Casa Branca e Santa Cruz das Palmeiras, conforme apresenta Figura 76. O clima predominante de acordo com a classificação climática proposta por Koeppen (1948) é “Cwa”, mesotérmico com inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 26°C. A temperatura do mês mais quente oscila entre 22 e 26°C. A estação seca nessa região ocorre nos meses de abril a setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade. O mês mais chuvoso normalmente é de janeiro a fevereiro e a média anual de pluviosidade é de 1273mm. Na Figura 77 encontram-se as médias mensais das chuvas obtidas para o período entre 1960 e 2016, a partir dos dados da estação do DAEE denominada de Casa Branca localizada em latitude 21° 46' 57", longitude 47° 03' 28" e altitude de 702m.

Com relação ao uso e ocupação do solo, constata-se que áreas são ocupadas, predominantemente, por lavouras, pastagens e vegetação natural. As atividades agrícolas são extensivas, com predominância das culturas de milho, soja e cana-de-açúcar. O relevo da bacia é caracterizado por colinas amplas de baixa declividade (<10%) separadas por platôs planos (declividades menores que 5%), e os canais de drenagem têm seus níveis de base controlados pelos tipos rochosos. Geologicamente a região é constituída por diabásios da Formação Serra Geral, e arenitos, siltitos e argilitos da Formação Itararé, que resultaram em materiais inconsolidados variados em termos texturais e de espessuras. Parte significativa destas litologias está recoberta por sedimentos arenosos porosos de alto índice de erodibilidade. As áreas irrigadas encontram-se distribuídas em todos os materiais, com maior parte nos arenosos residuais e nos sedimentos. A Figura 76 apresenta a delimitação da área de estudo.



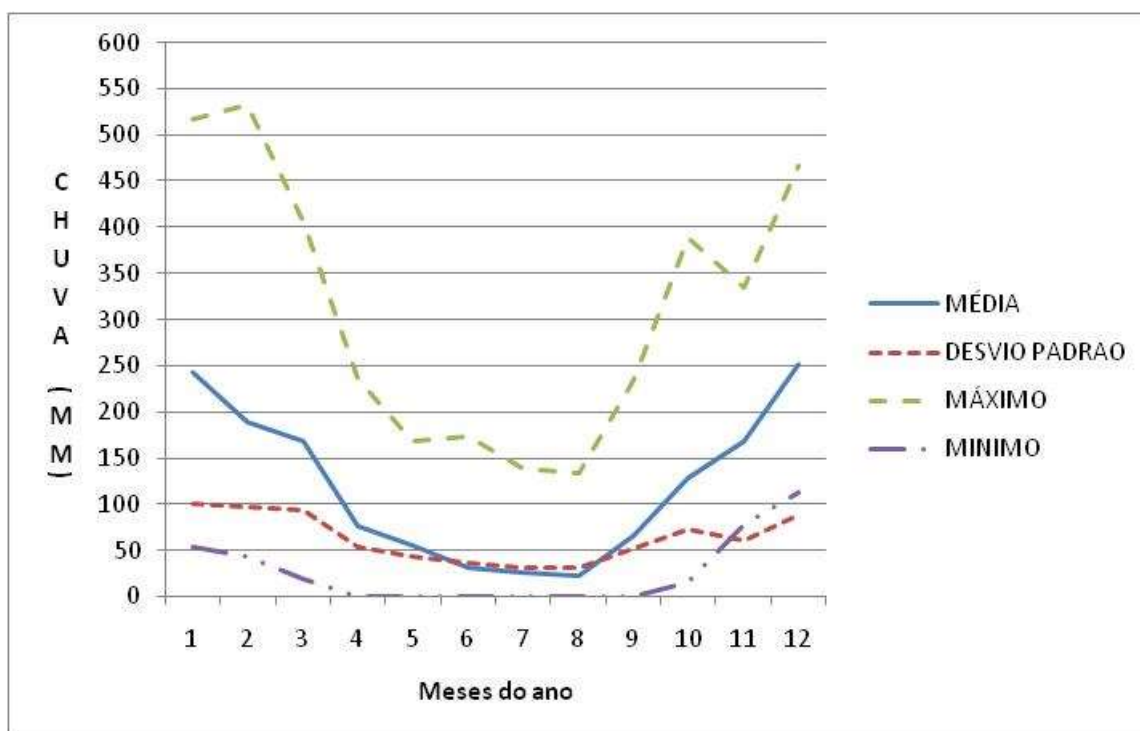
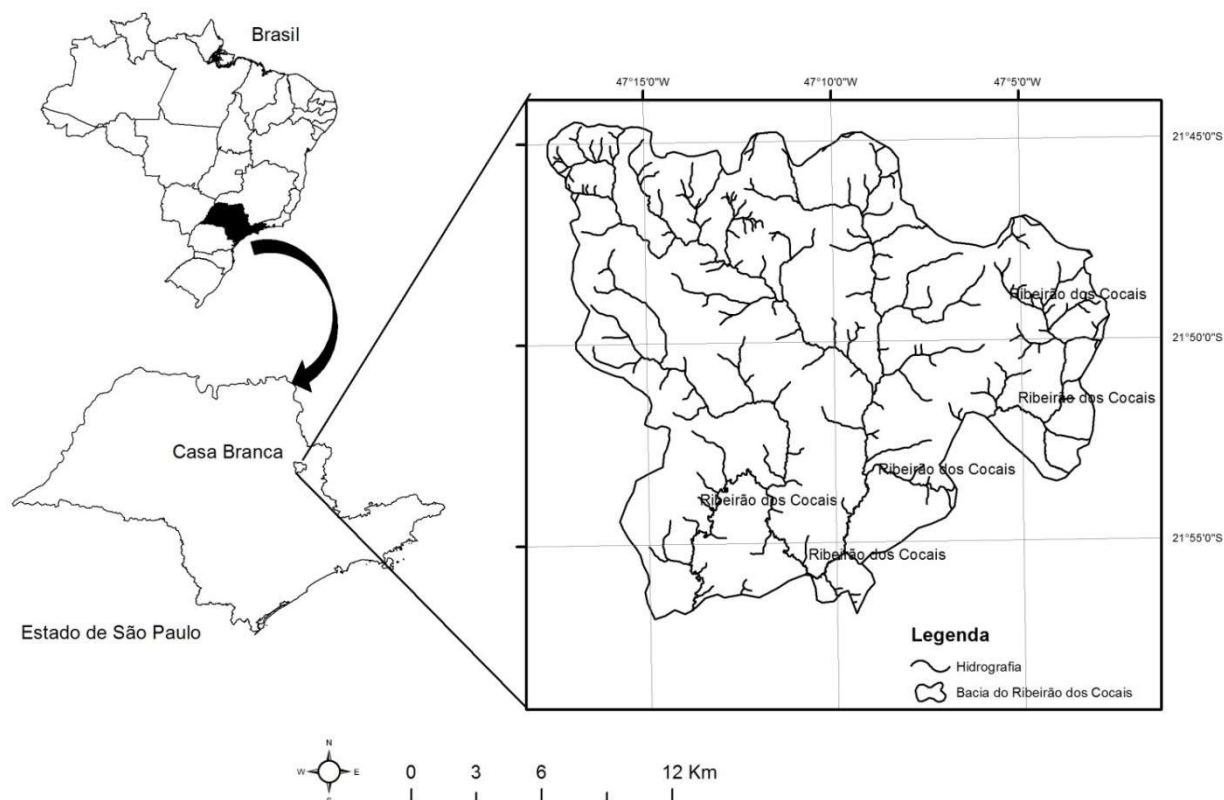
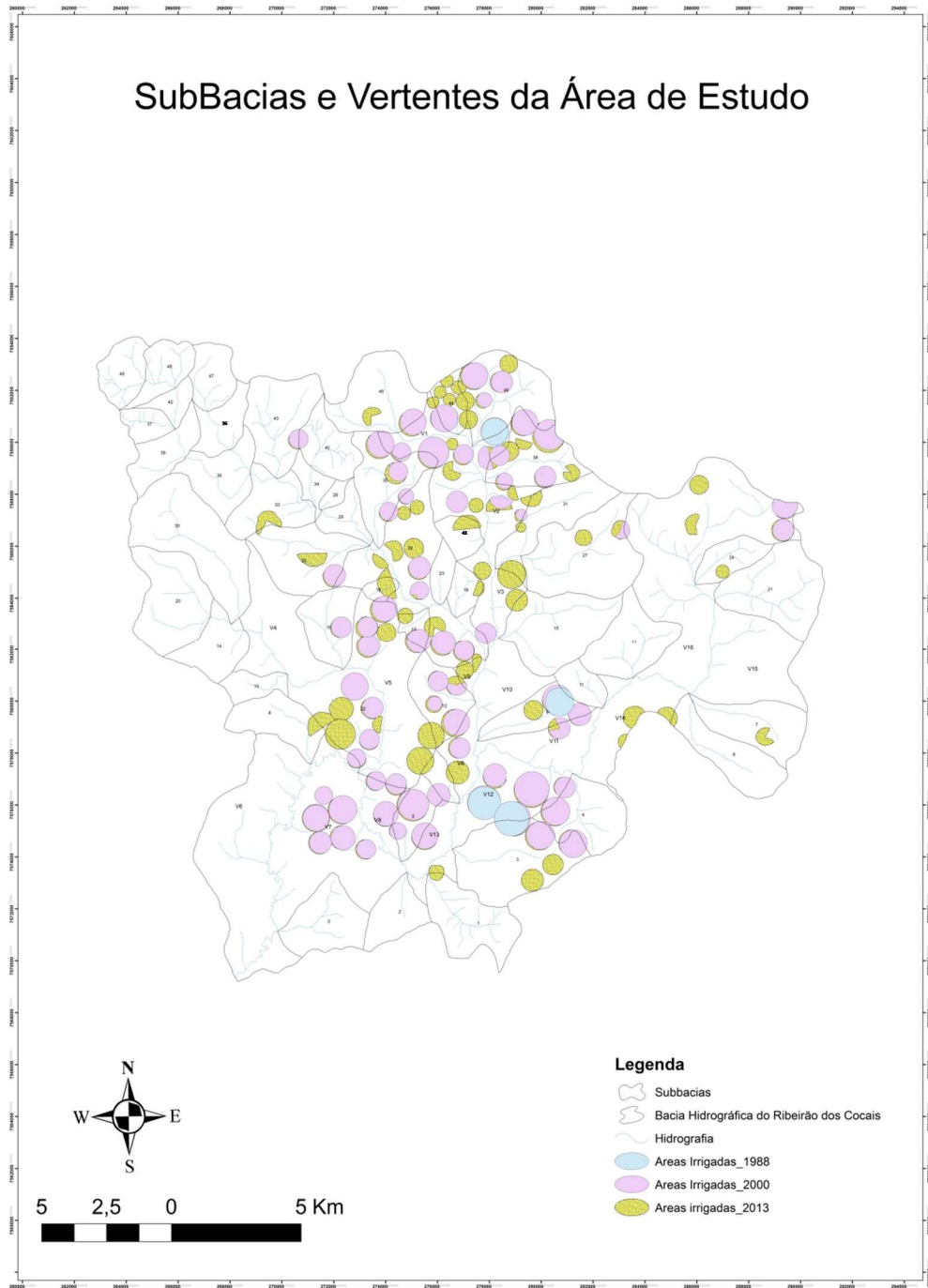


Figura 77 - Dados relativos às médias mensais, desvio padrão e valores máximos e mínimos das chuvas do período de 1960 a 2016.

## **4.2 - MAPA DAS SUB-BACIAS E VERTENTES (ANEXO 1)**

A subdivisão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais foi desenvolvida no sentido de possibilitar a avaliação mais setorizada em sub-bacias e vertentes. Como resultado obteve-se a 49 unidade de Sub-Bacias e 17 vertentes, conforme Figura 78 delimitadas sem considerar as ordens dos canais, mas com base no pressuposto de ressaltar a subdivisão da bacia principal, de maneira a facilitar as análises espaciais, entre as áreas irrigadas e as unidades.

A Bacia do Ribeirão dos Cocais tem como principal característica 85% das áreas drenadas no seu lado direito, sendo, portanto irregular neste aspecto. Verifica-se maior subdivisão da porção norte da bacia refletindo a maior distribuição dos canais de drenagem.



**Figura 78** - Mapa das Sub-Bacias da Bacia do Ribeirão dos Cocais

## 4.3 - INVENTÁRIO DAS ÁREAS IRRIGADAS (ANEXO 2)

### 4.3.1 - Mapa de Inventário Geral

Na Figura 79 encontra-se o mapa de inventário geral da Bacia do Ribeirão dos Cocais com 122 áreas irrigadas com pivôs de irrigação, com culturas variando entre milho, cana-de-açúcar, amendoim e soja, assim, a atividade de manejo agrícola é constante durante o ano.



Figura 79 - Distribuição das Áreas Irrigadas por pivô central.

As áreas irrigadas foram identificadas a partir das análises das fotos aéreas de 1988 e imagens de satélites dos anos de 2000 e 2013, e de trabalhos de campo.

A partir destes dados foram elaborados os mapas de inventário geral de todas as áreas irrigadas e os parciais referentes aos registros de 1988, 2000 e 2013.

#### **4.3.2 - Obtenção das Áreas de Cada Pivô de Irrigação**

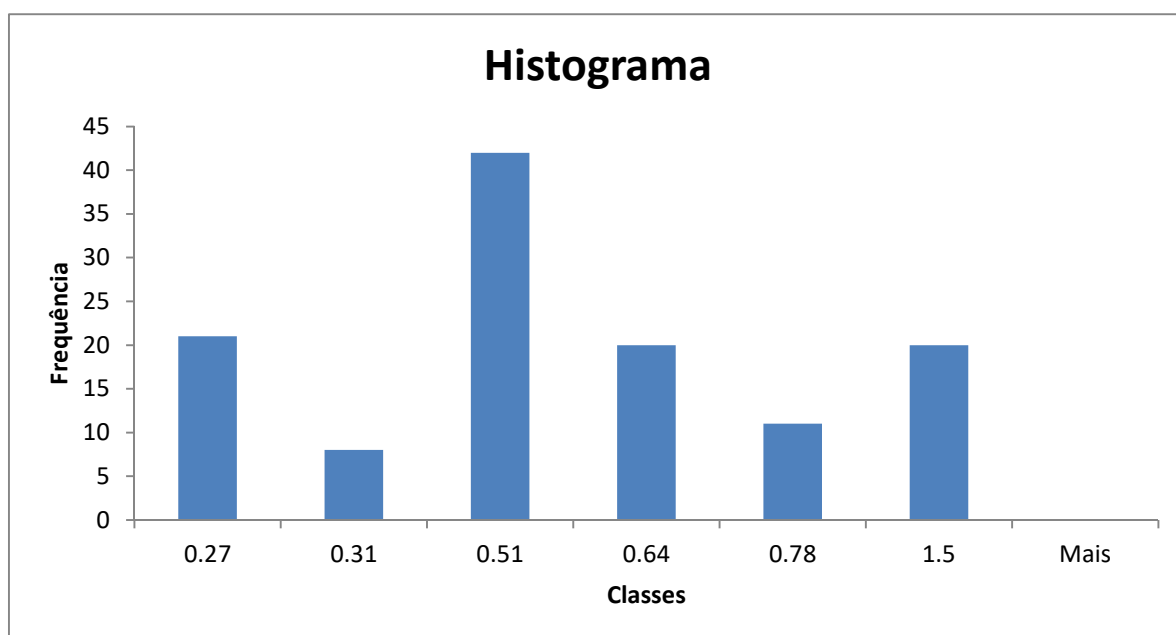
As áreas dos pivôs podem ser observadas na Tabela 11 e foram obtidas através do software ArcGis 10.1. Após a delimitação e digitalização de cada área irrigada, as mesmas foram associadas ao mapa em escala 1:50.000, e a partir das condições georreferenciadas foram calculadas as áreas dos pivôs.

**Tabela 11 - Valores das Áreas por Pivô.**

| Localização Mapa | Nome  | Área (Km <sup>2</sup> ) | Localização Mapa | Nome  | Área (Km <sup>2</sup> ) | Localização Mapa | Nome   | Área (Km <sup>2</sup> ) |
|------------------|-------|-------------------------|------------------|-------|-------------------------|------------------|--------|-------------------------|
| 0                | P1-C  | 0,422683                | 42               | P44-C | 0,347414                | 83               | P85-C  | 0,372401                |
| 1                | P2-C  | 0,331128                | 43               | P45-C | 0,32484                 | 84               | P86-C  | 0,530322                |
| 2                | P3-C  | 0,526691                | 44               | P46-C | 0,430272                | 85               | P87-C  | 0,530536                |
| 3                | P4-C  | 0,776406                | 45               | P47-C | 0,378622                | 86               | P88-C  | 0,469482                |
| 4                | P5-C  | 1,049914                | 46               | P48-C | 0,519296                | 87               | P89-C  | 0,558087                |
| 5                | P6-C  | 0,551048                | 47               | P49-C | 0,280326                | 88               | P90-C  | 0,206321                |
| 6                | P7-C  | 0,21089                 | 48               | P50-C | 0,644195                | 89               | P91-C  | 0,331533                |
| 7                | P8-C  | 0,414804                | 49               | P51-C | 0,682456                | 90               | P92-C  | 0,449208                |
| 8                | P9-C  | 0,577611                | 50               | P52-C | 0,602328                | 91               | P93-C  | 0,116719                |
| 9                | P10-C | 0,500914                | 51               | P53-C | 0,421138                | 92               | P94-C  | 0,167308                |
| 10               | P11-C | 0,566528                | 52               | P54-C | 0,773405                | 93               | P95-C  | 0,319872                |
| 11               | P12-C | 0,440487                | 53               | P55-C | 0,558613                | 94               | P96-C  | 0,376302                |
| 12               | P13-C | 1,020219                | 54               | P56-C | 0,923551                | 95               | P97-C  | 0,529916                |
| 13               | P14-C | 0,572523                | 55               | P57-C | 0,354644                | 96               | P98-C  | 0,305063                |
| 14               | P15-C | 0,493706                | 56               | P58-C | 0,242068                | 97               | P99-C  | 1,044868                |
| 15               | P16-C | 0,847086                | 57               | P59-C | 0,515075                | 98               | P100-C | 0,450269                |
| 16               | P17-C | 0,477429                | 58               | P60-C | 0,464112                | 99               | P101-C | 0,641866                |
| 17               | P18-C | 0,937755                | 59               | P61-C | 0,20612                 | 100              | P102-C | 0,173889                |
| 18               | P19-C | 0,93446                 | 60               | P62-C | 0,235633                | 101              | P103-C | 0,5344                  |
| 19               | P20-C | 1,336174                | 61               | P63-C | 0,346706                | 102              | P104-C | 0,395951                |
| 20               | P21-C | 1,422293                | 62               | P64-C | 0,25539                 | 103              | P105-C | 0,173453                |
| 21               | P22-C | 0,661352                | 63               | P65-C | 0,325764                | 104              | P106-C | 0,309273                |
| 22               | P23-C | 1,229153                | 64               | P66-C | 0,507185                | 105              | P107-C | 0,303844                |
| 23               | P25-C | 0,452119                | 65               | P67-C | 0,579024                | 106              | P108-C | 0,270643                |
| 24               | P26-C | 0,406109                | 66               | P68-C | 0,34795                 | 107              | P109-C | 0,159413                |
| 25               | P27-C | 0,5058                  | 67               | P69-C | 0,839022                | 108              | P110-C | 0,209679                |
| 26               | P28-C | 0,424612                | 68               | P70-C | 0,377354                | 109              | P111-C | 0,158417                |
| 27               | P29-C | 0,449003                | 69               | P71-C | 0,158254                | 110              | P112-C | 0,176102                |
| 28               | P30-C | 0,910716                | 70               | P72-C | 0,421842                | 111              | P113-C | 0,173912                |
| 29               | P31-C | 0,877021                | 71               | P73-C | 1,012215                | 112              | P114-C | 0,280935                |
| 30               | P32-C | 0,674414                | 72               | P74-C | 0,780441                | 113              | P115-C | 0,150611                |
| 31               | P33-C | 0,584169                | 73               | P75-C | 0,770128                | 114              | P116-C | 0,429758                |
| 32               | P34-C | 0,782075                | 74               | P76-C | 0,721339                | 115              | P117-c | 0,287063                |
| 33               | P35-C | 0,32186                 | 75               | P77-C | 0,753725                | 116              | P118-C | 0,312025                |
| 34               | P36-C | 0,687117                | 76               | P78-C | 0,393429                | 117              | P119-C | 0,434315                |
| 35               | P37-C | 1,17371                 | 77               | P79-C | 0,244629                | 118              | P120-C | 0,108003                |
| 36               | P38-C | 0,548849                | 78               | P80-C | 0,387827                | 119              | P121-C | 0,55055                 |
| 37               | P39-C | 0,617566                | 79               | P81-C | 0,184473                | 120              | P122-C | 0,44781                 |
| 38               | P40-C | 0,848493                | 80               | P82-C | 0,172501                | 121              | P123-C | 0,449748                |
| 39               | P41-C | 0,496765                | 81               | P83-C | 0,844777                | 122              | P124-C | 0,28503                 |
| 40               | P42-C | 0,8175                  | 82               | P84-C | 0,531834                |                  |        |                         |

A área irrigada mais extensa atinge valor de 1,42 Km<sup>2</sup> enquanto que a menor é da ordem de 0, 1 km<sup>2</sup>.

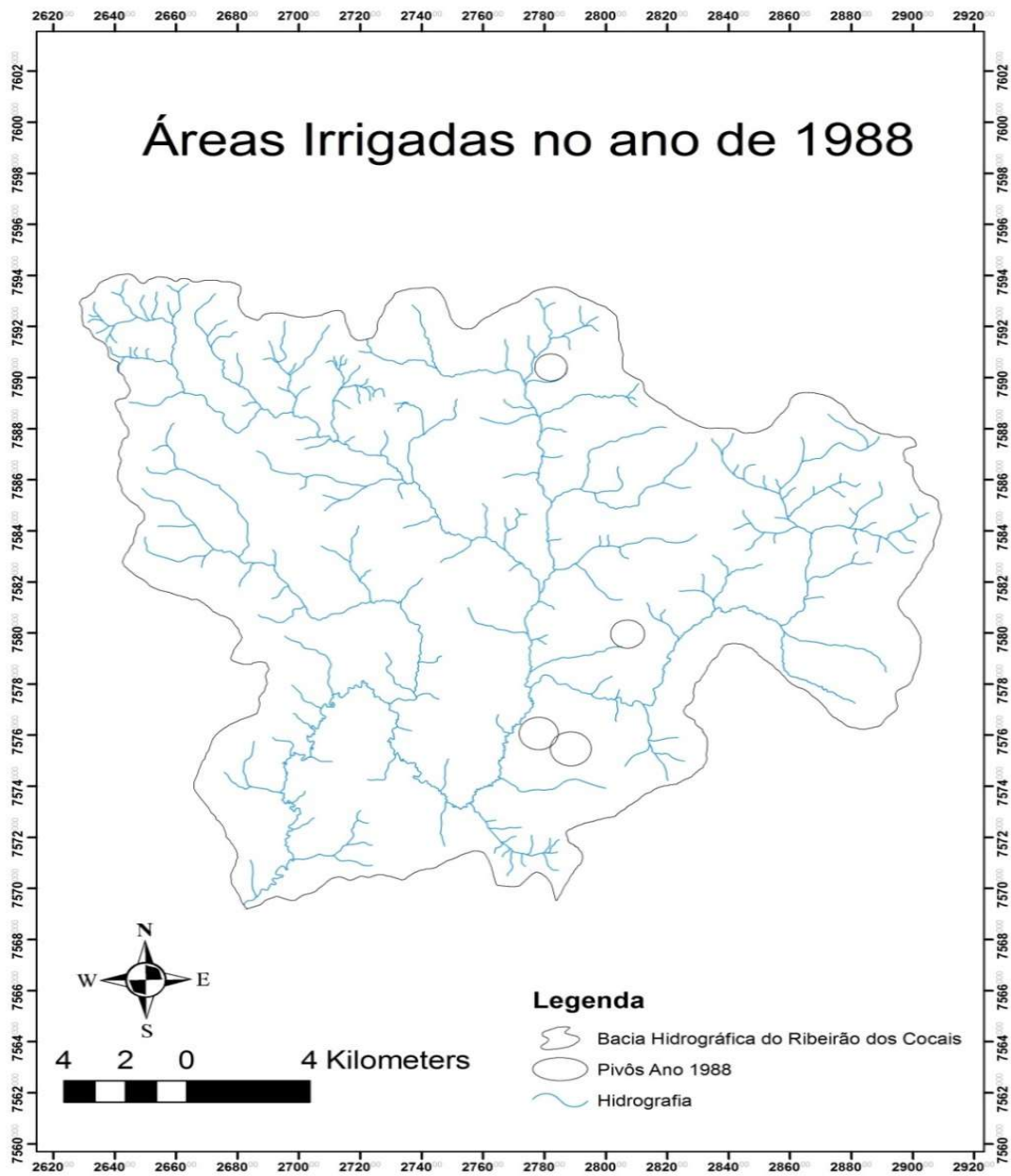
Na Figura 80 encontra-se o gráfico com o agrupamento das áreas irrigadas por intervalos de área em km<sup>2</sup>, que foram definidos a partir da média (0,51km<sup>2</sup>) e do desvio padrão (0,27km<sup>2</sup>), considerando como limites intermediários 50% do desvio padrão.



**Figura 80** - Gráfico de distribuição das áreas irrigadas por classe de extensão.

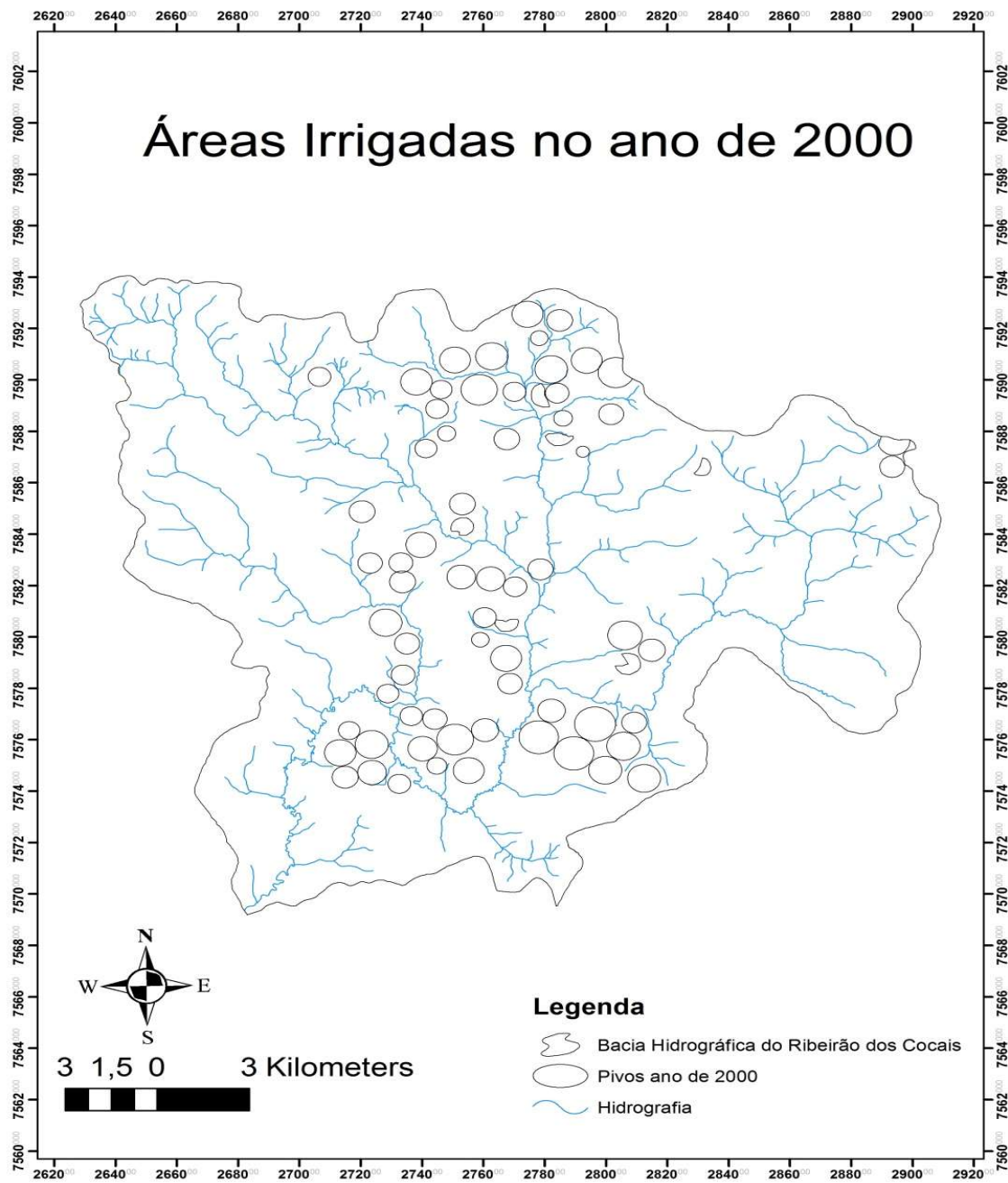
#### 4.3.3 - Análise da Distribuição Temporal das Áreas Irrigadas

A distribuição temporal dos pivôs de irrigação registrados nos anos de 1988, 2000 e 2013 está representada espacialmente nas figuras 81, 82 e 83, respectivamente.

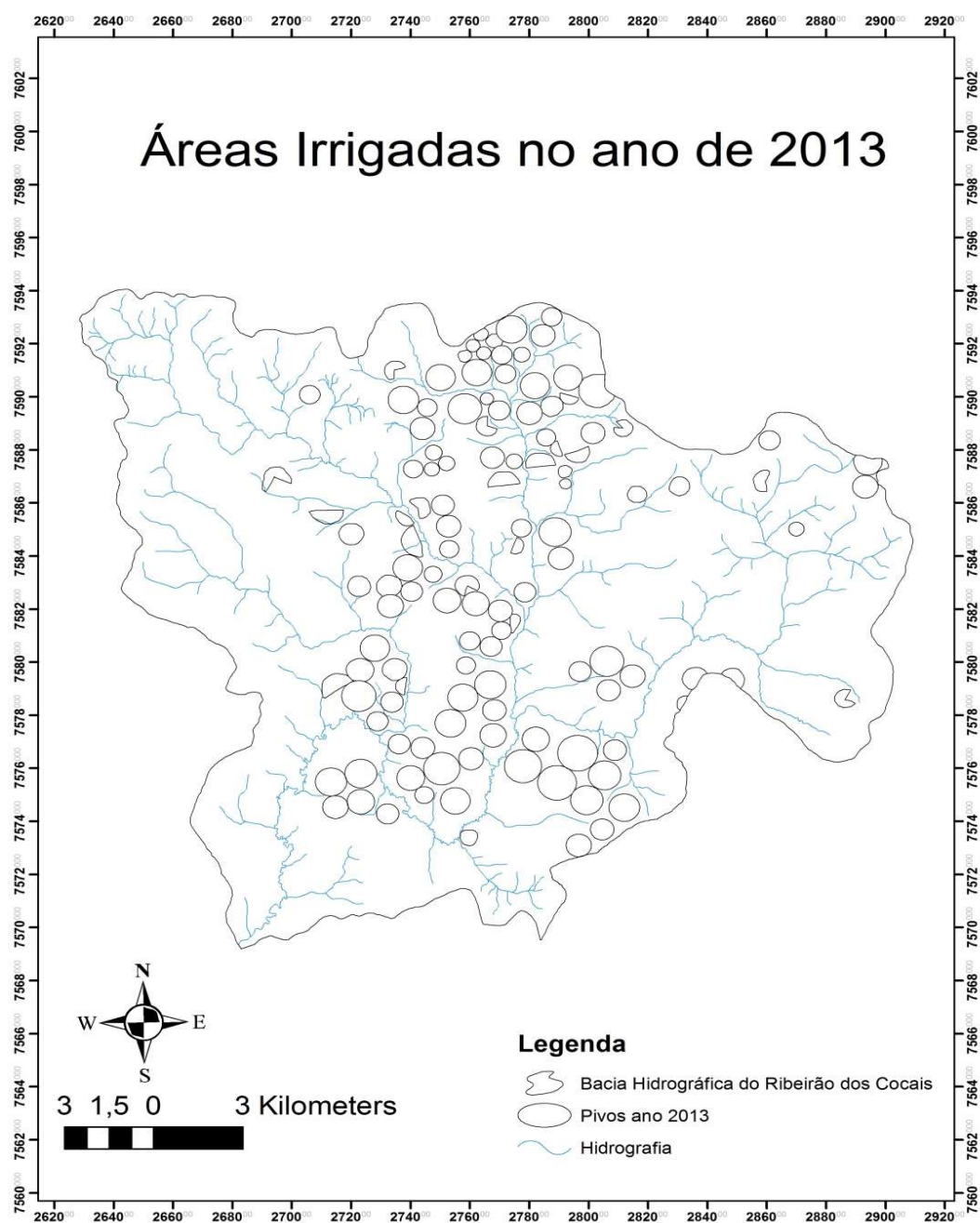


**Figura 81** - Localização das áreas irrigadas registrada no ano de 1988.





**Figura 82** - Localização das áreas irrigadas registradas no ano de 2000



**Figura 83** - Localização das áreas irrigadas registradas no ano 2013

A maioria dos pivôs foi instalada entre 1988 e 2000 (65 pivôs), enquanto após o ano de 2000 até a atualidade foram instalados 53 pivôs.

## 4.4 - INVENTÁRIO DOS RESERVATÓRIOS (ANEXO 3)

Os reservatórios foram identificados e delimitados da mesma forma que as áreas irrigadas a partir da distribuição e georreferenciamento.

### 4.4.1 - Mapa de Inventário Geral

Na Figura 84 encontra-se o mapa de inventário geral dos 55 reservatórios presentes na da Bacia do Ribeirão dos Cocais no ano de 2016.

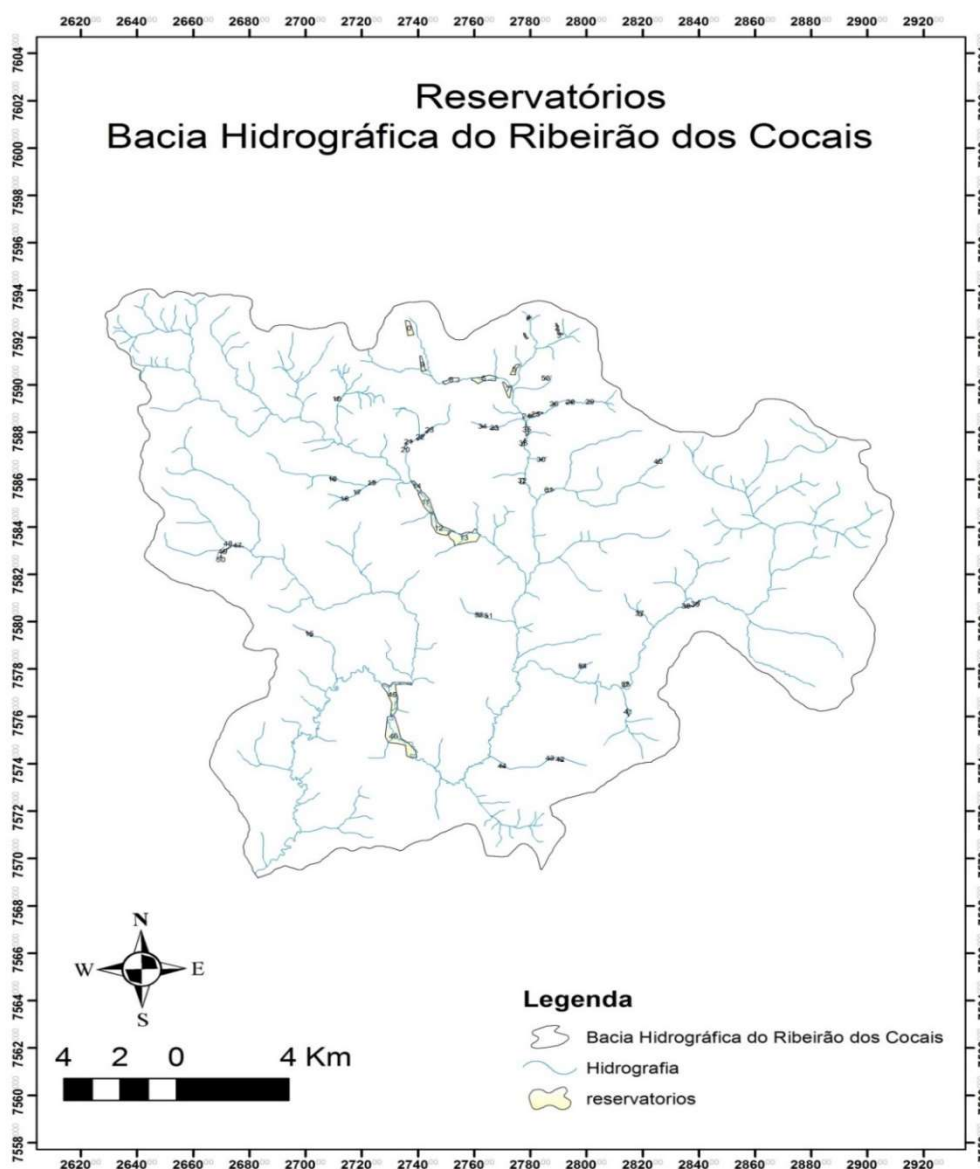


Figura 84 - Mapa de inventário geral dos reservatórios na Bacia, ano de 2013.

#### 4.4.2 - Obtenção das Áreas dos Reservatórios

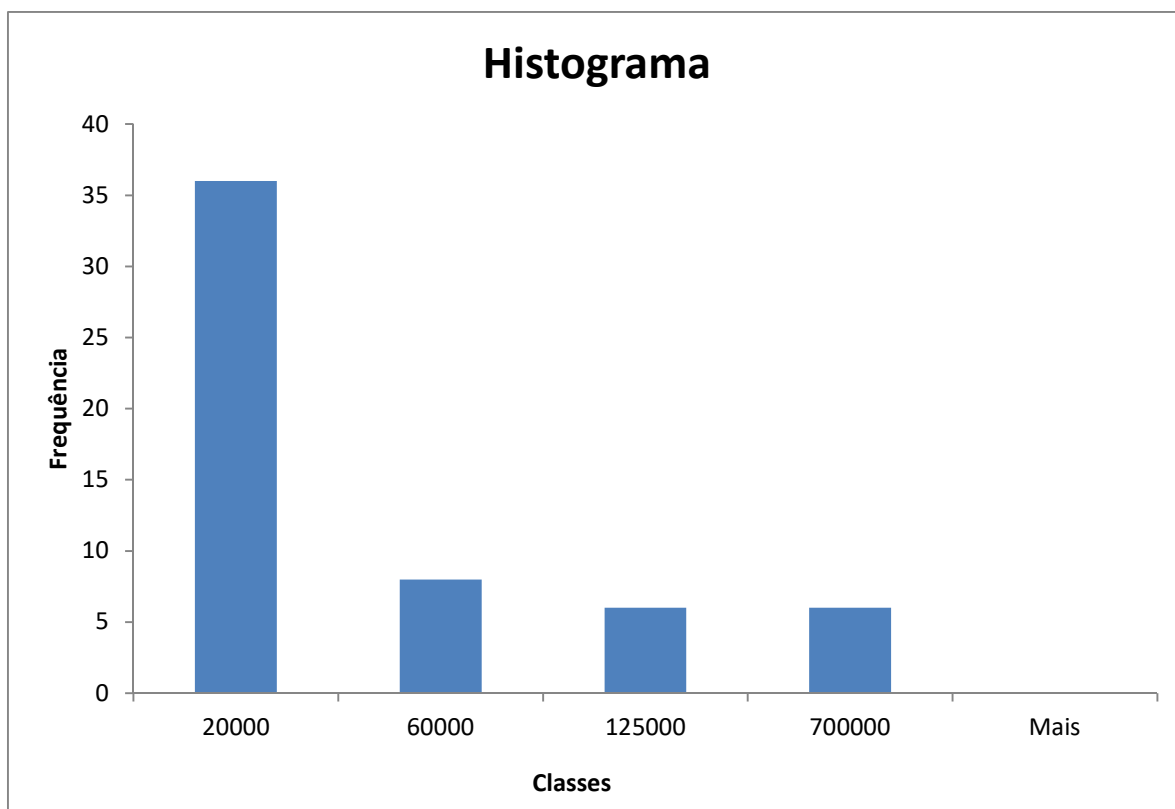
As áreas dos reservatórios foram obtidas de acordo com procedimento para obtenção das áreas dos pivôs e podem ser observadas na Tabela 12.

**Tabela 12** - Áreas dos reservatórios.

| Número | Área (Km <sup>2</sup> ) | Número | Área (Km <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|--------|-------------------------|
| 0      | 0,116635                | 29     | 0,009346                |
| 1      | 0,016822                | 30     | 0,004982                |
| 2      | 0,016764                | 31     | 0,032295                |
| 3      | 0,014589                | 32     | 0,029293                |
| 4      | 0,01202                 | 33     | 0,02367                 |
| 5      | 0,060789                | 34     | 0,003117                |
| 6      | 0,157818                | 35     | 0,036627                |
| 7      | 0,099183                | 36     | 0,015919                |
| 8      | 0,088073                | 37     | 0,020203                |
| 9      | 0,077652                | 38     | 0,008858                |
| 10     | 0,01259                 | 39     | 0,011743                |
| 11     | 0,223492                | 40     | 0,009216                |
| 12     | 0,267886                | 41     | 0,015095                |
| 13     | 0,435044                | 42     | 0,007727                |
| 14     | 0,062335                | 43     | 0,008583                |
| 15     | 0,015527                | 44     | 0,009055                |
| 16     | 0,010287                | 45     | 0,416611                |
| 17     | 0,008244                | 46     | 0,689658                |
| 18     | 0,00707                 | 47     | 0,014657                |
| 19     | 0,014858                | 48     | 0,002817                |
| 20     | 0,010753                | 49     | 0,005327                |
| 21     | 0,017291                | 50     | 0,003281                |
| 22     | 0,023028                | 51     | 0,002039                |
| 23     | 0,014354                | 52     | 0,015349                |
| 24     | 0,006464                | 53     | 0,005933                |
| 25     | 0,03906                 | 54     | 0,018267                |
| 26     | 0,003201                | 55     | 0,023598                |
| 27     | 0,002571                |        |                         |
| 28     | 0,004798                |        |                         |

O maior reservatório ocupa uma área de 0,69 km<sup>2</sup>, enquanto o menor ocupa área de cerca de 0,002 Km<sup>2</sup>.

O gráfico da Figura 85 a seguir apresenta a distribuição dos reservatórios por intervalos de áreas por m<sup>2</sup>, observando que cerca de 80% possuem área da superfície menor que 60000m<sup>2</sup>.



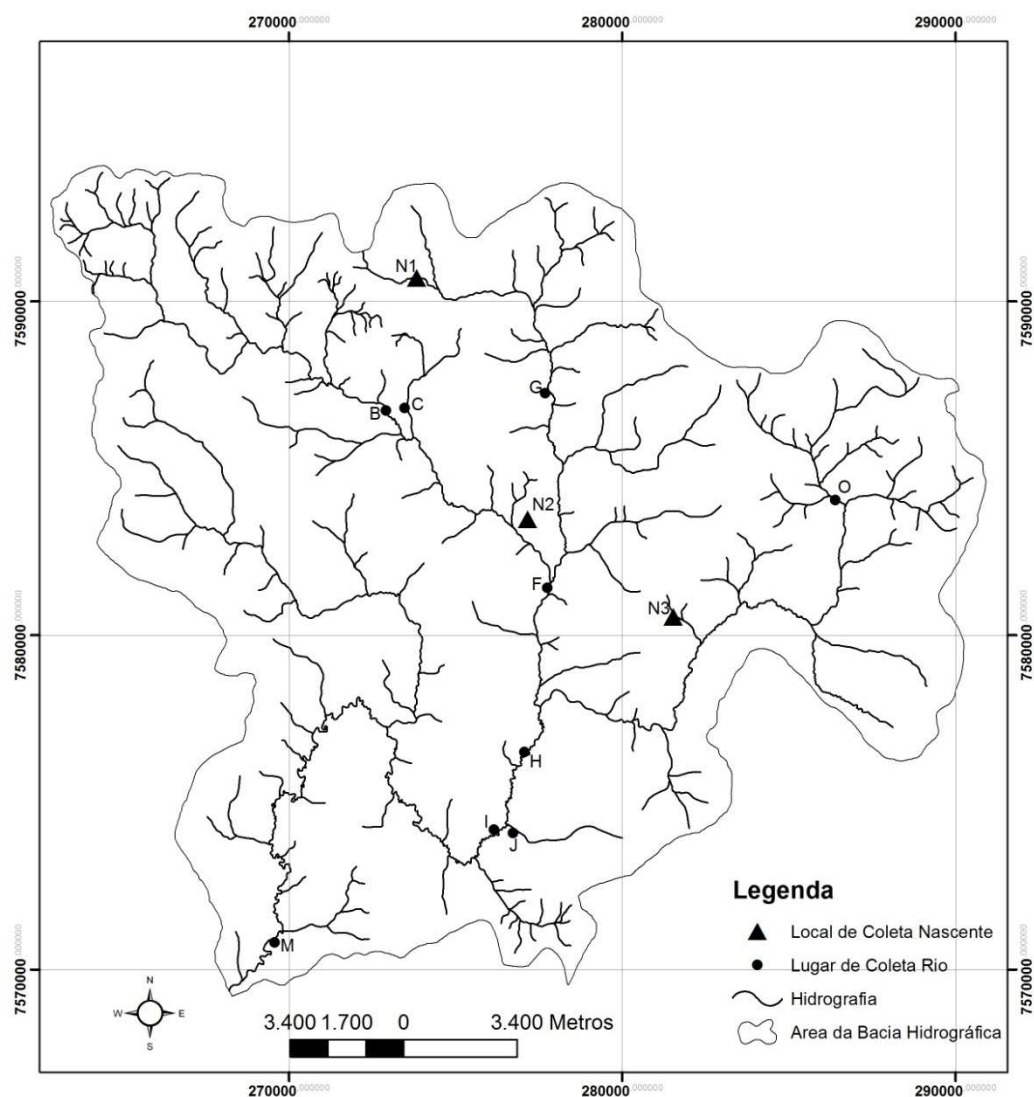
**Figura 85** – Gráfico de distribuição dos reservatórios por intervalos de áreas em m<sup>2</sup>.

#### **4.5 - SELEÇÃO DAS FONTES E PONTOS DOS CANAIS DE DRENAGEM PARA AMOSTRAGEM**

O mapa da Figura 86 apresenta as localizações das 3 fontes amostradas, assim como dos 9 pontos amostrados nos canais de drenagem.

As fontes amostradas foram mapeadas após serem identificadas em campo e, buscou-se as localizadas próximas as áreas irrigadas mais antigas, ou seja, do ano de 1988.

O critério utilizado para a seleção dos pontos dos canais de drenagem foi a concentração de áreas irrigadas nas proximidades dos canais de drenagem.



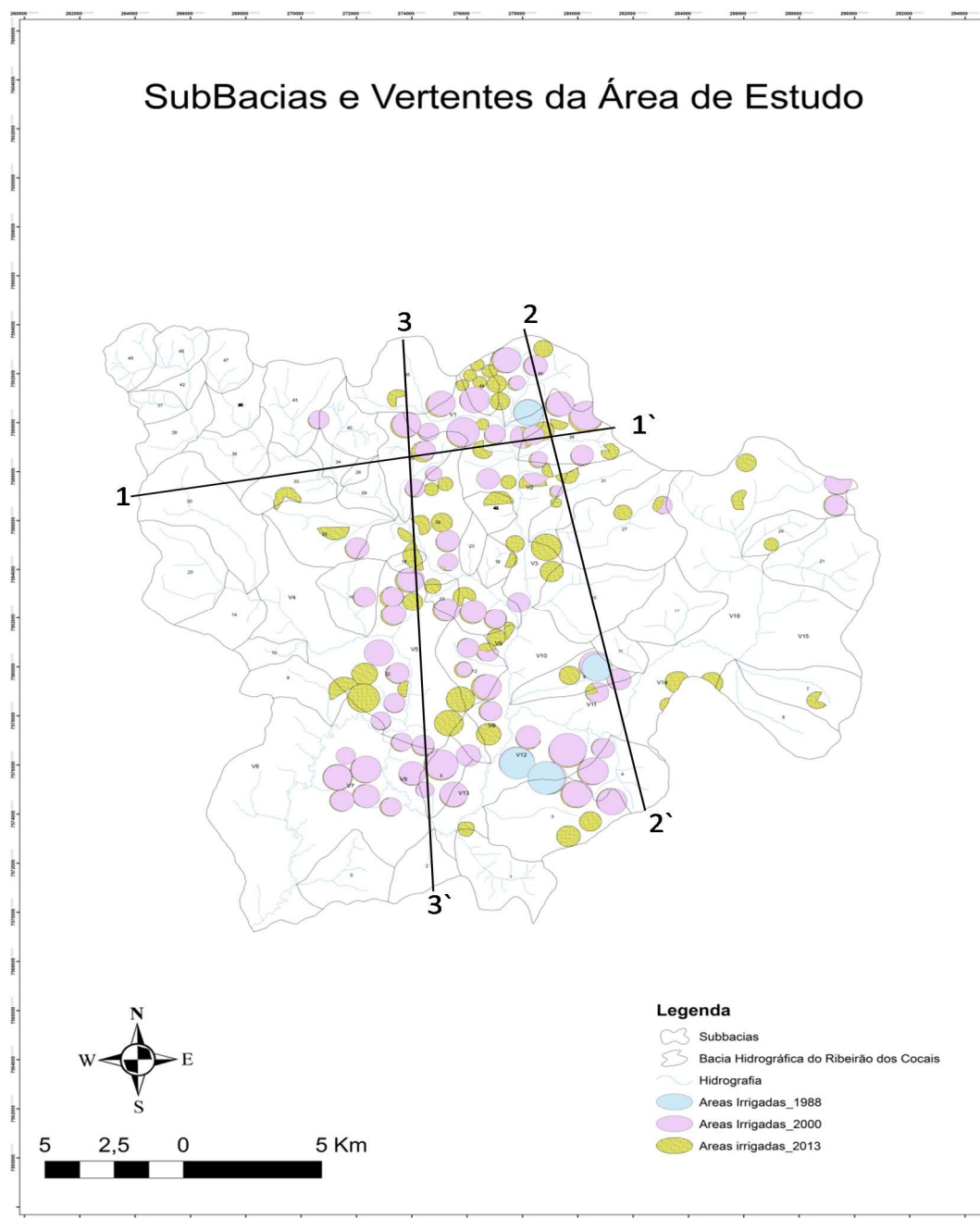
**Figura 86** - Localização dos locais de coletas de amostras de água nas fontes e nos canais de drenagem.

## 4.6 - ÁREAS IRRIGADAS X ASPECTOS GEOLÓGICOS

### Condições gerais

A bacia em estudo é constituída por um conjunto de litologias rochosas arenosas (arenitos da Formação Itararé) intercaladas em algumas porções por corpos de diabásio (Formação Serra Geral), com parte recoberta por materiais inconsolidados retrabalhados arenosos e por materiais inconsolidados residuais arenosos e argilosos. Porém, em função da distribuição dos corpos de diabásio surge uma combinação de materiais inconsolidados

retrabalhados com uma textura mista resultante da combinação dos arenosos e argilosos. No sentido de mostrar a espacialidade dos materiais geológicos e das áreas irrigadas foram elaborados 3 perfis geológicos de tal maneira que represente as maiores concentrações de áreas irrigadas. Na Figura 87 está a localização dos traçados dos perfis.



**Figura 87** - Posição dos perfis geológicos na bacia.

Nos perfis geológicos das figuras 88 a 90, pode-se observar a distribuição das áreas irrigadas em relação aos materiais geológicos, assim como a predominância em unidades de terreno do tipo platô e encostas suaves. Nestes perfis também é possível observar que os limites entre os materiais inconsolidados e as litologias que constituem o substrato rochoso formam superfícies de difração hídrica em toda a bacia, condicionando a importância das fontes para a manutenção dos canais de drenagem e a água para o processo de irrigação.



**Figura 88** - Perfil geológico na posição 1-1' da Figura 87.



**Figura 89** - Perfil geológico na posição 2-2' da Figura 87.



**Figura 90** - Perfil geológico na posição 3-3' da Figura 87.

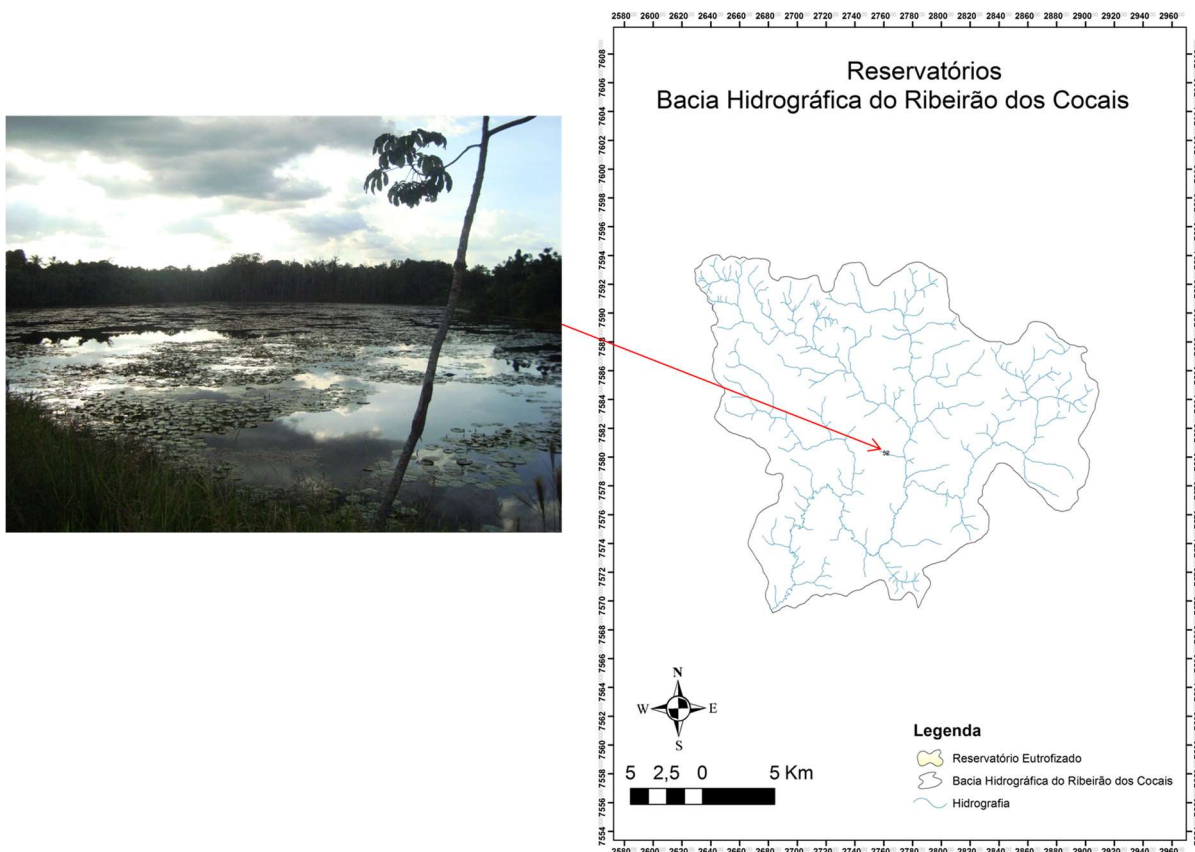


## 4.7 - PROBLEMAS AMBIENTAIS

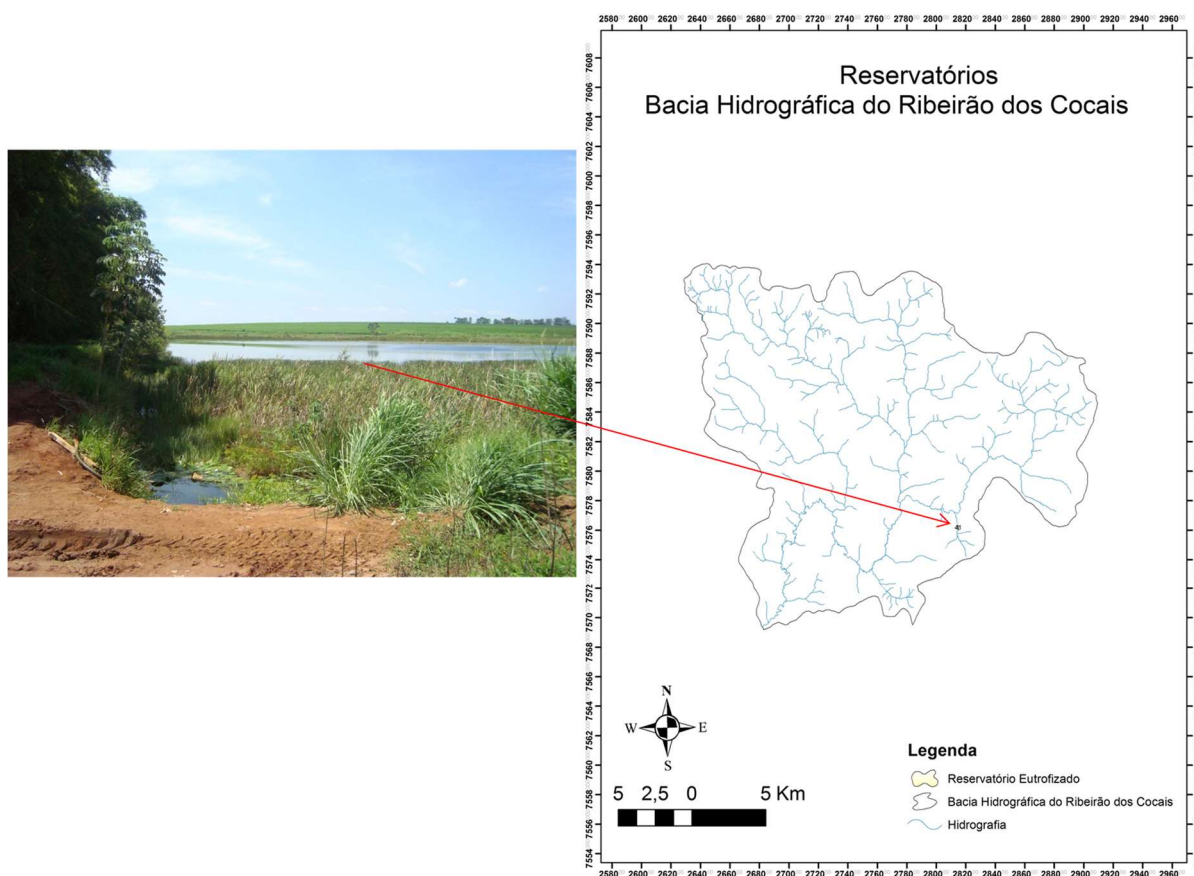
Na bacia em estudo foram encontrados evidências de problemas ambientais decorrentes de diferentes processos, tais como, eutrofização, salinização, alterações do sistema de escoamento superficial, alterações dos canais de drenagem, e mesmo com níveis de degradação ambiental intensos com poucas possibilidades de recuperação, assim como da qualidade das águas.

### 4.7.1 - Eutrofização

Na bacia hidrográfica foram observados a eutrofização nos reservatórios, conforme exemplificado nas Figuras 91 e 92, com diferentes magnitudes.



**Figura 91** - Exemplo de reservatório eutrofizado com grande magnitude.



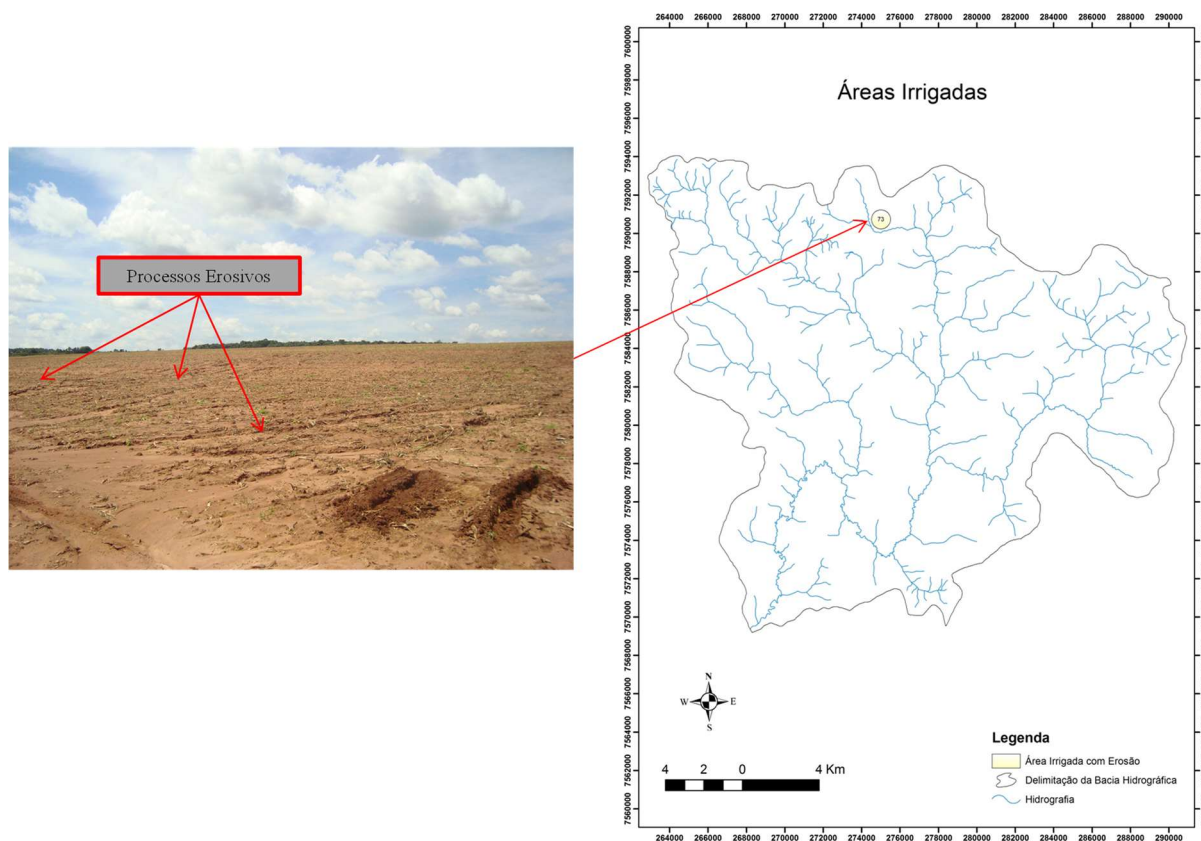
**Figura 92** - Exemplo de reservatório eutrofizado com magnitude menor.

Este problema foi observado em cerca de 60% dos reservatórios com diferentes intensidades é fruto da combinação de produtos químicos transportados pelo escoamento superficial, introdução de espécies vegetais típicas e condições de dinâmica das águas sem grande intensidade durante o ano visto que os reservatórios nos períodos de seca não recebem das fontes quantidade de água suficiente para uma renovação.

#### 4.7.2 - Erosão

Na Figura 93 observa-se um exemplo de processo erosivo tipo sulco na área irrigada por pivô central.



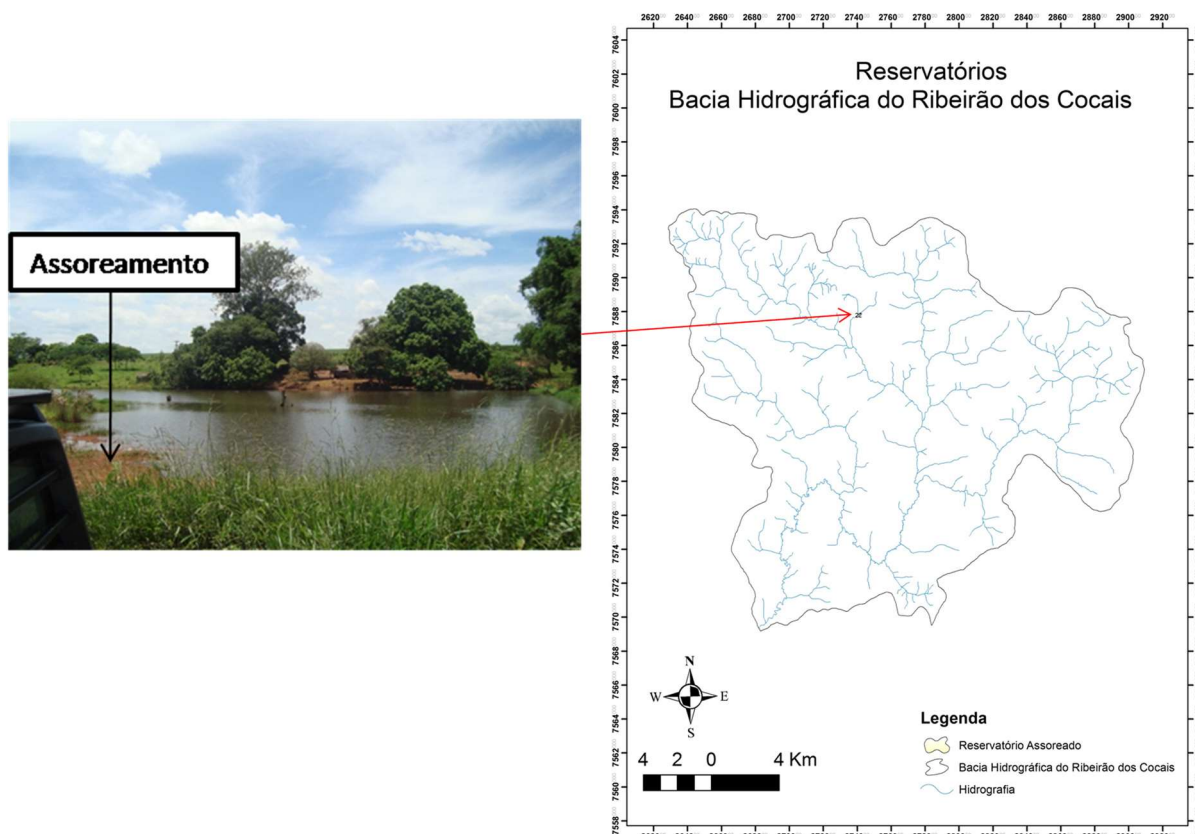


**Figura 93** - Exemplo de processos erosivos do tipo sulco nas áreas irrigadas. Pivô P73C.

Os processos erosivos observados nas áreas irrigadas são basicamente dos tipos intersulcos e sulcos e ravinas, Os processos erosivos ocorrem principalmente quando do início de um ciclo quando ocorreu o revolvimento do solo diminuindo a resistência e aumentando a erodibilidade.

#### 4.7.3 - Assoreamento

A Figura 94 apresenta um exemplo de processo de assoreamento em reservatório. Este processo pode ser observado 12 reservatórios da Bacia do Ribeirão dos Cocais com diferentes intensidades



**Figura 94** - Exemplo de Processo de assoreamento no reservatório n<sup>o</sup> 22

Os processos de assoreamento são decorrentes da deposição de sedimentos com tamanhos de areia e silte gerados pelos processos erosivos. Normalmente ocorrem como depósitos tanto nos canais de drenagem como nos reservatórios.

#### 4.7.4 - Alterações dos canais de drenagem

Neste tópico encontram-se inseridos alterações como mudança na sinuosidade, na largura do canal, na zona inundável, na continuidade do fluxo (passagem, tubos) e desaparecimento de canais. Na Figura 95 observa-se em uma vista geral as alterações que estão associadas a um canal de drenagem na forma de interrupções do fluxo. Observar que existem reservatórios com níveis bem baixos, assim como reservatório com alta taxa de sedimento.



**Figura 95** - Conjunto de reservatórios com características bem distintas em termos de volume, turbidez e eutrofização.

Pode ser observada na área de estudo, devido a construção dos reservatórios, alteração dos canais de drenagem, na Figura 96, feita na Bacia do Ribeirão dos Cocais, observa-se uma interrupção do canal para abastecimento do pivô central.

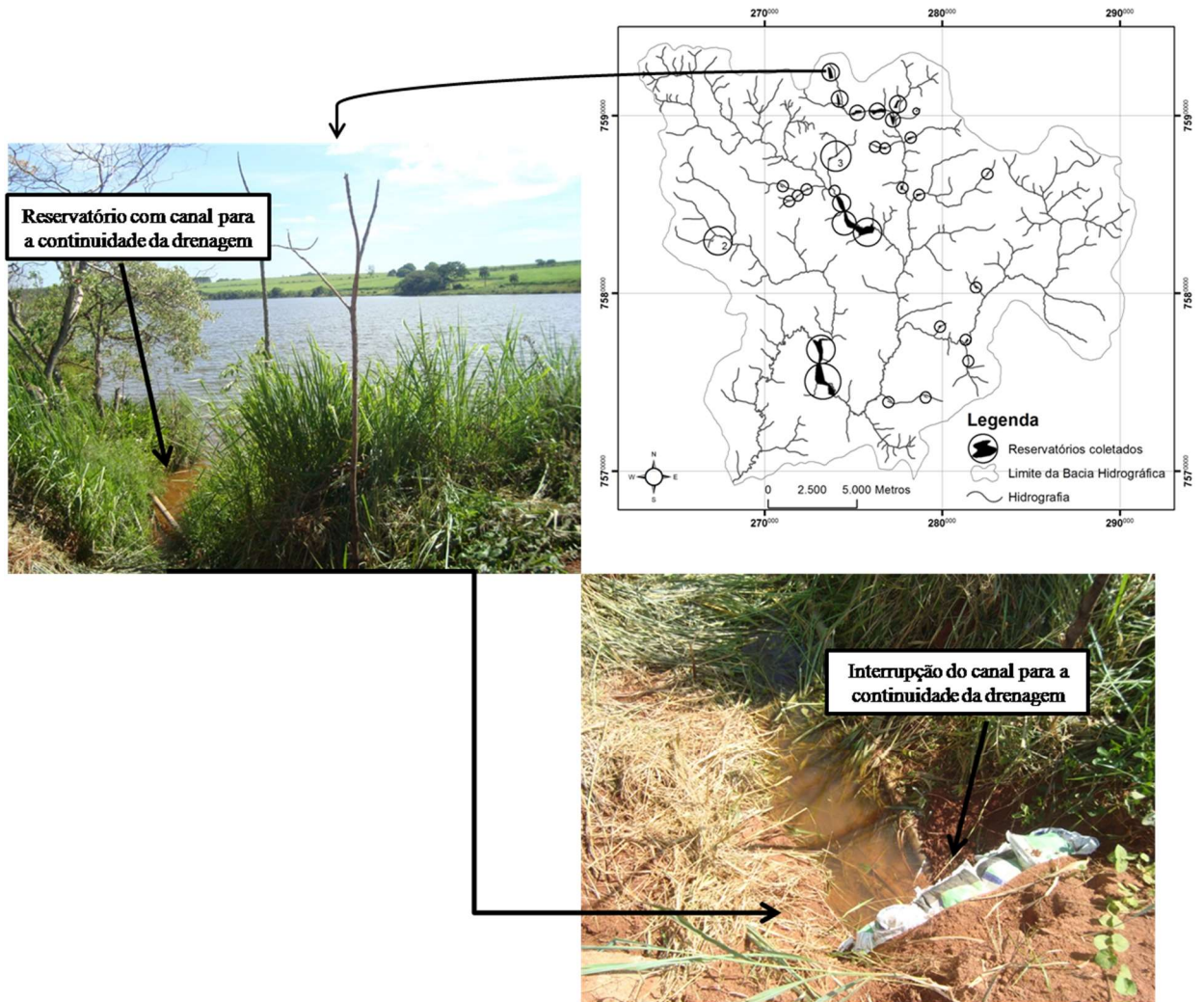
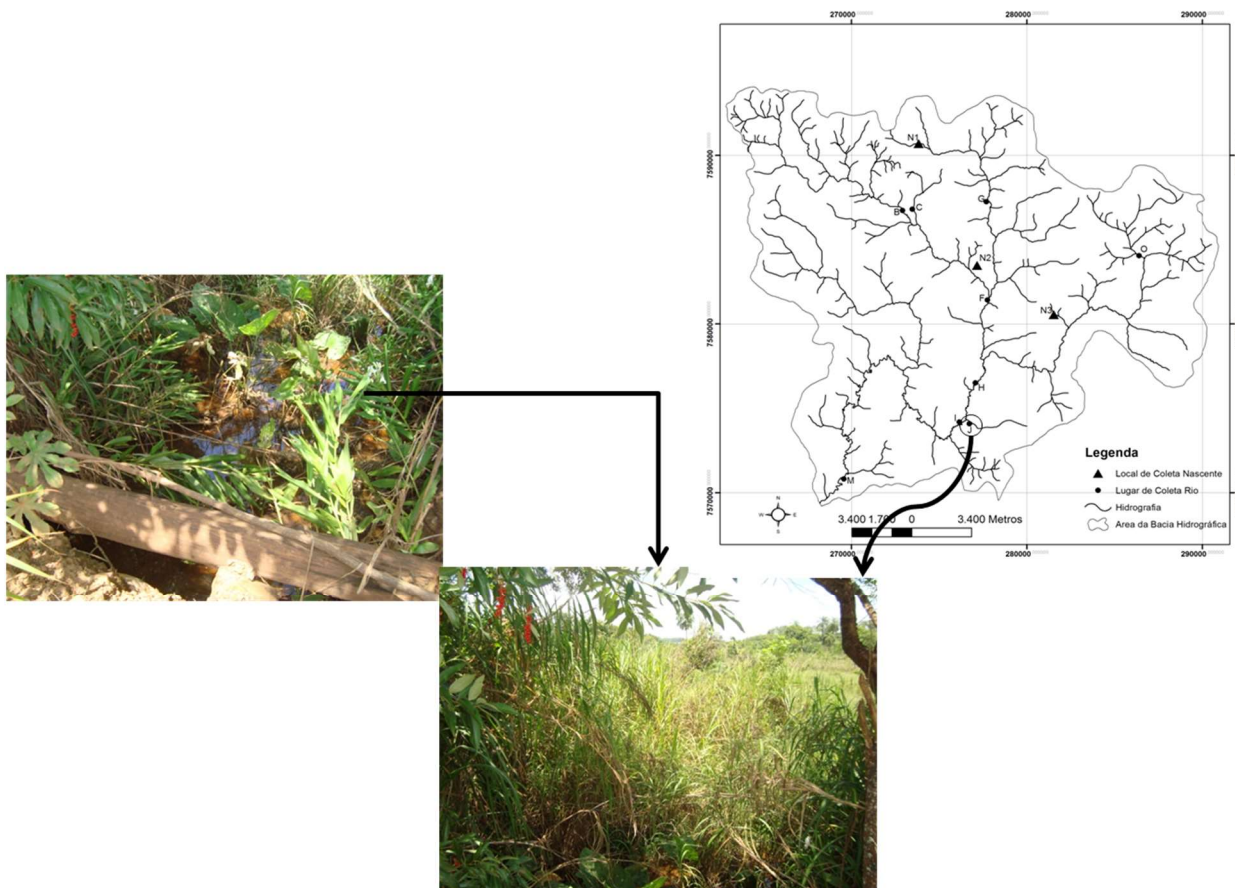


Figura 96 - Interrupção do canal afetando a continuidade do fluxo.

#### 4.7.5 – Alteração da Vazão

Como consequência dos diversos represamentos da água, pode se observar em pontos diferentes uma significativa diminuição da vazão, conforme apresenta a Figura 97 a seguir.

Normalmente a observação é decorrente devido à presença de vegetação, onde anteriormente havia outras atividades em porções ocupadas pelo fluxo de água.

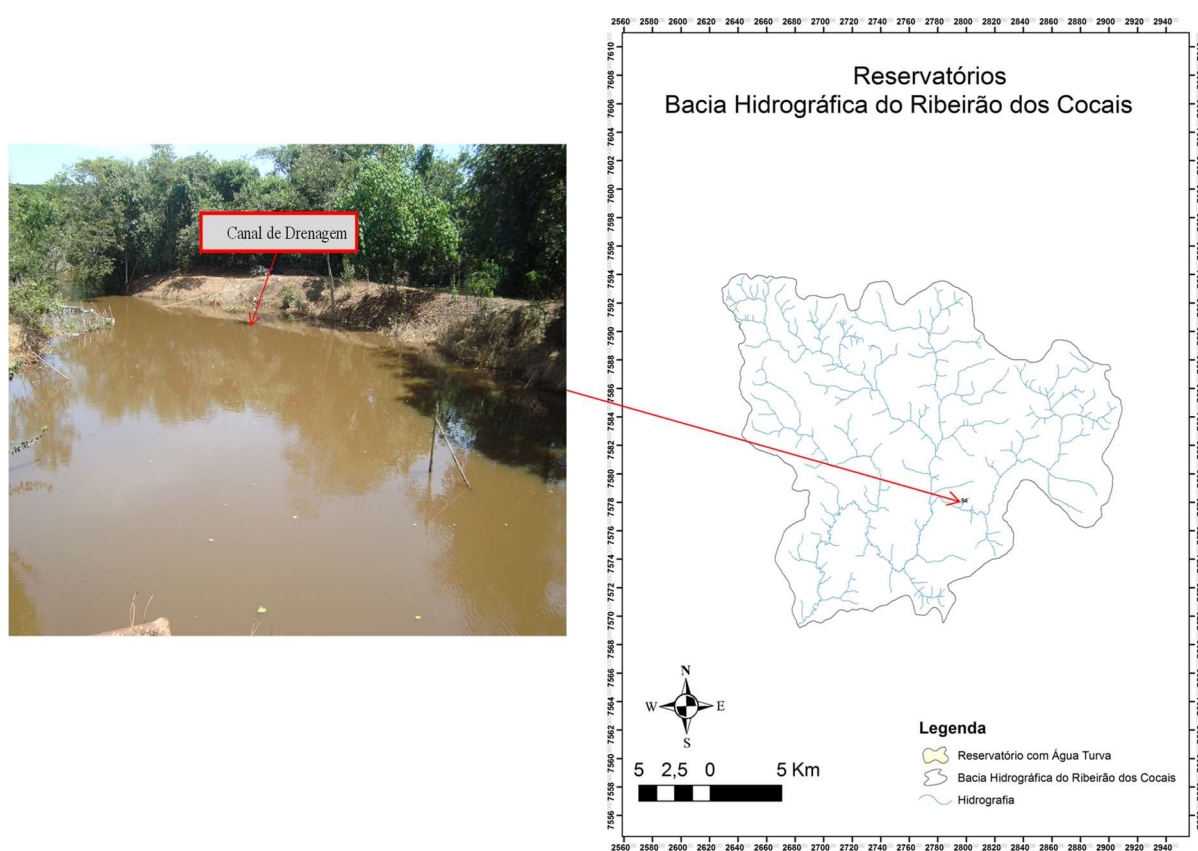


**Figura 97** - Exemplo de mudança na vazão baixa do rio, consequência dos reservatórios a montante, como crescimento da vegetação no canal de drenagem.

#### 4.7.6 - Aumento da Turbidez

A turbidez pode ser avaliada por meio de equipamentos como os turbidímetros ou por meio das classificações qualitativas.

Observou-se na área de estudo que tanto os reservatórios como os canais de drenagem apresentam águas com diversos níveis de turbidez. As Figuras 98 e 99 apresentam, como exemplos, de reservatórios (números 54 e 23) com águas turvas. A Figura 100 apresenta os sedimentos retidos no filtro, durante o processo de coleta de água.



**Figura 98** - Exemplo de reservatório com alto nível de turbidez.

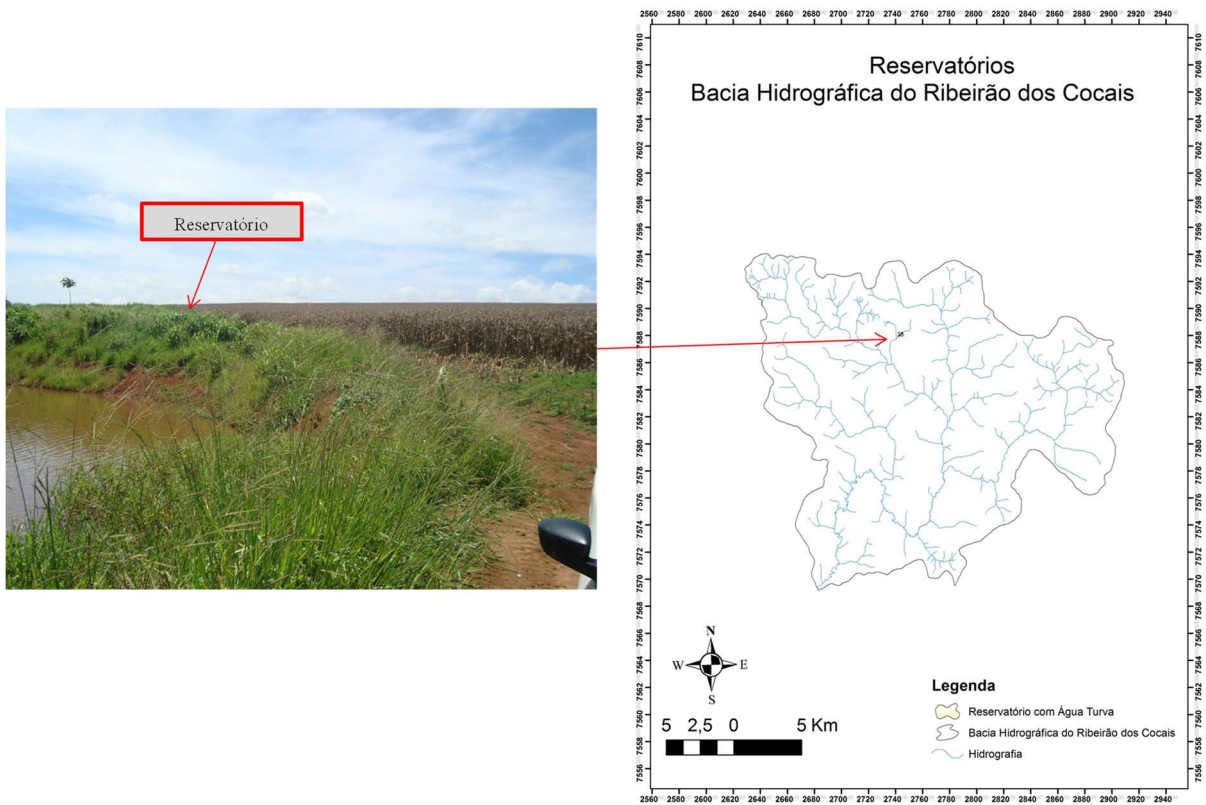


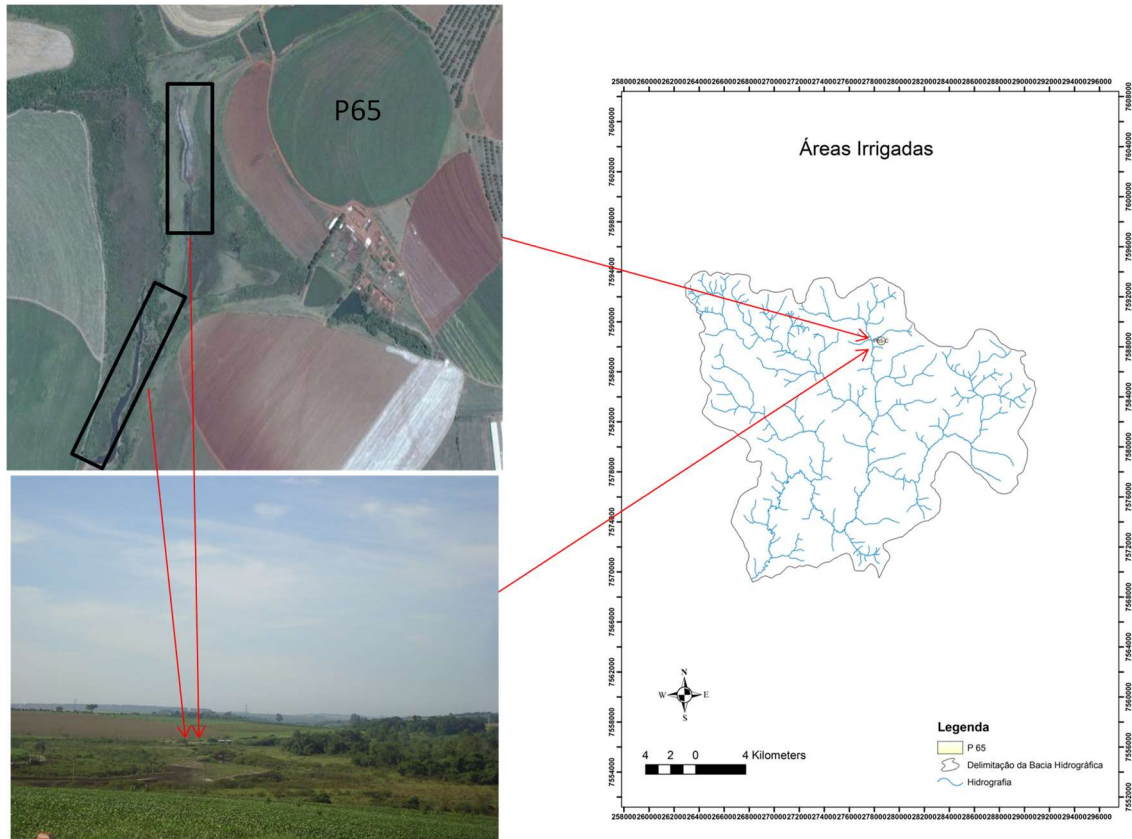
Figura 99 - Exemplo de reservatório com turbidez.



Figura 100 - Sedimentos Finos após filtragem das águas reservatórios.

#### 4.7.7 - Interferência no Canal de Drenagem

A Figura 101 apresenta um canal de drenagem localizado na proximidade da Área irrigada P65C no qual é possível notar que há duas barragens para armazenamento de água ao longo do canal de drenagem



**Figura 101** - Construção reservatório ao longo do canal de drenagem



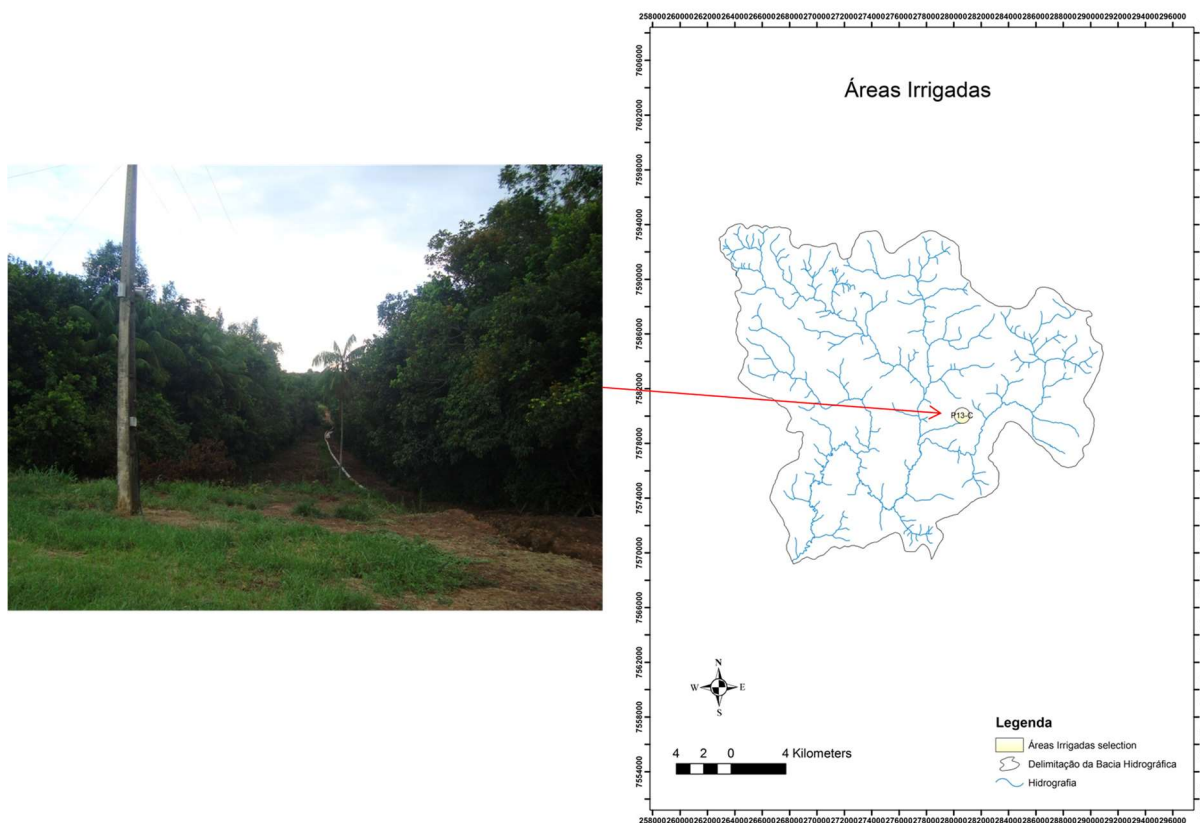
Na imagem da Figura 102, nota-se que do centro em sentido as margens o canal encontra-se seco.



**Figura 102** - Exemplo de degradação ambiental com canal de drenagem seco.

#### 4.7.8 - Alteração em Área de Preservação

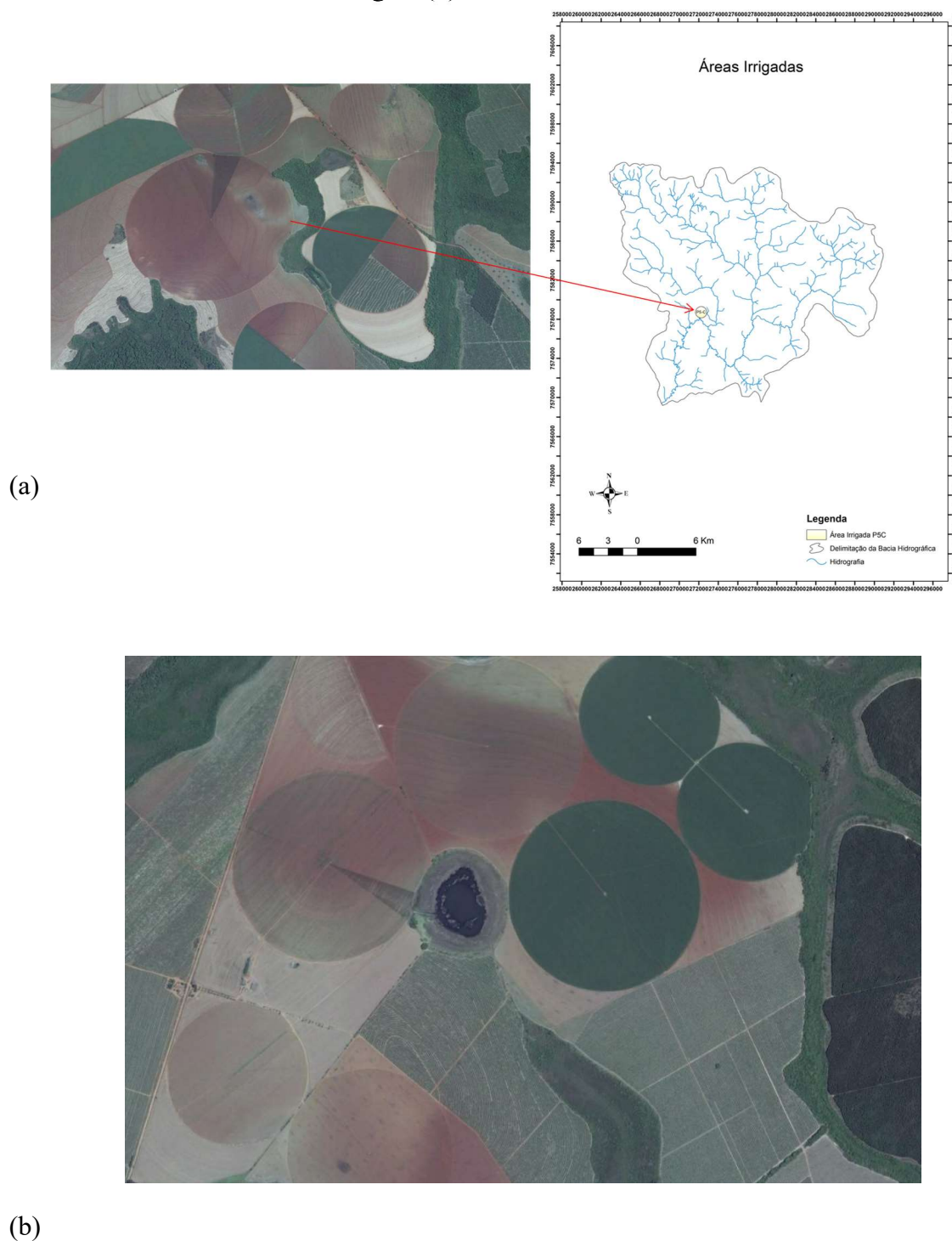
A Figura 103 apresenta uma canalização não natural que interfere na Área de Preservação Permanente nas proximidades da área irrigada P13C.



**Figura 103** – Exemplo de canalização em Área de Preservação Permanente

#### 4.7.9 - Alteração de Áreas úmidas

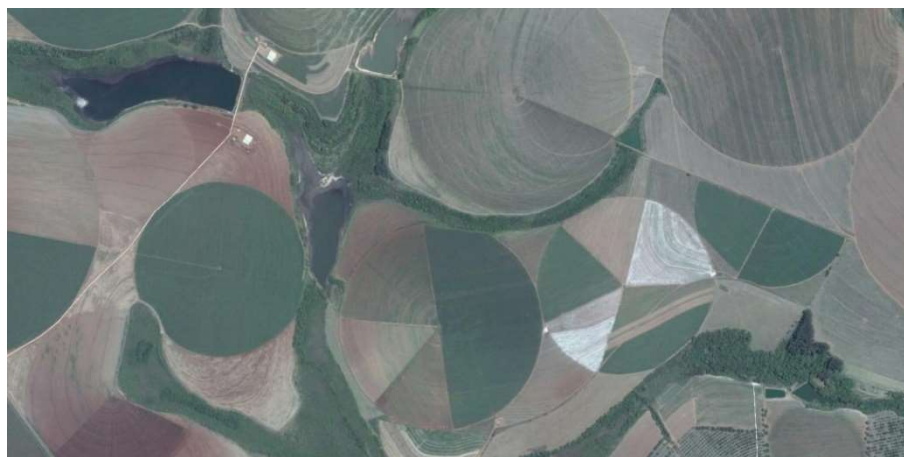
A Figura 104 mostra o aterramento das lagoas naturais (áreas úmidas) para utilização como área de plantio (a), e também, o estrangulamento do canal de drenagem que liga a lagoa e área úmida a um canal de drenagem (b).



**Figura 104** - Exemplo de Área úmida aterrada - PC5 (a) e estrangulamento/destruição do canal de saída da área úmida (b).

#### 4.7.10 - Fontes de poluentes

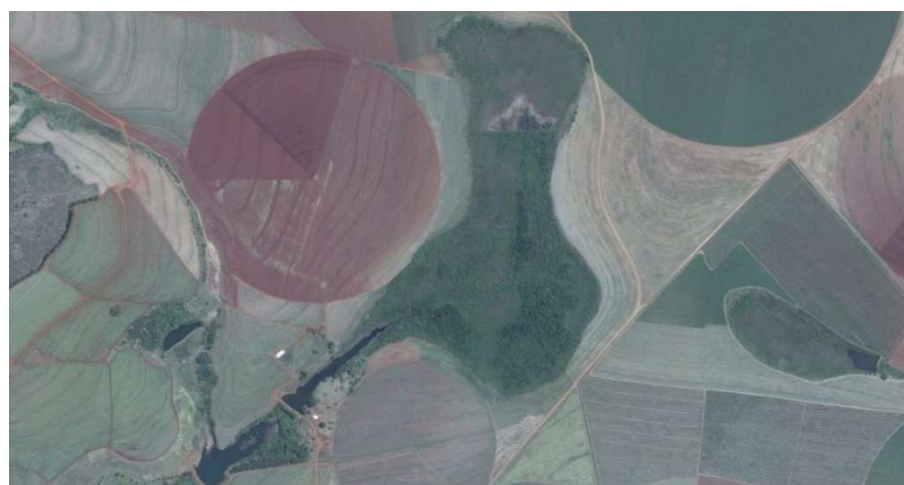
Na Figura 105 observa-se uma área de irrigação passando por processo de fertilização com produtos químicos na proximidade dos canais de drenagem, exemplificando o que ocorre com todas as áreas em um determinado período do ano, o que gera a partir do escoamento superficial o enriquecimento dos reservatórios e por meio da infiltração a contaminação do solo e das águas subsuperficiais.



**Figura. 105** - Imagem com o registro de área irrigada em processo de lançamento de fertilizantes.

#### 4.7.11 - Desaparecimento de fontes

Na Figura 106 nota-se o registro de reservatórios sem água comprovando o desaparecimento de fonte a montante que o abastecia. O problema em algumas situações é temporalmente contínuo e em outras é sazonal.



**Figura 106** - Imagem com o registro de reservatório seco demonstrando o desaparecimento da fonte natural.

## 4.8 - ANÁLISE DOS FERTILIZANTES

As amostras de fertilizantes foram analisadas no sentido de propiciar um conjunto de informações que permitam uma avaliação sobre as características químicas básicas, e foram efetivadas considerando dois aspectos:

- Análise das especificações do fabricante;
- Análise semi-quantitativa.

### 4.8.1 - Caracterização das Amostras dos Fertilizantes

- Amostra A1

Considerando as informações do fabricante em termos de constituintes básicos, na Figura 107 observa-se a especificação básica da amostra A1.

| EP - SP00895 - 8 - PAULINA - SP                                  |     | CNPJ: 22.266.176/0013 - 11       |           | I.E.: 513.010.900 - 114 |               |
|--|-----|----------------------------------|-----------|-------------------------|---------------|
| Reg. Produto ES05022.10136 - 6                                   |     | Nat. Física: MISTURA DE GRANULOS |           |                         |               |
| %N   |     | %P2O5                            |           |                         |               |
| Total  | H2O | Total                            | CNA + H2O | H2O                     | Ácido Cítrico |
| 8  |     |                                  | 16        |                         |               |
|  |     |                                  |           | %K2O H2O                |               |
|  |     |                                  |           | 16                      |               |
| 4,000%Ca; 8,000%S; 0,300%Zn; CONTEM ADITIVO 0,3 % Polímero Start |     |                                  |           |                         |               |
| Antidust   |     |                                  |           |                         |               |
| Categoria: FERTILIZANTE MINERAL MISTO                            |     |                                  |           |                         |               |
| Aplicação: SOLO  |     |                                  |           |                         |               |
| Lote: 3580080  |     | Placa: DSD - 7786 - SP           |           | Qtde(TO): 30,000        |               |
| Data Fab: 21/07/2016   |     | Validade: 2 ANOS APOS FABRICAÇÃO |           |                         |               |
| Indústria Brasileira   |     |                                  |           |                         |               |

**Figura 107** - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A1 foi retirada.

A amostra A1 apresenta formulação 8-16-16. De acordo com a Figura 107 acima, os elementos químicos presentes nesta formulação são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Hidrogênio (H), Cálcio (Ca), Zinco (Zn) e Enxofre (S) que foram comparados conforme dados da espectrometria a laser gerado através software LIBS++. (Figura 108), Trata-se de um resultado de caráter semi-quantitativo, porém permitiu observar as proporções a partir das intensidades.

Na Figura 109 está o resultado da espectrometria a laser onde se resalta a concentração de outros elementos tais como: Magnésio (Mg), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Ferro (Fe) e Cobre (Cu).

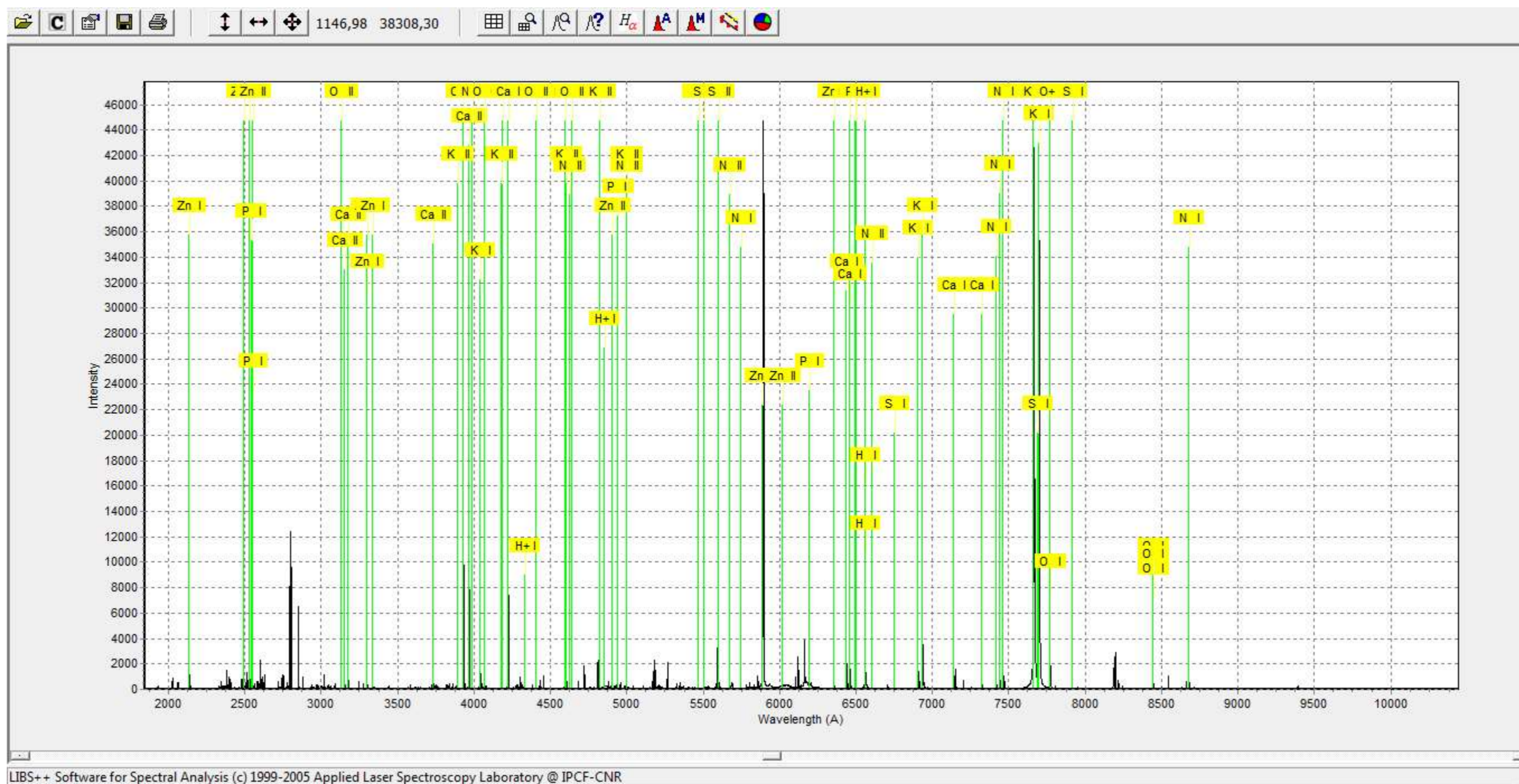


Figura 108 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A1.

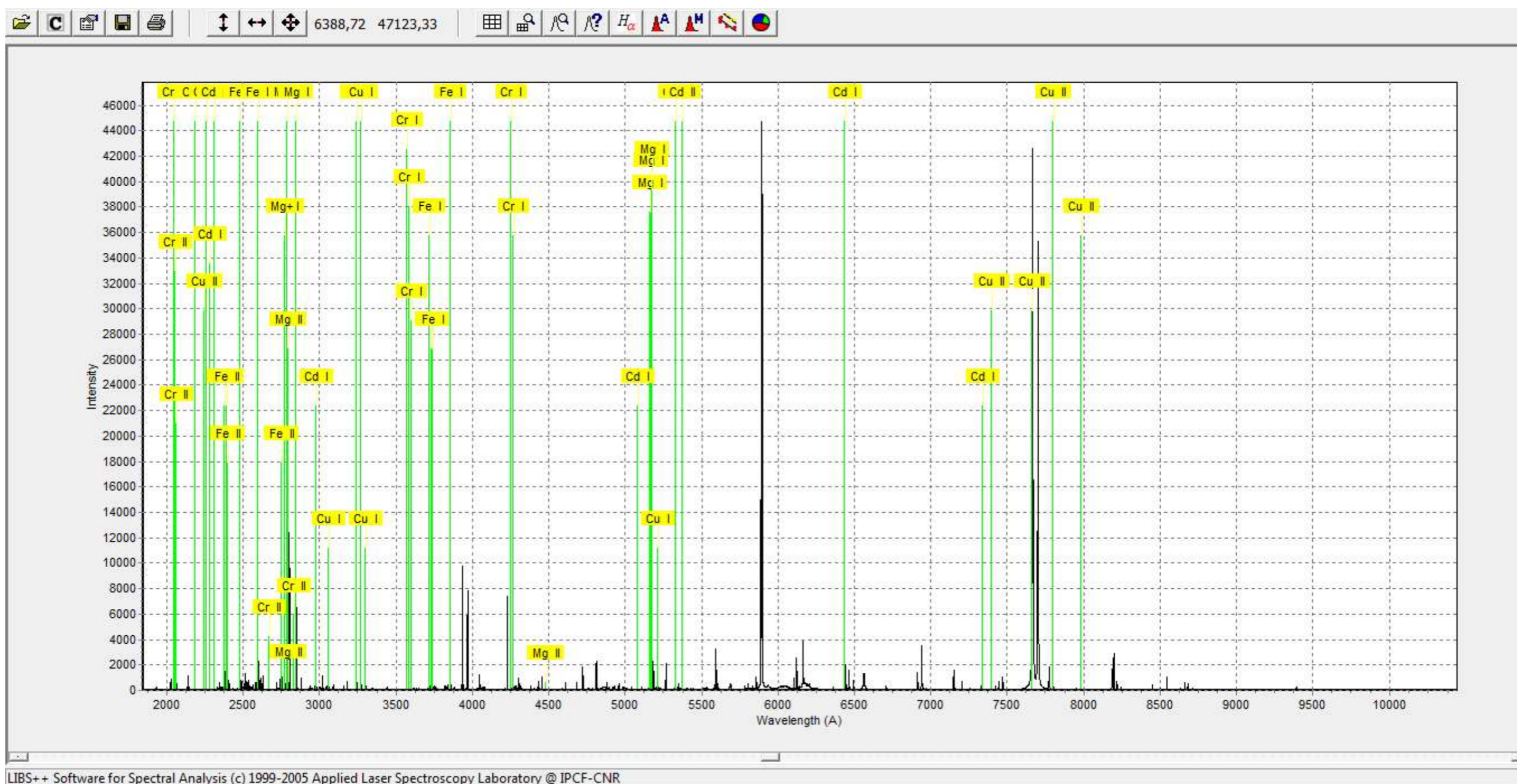


Figura 109 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A1 – presença de metais.



- Amostra A2

A amostra A2 apresenta formulação 20-00-20, ou seja, com elementos N e K, e adição do micronutriente Enxofre (S) conforme se verifica na especificação do fertilizante da Figura 110.



**Figura 110** - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A2 foi retirada

Os metais descritos na especificação da Figura 110 podem ser encontrados no gráfico de qualificação do ensaio no equipamento LIBS++, conforme apresenta a Figura 111.

Na Figura 112 observa-se o espectro com a presença de metais tais como: Magnésio (Mg), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Ferro (Fe) e Cobre (Cu).



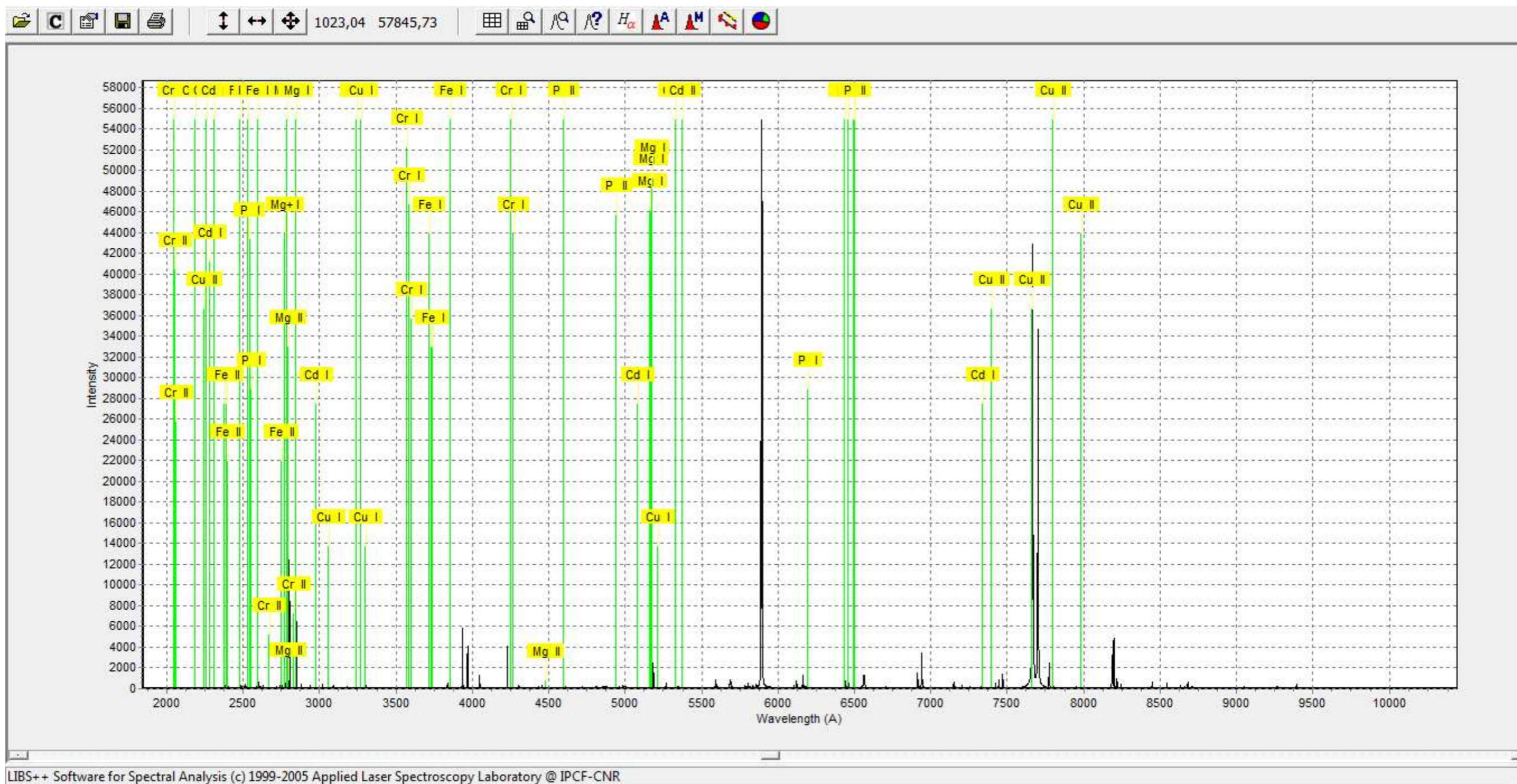


Figura 112 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A2 – presença de metais.

- Amostra A3

A amostra A3, trata-se de uma formulação de composto de Nitrogênio (N), conforme pode ser observado na Figura 113.

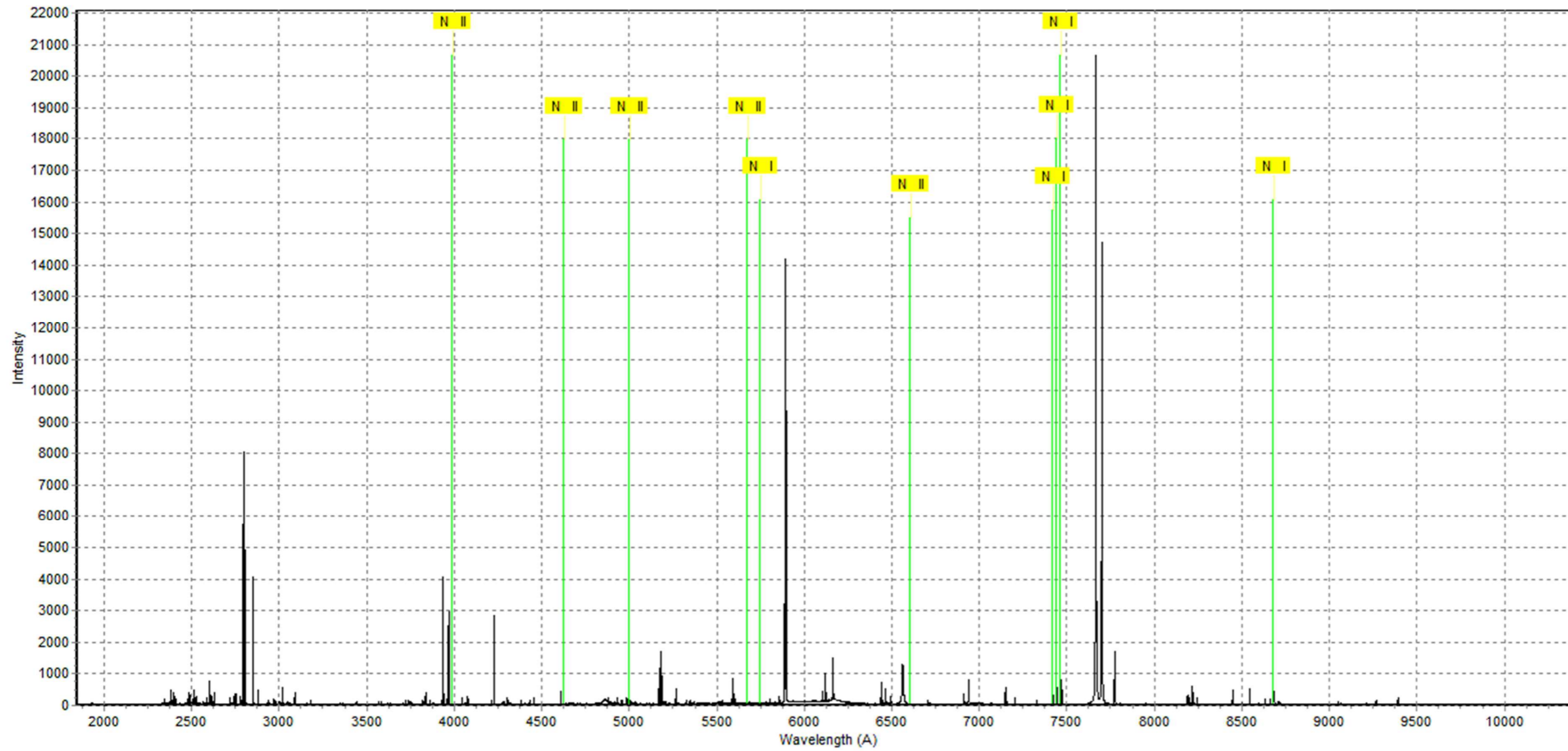
| EP SP-1255 - 6 CAMPINAS - SP   |   |  |  |                  |                  |                    |
|--|---|--|--|------------------|------------------|--------------------|
| % N<br>TOTAL   | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>CNA+ÁGUA | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>sol. ÁGUA | % K <sub>2</sub> O<br>sol. ÁGUA                  | % Ca<br>(Cálcio) | % S<br>(Enxofre) | % Mg<br>(Magnésio) |
| 45   | ---   | ---  | ---  | ---              | ---              | ---                |
| UREIA  |   |  |  |                  |                  |                    |
| BIG BAG DE 1000 KG   |   |  |  |                  |                  |                    |
| FERTILIZANTE MINERAL SOLUPERFERTIL                                   |   |  |  |                  |                  |                    |
| NATUREZA FÍSICA<br>GRANULADO   |   |  | REG. PRODUTO MIN. AGRICULTURA<br>SP01255.10003-3 |                  |                  |                    |
| LOTE N°:<br>104805   | QTD. EM TONELADA:<br>9,000                  | FABRICADO EM:<br>02/03/2015                  | VÁLIDO ATÉ:<br>12 MESES                          |                  |                  |                    |
| VÁLIDO ATÉ A DATA INDICADA SEGUINDO ORIENTAÇÕES DESCRITAS NA SACARIA |   |  |  |                  |                  |                    |

**Figura 113** - Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A3 foi retirada

Nota-se no gráfico gerado pelo ensaio com o software do LIBS++ a confirmação da presença do elemento Nitrogênio na amostra Figura 114.

Pela especificação do rótulo do fertilizante, unicamente deveria haver nitrogênio na forma de ureia -  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  - entretanto, quando submetido ao espectrômetro a laser encontra-se os elementos tais como Fe, K, Cr, Mg, Cd e Cu, conforme pode ser observado na Figura 115.

5375,36 21764,55



LIBS++ Software for Spectral Analysis (c) 1999-2005 Applied Laser Spectroscopy Laboratory @ IPCF-CNR

Figura 114 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A3

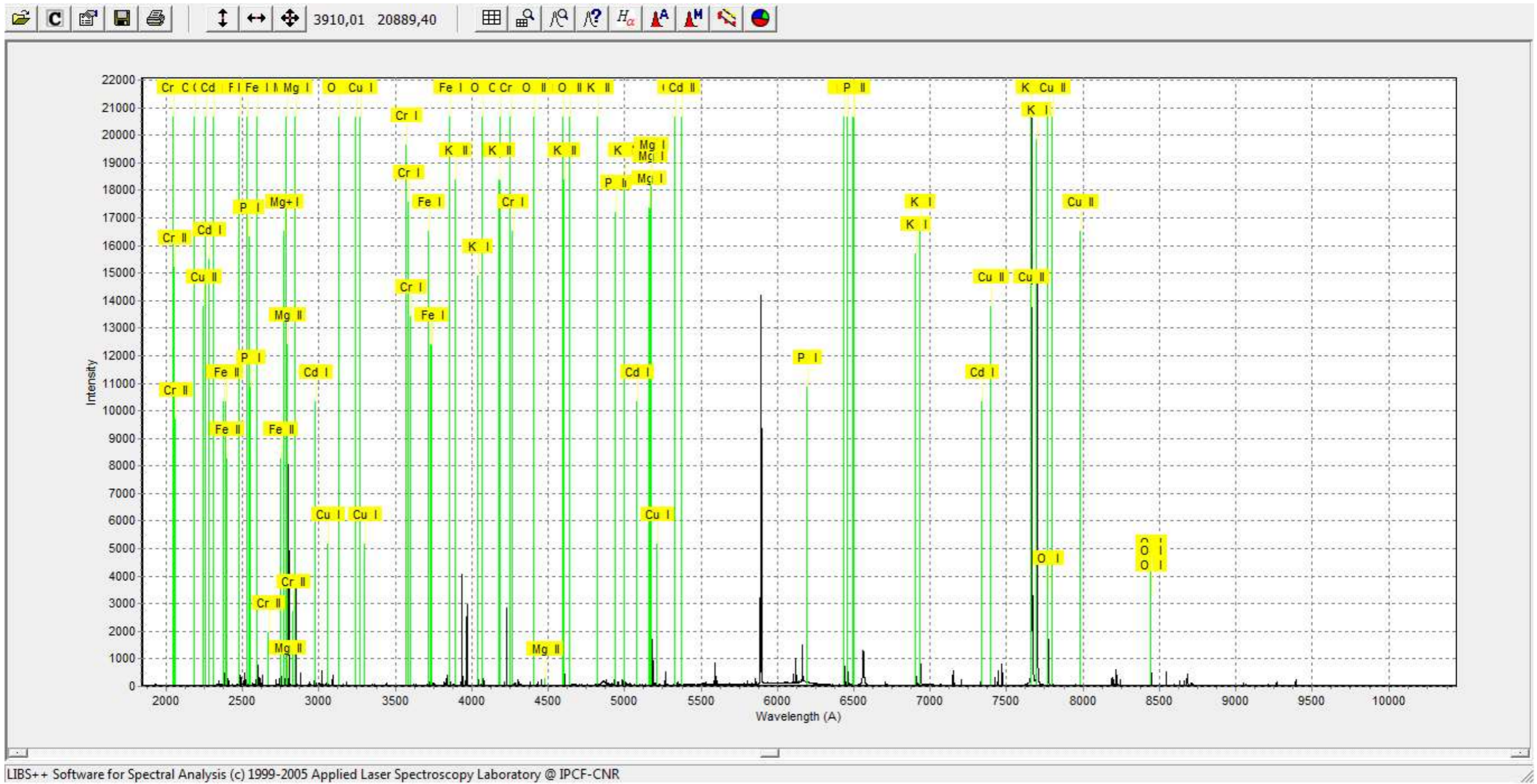


Figura 115 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A3 – presença de metais.

- Amostra A4

A amostra A4 apresenta formulação 6-16-12, como os elementos N, P e K, e adição do micronutriente Enxofre (S), Boro (B) e Zinco (Zn), assim como macronutrientes Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) conforme se verifica na Figura 116.



**Figura 116** – Especificação contida na embalagem de fertilizantes de onde a amostra A4 foi retirada

Assim como ocorreu nas demais amostras analisadas, todos os elementos químicos descritos no rótulo do fertilizante podem ser observados no espectrograma da Figura 117 gerado pelo software do LIBS++. Assim como os elementos químicos não descritos também podem ser observados no gráfico da Figura 118, ou seja, Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Ferro (Fe) e Cobre (Cu).

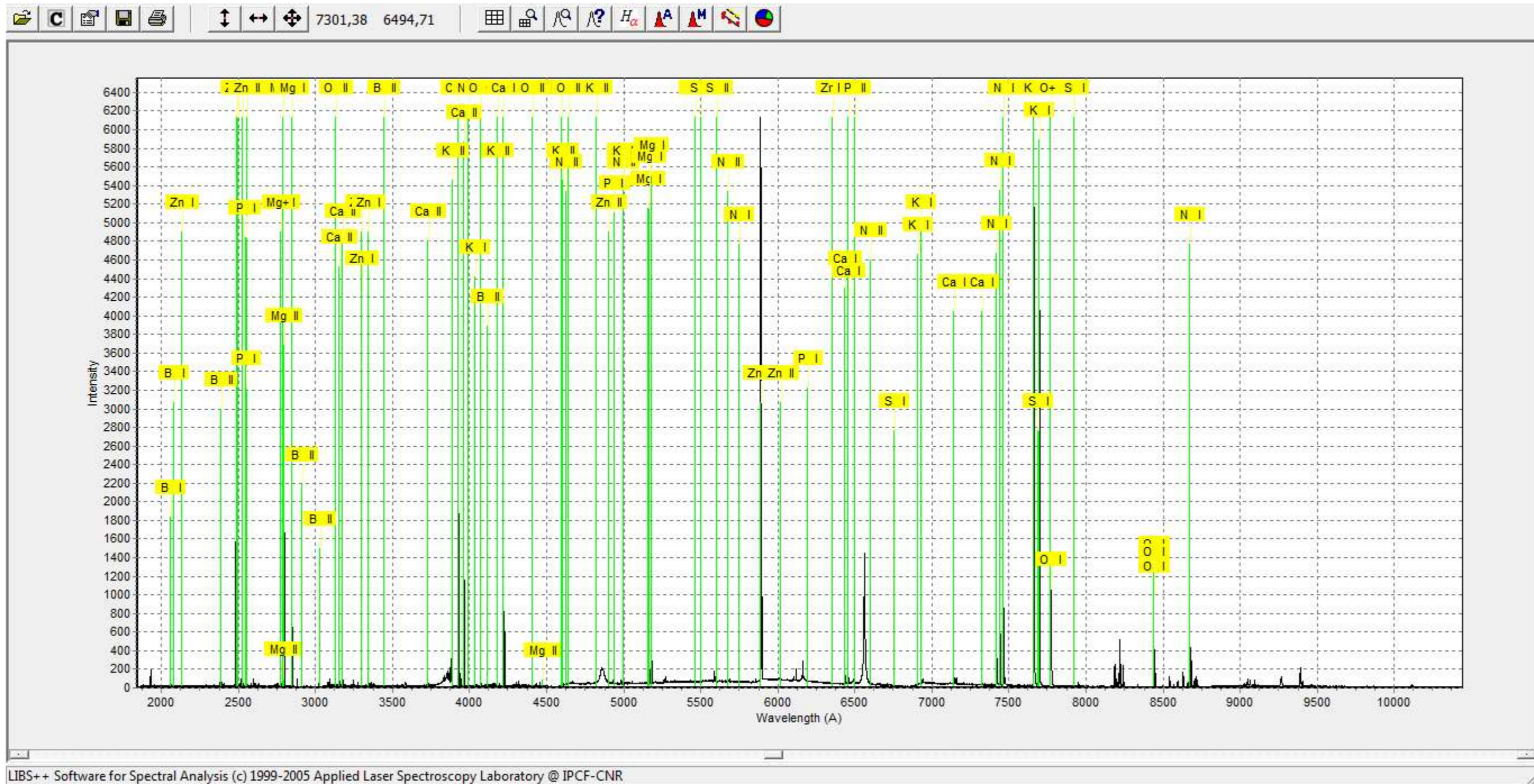


Figura 117 - Elementos químicos detectados no equipamento LIBS na amostra A4



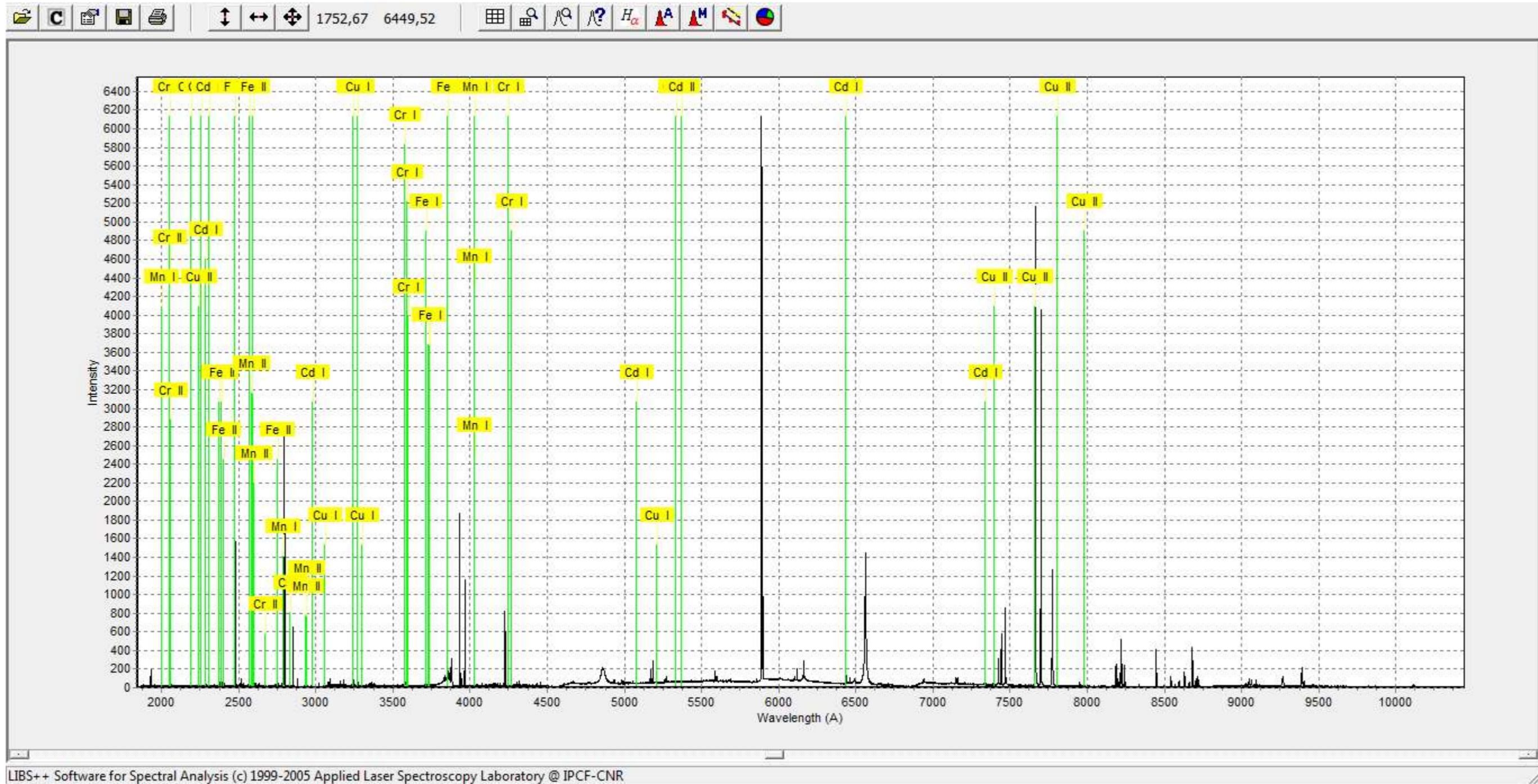


Figura 118 - Resultado da espectrometria a laser para a amostra A4 – presença de metais

Considerando os resultados da espectrometria a laser das quatro amostras de fertilizantes apresentadas nas figuras 109, 112, 115 e 118, verifica-se que os picos encontrados dos elementos Cr, Cu, Fe, Cd, Mn, e Mg podem ser comparados com o Zn. Como são conhecidas as concentrações percentuais do Zn fornecidas pelos fabricantes é possível afirmar que as concentrações dos elementos citados acima são significativas nos fertilizantes com a seguinte ordem: Zn>Fe>Mn>Cr>Cd.

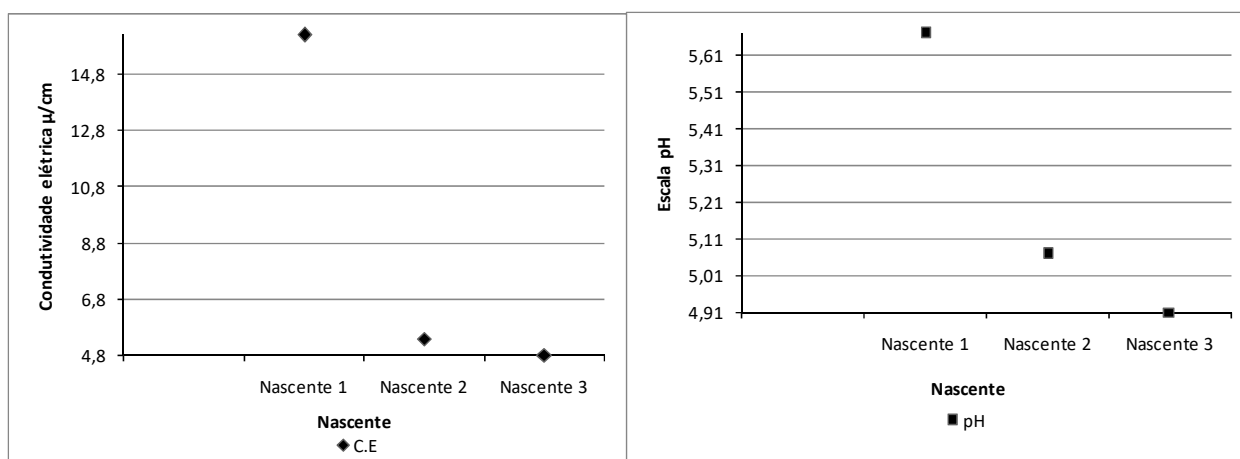
Este resultado corrobora com a possível da presença destes elementos nos solos, águas superficiais e subterrâneas.

## 4.9 - ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS

As análises das amostras de águas das fontes, canais e reservatórios em termos de pH e Ce permitem uma classificação quanto a qualidade das mesmas, e os potenciais de uso.

### 4.9.1 - Fontes

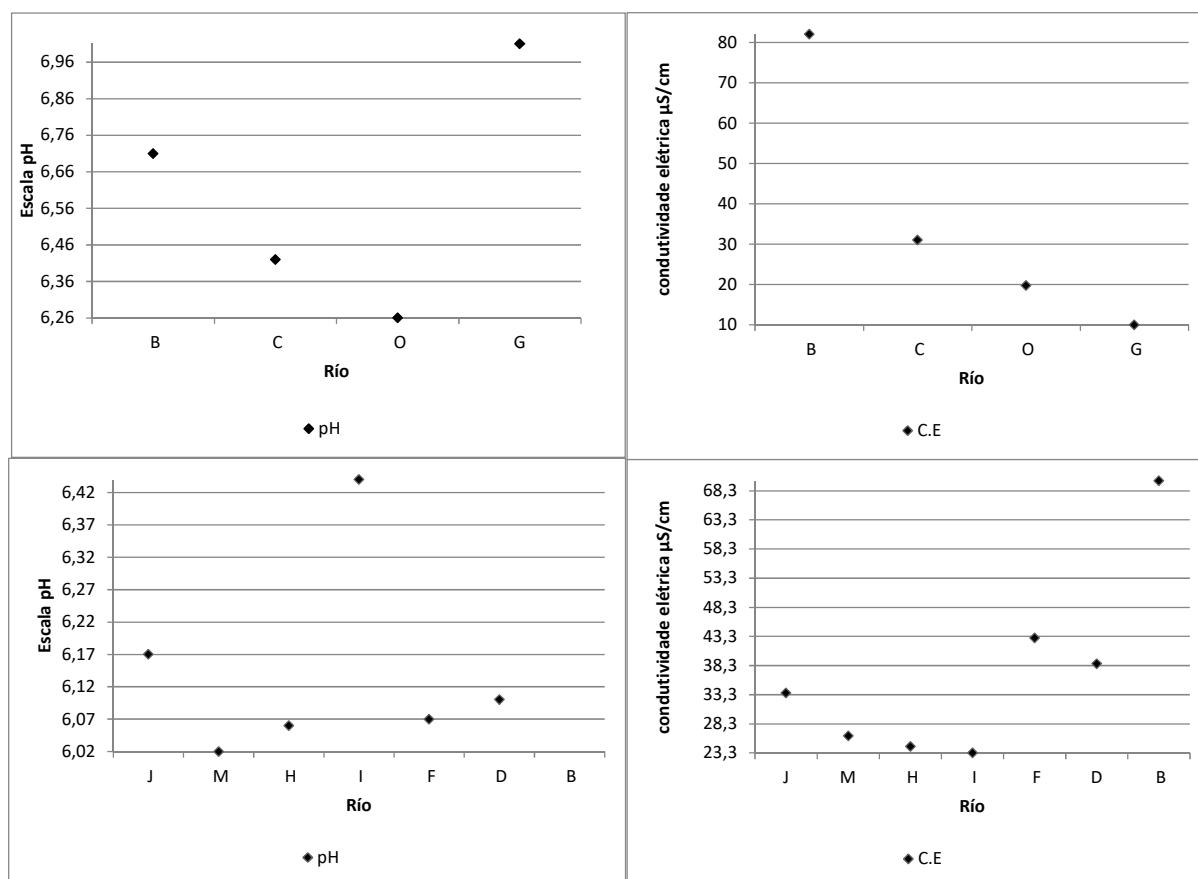
Os valores de pH e Condutividade Elétrica da Figura 119 permitem concluir que as águas são ácidas e com baixa quantidade de sais dissolvidos.



**Figura 119** - Valores de pH e Condutividade Elétrica obtidos para amostras de água das fontes.

### 4.9.2 - Canais de drenagem

Os valores de pH e Condutividade Elétrica da Figura 120 permitem concluir que as águas são ácidas e com baixa quantidade de sais dissolvidos.



**Figura 120** - Valores de pH e Condutividade Elétrica obtidos para amostras dos canais de drenagem..

### 4.9.3 - Reservatórios

Os valores de pH e Condutividade Elétrica da Figura 121 permitem concluir que as águas são ácidas e com baixa quantidade de sais dissolvidos.

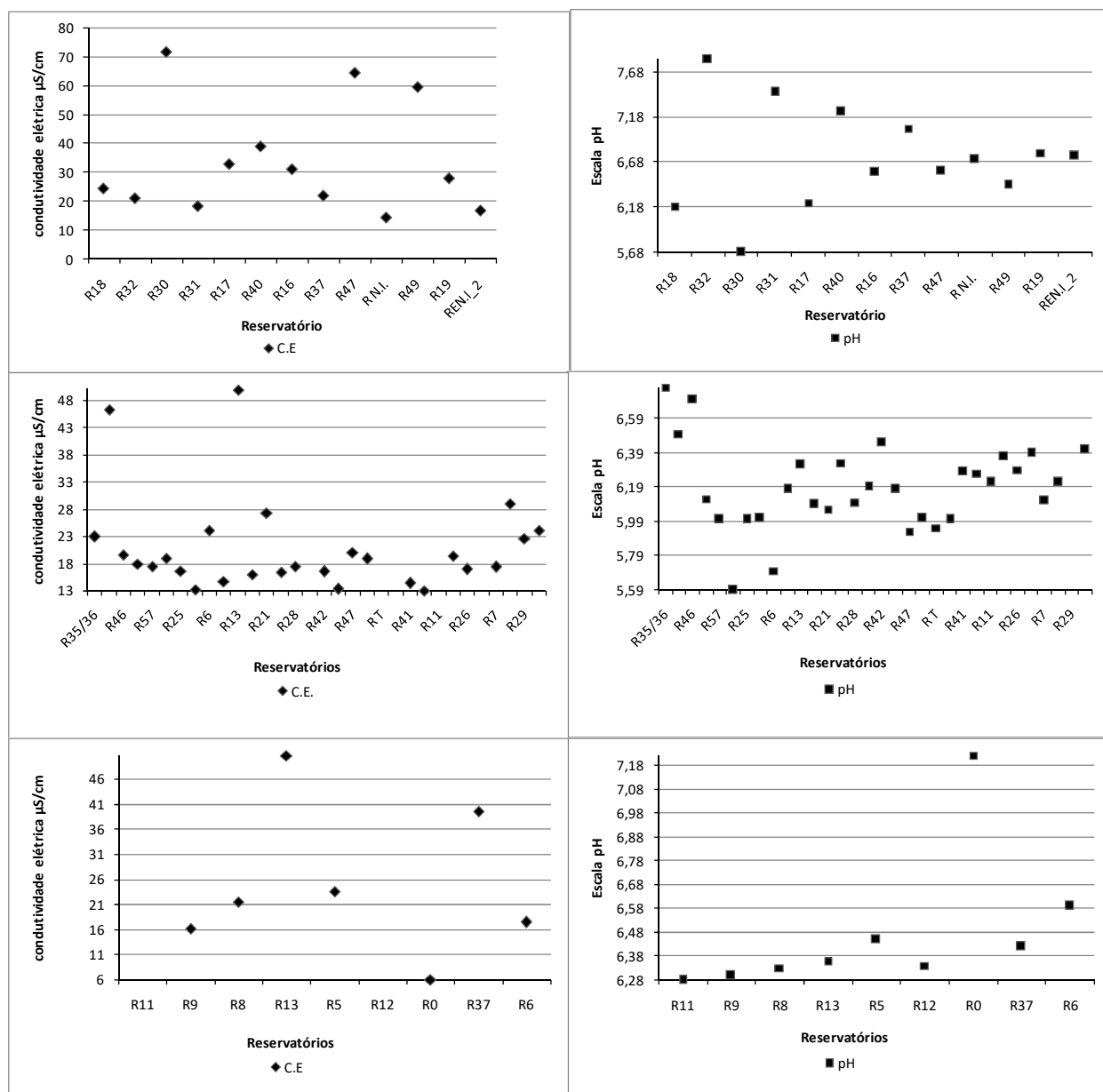


Figura 121 - Dados de pH e C.E dos reservatórios.

Analisando as Figuras 119, 120 e 121 observa-se que a Condutividade Elétrica dos pontos de canais de drenagem são mais expressivas quando comparadas com as fontes e reservatórios.

#### 4.10 - ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA POR CHAMA – FONTE, CANAIS E RESERVATÓRIOS.

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos das amostras das águas das fontes, canais de drenagem e reservatórios para a quantificação de metais.

**Tabela 13-** Valores de alguns elementos obtidos pela espectrometria de absorção atômica por chama.

| Amostras   | Ca     | Cd     | Cr  | Cu      | Fe    | Mg    | Mn     | Zn  |
|------------|--------|--------|-----|---------|-------|-------|--------|-----|
|            | (ug/L) |        |     |         |       |       |        |     |
| Nascente 3 | 45,22  | < 50,0 | 376 | < 100,0 | 111,8 | 96,75 | < 20,0 | 183 |
| Ponto B    | 1349   | < 50,0 | 402 | < 100,0 | 368,5 | 1275  | < 20,0 | 202 |
| R 47       | 145,8  | < 50,0 | 354 | < 100,0 | 412,8 | 210,3 | < 20,0 | 188 |

Os valores de pH das amostras das nascentes estão ácidos quando comparados com os valores das amostras dos reservatórios e das amostras do rio, isto indica que, possivelmente ocorre por influência dos fertilizantes químicos aplicados junto com a água de irrigação. Já os valores de condutividade elétrica das amostras das nascentes estão relativamente baixos quando comparados com as amostras dos reservatórios e dos rios, entretanto, oscilam consideravelmente entre si. Contudo, quando os valores de condutividade elétrica são comparados com a água natural em áreas de condições preservada, ou seja, áreas com mata nativa (da ordem de 4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), os valores apresentam-se elevados.

As amostras de rio se mantiveram na escala de seis em relação ao pH e apresentaram variação significativa em relação a condutividade elétrica. Quando comparadas com as amostras dos reservatórios apresentaram condutividade elétrica maior, pois o pico máximo ficou na escala de oitenta enquanto a maior escala para as amostras dos reservatórios ficou na escala de sessenta e três.

De acordo com os resultados obtidos na Espectrometria observa-se que metais como o Cálcio (Ca), Cromo (Cr), Ferro (Fe) e Magnésio (Mg) expressaram valores altos, o que explica os resultados de Condutividade Elétrica nas amostras.

Elementos químicos tais como Ca, Zn e Fe são partes constituintes das formulações de fertilizantes químicos e, por se tratar de uma região tipicamente agrícola, onde a aplicação de adubos via pivô de irrigação é intensa, possivelmente estes metais estão sendo lixiviados, assim, como levados via escoamento superficial para os reservatórios e canais de drenagem.

Observa-se que a concentração de alguns elementos é maior em algumas amostras. O íon Ca tem uma concentração maior no leito do rio, isto pode ocorrer devido a maior mobilidade geoquímica deste elemento em relação ao demais.

Observa-se também que a concentração do Cr não varia significativamente entre as amostras e o mesmo acontece para o Zn. A menor concentração do Fe apresenta-se na Nascente 1, o que pode estar relacionado ao pH do solo da região, conforme será apresentado, a região onde localiza-se a nascente tem um aumento gradativo de pH, tornando-se uma barreira ao elemento químico.

Entretanto o metal pesado Cromo (Cr) que também se expressa em valor elevado, não faz parte de formulações químicas de fertilizantes e, mesmo assim, se encontra em concentração maior do que a recomendada pela CONAMA 357/2001 para canais de água doce Classe 3.

## **4.11 - ANÁLISES DA ÁREA SEM PIVÔ**

### **4.11.1 - Localização da Área Sem Pivô**

Esta área foi selecionada por estar situada entre um grupo de áreas irrigadas e no sentido de elaborar uma comparação com as demais áreas irrigadas. A mesma está na proximidade da estrada de Santa Cruz da Palmeira – Casa Branca, Figura 122.

### **4.11.2 – Ensaio de Granulometria Conjunta**

As curvas resultantes do ensaio de granulometria conjunta das três profundidades (ponto 1 a 10cm, ponto 11 de 90 a 100cm e ponto 19 de 1,9 a 2m) amostradas encontram-se na Figura 123. As curvas mostram uma variação importante da quantidade de argila da ordem de 10% entre a porção superficial e as mais profundas, revelando a formação de pedos na porção mais superficial.

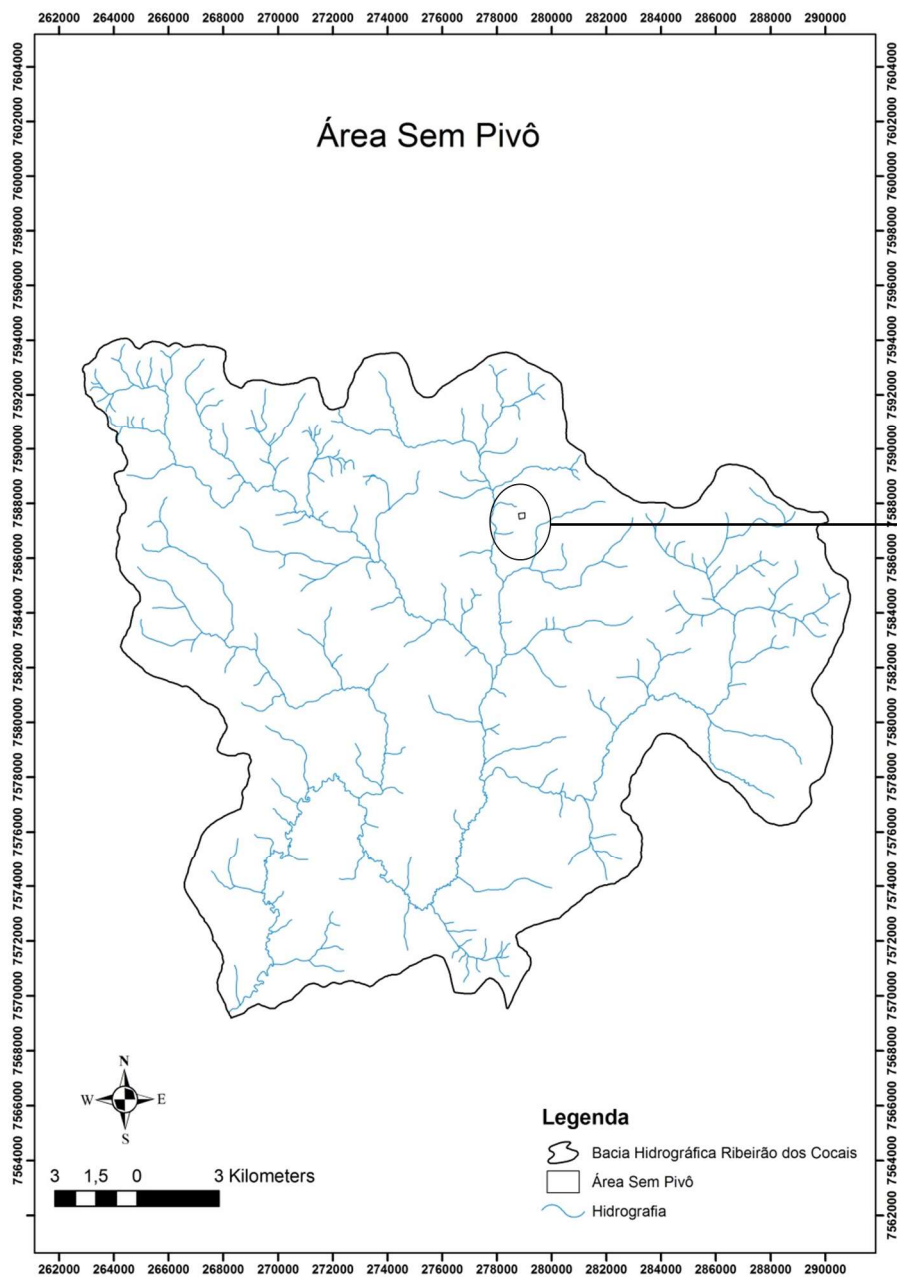
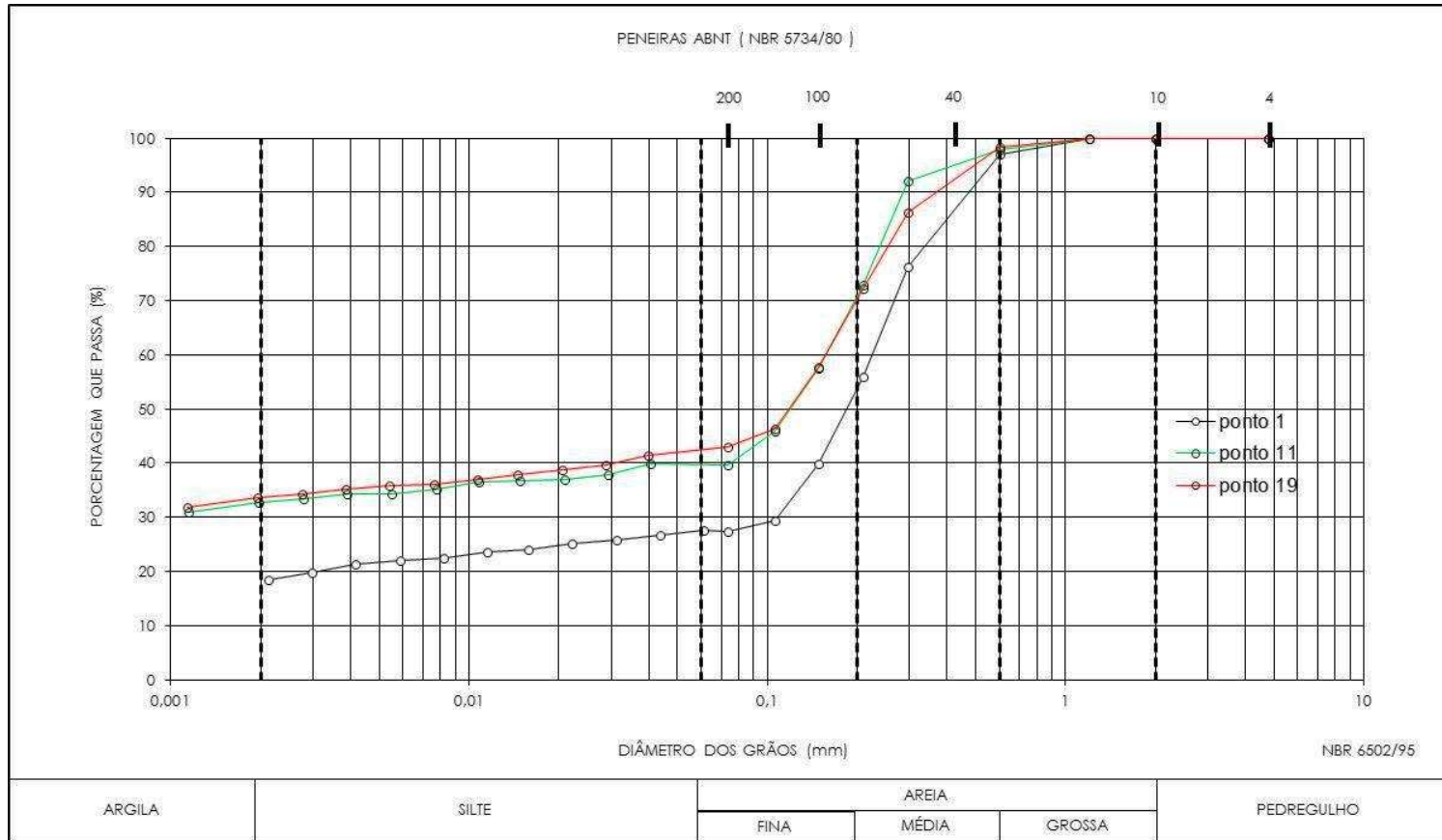


Figura 122 - Localização da área sem pivô de irrigação.



**Figura 123** - Curvas Granulométricas dos solos da área sem pivô.



### 4.11.3 - Índices Físicos do Solo para Área sem Pivô

Os índices físicos do solo podem ser observados na Tabela 14, e verifica-se que como a granulometria as amostras apresentam uma variação da massa específica seca natural, porosidade e índice de vazios, entre as amostras nas diferentes profundidades.

**Tabela 14** - Índices físicos do solo área sem pivô

| Amostra | Tara da Bandeja (g) | Massa Amostra Natural + Tara | Massa Amostra Seca + Tara (g) | Dimensões do Anel |             | Volume da | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | e        | n (%)    |
|---------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|
|         |                     |                              |                               | Diâmetro (cm)     | Altura (cm) |           |                             |                               |                               |          |          |
| DA (A)  | 10,89               | 401,97                       | 379,97                        | 7,5               | 5           | 218,350   | 1,791                       | 1,690                         | 2,588                         | 0,53     | 34,69    |
|         |                     |                              |                               | 7,4               | 4,96        |           |                             |                               |                               |          |          |
|         |                     |                              |                               | 7,5               | 5           |           |                             |                               |                               |          |          |
| DA (B)  | 10,95               | 390,4                        | 352,5                         | 7,51              | 5           | 216,206   | 1,755                       | 1,580                         | 2,887                         | 0,83     | 45,28    |
|         |                     |                              |                               | 7,4               | 5           |           |                             |                               |                               |          |          |
|         |                     |                              |                               | 7,35              | 5           |           |                             |                               |                               |          |          |
| DA (C)  | 11,01               | 360,01                       | 320,79                        | 7,3               | 4,85        | 204,145   | 1,710                       | 1,517                         | 2,576                         | 0,697587 | 41,09285 |
|         |                     |                              |                               | 7,5               | 4,8         |           |                             |                               |                               |          |          |
|         |                     |                              |                               | 7,2               | 4,85        |           |                             |                               |                               |          |          |

Onde: DA – Amostras do material geológico nas profundidades semelhantes a da granulometria;  $\rho$ : massa específica do solo;  $\rho_d$ : massa específica aparente seca natural;  $\rho_s$ : massa específica dos sólidos; e: índice de vazios; n: porosidade.

### 4.11.4 - Condutividade Elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

Os dados de CE, pH e CTC da área sem pivô para profundidades variando de 10 a 190 cm, ou seja, para cada 10cm de profundidade, são apresentados na Tabela 15, observando uma aumento da acidez do solo com a profundidade, capacidade de troca de cátions muito baixa revelando o caráter textural arenoso e as argilas de baixa atividade.

**Tabela 15** - Dados de CE, pH e CTC da área sem pivô

| Área Sem Pivô    |                                |      |                |
|------------------|--------------------------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 116                            | 6,22 | 1,86           |
| 2                | 79,8                           | 6,24 | 1,86           |
| 3                | 77,6                           | 6,33 | 1,55           |
| 4                | 66,3                           | 6,47 | 1,86           |
| 5                | 65,7                           | 6,54 | 1,86           |
| 6                | 62,4                           | 6,59 | 1,86           |
| 7                | 83,5                           | 6,54 | 1,55           |
| 8                | 83,5                           | 6,02 | 1,55           |
| 9                | 67,9                           | 5,53 | 1,55           |
| 10               | 70,5                           | 5,68 | 1,86           |
| 11               | 72,9                           | 5,75 | 1,86           |
| 12               | 67,7                           | 5,78 | 1,86           |
| 13               | 57,1                           | 5,92 | 1,55           |
| 14               | 45,3                           | 6,11 | 1,86           |
| 15               | 46,7                           | 5,42 | 1,55           |
| 16               | 40,7                           | 5,24 | 1,86           |
| 17               | 41,4                           | 5,3  | 1,55           |
| 18               | 42,9                           | 5,28 | 1,55           |
| 19               | 55,7                           | 5,13 | 1,55           |

#### 4.11.5 - Superfície Específica (SE), Valor do Azul de Metileno e Atividade da Fração Argila (A<sub>bc</sub>)

Os dados de Superfície Específica (SE) e Atividade da Fração Argila (A<sub>bc</sub>) são apresentados na Tabela 16 representando a baixa atividade das argilas, principalmente do grupo das caulinitas e gibbsita.

**Tabela 16-** Dados de SE, Vb e Acb da área sem pivô.

| Área Sem Pivô    |                        |             |              |
|------------------|------------------------|-------------|--------------|
| PONTOS COLETADOS | SE (m <sup>2</sup> /g) | Vb (g/100g) | Acb (g/100g) |
| 1                | 22,02                  | 9           | 28,13        |
| 2                | 22,52                  | 9,20        | 28,76        |
| 3                | 18,75                  | 7,66        | 23,95        |
| 4                | 22,25                  | 9,09        | 28,42        |
| 5                | 22,22                  | 9,08        | 28,38        |
| 6                | 22,18                  | 9,06        | 28,32        |
| 7                | 18,57                  | 7,59        | 23,71        |
| 8                | 18,35                  | 7,50        | 23,44        |
| 9                | 18,35                  | 7,50        | 23,44        |
| 10               | 22,03                  | 9,00        | 28,14        |
| 11               | 22,02                  | 9,00        | 28,13        |
| 12               | 22,05                  | 9,01        | 28,16        |
| 13               | 19,40                  | 7,93        | 24,77        |
| 14               | 22,17                  | 9,06        | 28,31        |
| 15               | 18,64                  | 7,62        | 23,81        |
| 16               | 22,87                  | 9,35        | 29,21        |
| 17               | 18,55                  | 7,58        | 23,69        |
| 18               | 18,62                  | 7,61        | 23,79        |
| 19               | 18,51                  | 7,57        | 23,64        |

Onde: SE:

Superfície

Específica; Vb: valor do azul de metileno; Acb: Atividade da Fração Argila.

#### 4.11.6 - Capacidade de Campo (CC)

A capacidade de campo relativa à profundidade de 0 até 10 cm da área sem pivô foi obtida pelo método indireto de Arruda (1987), conforme equação abaixo. Os valores do teor de argila mais o de silte (X) foram retirados da curva de granulometria da área sem pivô Figura 123, assim:

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \cdot X) - 0,00348 (X)^2$$

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \cdot (29,2)) - 0,00348 (29,2)^2$$

$$U_{cc} = 18,5\%$$

#### 4.11.7 - Ponto de Murchamento

O ponto de murchamento relativo à profundidade de 0 até 10 cm da área sem pivô foi obtido pelo método indireto de Arruda (1987), conforme equação abaixo. Os valores do teor de argila mais o de silte (X) foram retirados da curva de granulometria da área sem pivô, assim:

$$U_{PM} = \frac{398,9 \cdot X}{(1.308,1 + X)}$$

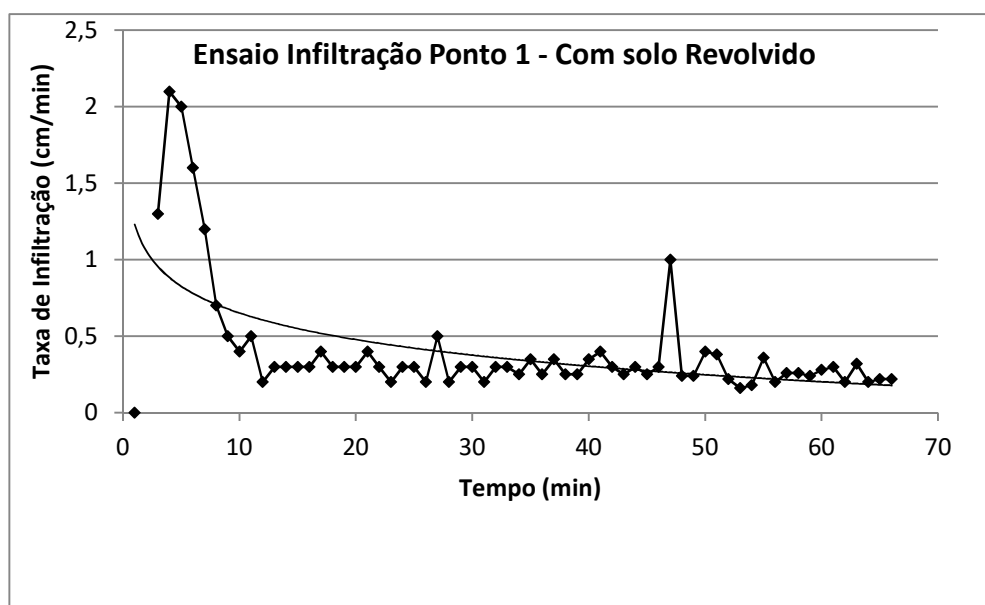
$$U_{PM} = \frac{398,9 \cdot (29,2)}{(1.308,1 + 29,2)}$$

$$U_{PM} = 8,7\%$$

#### 4.11.8 – Ensaio in situ de Infiltração com Duplo Anel

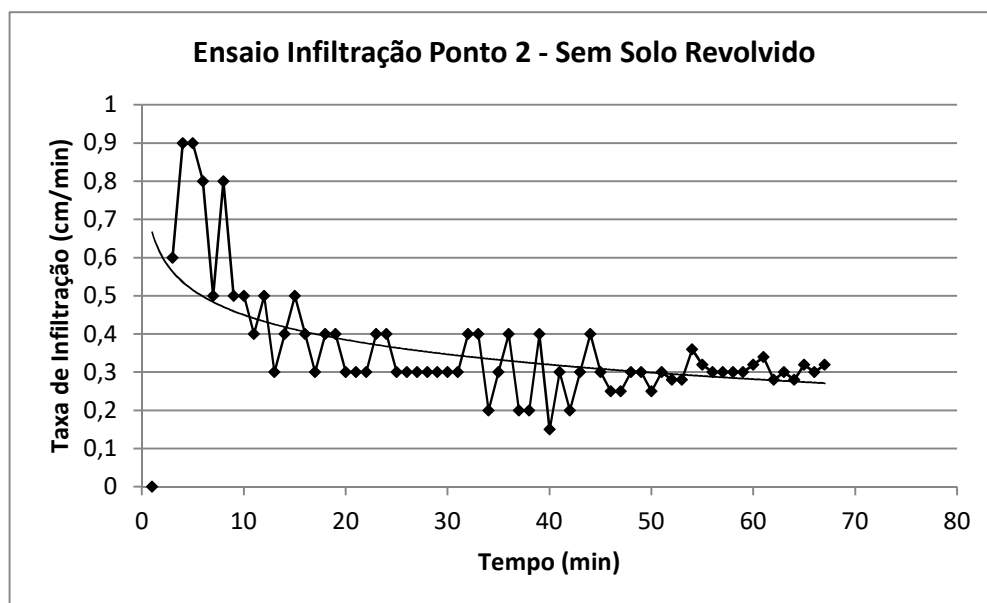
As curvas de capacidade de infiltração potencial foram obtidas a partir do ensaio de infiltração com duplo anel estão nas Figuras 124 e 125.

A curva da Figura 124 representa os resultados do ensaio obtido com um valor de 2,10 cm/min e a partir deste valor ocorre um decréscimo acentuado na taxa de infiltração atingindo valores menores que 0,2 cm/min.



**Figura 124** - Curva da capacidade de infiltração potencial do Ponto 1 com solo revolvido - Área sem pivô.

A curva da Figura 125 representa os resultados obtidos em condições de solo sem revolvimento. Observa-se uma curva com comportamento bem diferente da curva da Figura 124 revelando as características da taxa de infiltração para as 2 condições e com valores de infiltração final baixos.



**Figura 125** – Curva da capacidade de infiltração potencial do Ponto 2 (condição natural) - Área sem pivô

#### 4.11.9 – Ensaio de Condutividade Hidráulica in situ – Furo de Sondagem

Os valores da condutividade hidráulica obtida a partir dos furos de sondagem são apresentados na Tabela 17. Os valores obtidos variam significativamente entre si, assim, revelando a variação das características de fluxo de água até a profundidade de 1m. Trata-se de solos com característica textural arenosa, conforme curva granulométrica da Figura 123.

**Tabela 17** - Valores de Condutividade Hidráulica (K) obtidos nos furos

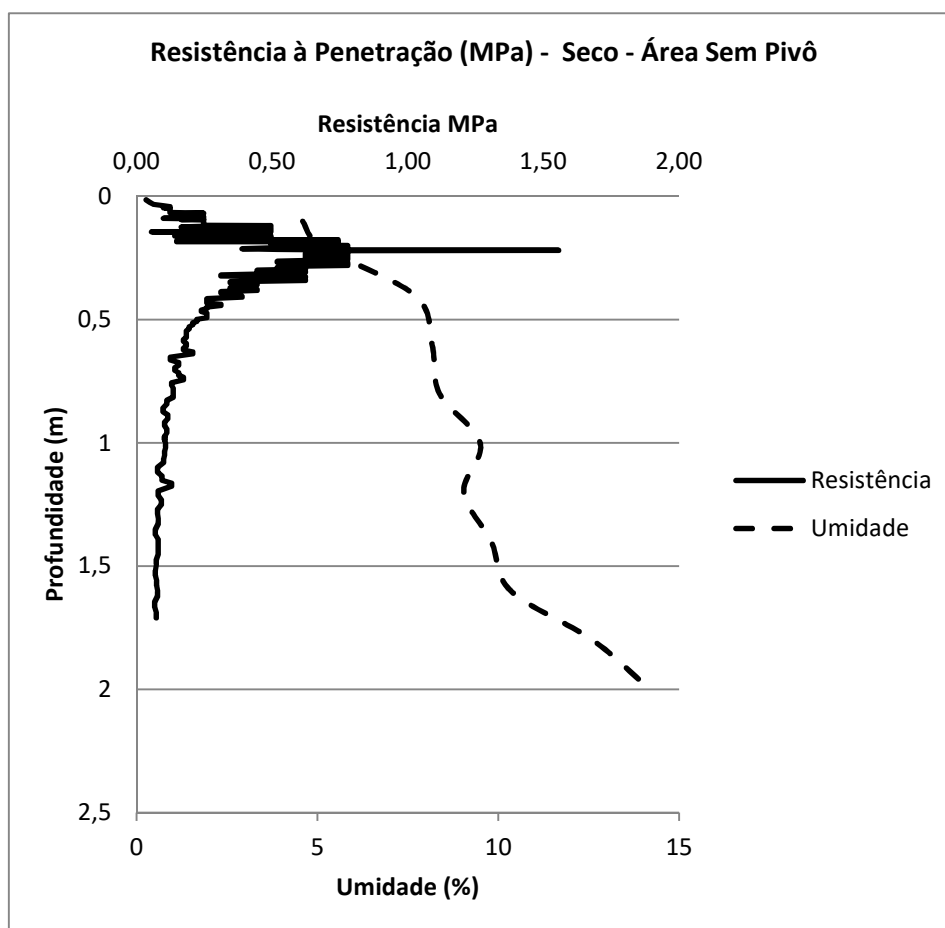
| Ensaio | Profundidade do furo (cm) | K (cm/s)              |
|--------|---------------------------|-----------------------|
| 1      | 25                        | $9,5 \times 10^{-4}$  |
| 2      | 50                        | $9,78 \times 10^{-4}$ |
| 3      | 100                       | $1,6 \times 10^{-3}$  |

#### 4.11.10 – Ensaio in situ de Resistência a Penetração

As curvas dos valores de resistência mecânica do solo a penetração dos locais ensaiados para profundidades até a ordem de 2m são apresentadas, nas Figuras 126, 127 e 128.

Os resultados obtidos Figura 126, indicam que em condições de solo seco ocorre na camada de 0 até 0,5 metro um conjunto de valores de resistência a penetração maior indicando a compactação do solo, e após esta camada inicial a resistência diminui com o aumento da profundidade e da umidade.

Os resultados das Figuras 127 e 128 indicam que em condições de solos úmidos a resistência a penetração diminui e os dois pontos ensaiados mantiveram semelhanças. A frente de molhamento, logo após o ensaio de infiltração, atingiu 160 cm no ponto 1 (Figura 127) e 140 cm no ponto 2 (Figura 128).



**Figura 126** – Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - solo seco – área sem pivô.

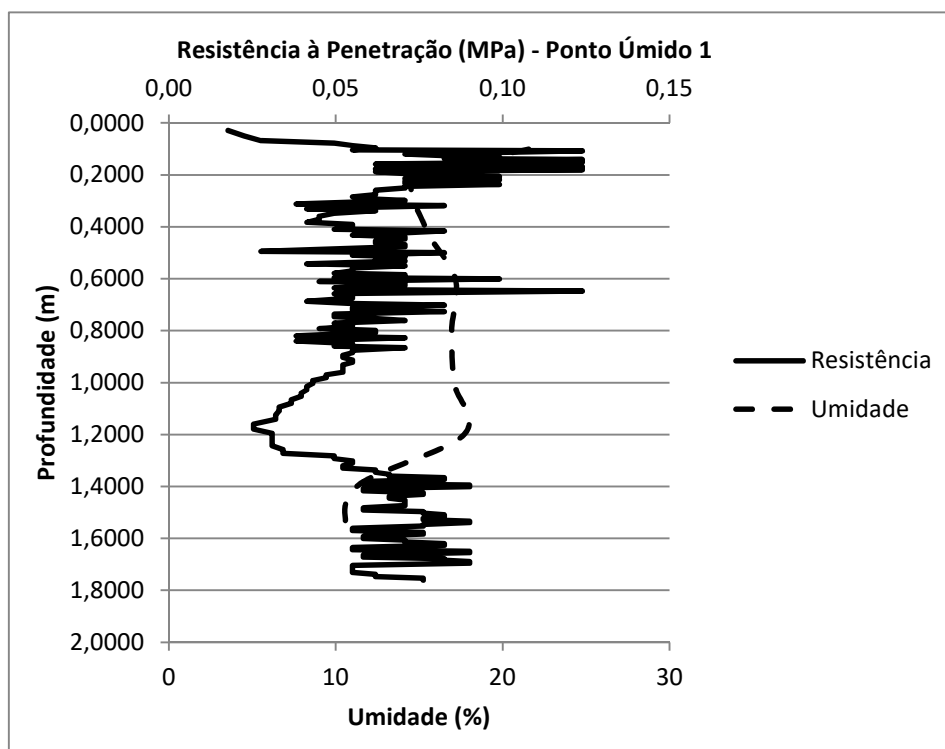


Figura 127 - Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - ponto úmido 1

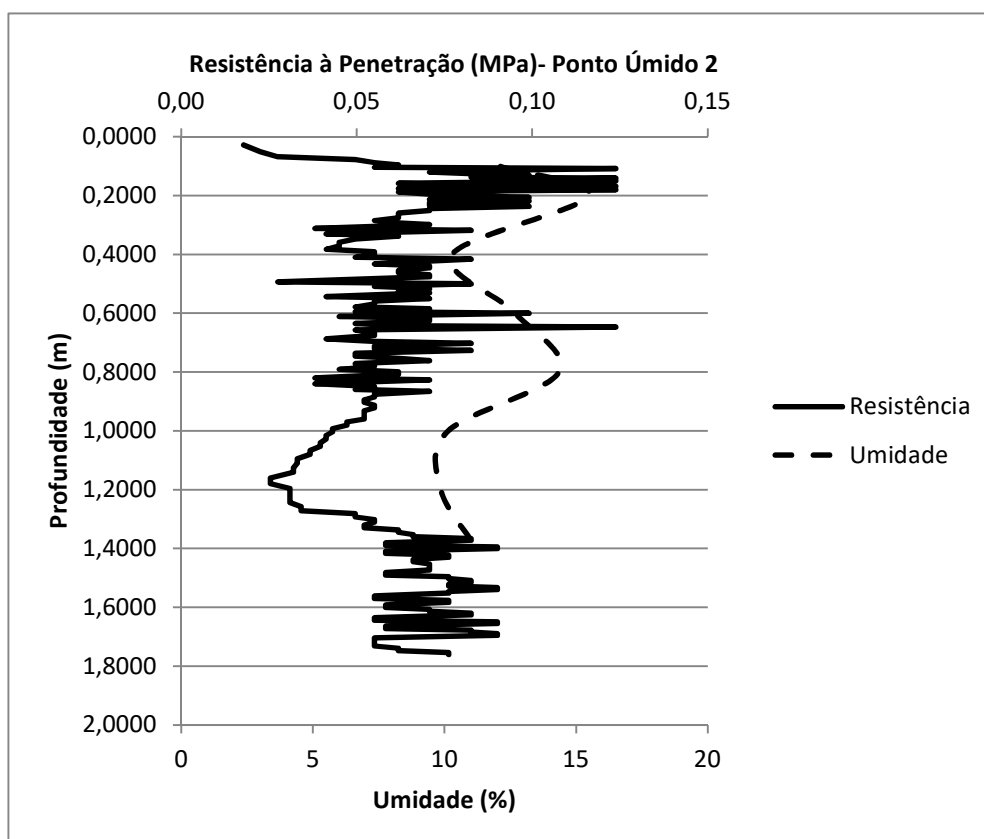


Figura 128 - Curva dos valores de Resistência a Penetração e de umidade - Ponto 2 - solo úmido

#### 4. 11.11 - Cálculo da Lâmina de Água para a Área Sem Pivô

A partir dos dados de caracterização geotécnica da área sem processo de irrigação e no sentido de avaliar a quantidade de água que demanda o processo de irrigação foi calculado o valor da lâmina de irrigação, para uma cultura de milho, por dois procedimentos distintos.

1 - Método Lima (2013) para pivô centrado na seguinte equação:

$$LB = \frac{(Kc \text{ máximo} \times ETr \text{ máxima})}{Ea}$$

Os dados de entrada foram obtidos por meio de relações empíricas consideradas nas literaturas específicas e com uso frequente pelo meio técnico, assim:

Eficiência de aplicação (Ea) = 90% (Lima, 2013)

Kcmáx = 0,95 (Doorenbos e Kassan, 1979)

Etrmáx = 7,5 mm/dia (Embrapa Milho e Sorgo, 2008)

Então:

$$LB = \frac{(0,95 \times 7,5)}{0,9} = 7,9 \text{ mm/dia}$$

2 - Determinação da lâmina líquida (hi) e lâmina bruta (LB) armazenada no solo pelo de Método do Balanço Hídrico Simplificado para irrigação por aspersão dado pela seguinte equação:

$$hi = (CAD) \times dg \times p \times y \rightarrow \text{expressa em mm}$$

$$LB = \frac{hi}{Ea} \rightarrow \text{expressa em mm}$$

Onde:

$$CAD = \frac{U_{cc} - U_{PM} \times dg}{10}$$

$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \cdot X) - 0,00348 (X)^2 \rightarrow$  expressa em % de massa (Método Indireto de Arruda (1987))

X = porcentagem de argila + silte  $\rightarrow$  obtido através do gráfico de Granulometria Conjunta da área sem pivô.

$$U_{PM} = \frac{398,9 \cdot X}{(1.308,1 + X)} \rightarrow \text{Expressa em \% de massa (Método Indireto de Arruda (1987))}$$

X = porcentagem de argila + silte  $\rightarrow$  obtido através do gráfico de Granulometria Conjunta da área sem pivô.

$$dg = 1,7 \text{ g/cm}^3 \text{ ( Tabela 12)}$$

$$y = 0,50 \text{ (Dorrenbos e Kassan, 1979)}$$



$$E_a = 90\%$$

$p$  = profundidade da raiz em cm

Assim:

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \cdot X) - 0,00348 (X)^2$$

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629 \times (29,2)) - 0,00348 (29,2)^2$$

$$U_{cc} = 18,5 \%$$

$$U_{PM} = \frac{398,9 \cdot (29,2)}{(1.308,1 + 29,2)}$$

$$U_{PM} = 8,7 \%$$

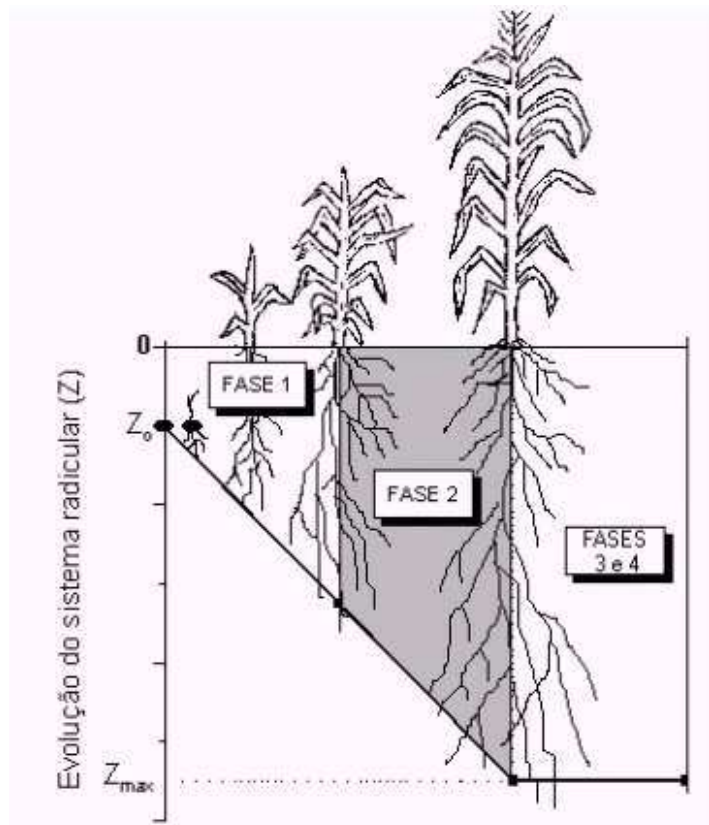
$$CAD = 1,6 \text{ mm/cm}$$

$$h_i = (CAD) \times p \times y$$

$$h_i = 1,6 \times 0,5 \times p$$

$$h_i = 0,8p$$

Considerando os estádios de desenvolvimento das raízes:



**Figura 129** - Fases de desenvolvimento das raízes. Fonte: Cruz *et.al.* (2008).

Assim:

**Tabela 18** - Resultados da Lâmina Líquida e Bruta

|                                  |      |    |       |
|----------------------------------|------|----|-------|
| <b>Fases de Desenvolvimento</b>  | 1    | 2  | 3 e 4 |
| <b>Profundidade da Raiz (cm)</b> | 15   | 35 | 50    |
| <b>Lâmina Líquida (mm)</b>       | 12   | 28 | 40    |
| <b>Lâmina Bruta (mm)</b>         | 13,3 | 31 | 44    |

### Cálculo dos ciclos de irrigação

Intervalo entre as irrigações – Turno de Rega (TR) é dado em função da capacidade de armazenamento de água no solo, pela equação:

$$TR = \frac{CAD \times p \times y}{ETc}$$

Desta maneira a Lâmina a ser aplicada será dada por:

$$LL = TR \times ETc$$

Onde:

Evapotranspiração da Cultura (ETc) é dado por:  $ETc = ET_0 \times Kc$

E a Lâmina Bruta a ser aplicada será obtida por:

$$LB = \frac{LL}{Ea}$$

Assim:

**Tabela 19** – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 2,5 mm/dia

| ET <sub>0</sub> | Kc     |        |        | TR (dias) |        |        | LL (mm) |        |        | LB (mm) |        |        | Ea  |
|-----------------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-----|
|                 | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1    | fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | fase 2 | Fase 3 |     |
| 2,5             | 0,7    | 1,05   | 1,1    | 11        | 15     | 23     | 19      | 38,47  | 64     | 21,33   | 42,75  | 71,11  | 0,9 |
| ETc             | 1,75   | 2,625  | 2,75   |           |        |        |         |        |        |         |        |        |     |

Onde: Kc – Coeficiente da Cultura; TR – Turno de Irrigação; LL – Lâmina Líquida; LB – Lâmina Bruta; Ea – Eficiência de irrigação; ET<sub>0</sub> – Evapotranspiração de Referência; ETc – Evapotranspiração da Cultura.

**Tabela 20** – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 5 mm/dia

| ET <sub>0</sub> | Kc     |        |        | TR     |        |        | LL (mm) |        |        | LB (mm) |        |        | Ea  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-----|
|                 | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1 | fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | fase 2 | Fase 3 |     |
| 5               | 0,7    | 1,05   | 1,1    | 4      | 5      | 9      | 14,4    | 28,80  | 48     | 16,00   | 32,00  | 53,33  | 0,9 |
| ETc             | 3,5    | 5,25   | 5,5    |        |        |        |         |        |        |         |        |        |     |

Onde: Kc – Coeficiente da Cultura; TR – Turno de Irrigação; LL – Lâmina Líquida; LB – Lâmina Bruta; Ea – Eficiência de irrigação; ET<sub>0</sub> – Evapotranspiração de Referência; ETc – Evapotranspiração da Cultura.

**Tabela 21** – Resultados do Turno de irrigação, Lâmina Líquida e Lâmina Bruta para Evapotranspiração de Referência 7,5 mm/dia

| ET <sub>0</sub> | Kc     |        |        | TR     |        |        | LL (mm) |        |        | LB (mm) |        |        | Ea  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-----|
|                 | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1 | fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | Fase 2 | Fase 3 | Fase 1  | fase 2 | Fase 3 |     |
| 7,5             | 0,8    | 1,2    | 1,15   | 2      | 2      | 4      | 9,6     | 19,2   | 32,09  | 10,67   | 21,33  | 35,66  | 0,9 |
| ETc             | 6      | 9      | 8,625  |        |        |        |         |        |        |         |        |        |     |

Onde: Kc – Coeficiente da Cultura; TR – Turno de Irrigação; LL – Lâmina Líquida; LB – Lâmina Bruta; Ea – Eficiência de irrigação; ET<sub>0</sub> – Evapotranspiração de Referência; ETc – Evapotranspiração da Cultura.

## 4.12 - ANÁLISES DAS ÁREAS COM PIVÔ DE IRRIGAÇÃO.

Um grupo de áreas irrigadas foi escolhido no sentido de gerar dados que permitissem avaliar alterações nas características texturais e químicas dos materiais em função do processo de irrigação. Um grupo de ensaios foi executado, a saber: Granulometria Conjunta, CE, pH e CTC das áreas irrigadas onde realizou-se amostragem de solo a cada 10cm (denominadas de pontos nas tabelas de resultados) de profundidade até a ordem de 2m.

### 4.12.1 - Área Irrigada - Pivô 77 C

O pivô de irrigação denominado 77 C, possui uma área de 0,75 Km<sup>2</sup> e a localização encontra-se na Figura 130, quando realizada a amostragem de solo, havia restos culturais de milho, e encontrava-se em preparação para o plantio de soja. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 131 e na Tabela 22 respectivamente.

A CTC variou muito pouco entre todas as profundidades amostradas e com valores baixos refletindo a constituição mineralógica dos solos.

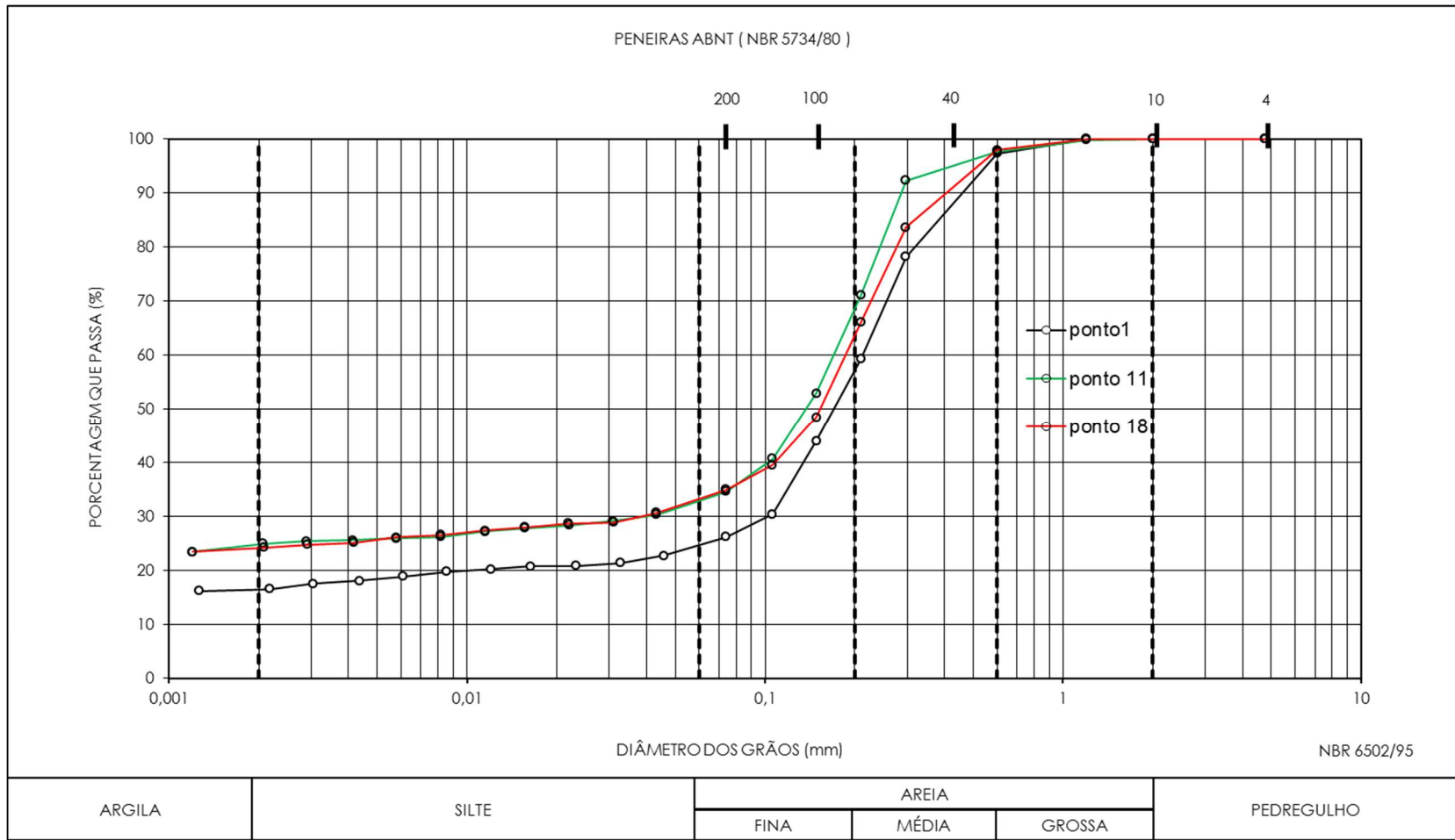
A caulinita possui uma baixa substituição isomórfica, as cargas ocorrem por adsorção ou dissociação dos íons de hidrogênio, conforme o pH do solo. Desta maneira, as cargas deste mineral são predominantemente do tipo pH-dependente, ou seja, são influenciadas pelas reações do solo. Assim se o pH diminuir a CTC diminui e se o pH aumentar a CTC aumenta, o que pode ser observado nos resultados quando houve aumento do pH ocorreu aumento da CTC entre os pontos 6 a 12.



**Tabela 22** - Dados de CE, pH e CTC – Amostras 77C

| Amostra P 77C    |           |      |                |
|------------------|-----------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE(μS/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 299       | 6,11 | 1,55           |
| 2                | 138       | 5,89 | 1,55           |
| 3                | 140       | 5,96 | 1,55           |
| 4                | 112       | 5,85 | 1,55           |
| 5                | 123       | 5,99 | 1,55           |
| 6                | 119       | 6,06 | 1,55           |
| 7                | 133       | 6,12 | 1,86           |
| 8                | 140       | 6,19 | 1,86           |
| 9                | 149       | 6,18 | 1,86           |
| 10               | 177       | 6,08 | 1,86           |
| 11               | 228       | 6,08 | 1,86           |
| 12               | 236       | 6,07 | 1,86           |
| 13               | 229       | 6,09 | 1,55           |
| 14               | 185       | 6,05 | 1,55           |
| 15               | 166       | 5,75 | 1,55           |
| 16               | 156       | 5,53 | 1,55           |
| 17               | 163       | 5,47 | 1,86           |
| 18               | 165       | 5,52 | 1,86           |

**Figura130** – Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 77 C. Ano de referência 1988.



**Figura 131** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P77C

O pH do solo governa diretamente as reações do solo e influencia a disponibilidade dos nutrientes. Os macro nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, possuem sua disponibilidade aumentada a valores de pH próximos a neutralidade (pH entre 6,0 – 6,5). Para valores de pH inferiores a 5,5 ocorre elevada atividade de elementos Al e Mn. O P é muito pouco disponível em condições de pH baixo em razão da retenção do ânion fosfato pelas partículas carregadas positivamente na superfície dos óxidos. Os elementos zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B) e cloro (Cl), têm sua disponibilidade aumentada em condições de pH mais ácidos.

A superfície específica baixa e limitada capacidade de adsorção da caulinita com referência aos cátions e às moléculas de água pode explicar os valores de condutividade elétrica ao longo perfil amostrado.

Os pontos 1, 11, 12 e 13 apresentam valores elevados de condutividade elétrica, enquanto os demais não variam significativamente. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 11 a 13 ocorre um acúmulo com alta condutividade. Este fato pode estar sendo influenciado pela textura do solo.

A textura adquire importância, portanto, nas relações solo-água-plantas-atmosfera, e interfere na capacidade de infiltração da água, na evaporação e no suprimento de nutrientes. Partículas mais grosseiras como quartzo e areia, apresentam menor capacidade de retenção de água e reduzida atividade química, mas, por outro lado, facilitam a drenagem e aeração do solo.

Quando se observa a curva granulométrica nota-se que no ponto 11 há um aumento no teor de argila quando comparado com o ponto 1. Este aumento do teor de argila pode estar retendo água e cátions, por isso os valores de condutividade elétrica.

Apesar da textura do solo apresentar-se mais arenosa e, conseqüentemente, ocorrer maior facilidade de infiltração da água aplicada via pivô central, se a lâmina de água aplicada não estiver corretamente dimensionada os cátions poderão ser lixiviados pelo perfil, pois nota-se que a condutividade vai aumentando gradativamente a partir do ponto 16. A lixiviação dos cátions explica a presença de metais nas águas das fontes.

#### 4.12.2 - Área Irrigada - Pivô 20 C.

O pivô de irrigação denominado 22 C, com localização conforme Figura 132 possui uma área de 1,42 Km<sup>2</sup> e quando realizada a amostragem de solo, havia restos culturais de milho e estava em preparação para um novo plantio. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na manteve-se ácido para todas as amostras

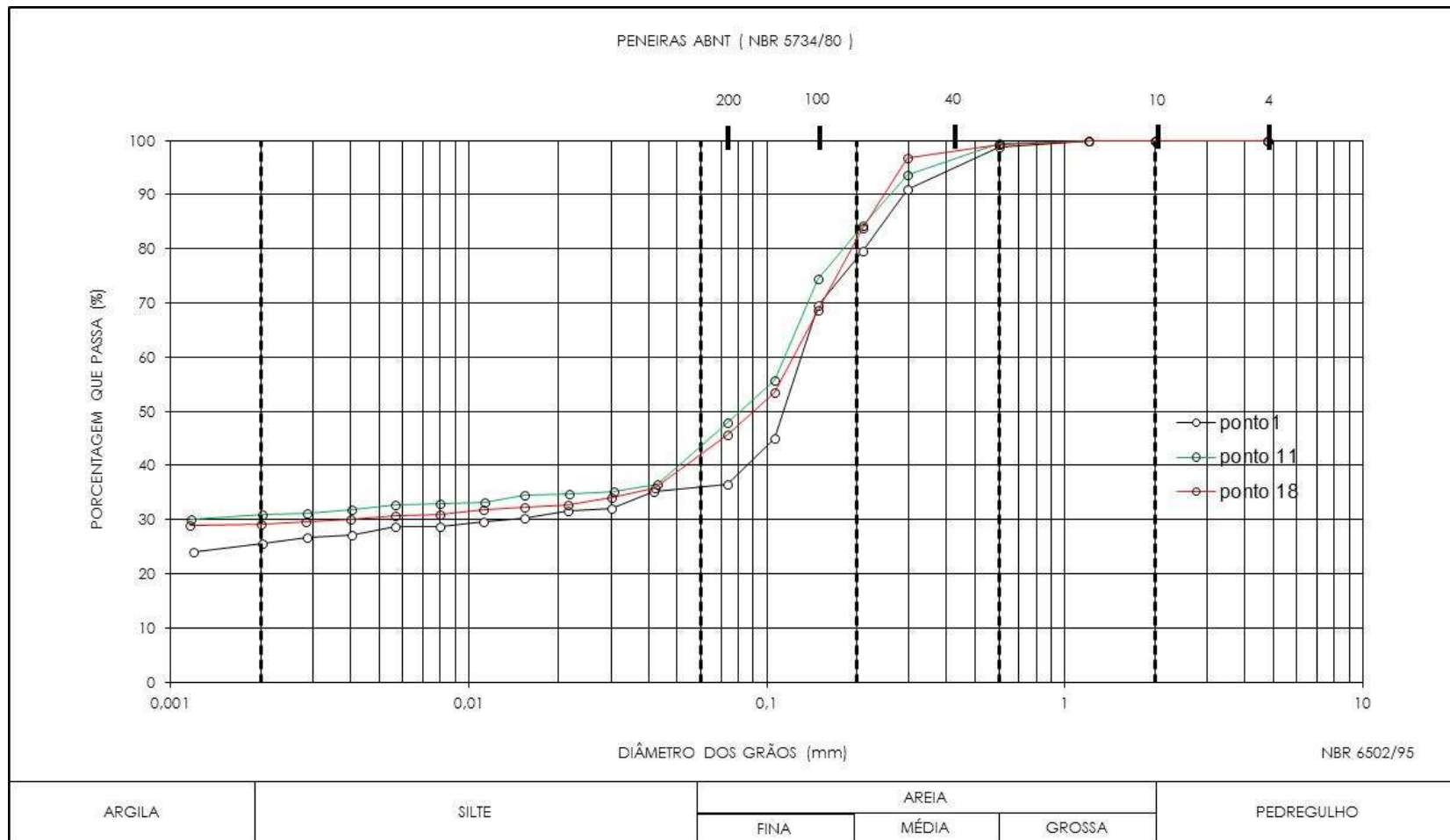
Os pontos 10, 11, 15, 16, 17 e 18 apresentam valores elevados de condutividade elétrica – Tabela 23. O ponto 3 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 10 a 11 ocorre uma camada com alta condutividade. A curva granulométrica Figura 133, mostra uma variação do teor de argila entre 25 a 30%.





**Tabela 23 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P20 C**

| AMOSTRA P 20C    |                 |      |                |
|------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 247             | 5,53 | 1,55           |
| 2                | 161             | 5,44 | 1,86           |
| 3                | 138             | 5,44 | 2,17           |
| 4                | 152             | 5,56 | 1,86           |
| 5                | 173             | 5,74 | 2,48           |
| 6                | 229             | 6,01 | 1,86           |
| 7                | 279             | 6,06 | 1,86           |
| 8                | 294             | 6,25 | 1,86           |
| 9                | 306             | 6    | 1,86           |
| 10               | 324             | 5,43 | 2,17           |
| 11               | 344             | 5,32 | 1,86           |
| 12               | 278             | 5,21 | 1,86           |
| 13               | 242             | 5,12 | 1,86           |
| 14               | 269             | 5,06 | 2,17           |
| 15               | 329             | 5,01 | 2,17           |
| 16               | 308             | 4,97 | 1,86           |
| 17               | 318             | 4,99 | 1,86           |
| 18               | 336             | 5,04 | 2,17           |

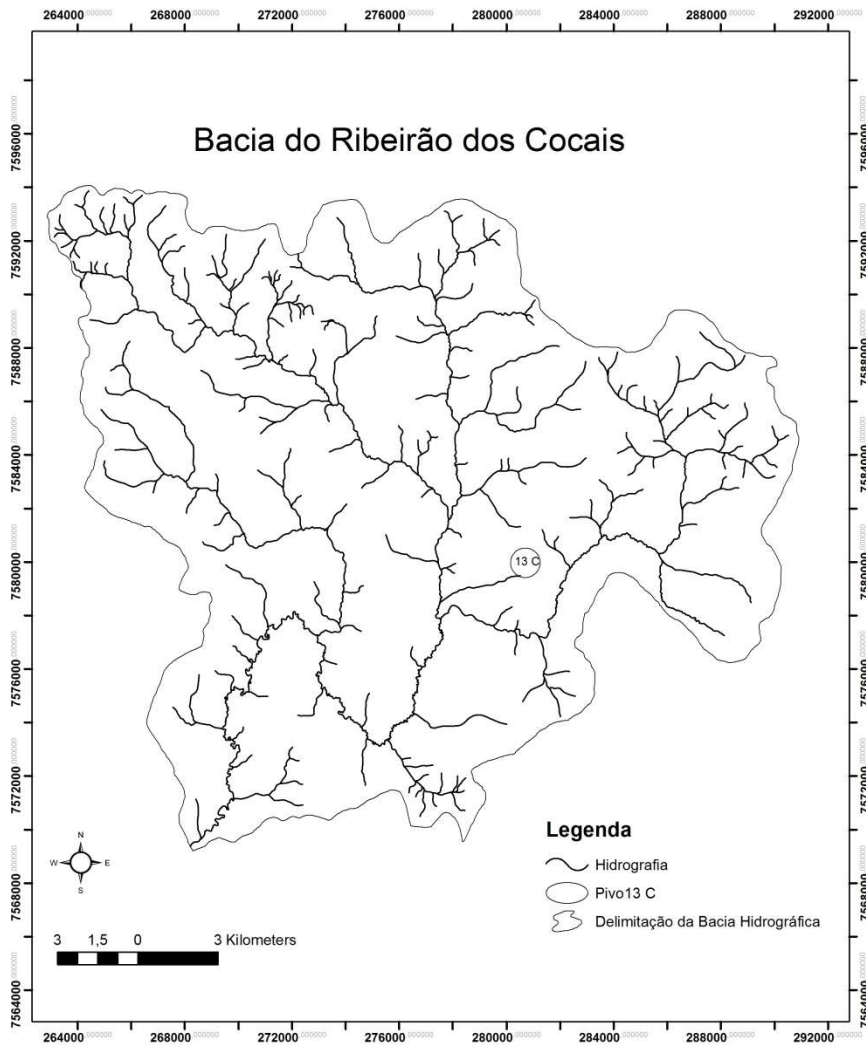


**Figura 133** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P20C

#### 4.12.3 - Área Irrigada - Pivô 13 C

O pivô de irrigação denominado 13 C, possui uma área de 0,57 Km<sup>2</sup> e localizado de acordo com a Figura 134 e na época da amostragem de solo, havia restos culturais de milho. Já estava sendo preparado para com maquinários agrícolas para a plantação de soja. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 135 e na Tabela 24, respectivamente. As curvas granulométricas mostram uma variação dos teores de argila entre 15 a 25% e a CTC manteve-se entre 0,93 e 1,55 e o pH ácido.

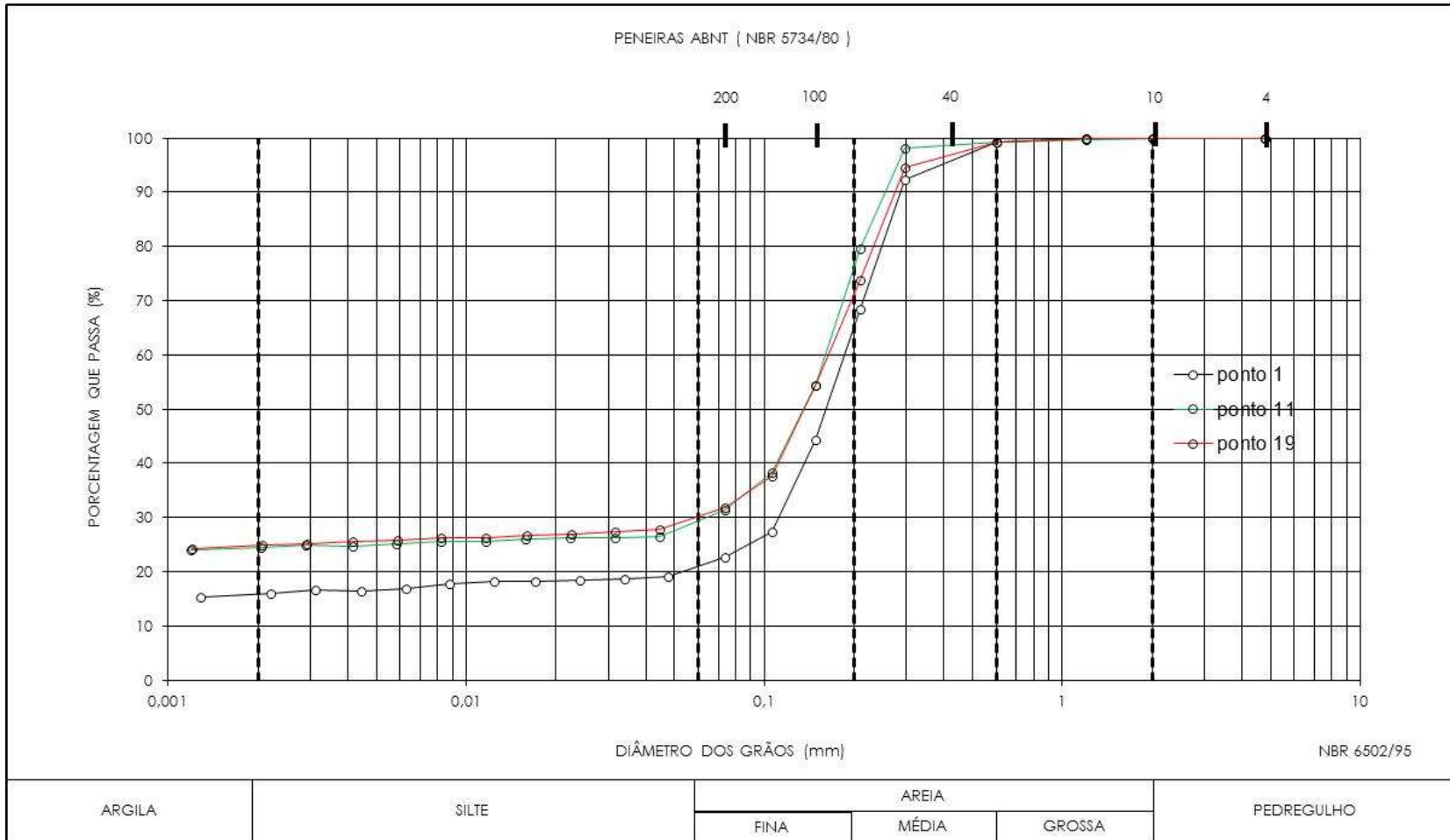
Os pontos 16, 17, 18 e 19 apresentam valores elevados de condutividade elétrica. O ponto 5 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 10 a 11 ocorrem valores com alta condutividade elétrica.



**Figura 134** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 13 C. Ano de referência 1988.

**Tabela 24** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras 13C

| AMOSTRA 13 C     |                 |      |                |
|------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 181,3           | 5,71 | 1,55           |
| 2                | 128,5           | 6    | 1,55           |
| 3                | 121,8           | 5,5  | 1,55           |
| 4                | 123,1           | 5,03 | 1,55           |
| 5                | 94,2            | 4,91 | 1,86           |
| 6                | 120,4           | 4,8  | 1,55           |
| 7                | 104,9           | 5,21 | 1,55           |
| 8                | 104,6           | 5,51 | 1,55           |
| 9                | 107,4           | 5,63 | 1,55           |
| 10               | 102             | 5,64 | 1,55           |
| 11               | 100,7           | 5,69 | 1,55           |
| 12               | 119,8           | 5,84 | 1,24           |
| 13               | 112,2           | 5,87 | 1,24           |
| 14               | 147,4           | 5,99 | 1,24           |
| 15               | 180,6           | 6,07 | 0,93           |
| 16               | 210,5           | 6,11 | 1,24           |
| 17               | 240,1           | 6,17 | 0,93           |
| 18               | 297             | 6,19 | 0,93           |
| 19               | 342,5           | 6,18 | 1,24           |

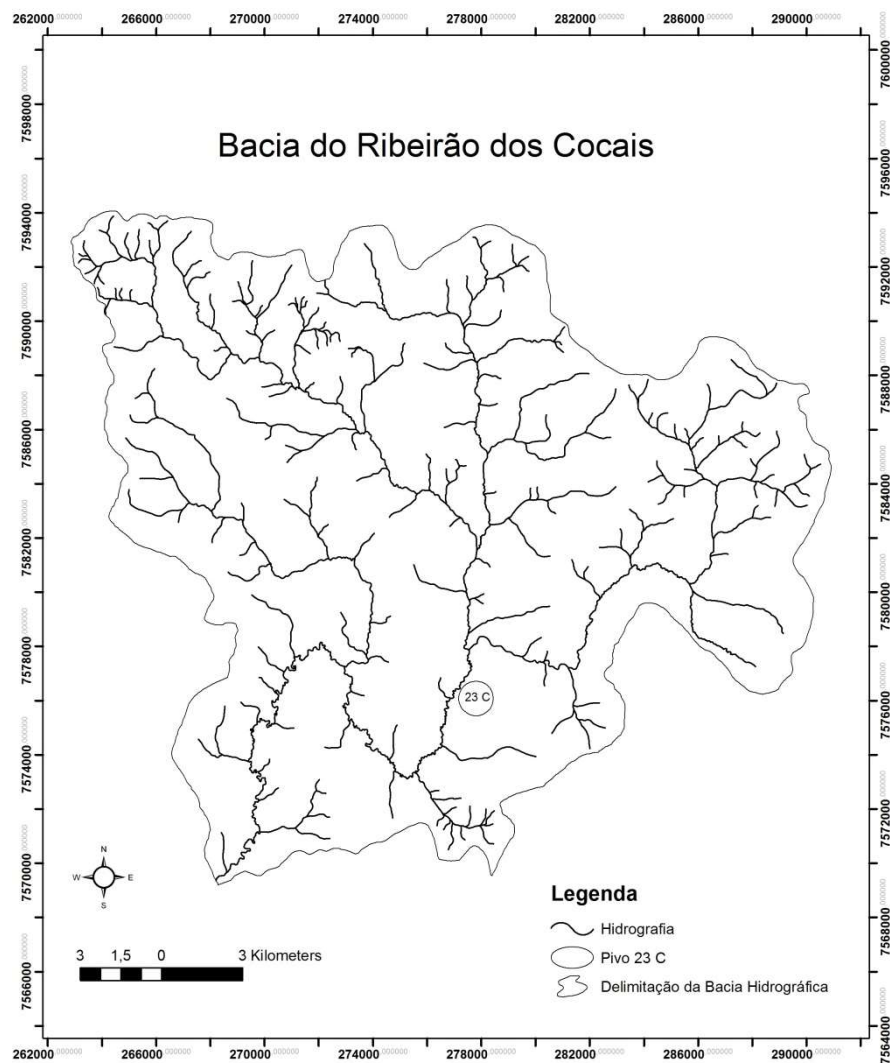


**Figura 135 - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P13 C**

#### 4.12.4 - Área Irrigada - Pivô 23 C

O pivô de irrigação denominado 23 C localizado de acordo com a Figura 136, possui uma área de 1,22 Km<sup>2</sup> e no período da amostragem de solo, havia restos culturais do plantio de milho. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 137 e na Tabela 25, respectivamente. O teor de argila variou de 21 a 30%, e a CTC manteve-se entre 1,55 a 2,17 enquanto o pH manteve-se ácido em todas as amostras.

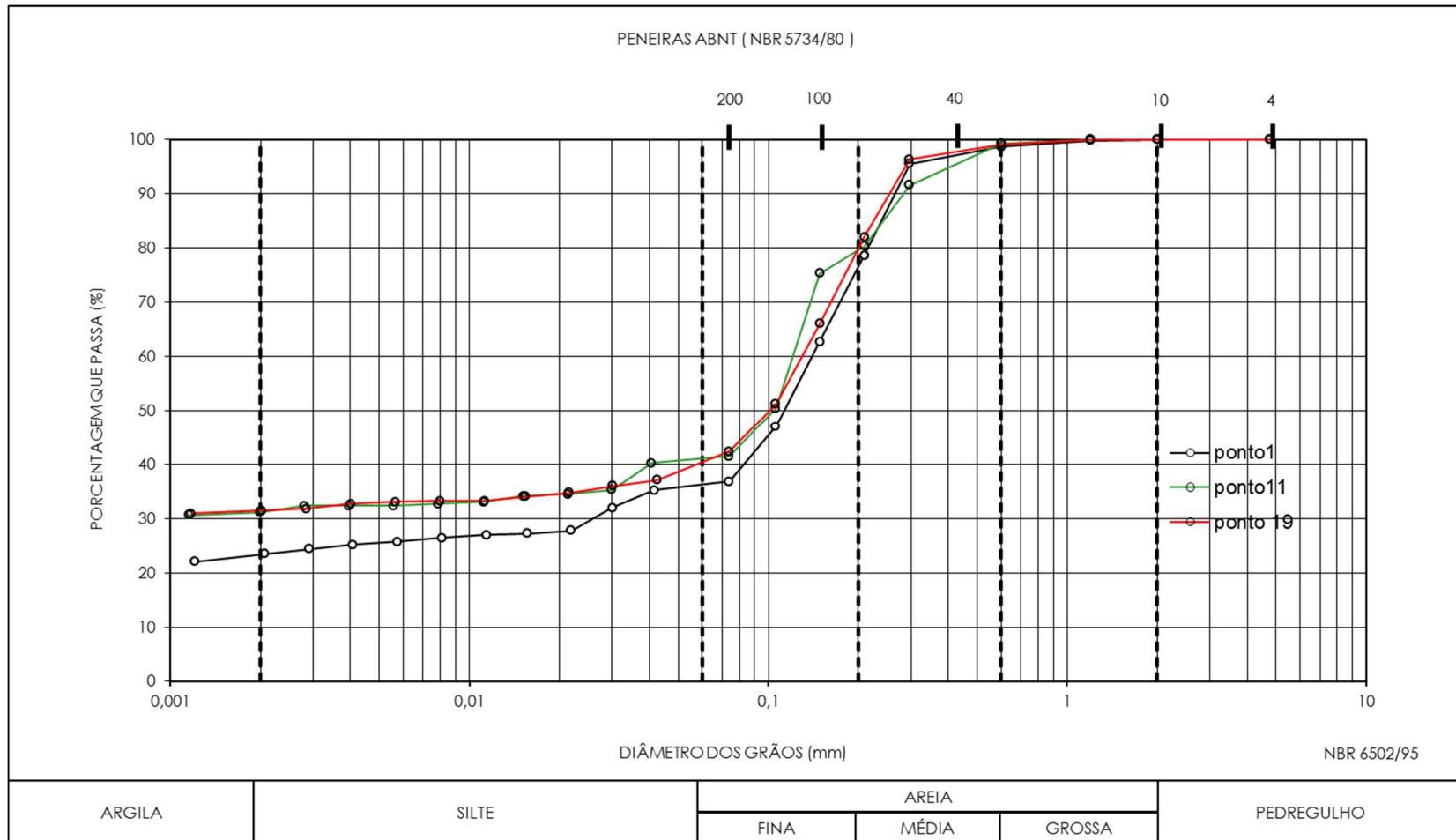
O ponto 18 apresentou valor elevado de condutividade elétrica. O ponto 9 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 14 a 18 ocorre uma camada com alta condutividade.



**Figura 136** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 23 C. Ano de referência 1988.

**Tabela 25** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras 23C

| AMOSTRA 23C      |                               |      |                |
|------------------|-------------------------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 312                           | 5,55 | 1,55           |
| 2                | 283                           | 5,95 | 1,55           |
| 3                | 162                           | 6,19 | 1,55           |
| 4                | 142                           | 6,46 | 1,86           |
| 5                | 164                           | 6,3  | 1,55           |
| 6                | 146                           | 6,49 | 2,17           |
| 7                | 127                           | 6,47 | 1,55           |
| 8                | 106                           | 6,44 | 1,55           |
| 9                | 112                           | 6,42 | 1,55           |
| 10               | 119                           | 6,28 | 1,86           |
| 11               | 132                           | 6,2  | 1,55           |
| 12               | 170                           | 6,26 | 1,55           |
| 13               | 182                           | 6,28 | 1,55           |
| 14               | 208                           | 6,33 | 1,55           |
| 15               | 229                           | 6,24 | 1,55           |
| 16               | 249                           | 6,04 | 1,55           |
| 17               | 307                           | 6,19 | 1,86           |
| 18               | 310                           | 6    | 1,55           |
| 19               | 299                           | 5,7  | 1,55           |



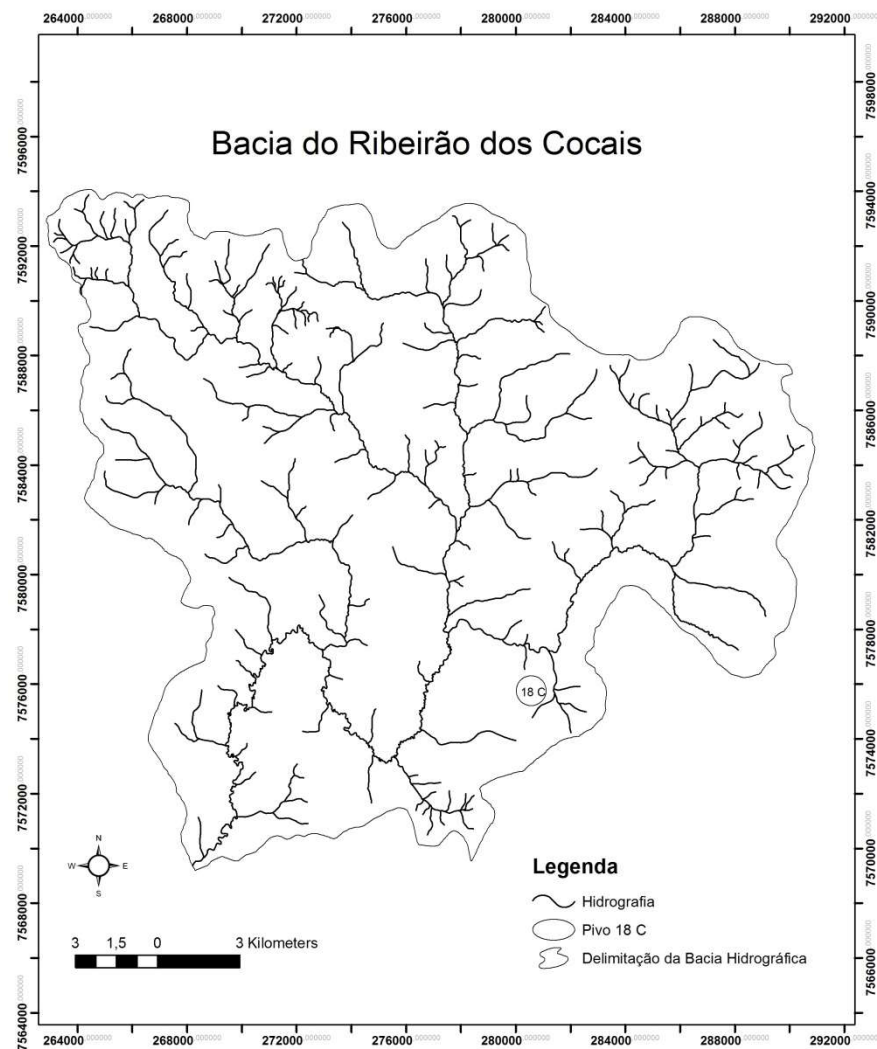
**Figura 137** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P23 C



#### 4.12.5 - Área Irrigada – Pivô 18 C

O pivô de irrigação denominado 18 C, com localização mostrada na Figura 138 possui uma área de 0,93 Km<sup>2</sup> e apresentava as palhas da plantação de milho durante a amostragem de solo. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 139 e na Tabela 26, respectivamente. O pH das amostras é classificado como ácido, a CTC manteve-se entre 1,86 a 2,48 e granulometricamente o que chama atenção é a variação da quantidade de argila de 21 a 30%.

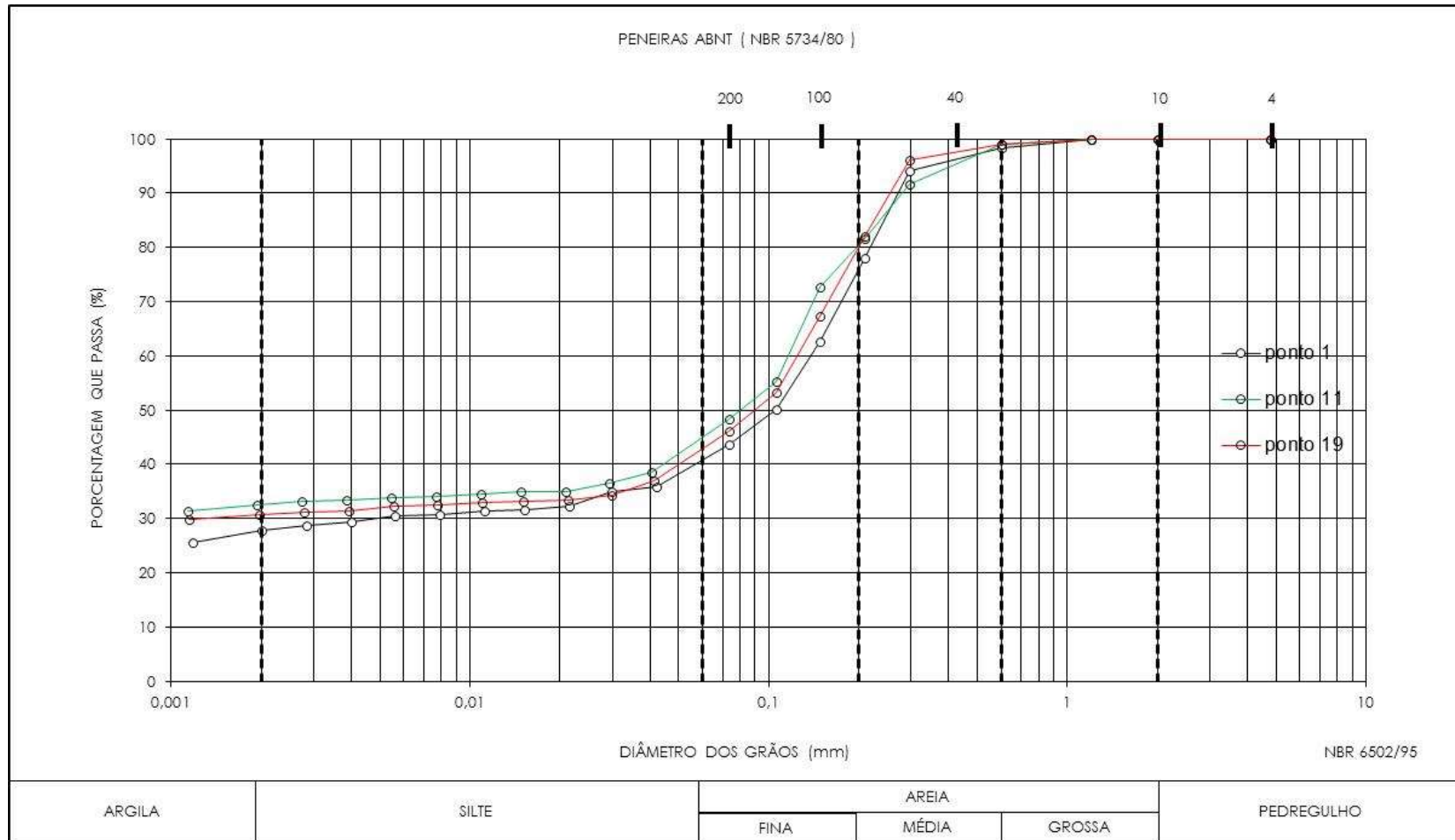
O ponto 7 apresentou valor elevado de condutividade elétrica. O ponto 19 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 8 a 9 ocorre um acúmulo com alta condutividade.



**Figura 138** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 18 C. Ano referência 2000.

**Tabela 26** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P18C

| AMOSTRA P 18C    |                 |      |                |
|------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 122,4           | 6,08 | 2,48           |
| 2                | 157,2           | 5,83 | 1,86           |
| 3                | 133,3           | 5,89 | 1,86           |
| 4                | 134             | 6,12 | 1,86           |
| 5                | 141             | 6,78 | 1,86           |
| 6                | 162,5           | 6,73 | 2,17           |
| 7                | 189,9           | 6,03 | 1,86           |
| 8                | 171,4           | 5,85 | 2,48           |
| 9                | 150,4           | 5,72 | 2,17           |
| 10               | 133,5           | 5,63 | 1,86           |
| 11               | 121,5           | 5,66 | 2,17           |
| 12               | 119,5           | 5,63 | 2,17           |
| 13               | 137,1           | 5,66 | 2,17           |
| 14               | 143,1           | 5,62 | 2,17           |
| 15               | 133,7           | 5,59 | 1,86           |
| 16               | 108,8           | 5,62 | 2,17           |
| 17               | 95,2            | 5,63 | 1,86           |
| 18               | 87,1            | 5,6  | 2,17           |
| 19               | 88,7            | 5,6  | 1,86           |

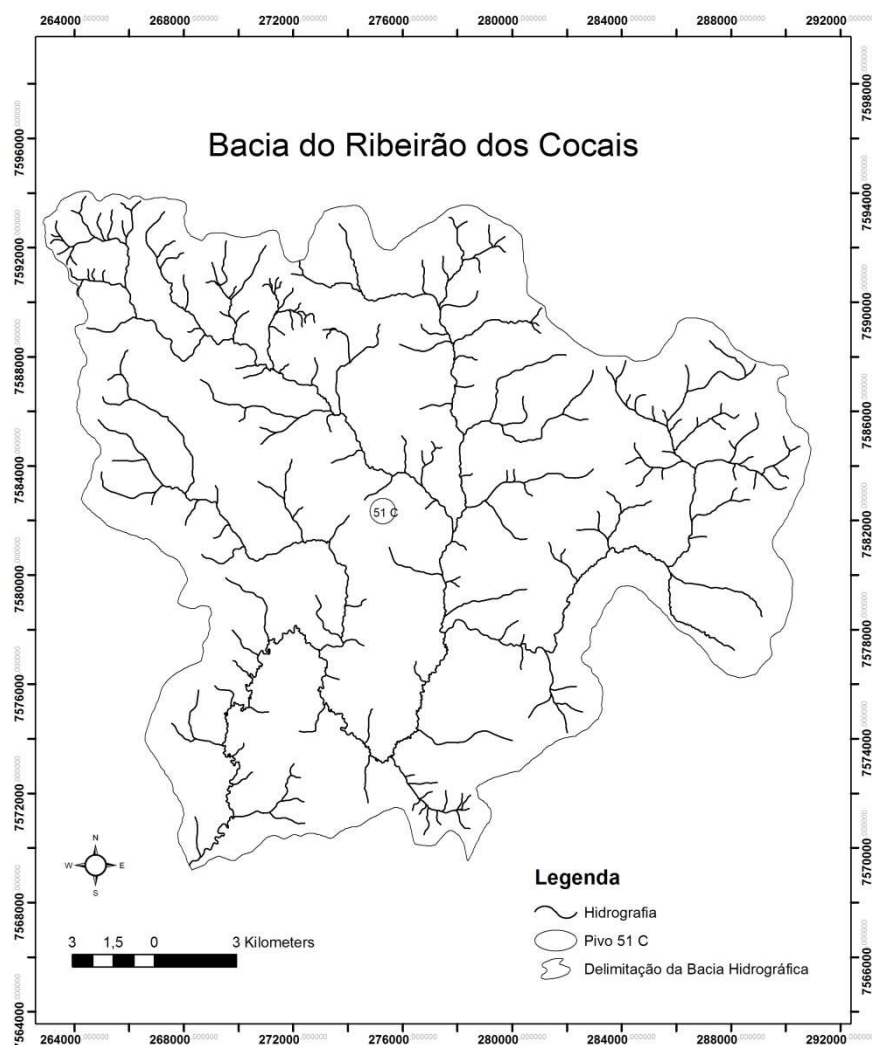


**Figura 139** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P18C

#### 4.12.6 - Área Irrigada - Pivô 51 C

A localização do pivô de irrigação denominado 51 C encontra-se na Figura 140 e possui uma área de 0,42 Km<sup>2</sup> e na época da amostragem de solo, esta ocupada com a plantação de cana de açúcar. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 141 e na Tabela 27, respectivamente. Observa-se que os valores de pH apresentou variações entre o básico e o ácido, porém a CTC manteve-se entre 1,86 a 2,17 o teor de argila variou entre 21 a 30%..

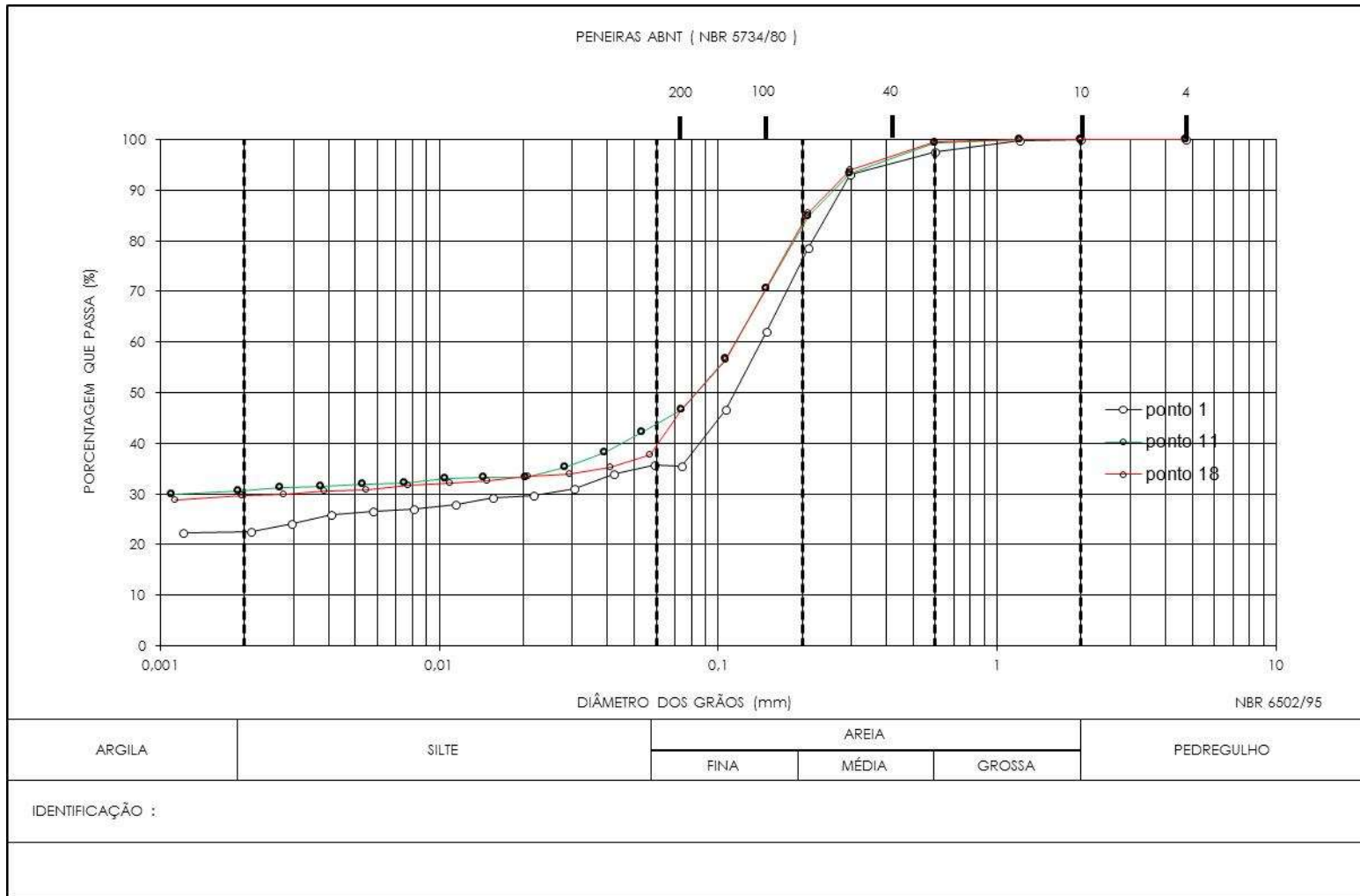
O ponto 8 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 16 e 17 ocorre um acúmulo com alta condutividade.



**Figura 140** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 51 C. Ano referência 2000.

**Tabela 27** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P51C

| AMOSTRA P 51C    |                 |      |                |
|------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 291             | 7,84 | 2,17           |
| 2                | 257             | 8,24 | 1,86           |
| 3                | 225             | 8,23 | 1,86           |
| 4                | 227             | 7,84 | 1,86           |
| 5                | 286             | 7,89 | 1,86           |
| 6                | 331             | 7,81 | 1,86           |
| 7                | 293             | 7,82 | 1,86           |
| 8                | 264             | 7,79 | 1,86           |
| 9                | 298             | 7,74 | 1,86           |
| 10               | 274             | 7,78 | 1,86           |
| 11               | 295             | 7,74 | 2,17           |
| 12               | 345             | 7,73 | 1,86           |
| 13               | 375             | 7,69 | 2,17           |
| 14               | 373             | 7,58 | 1,86           |
| 15               | 389             | 7,18 | 1,55           |
| 16               | 437             | 6,64 | 1,55           |
| 17               | 441             | 6,36 | 1,86           |
| 18               | 368             | 6,37 | 1,86           |



**Figura 141** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P51C

#### **4.12.7 - Área Irrigada - Pivô 65 C - Ponto A.**

O pivô de irrigação denominado 65 C, possui uma área de 0,32 Km<sup>2</sup> quando realizada a amostragem de solo, havia restos culturais de cana e a posição geográfica pode ser observada na Figura 142. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 143 e na Tabela 28, respectivamente. Os valores dos teores de argila estão entre 21 e 30%, a CTC entre 1,8 e 2,1 e os valores de pH ácidos.

O ponto 5 foi que apresentou menor valor. Observa-se, entretanto, que entre os pontos de 16 e 17 ocorre um acúmulo com alta condutividade. Este fato pode estar sendo influenciado pela textura do solo.

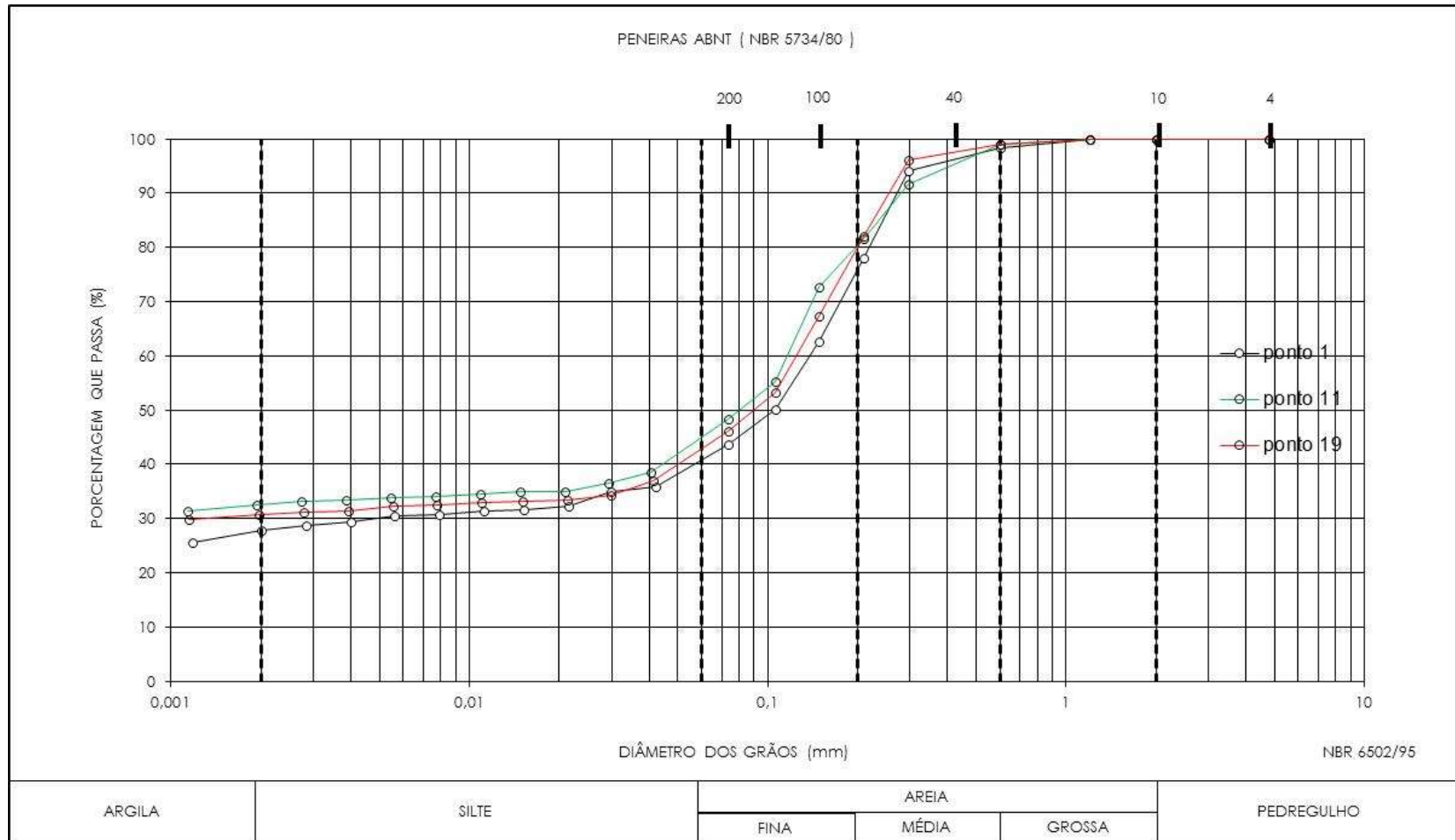


**Figura 142** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 65 C – Ponto A. Ano Referência 2000.

**Tabela 28** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 65 C - PONTO A

| AMOSTRA P65 C (PONTO A) |           |      |                |
|-------------------------|-----------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS        | CE(μS/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                       | 260       | 5,31 | 2,17           |
| 2                       | 245       | 5,88 | 1,86           |
| 3                       | 112       | 5,8  | 1,86           |
| 4                       | 106       | 5,78 | 2,17           |
| 5                       | 87,2      | 5,56 | 2,17           |
| 6                       | 98,7      | 5,52 | 1,86           |
| 7                       | 100,9     | 5,59 | 1,86           |
| 8                       | 98,6      | 5,66 | 1,55           |
| 9                       | 101,6     | 5,73 | 1,86           |
| 10                      | 107,1     | 5,78 | 1,55           |
| 11                      | 116,2     | 5,8  | 1,86           |
| 12                      | 125,5     | 5,88 | 1,86           |
| 13                      | 117,1     | 5,84 | 1,86           |
| 14                      | 108,2     | 5,96 | 1,86           |
| 15                      | 115,5     | 6,09 | 1,86           |
| 16                      | 125,7     | 4,65 | 1,86           |
| 17                      | 140,1     | 5,89 | 1,86           |





**Figura 143** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P65C – Ponto A

#### **4.12.8 - Área Irrigada - Pivô 69 C - Ponto B.**

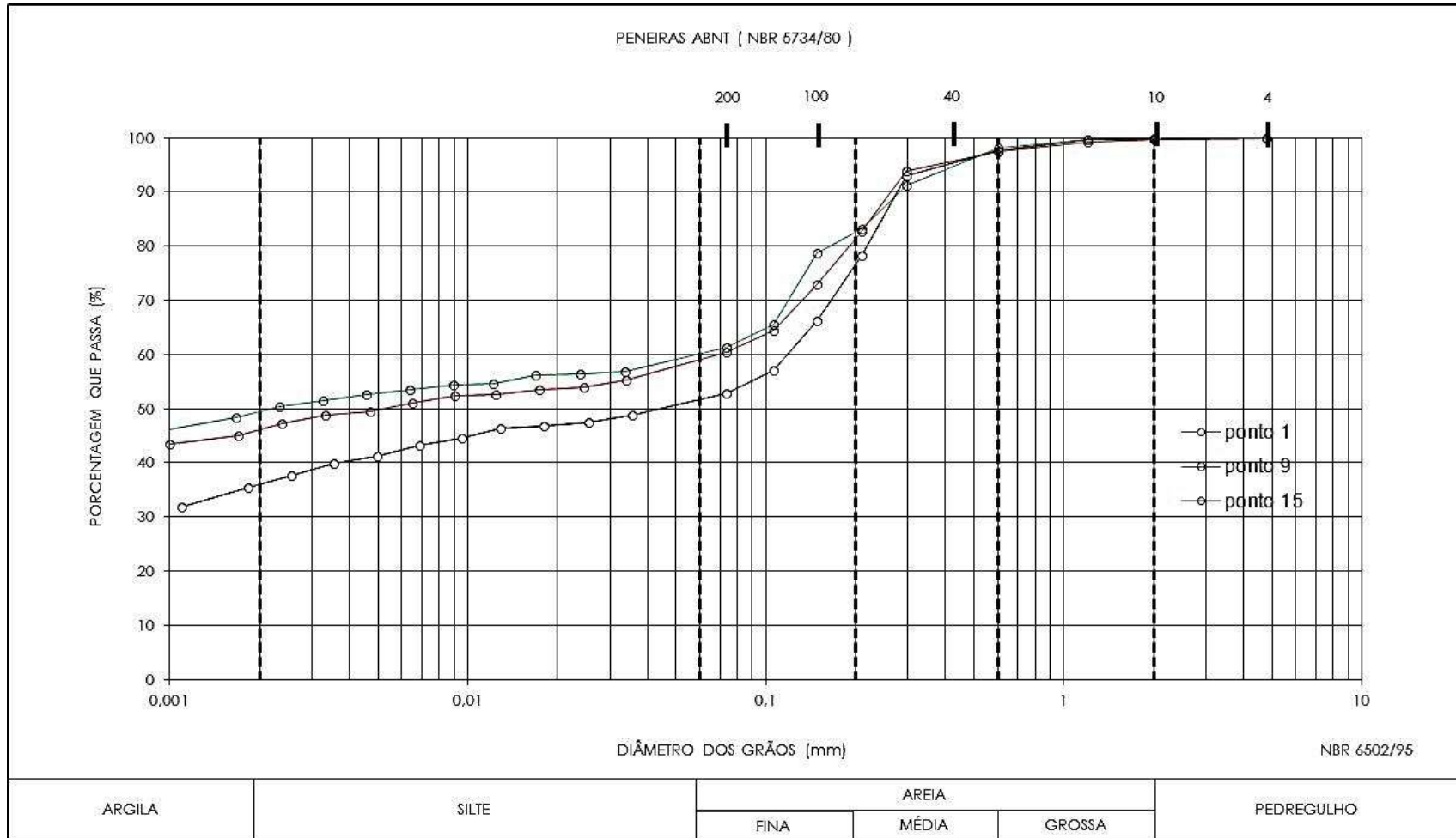
O pivô de irrigação denominado 65 C, com cultura da cana de açúcar possui uma área de 0,32 Km<sup>2</sup> e a localização pode ser observada na Figura 144. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 145 e na Tabela 29, respectivamente. Nota-se que os teores de argila variaram entre valores mais elevados de 30 a 45%, porém o pH continua ácido e a CTC com valores inferiores a 1,8. Apresenta os valores de CE maiores até a profundidade de 1m.



**Figura 144** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 65 C - Ponto B. Ano de referência 2000

**Tabela 29** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 65 C - PONTO B

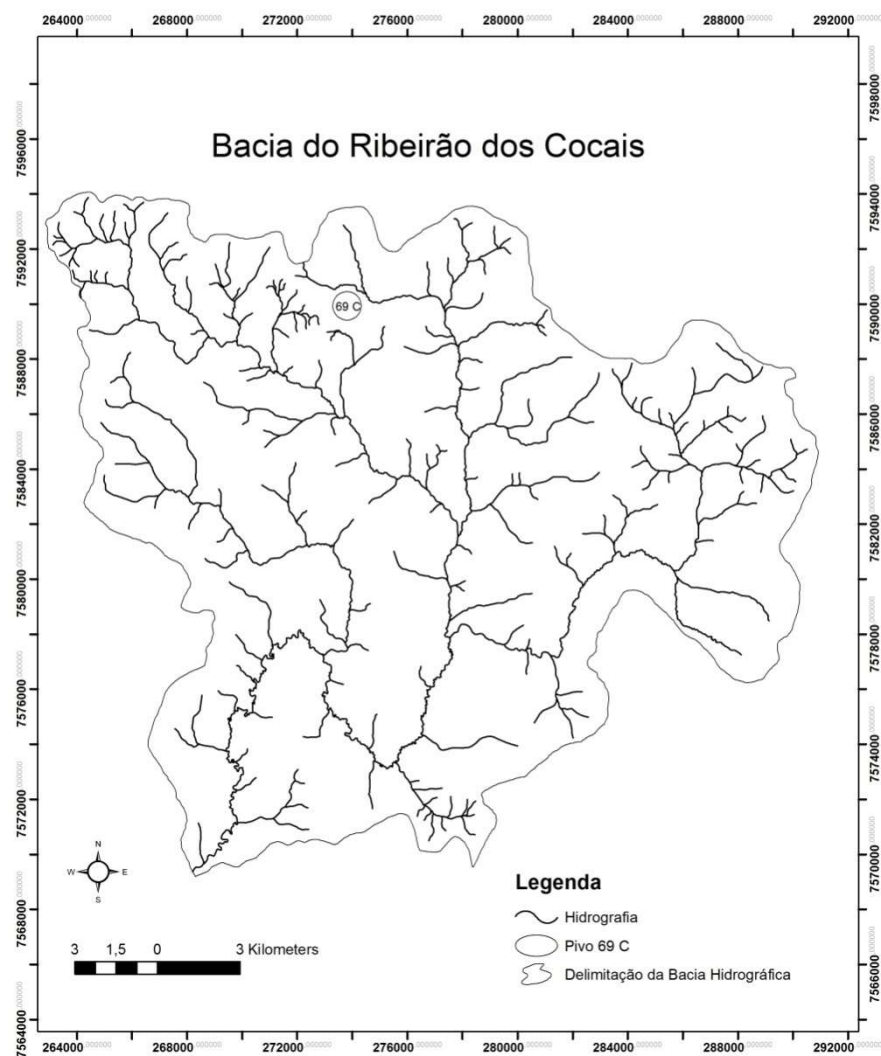
| AMOSTRA P 65 C (PONTO B) |                 |      |                |
|--------------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS         | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                        | 193             | 5,15 | 1,65           |
| 2                        | 100             | 5,11 | 1,55           |
| 3                        | 103             | 4,81 | 1,55           |
| 4                        | 81,9            | 5,35 | 1,55           |
| 5                        | 111,3           | 5,53 | 1,71           |
| 6                        | 89,4            | 5,63 | 1,55           |
| 7                        | 86,9            | 5,68 | 1,86           |
| 8                        | 82,9            | 5,79 | 1,55           |
| 9                        | 83,1            | 5,86 | 1,49           |
| 10                       | 74,4            | 5,89 | 1,55           |
| 11                       | 71,4            | 6,05 | 1,55           |
| 12                       | 56,9            | 6,08 | 1,55           |
| 13                       | 63,8            | 5,81 | 1,55           |
| 14                       | 84,8            | 5,47 | 1,43           |
| 15                       | 88,6            | 5,15 | 1,55           |



**Figura 145** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P65C - Ponto B

#### **4.12.9 - Área Irrigada - Pivô 69 C.**

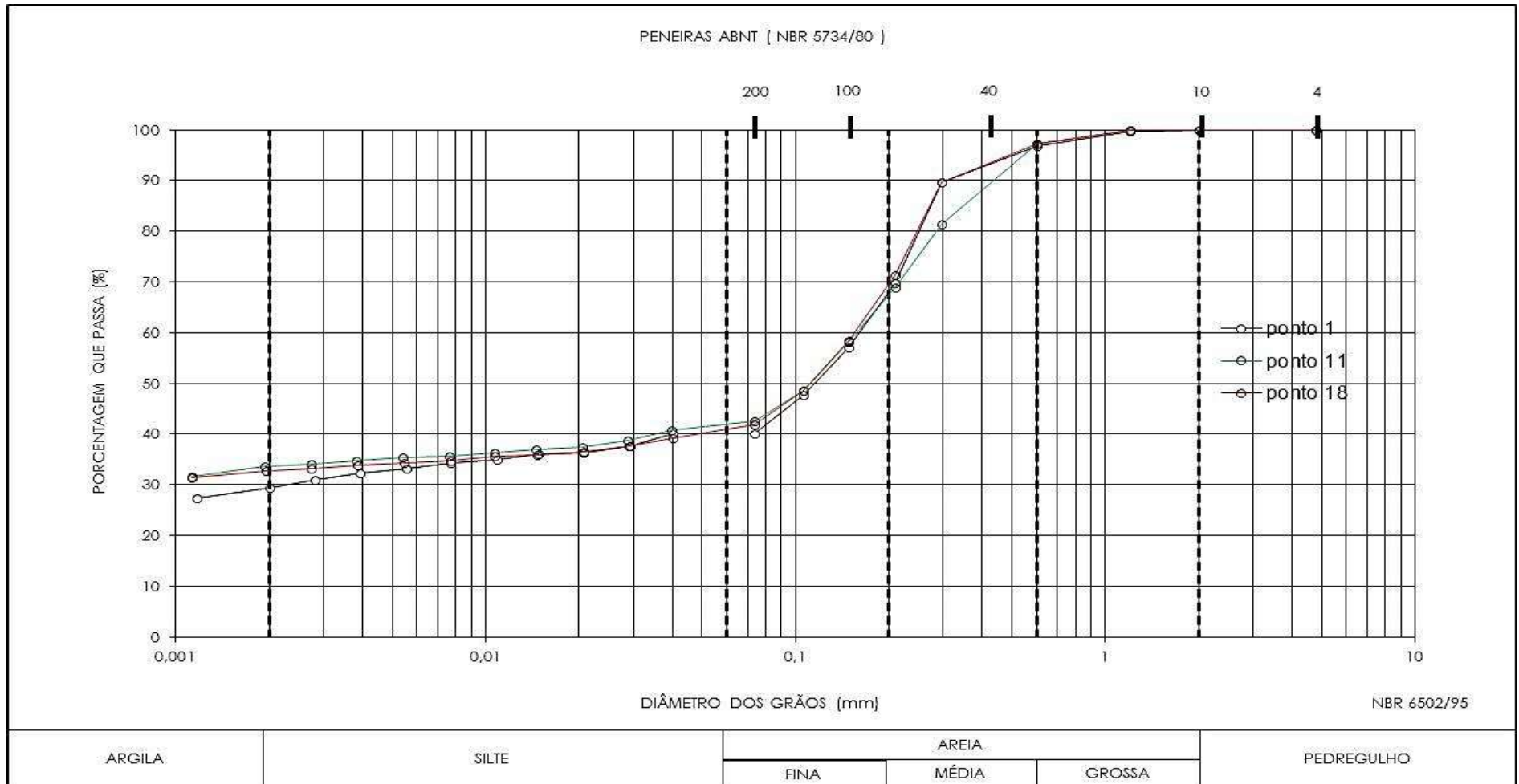
O pivô de irrigação denominado 69 C, localizado de acordo com a Figura 146, possui uma área de 0,83 Km<sup>2</sup> e tinha como uso a plantação de cana de açúcar. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 147 e na Tabela 30, respectivamente. Os valores de pH para todas as profundidades são ácidos, a CTC inferior a 1,8 e os teores de argila são similares nas 3 profundidades. Os valores de CE são significativos evidenciando uma alteração na quantidade de componentes químicos envolvidos no processo de fertilização.



**Figura 146** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 69 C. Ano referência 2000

**Tabela 30** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P69C

| AMOSTRA P 69C    |                                |      |                |
|------------------|--------------------------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 204                            | 5,29 | 1,55           |
| 2                | 215                            | 4,95 | 1,86           |
| 3                | 214                            | 4,5  | 1,86           |
| 4                | 238                            | 4,41 | 1,86           |
| 5                | 252                            | 4,38 | 1,86           |
| 6                | 306                            | 4,49 | 1,86           |
| 7                | 380                            | 4,84 | 1,55           |
| 8                | 410                            | 5    | 1,55           |
| 9                | 390                            | 5,1  | 1,55           |
| 10               | 331                            | 5,13 | 1,55           |
| 11               | 294                            | 5,19 | 1,24           |
| 12               | 222                            | 5,4  | 1,55           |
| 13               | 191                            | 5,54 | 1,55           |
| 14               | 185                            | 5,63 | 1,24           |
| 15               | 198                            | 5,66 | 1,24           |
| 16               | 194                            | 5,79 | 1,55           |
| 17               | 220                            | 5,87 | 1,55           |
| 18               | 256                            | 5,94 | 1,55           |



**Figura 147 -** Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P69C

#### 4.12.9 - Área Irrigada - Pivô 5 C.

O pivô de irrigação denominado 5 C, ocupado pelo plantio de cana de açúcar possui uma área de 1,04 Km<sup>2</sup>, está posicionado de acordo a posição mostrada na Figura 148. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 149 e na Tabela 31, respectivamente. A CTC atingiu valores da ordem de 3, o pH manteve-se ácido, e os teores de argila variaram de 35 a 45%. Os valores de CE mais elevados na camada mais superficial indicam uma alteração gerada pelo processo de irrigação junto dos fertilizantes utilizados.



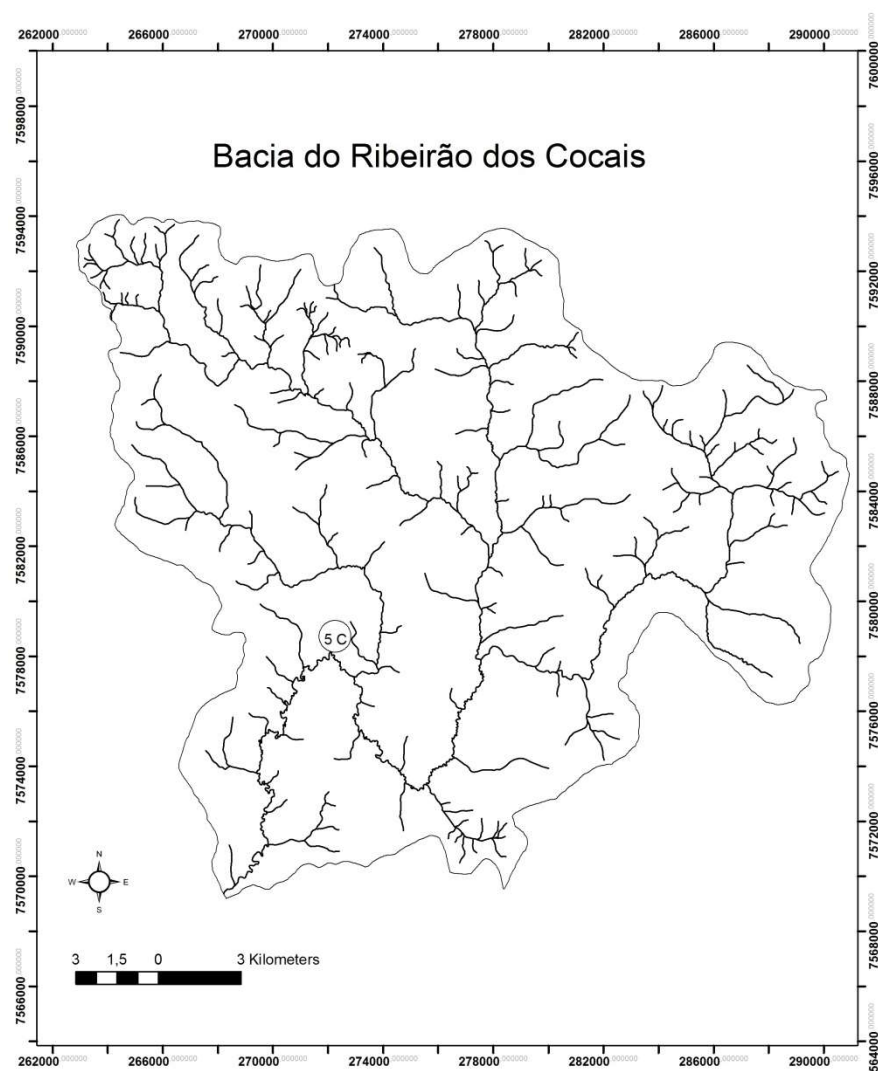
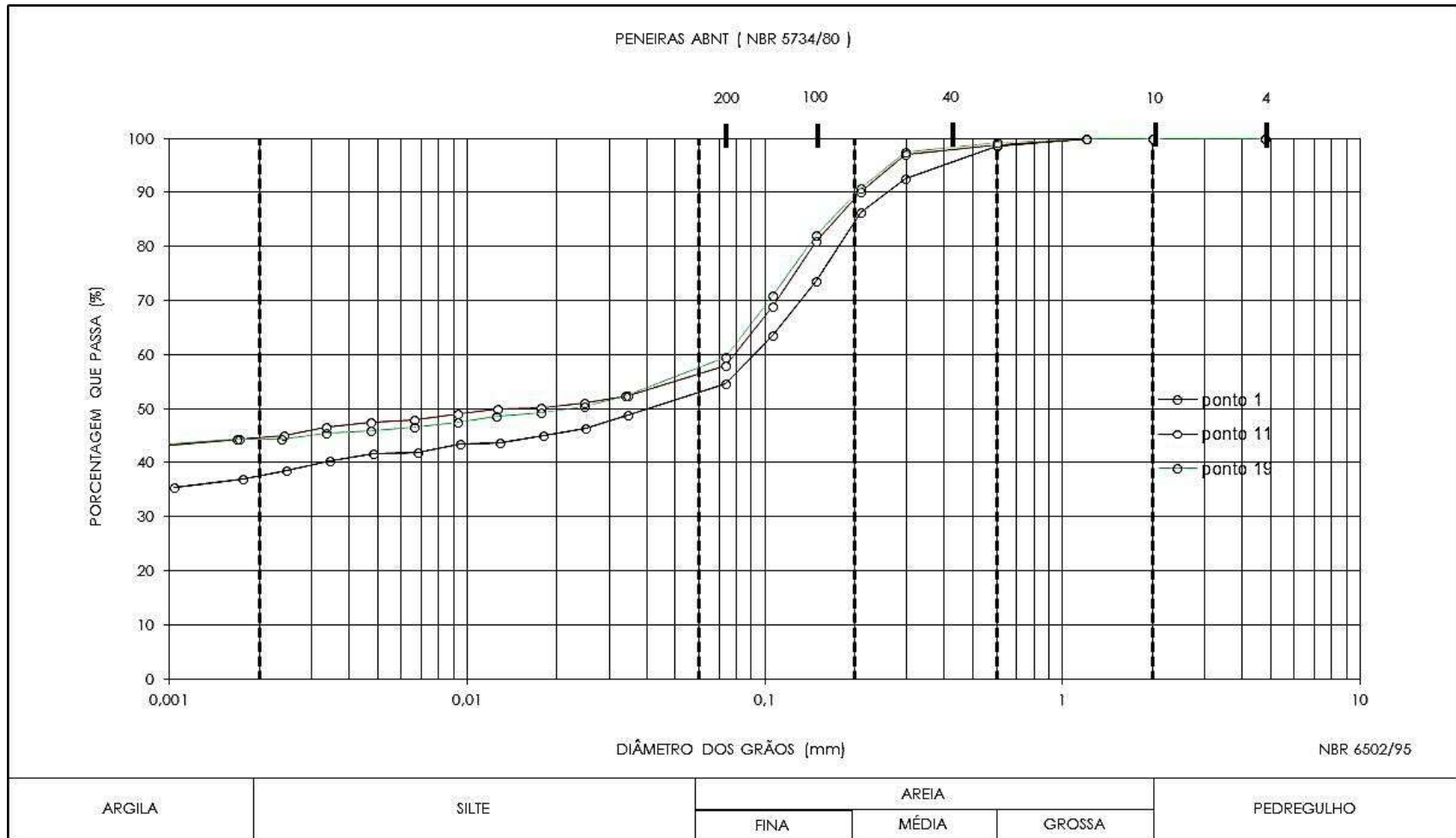


Figura 148 - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 5C. Ano referência 2013.

Tabela 31 - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 5C

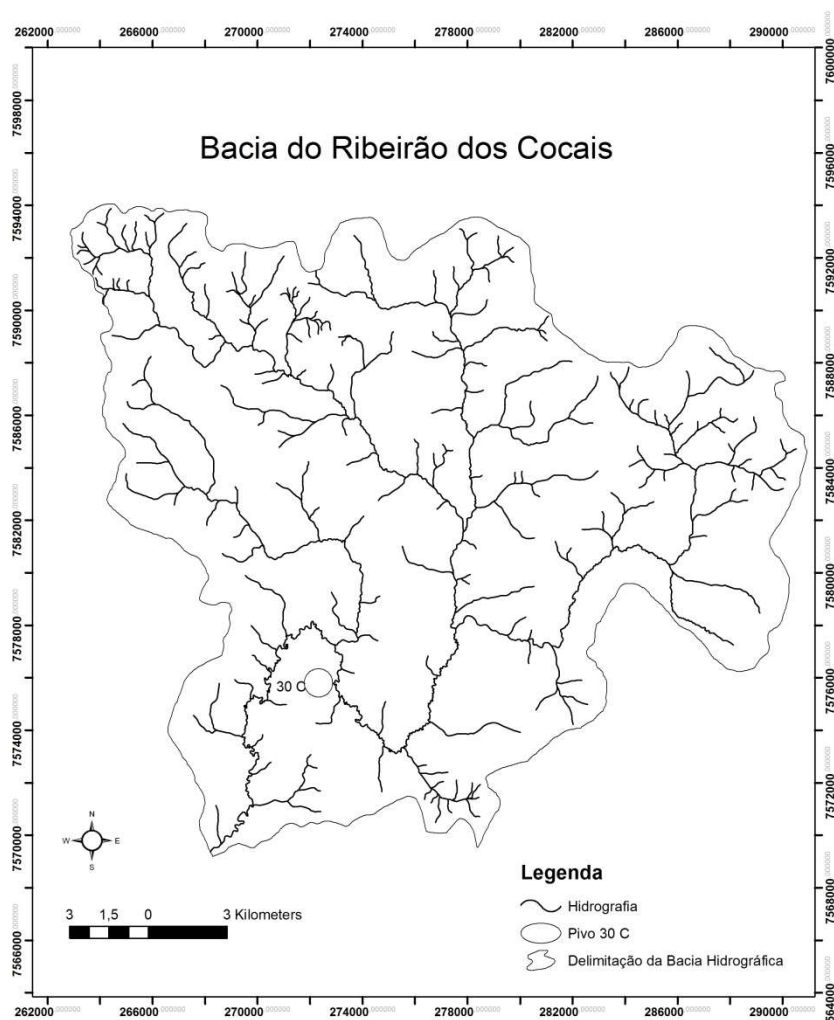
| AMOSTRA 5C       |                               |      |                |
|------------------|-------------------------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 208                           | 7,06 | 2,95           |
| 2                | 175                           | 6,25 | 2,48           |
| 3                | 186                           | 5,12 | 2,17           |
| 4                | 138                           | 5,11 | 2,17           |
| 5                | 148                           | 5,3  | 1,55           |
| 6                | 177                           | 5,47 | 1,24           |
| 7                | 174                           | 4,98 | 1,55           |
| 8                | 166                           | 4,7  | 0,93           |
| 9                | 153                           | 4,76 | 1,24           |
| 10               | 150                           | 4,77 | 1,24           |
| 11               | 152                           | 4,89 | 1,55           |
| 12               | 108                           | 4,88 | 1,24           |
| 13               | 106                           | 4,94 | 1,24           |
| 14               | 101                           | 4,94 | 1,55           |
| 15               | 106                           | 4,96 | 1,55           |
| 16               | 95,3                          | 4,93 | 1,55           |
| 17               | 97,5                          | 4,93 | 1,55           |
| 18               | 88,5                          | 4,9  | 1,55           |
| 19               | 95,8                          | 4,93 | 1,55           |



**Figura 149** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P5C

#### **4.12.10 - Área Irrigada - Pivô 30 C.**

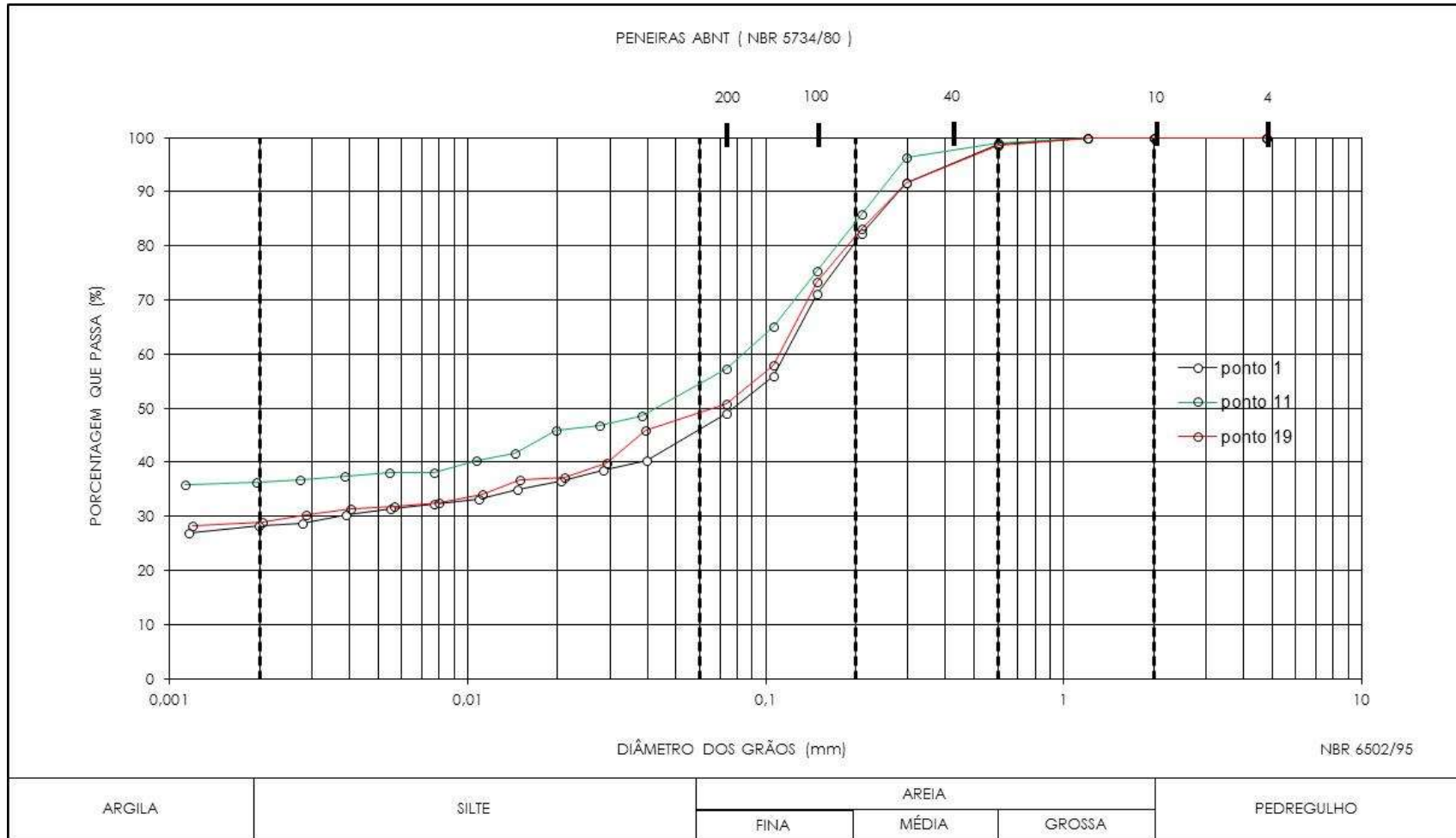
A localização do pivô de irrigação denominado 30 C encontra-se na Figura 150 e possui uma área de 0,91 Km<sup>2</sup> e cultivado com cana de açúcar. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 151 e na Tabela 32, respectivamente. Os teores de argila variaram pouco entre 29 e 35%, a CTC manteve-se abaixo de 1,8 enquanto o pH manteve-se ácido.



**Figura 150** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 30 C. Ano referência, 2013.

**Tabela 32** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 30C

| AMOSTRA P30C     |                 |      |                |
|------------------|-----------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu$ S/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 492             | 4,87 | 1,55           |
| 2                | 242             | 4,92 | 1,86           |
| 3                | 221             | 4,77 | 1,55           |
| 4                | 180             | 4,79 | 1,55           |
| 5                | 243             | 4,84 | 1,55           |
| 6                | 256             | 4,8  | 1,55           |
| 7                | 314             | 4,76 | 1,24           |
| 8                | 362             | 4,77 | 1,55           |
| 9                | 327             | 4,85 | 1,55           |
| 10               | 340             | 4,82 | 1,55           |
| 11               | 292             | 4,94 | 1,86           |
| 12               | 260             | 5,02 | 1,55           |
| 13               | 214             | 4,98 | 1,55           |
| 14               | 122             | 4,84 | 1,55           |
| 15               | 99,1            | 4,74 | 1,55           |
| 16               | 87,5            | 4,73 | 1,86           |
| 17               | 92,7            | 4,64 | 1,86           |
| 18               | 88,9            | 4,63 | 1,86           |
| 19               | 88,2            | 4,56 | 1,86           |



**Figura 151** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P30C

#### **4.12.12 - Área Irrigada - Pivô 49 C.**

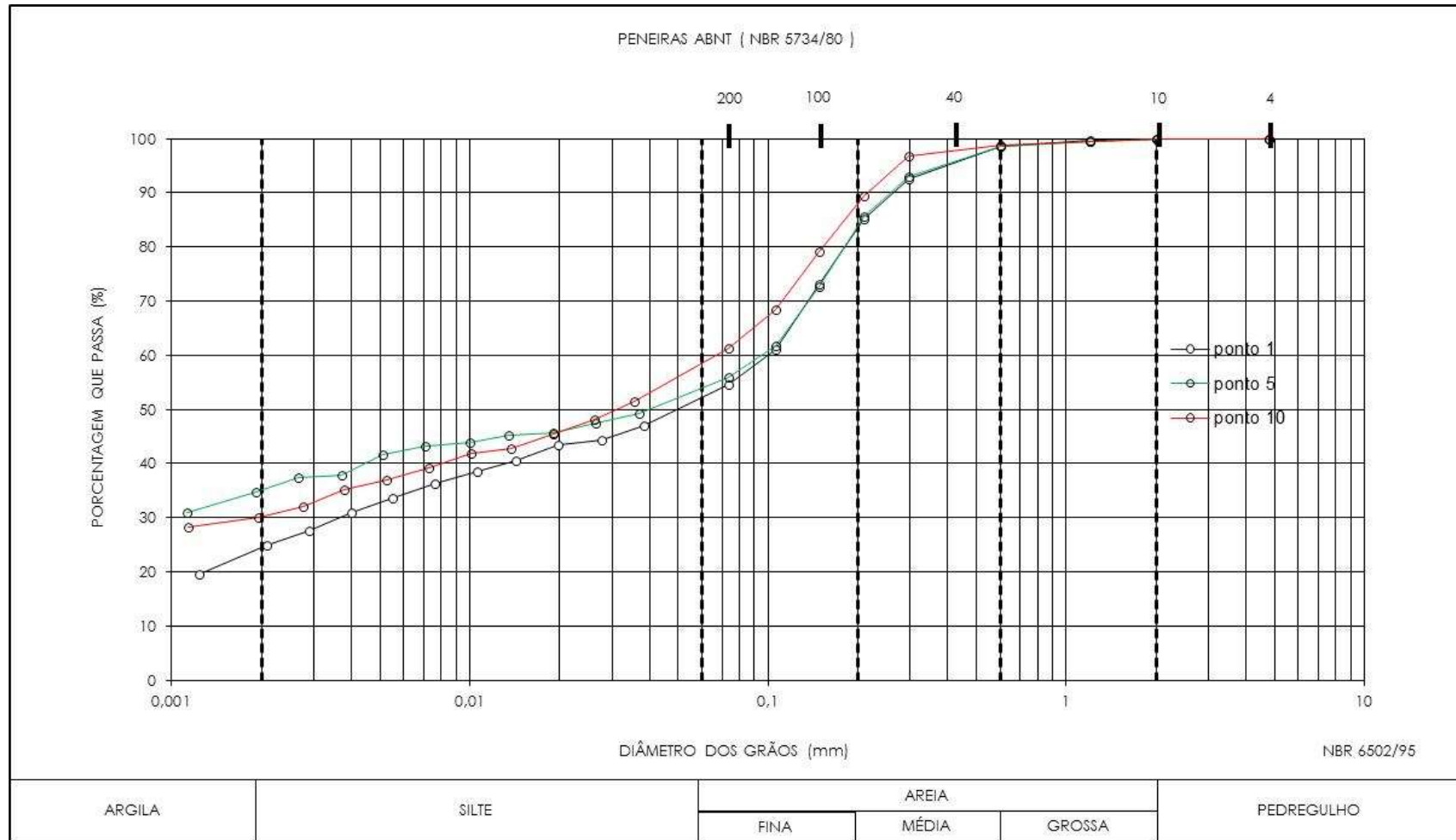
O pivô de irrigação denominado 49 C ocupado com a cultura da cana de açúcar possui uma área de 0,28 Km<sup>2</sup> e está posicionado de acordo com a Figura 152. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 153 e na Tabela 33, respectivamente. Os valores de CE variaram ao longo da profundidade com níveis que indicam uma quantidade de sais maiores que nas outras áreas irrigadas, e o pH tem comportamento básico, a CTC apresentou valores menores que 1,8 e os teores de argila variaram de 20 a 30%.



**Figura 152** - Localização da área irrigada – Área irrigada Pivô 49 C. Ano referência 2013.

**Tabela 33** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P49C

| AMOSTRA P49C     |           |      |                |
|------------------|-----------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE(μS/cm) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 641       | 7,42 | 1,55           |
| 2                | 332       | 7,55 | 1,55           |
| 3                | 212       | 7,47 | 1,55           |
| 4                | 211       | 7,48 | 1,55           |
| 5                | 191       | 7,39 | 1,86           |
| 6                | 184       | 7,34 | 1,55           |
| 7                | 206       | 7,36 | 1,55           |
| 8                | 252       | 7,1  | 1,55           |
| 9                | 309       | 6,75 | 1,55           |
| 10               | 367       | 6,8  | 1,55           |
| 11               | 355       | 6,91 | 1,55           |



**Figura 153 -** Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P49C



#### **4.12.13 - Área Irrigada – Pivô 112 C.**

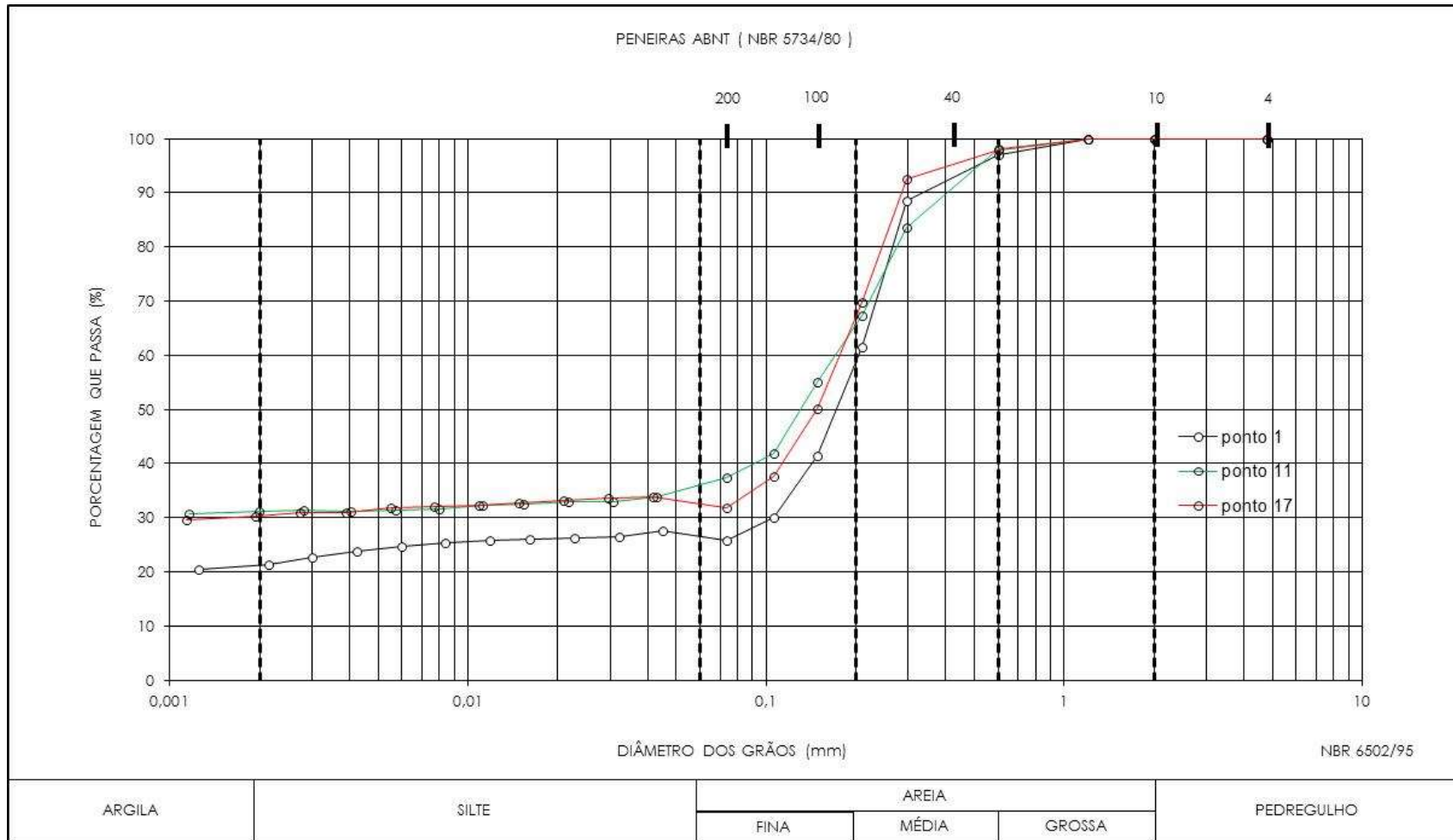
O pivô de irrigação denominado 112 C, com localização na porção norte da bacia Figura 154 possui uma área de 0,17 Km<sup>2</sup> e está ocupado com o plantio de cana de açúcar. As curvas granulométricas, os resultados de condutividade elétrica (CE), pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontram-se na Figura 155 e na Tabela 34, respectivamente. Os valores da CTC atingiram 2,48, o pH manteve-se ácido e os teores de argila variaram de 20 a 30%. Os valores de CE variaram bastante indicando que existe uma interferência na porção superior quando se comparam os valores com os das maiores profundidades amostradas.



**Figura 154** - Localização da área irrigada – Área irrigada - Pivô 112 C. Ano referencial 2013.

**Tabela 34** - Dados de CE, pH e CTC. Amostras P 112C

| AMOSTRA 112C     |                               |      |                |
|------------------|-------------------------------|------|----------------|
| PONTOS COLETADOS | CE( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH   | CTC (meq/100g) |
| 1                | 218                           | 5,82 | 2,48           |
| 2                | 112                           | 6,15 | 1,86           |
| 3                | 94,4                          | 6,13 | 1,86           |
| 4                | 113,1                         | 6,16 | 2,17           |
| 5                | 132                           | 6,32 | 1,86           |
| 6                | 162,1                         | 6,25 | 1,86           |
| 7                | 208                           | 5,57 | 1,55           |
| 8                | 173                           | 5,43 | 1,86           |
| 9                | 195,7                         | 5,46 | 1,86           |
| 10               | 254                           | 5,33 | 1,86           |
| 11               | 274                           | 5,3  | 2,48           |
| 12               | 188                           | 4,76 | 2,17           |
| 13               | 151                           | 4,64 | 1,86           |
| 14               | 121                           | 4,67 | 1,86           |
| 15               | 105,7                         | 4,71 | 1,86           |
| 16               | 76,4                          | 4,77 | 2,17           |
| 17               | 75,6                          | 4,75 | 2,48           |



**Figura 155** - Curvas Granulométricas das amostras obtidas em 3 profundidades - P112C

O Quadro 1 a seguir, apresenta a compilação das análises das áreas irrigadas por pivô central.

|            |      | Compilação das Análises das Áreas Irrigadas com Pivô Central   |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |
|------------|------|--|--|--|--|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--|
|            |      | Áreas Irrigadas  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |  |
| Parâmetros |      | Branco   | P 77C  | P 20C  | P 13C  | P 23C   | P 18C   | P 51C  | P 65C - Ponto A   | P 65C - Ponto B   | P 69C   | P 5C  | P 30C   | P 49C   | P 112C   |
| pH         | >6   | Valores de pH maiores que 6 ocorreram ao longo do perfil entre as profundidades de 0-82 cm. Volta a ocorrer entre as profundidades de 1,41m a 1,53m  | Ocorre variação entre os valores de pH 6,05 a 6,19. Ocorre uma concentração na profundidades de 53cm a 1,58m   | Ocorre uma concentração entre as profundidades de 53 a 99 cm de pH igual ou maior que 6  | Ocorre uma concentração de valores de pH maior que 6 a partir das profundidades finais amostradas (1,46 m a 2,04m)   | Há predominância ao longo do perfil   | Há uma concentração de valores de pH maior que 6 entre as profundidades de 31 a 72cm  | Há predominância de pH maiores do que 6 ao longo do perfil   | Valores de pH maiores que 6 ocorrem ao longo do perfil entre as profundidades de 1,64 a 1,75 m      | Valores de pH maiores que 6 ocorrem ao longo do perfil entre as profundidades de 1,42 a 1,65 m                                | Não há pontos amostrados com estes valores  | Ocorre uma concentração de valores de pH maior que 6 a partir das profundidades iniciais de 0-21cm  | Não há pontos amostrados com estes valores  | Predominância de pH maior do que 6  | Estes valores encontram-se entre as profundidades de 10 a 66cm, unicamente             |
|            | <6   | Ocorre uma concentração de valores de pH menores do que 6 entre as profundidades de 82 cm a 1,49 m, após há uma elevação do valor para 6,11 e novamente ocorre um decréscimo entre 5,42 a 5,13 na profundidades de 1,53m até 2,01m   | Ocorre variação entre os valores de pH 5,47 a 5,96 nas profundidades iniciais de 12 a 53cm e nas finais de 1,59 a 2,07m  | Ocorre uma pequena concentração entre as profundidades de 1,70 a 1,92m de pH entre 4,97 e 4,99, assim como também ocorre concentração entre as profundidades de 99 a 1,70m de onde ocorre um decréscimo e entre as profundidades de 0-53cm ocorre um acréscimo ao longo das mesmas | As profundidades entre 41 a 64cm apresentam pH entre 4,91 a 4,8 e a partir destes pontos ocorre um aumento no valor do pH chegando a 5,99 na profundidade de 1,34 a 1,46m.   | Apenas ocorre entre as profundidades iniciais 0-20cm e entre as profundidades finais 1,95 a 2,05m.  | A excessão dos pontos amostrados entre as profundidades de 31 a 72cm, todos os demais pontos perfil apresentam pH menos do que 6. | Não Há pontos amostrados com estes valores   | Há predominância ao longo do perfil de valores de pH menores que 6                                  | Há predominância ao longo do perfil de valores de pH menores que 6  | Ocorre pH 4 entre as profundidades de 10 a 74 cm  | Praticamente todo o perfil amostrado apresenta pH menor que 6   | Há predominância ao longo do perfil de valores de pH menores que 6                                      | Não há pontos amostrados com estes valores                                      | Há uma diminuição do pH com aumento da profundidade                                    |
| CE         | >85  | O maior valor de CE apresenta-se na camada de 0-10 cm( 299 µS/cm), ocorrendo um decréscimo até a profundidade de 98 a 1,11m. E, novamente ocorre um acréscimo com concentração entre as profundidades de 1,11 a 1,47m, a partir deste ponto até a 2,07m ocorre decréscimo no valor de CE | Há variação ao longo do perfil, entretanto, nota-se que aumenta de maneira significativa próximo da última profundidade amostrada 1,92-2,06m.                          | Varia ao longo do perfil e a partir da profundidade referente a 1,3m começa a aumentar chegando a um valor de 342µS/cm à 2,04m   | Ocorre variação dos valores de CE com o aumento e diminuição ao longo do perfil. Nota-se que se inicia com valores altos no início do perfil e estes valores diminuem até a profundidade de 1,30m e após volta a aumentar. | O maior valor de CE encontra-se entre as profundidades de 72 a 82cm. Observa-se que ocorre uma diminuição dos valores de CE a partir da profundidade de 1,67 a 2,0m | Há um aumento gradativo ao longo do perfil de valores de CE.  | Os valores de CE sofrem aumento ao longo do perfil   | As camadas iniciais e a última apresentam valores de CE maiores que 85µS/cm                         | Há variação ao longo do perfil, entretanto, nota-se que aumenta de maneira significativa entre as profundidades de 52 a 1,12m | Varia ao longo do perfil e apresenta diminuição dos valores em direção ao aumento de profundidade | Ocorre variação dos valores de CE com o aumento e diminuição ao longo do perfil amostrado. Nota-se que se inicia com valores altos no início do perfil e estes valores diminuem até a profundidade de 1,30m e após voltam a aumentar. | Ocorre diminuição ao longo do perfil, o maior valor encontra-se nas profundidades iniciais entre 0-10cm | Estes valores encontram-se entre as profundidades de 1,72 a 2,07 cm, unicamente |  |
|            | <85  | Praticamente todo o perfil encontra-se com CE menor do que 85µS/cm, iniciando-se na profundidade de 10 cm até 2,01m  | Não há pontos amostrados neste valor   | Não há pontos amostrados neste valor   | Não há pontos amostrados neste valor   | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor   | Não há pontos amostrados neste valor  | Ocorre uma concentração de CE menores que 85µS/cm entre as profundidades de 94 a 1,87m  | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor  | Não há pontos amostrados neste valor   |
| CTC        | >1,8 | Valores de CTC maiores que 1,8 meq/100g apresenta-se tanto concentrados como intercalados com valores inferiores ao longo do perfil. Observa-se concentração entre 0 -21 cm; 41 -62cm e 93 cm a 1,28m  | Ocorre uma concentração com valores de 1,86 meq/100g entre as profundidades de 63 cm até 1,33m. E novamente volta a ocorrer na profundidades finais de 1,82m até 2,07m | Praticamente todo perfil amostrado, apresentou CTC maior que 1,8 meq/100g  | Apenas a profundidade de 41-52cm apresentou CTC inferior que 1,8 meq/100g  | Ocorre apenas em quatro profundidades amostradas intercaladas com as demais, ou seja, não há concentração   | Ocorre predominância de CTC de 1,8meq/100g ao longo do perfil amostrado   | Ocorre predominância ao longo do perfil amostrado  | Ocorre predominância de valores CTC maiores que 1,8meq/100g ao longo do perfil amostrado            | Ocorre predominância ao longo do perfil amostrado   | Ocorre um concentração entre as profundidades de 10 a 62cm  | Ocorre em apenas quatro pontos amostrados entre as profundidades de 41 a 52cm   | Apenas quatro pontos amostrados entre as profundidades intercaladas. Não há concentração                | Não há pontos amostrados neste valor  | Ocorre predominância ao longo do perfil amostrado                                      |
|            | <1,8 | 9 pontos amostrados apresentam CTC maior que 1,8meq/100g. Estes valores ocorrem em concentração entre as profundidades de 62 a 93cm e 1,75m a 2,01m  | Valores menores de CTC ocorrem ao longo do perfil entre as profundidades de 0-63cm e 1,47 a 1,82m  | Apenas a profundidade de 0-10cm apresentou CTC menor que 1,8 meq/100g  | Praticamente todo o perfil amostrado apresenta CTC inferior a 1,8meq/100g  | Ocorre predominância de CTC de 1,55 meq/100g ao longo do perfil amostrado   | Não há pontos amostrados neste valor  | Apenas dois pontos amostrados entre as profundidades de 1,56 a 1,77m apresentam CTC menor do que 1,8meq/100g | Apenas ponto que encontra-se na profundidade de 1,10 a 1,20m apresenta CTC menor do que 1,8meq/100g | Valores menores de CTC ocorrem ao longo do perfil entre as profundidades de 78 a 94cm   | Ocorre predominância de ao longo do perfil amostrado CTC menores que 1,8meq/100g                  | Praticamente todo o perfil amostrado apresenta CTC inferior a 1,8 meq/100g entre as profundidades de 41 a 2,02m   | Ocorre predominância de CTC de 1,55 meq/100g ao longo do perfil amostrado                               | Ocorre predominância de CTC de 1,55 meq/100g ao longo do perfil amostrado       | Apenas o ponto entre as profundidades de 66 a 79cm apresenta CTC menor que 1,8meq/100g |

Quadro 1: Compilação das análises das áreas irrigadas por pivô central.

## CAPÍTULO 5 – ANÁLISES

### 5.1 - COMPARAÇÕES DE DADOS DA ÁREA SEM IRRIGAÇÃO COM OS DAS ÁREAS IRRIGADAS

A área sem irrigação é utilizada para diversos fins, mas nunca passou pelo processo de irrigação, sendo na atualidade ocupada com pastagem Figura 156 e, as áreas irrigadas em sua maioria, são ocupadas com as culturas de milho, soja, cana-de-açúcar e amendoim.



**Figura 156** – Área sem pivô ocupada com pastagem durante o período de amostragem de solo.

Baseado nos dados das tabelas 22 a 34 verifica-se que os valores de pH variam entre bastante ácidos da ordem de 4,5 até básicos aproximando-se de 8, enquanto os valores de CTC são sempre inferiores a 4 meq/100g de solo e os valores de condutividade elétrica mostraram-se muito variáveis nos perfis e entre os perfis, porém refletindo sempre alterações quando comparado com os valores considerados naturais que estão sempre associadas as maiores profundidades investigadas

Na Tabela 35 observam-se as variações texturais de todas as áreas irrigadas investigadas. Nota-se que as variações que ocorrem entre as frações silte e argila são fundamentais para o entendimento do comportamento dos mesmos frente ao processo de

infiltração das águas e o transporte dos componentes químicos oriundos da solubilização dos fertilizantes.

**Tabela 35** - Variações texturais dos solos das áreas irrigadas investigadas.

|                           | ARGILA<br>(%) | SILTE<br>(%) | AREIA       |              |               |
|---------------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
|                           |               |              | FINA<br>(%) | MÉDIA<br>(%) | GROSSA<br>(%) |
| <b>AMOSTRA<br/>P 77C</b>  |               |              |             |              |               |
| Ponto 1*                  | 16,3          | 8,7          | 35          | 37           | 2             |
| Ponto 11                  | 24,3          | 2,7          | 40          | 26,8         | 2             |
| Ponto 18                  | 24,3          | 2,7          | 35,39       | 31,7         | 2             |
| <b>AMOSTRA<br/>P 20 C</b> |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                   | 25            | 10           | 45          | 19           | 1             |
| Ponto 11                  | 30            | 6            | 47          | 15,54        | 1             |
| Ponto 18                  | 31            | 7            | 32,6        | 15,54        | 1             |
| <b>AMOSTRA<br/>P 13 C</b> |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                   | 15            | 5            | 45          | 34           | 1             |
| Ponto 11                  | 25            | 3            | 26,5        | 45           | 1             |
| Ponto 18                  | 25            | 3            | 26,6        | 45           | 1             |
| <b>AMOSTRA<br/>P 23 C</b> |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                   | 25            | 10           | 40          | 19           | 2             |
| Ponto 11                  | 31,5          | 8,5          | 26          | 33           | 2             |
| Ponto 18                  | 31,5          | 5,6          | 29          | 33           | 2             |
| <b>AMOSTRA<br/>P 18 C</b> |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                   | 30            | 10           | 35          | 24           | 2             |
| Ponto 11                  | 32,5          | 6            | 43,5        | 17           | 2             |
| Ponto 18                  | 30            | 6            | 45          | 17           | 2             |
| <b>AMOSTRA<br/>P 51 C</b> |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                   | 22,5          | 12,6         | 40          | 22,5         | -             |
| Ponto 11                  | 30            | 15,5         | 43          | 14           | -             |
| Ponto 18                  | 29,5          | 8            | 45          | 14           | -             |

|                      | ARGILA | SILTE | AREIA |       |        |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                      | (%)    | (%)   | FINA  | MÉDIA | GROSSA |
| AMOSTRA<br>P 49C –   |        |       | (%)   | (%)   | (%)    |
| Ponto 1              | 29     | 11    | 33    | 25    | 2      |
| Ponto 11             | 36     | 12    | 34,6  | 15,5  | 2      |
| Ponto 18             | 29     | 17    | 37    | 17,5  | 2      |
| AMOSTRA<br>P 112 C – |        |       |       |       |        |
| Ponto 1              | 25     | 5     | 30    | 37    | 2      |
| Ponto 11             | 30     | 3     | 29    | 2931  | 2      |
| Ponto 18             | 30     | 5     | 36    | 3628  | 2      |
|                      |        |       |       |       |        |

\*Profundidades



| AMOSTRA<br>P 65 C –<br>Pto A | ARGILA<br>(%) | SILTE<br>(%) | AREIA       |              |               |
|------------------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
|                              |               |              | FINA<br>(%) | MÉDIA<br>(%) | GROSSA<br>(%) |
| Ponto 1                      | 33            | 6            | 44          | 17           | 2             |
| Ponto 11                     | 30            | 10           | 35          | 24           | 2             |
| Ponto 18                     | 30            | 6            | 45          | 17           | 2             |
| AMOSTRA<br>P 65 C –<br>Pto B |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                      | 35            | 14           | 31          | 17           | 2             |
| Ponto 11                     | 49            | 8,6          | 26          | 15           | 2             |
| Ponto 18                     | 45            | 10           | 27          | 15           | 2             |
| AMOSTRA<br>P 69 C            |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                      | 30            | 9            | 32          | 25,7         | 1             |
| Ponto 11                     | 33            | 8            | 17,6        | 38,8         | 1             |
| Ponto 18                     | 33            | 8            | 32          | 26           | 1             |
| AMOSTRA<br>P 5 C             |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                      | 37            | 12           | 36          | 14           | 1             |
| Ponto 11                     | 44            | 8            | 38          | 8            | 1             |
| Ponto 18                     | 44            | 8            | 38          | 8,5          | 1             |
| AMOSTRA<br>P 30 C            |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                      | 29            | 21           | 23          | 25           | 1             |
| Ponto 11                     | 36            | 12           | 34,6        | 15,4         | 1             |
| Ponto 18                     | 29            | 17           | 37          | 15,4         | 1             |
| AMOSTRA<br>Área sem<br>Pivô  |               |              |             |              |               |
| Ponto 1                      | 18            | 9            | 27,4        | 42           | 2             |
| Ponto 11                     | 33            | 6            | 32          | 26           | 2             |
| Ponto 18                     | 33,5          | 8            | 30          | 26           | 2             |

## **5.2 – IRRIGAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS**

Considerando os dados de chuvas para a região apresentados na Figura 77 verifica-se que entre os meses de março e outubro existem valores de chuva mínimos que são muito baixos e mesmo nulos, o que implicam que neste período há necessidade de irrigação para a manutenção das culturas sazonais e mesmo no caso das semipermanentes como a da cana de açúcar. Neste período podem ser desenvolvidos dois ciclos completos de culturas sazonais. No período entre o final do mesmo de outubro e a primeira quinzena do mês de março a demanda por irrigação é pequena ou mesmo inexistente em função da regularidade temporal das chuvas, mesmo considerando os valores mínimos para um período superior a 50 anos.

## **5.3 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL**

A predominância das áreas irrigadas e dos reservatórios foi instalada nos últimos 30 anos o que propiciou alterações nos componentes ambientais de diversas naturezas. Os reservatórios foram construídos no sentido da maior proximidade das áreas a serem irrigadas e não no sentido de obter o maior volume de água acumulada.

## **5.4 – QUANTO ÀS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS**

As áreas irrigadas estão distribuídas em todos os tipos de materiais geológicos distinguindo uma predominância relacionada sobre os de textura arenosa e junto aos argilosos existem somente algumas áreas irrigadas. A predominância sobre os arenosos está apoiada na facilidade de manejo destes em condições úmidas e a maior facilidade de infiltração das águas, porém os valores de capacidade de campo e ponto de murchamento são menores, o que implica que o lançamento de água seja em menor quantidade durante a passagem do pivô, demandando um maior número de passadas e conseqüentemente maior gasto de energia.

## **5.5 – QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DOS FERTILIZANTES**

Os resultados das análises demonstraram a presença de pequenas quantidades de elementos químicos classificados como metais que devem ser considerados frente a quantidade de fertilizantes que são usados em cada ciclo de plantação. Considerando que em cada hectare são utilizados 400kg de fertilizantes em 1 km<sup>2</sup> são utilizados 40.000kg e que a quantidade destes metais mesmo sendo de ordem pequena na amostra resultara numa quantidade significativa ao longo de um período de tempo, por exemplo de 30 anos.

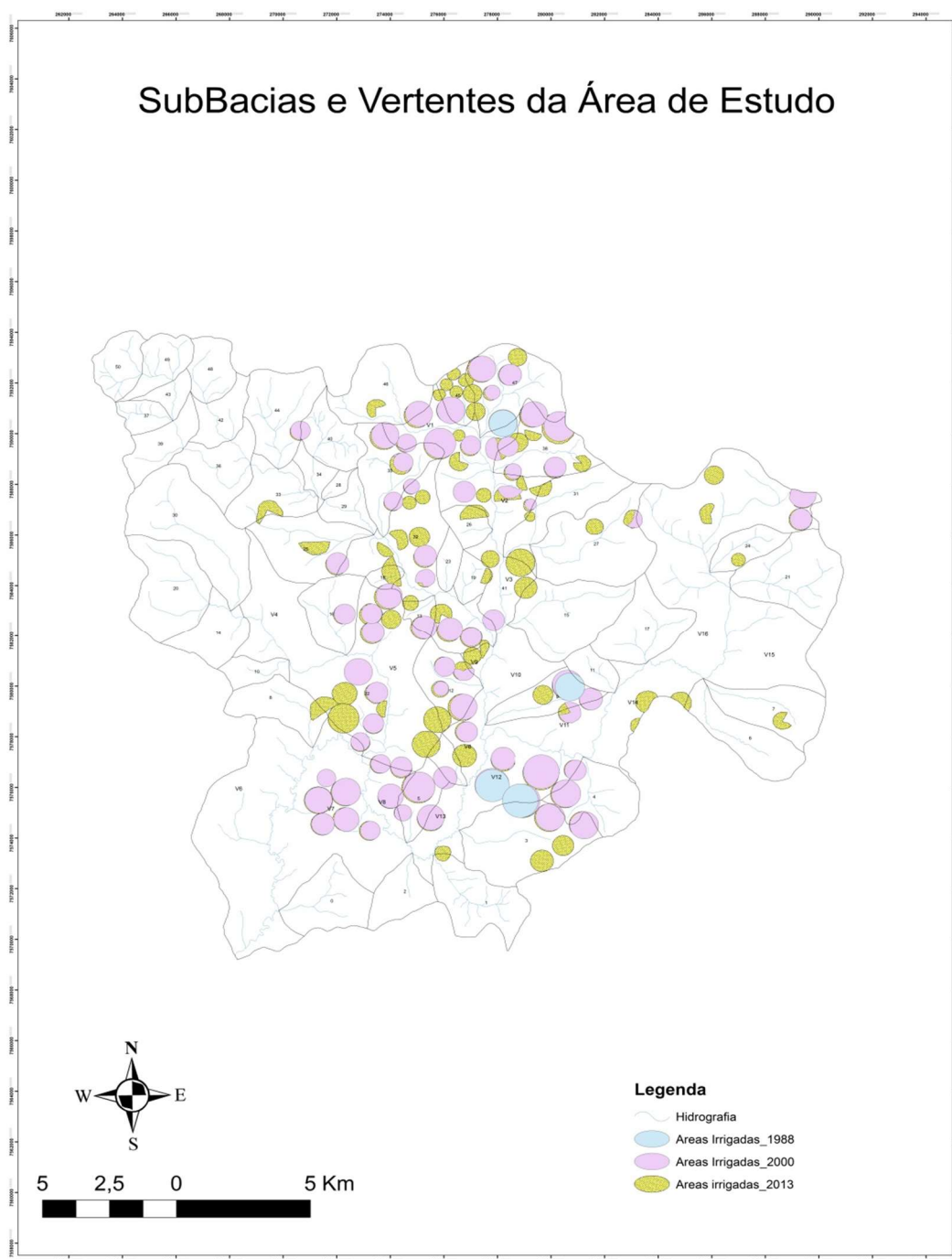
## **5.6 – QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS**

As amostras das águas analisadas apresentam indícios de alteração da sua qualidade. Nos casos das fontes tem-se valores de pH baixos, menores que a normalidade das águas da região para as mesmas condições geológicas, com pH entre 5,5 e 6. As águas dos canais de drenagem apresentam valores de pH maiores que os das fontes evidenciando uma contribuição decorrentes de usos. Quanto aos reservatórios verifica-se que a variação dos valores de pH e condutividade elétrica para reservatórios localizados nos mesmos canais de drenagem, portanto são frutos de características mais localizadas decorrentes da proximidade com a área irrigada e se os pivôs estavam ou não em funcionamento.

## **5.7 – RELAÇÕES DAS SUB-BACIAS/VERTENTES E ÁREAS IRRIGADAS**

É possível notar, pela Figura 157 que, assim, como ocorre com as sub-bacias as áreas irrigadas também se encontram nas vertentes.

A partir do mapa das sub-bacias e vertentes associado a distribuição das áreas irrigadas verifica-se que há uma determinada concentração em um grupo de sub-bacias e vertentes.



**Figura 157** – Distribuição das sub-bacias, vertentes e áreas irrigadas.

De maneira geral as sub-bacias e as vertentes que estão localizadas na parte central da bacia principal, apresentam maior ocupação de áreas irrigadas por pivô central.

### SUB-BACIAS

Conforme mapa da Figura 157, das 49 sub-bacias presentes na área de estudo 32 encontram-se com de pivô central instalado. A maior densidade de área irrigada ocorre na sub-bacia 44 com 68,49% de ocupação e o menor ocorre na sub-bacia 6, e as sub-bacias 5, 13, 18 apresentam uma área de ocupação correspondente a mais da metade de sua área ocupada por pivô central.

A Tabela 36 apresenta as áreas das sub-bacias com áreas irrigadas por pivô central, assim como a porcentagem de ocupação cada sub-bacia.

**Tabela 36** - Áreas de sub-bacias e porcentagem irrigada.

| SubBacias com Pivôs de Irrigação | Área (Km2) | % de Ocupação |
|----------------------------------|------------|---------------|
| 1                                | 7,482777   | 1,65          |
| 3                                | 11,686595  | 27,64         |
| 4                                | 6,550025   | 18,26         |
| 5                                | 3,371231   | 57,32         |
| 6                                | 6,541184   | 1,49          |
| 7                                | 6,702416   | 4,32          |
| 8                                | 5,401746   | 4,55          |
| 9                                | 4,533178   | 41,06         |
| 11                               | 2,334121   | 3,16          |
| 12                               | 6,724938   | 37,58         |
| 13                               | 1,301484   | 52,21         |
| 15                               | 9,947967   | 2,53          |
| 16                               | 5,331081   | 8,91          |
| 18                               | 0,917043   | 50,54         |
| 19                               | 1,877913   | 9,01          |
| 22                               | 31,519797  | 25,82         |
| 24                               | 3,219417   | 6,57          |
| 25                               | 7,985905   | 11,02         |
| 26                               | 2,12877    | 17,67         |
| 27                               | 12,255085  | 5,03          |
| 31                               | 6,860894   | 11,37         |
| 32                               | 14,893575  | 31,56         |
| 33                               | 5,826458   | 7,26          |
| 34                               | 1,718048   | 0,10          |
| 35                               | 6,805074   | 27,87         |
| 38                               | 6,881578   | 45,28         |
| 40                               | 4,432225   | 3,27          |
| 44                               | 7,902497   | 2,87          |
| 45                               | 2,277233   | 68,49         |
| 46                               | 8,209438   | 7,96          |
| 47                               | 8,917806   | 36,61         |

As sub-bacias que receberam inserção de novas áreas irrigadas, entre o ano de 1988 a 2013, por pivô central foram:

- Sub-bacia 38 – instalação de 2 novas áreas irrigadas
- Sub-bacia 27 – instalação de 2 novas áreas irrigadas

- Sub-bacia 18 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 19 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 25 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 46 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 47 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 26 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 32 – instalação de 7 novas áreas irrigadas
- Sub-bacia 32 – instalação de 7 novas áreas irrigadas
- Sub-bacia 09 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 07 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 03 – instalação de 2 novas áreas irrigadas
- Sub-bacia 01 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 33 – instalação de 1 nova área irrigada
- Sub-bacia 46 – instalação de 1 nova área irrigada

As sub-bacias que possuem áreas irrigadas mais antigas são as seguintes:

- Sub-bacia 9
- Sub-bacia 3
- Sub-bacia 47

A Tabela 37 apresenta as áreas das sub-bacias que não possuem áreas irrigadas por pivô central.

**Tabela 37 - Área das Sub-bacias sem áreas irrigadas.**

| <b>SubBacias - Sem ocupação de pivô de irrigação</b> | <b>Área (Km<sup>2</sup>)</b> |
|--|------------------------------|
| <b>0</b>   | <b>6,64</b>                  |
| <b>2</b>   | <b>4,11</b>                  |
| <b>10</b>  | <b>2,24</b>                  |
| <b>14</b>  | <b>4,85</b>                  |
| <b>17</b>  | <b>7,01</b>                  |
| <b>20</b>  | <b>9,24</b>                  |
| <b>21</b>  | <b>9,73</b>                  |
| <b>23</b>  | <b>1,64</b>                  |
| <b>28</b>  | <b>0,74</b>                  |
| <b>29</b>  | <b>2,53</b>                  |
| <b>30</b>  | <b>12,92</b>                 |
| <b>36</b>  | <b>5,74</b>                  |
| <b>37</b>  | <b>2,08</b>                  |
| <b>39</b>  | <b>4,23</b>                  |
| <b>42</b>  | <b>3,57</b>                  |
| <b>43</b>  | <b>1,74</b>                  |
| <b>48</b>  | <b>3,68</b>                  |
| <b>49</b>  | <b>3,68</b>                  |
| <b>50</b>  | <b>3,79</b>                  |

### **VERTENTES**

Na vertente V12 encontra-se uma das áreas irrigadas mais antigas (1988) e na vertente V7 há uma concentração de 5 áreas irrigadas, instaladas antes do ano de 2000.

As vertentes que receberam instalações de novas áreas irrigadas, no ano de 1988 e 2013, são as seguintes:

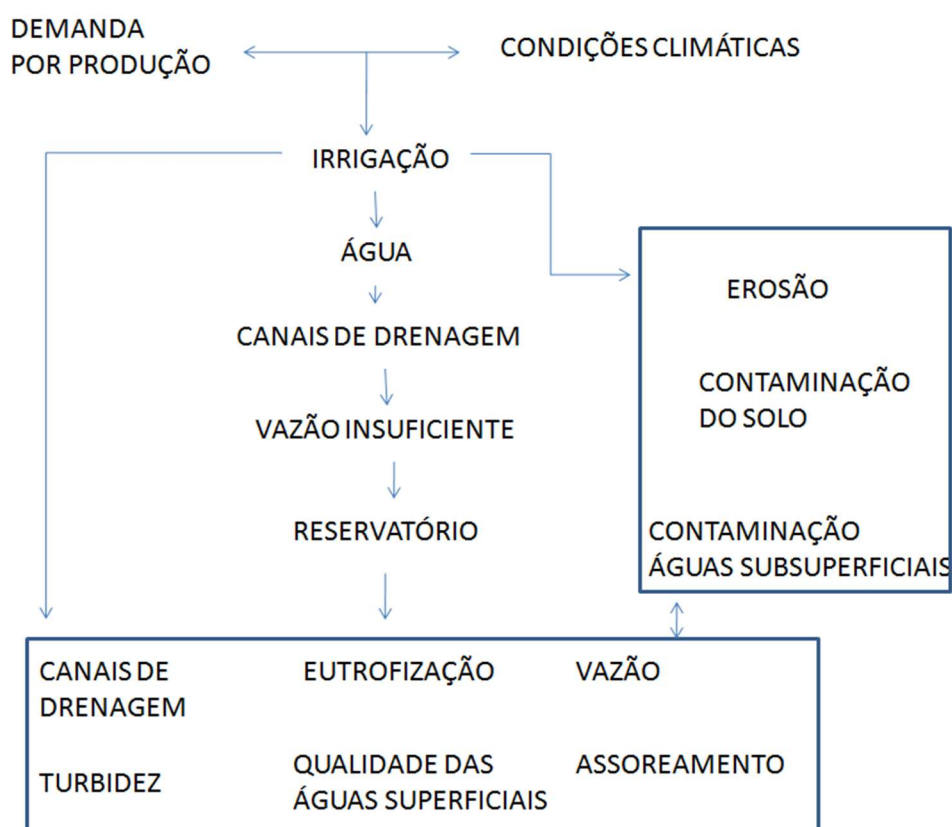
- Vertente V14 - 3 áreas irrigadas
- Vertente V5 - 6 áreas irrigadas
- Vertente V9 - 2 áreas irrigadas
- Vertente V2 - 4 áreas irrigadas
- Vertente V3 - 2 áreas irrigadas
- Vertente V6 - 1 áreas irrigadas

Vertentes que não apresentam áreas irrigadas:

- V 10
- V 15
- V 16

## 5.8 – QUANTO AOS PROBLEMAS AMBIENTAIS

Os problemas ambientais encontrados na bacia em estudo são fruto dos usos nos últimos 30 anos com as atividades de irrigação. O surgimento dos mesmos obedece a uma cadeia de fatores que está diretamente relacionada à necessidade do processo de irrigação para produção agrícola. Na Figura 158 tem-se um esquema das inter-relações básicas que estão envolvidas na bacia do Ribeirão dos Cocais em decorrência do processo de irrigação com pivô central.



**Figura 158** – Esquema das relações entre os diferentes aspectos envolvidos na área de estudo.



## 6 - CONCLUSÃO

O estudo das características geológicas, geotécnicas, ambientais e hidrológicas possibilitou a compreensão das condições ambientais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Cocais onde foram inventariadas 122 áreas de irrigação, das quais quatro anteriores ao ano de 1988 e permanece até os dias atuais o que gerou um incremento das áreas irrigadas de 96,8% entre os anos de 1988 e 2013.

Para abastecer os pivôs de irrigação foram construídos 55 reservatórios que representam 0,74% da área Bacia Hidrográfica dos Ribeirão dos Cocais, entretanto, estão alocados estrategicamente em relação as áreas irrigadas. A construção de reservatórios sempre causa impactos sobre diversos aspectos ambientais de uma bacia hidrográfica, pois o padrão de escoamento superficial é influenciado a montante e a jusante do reservatório, e as vazões dos rios são alteradas frequentemente para uma diminuição. Um aspecto importante é que há 12 reservatórios que apresentaram pH entre 6,50 e 7,82 o que indica que estar ocorrendo contaminação por fertilizantes químicos, outra evidência sobre a contaminação está relacionada a 60% dos reservatórios amostrados apresentarem processo de eutrofização.

As análises químicas das águas permitiram constatar a presença de Cromo (Cr) e, frente à análise semi-quantitativa das amostras de fertilizantes, possivelmente este fato ocorre pela presença do metal nos fertilizantes.

Por se tratar de uma área em constante modificação por atividades agrícolas, em períodos de entre safras o solo fica totalmente sem cobertura vegetal, o que aumenta a suscetibilidade do solo a processos erosivos. Este problema foi observado em praticamente todas as áreas irrigadas com e sem cobertura vegetal o que explica o assoreamento de 31% dos reservatórios amostrados

A concentração de reservatórios a montante dos canais de drenagem prejudica o fluxo a jusante, chegando haver o crescimento de vegetação dentro do canal, ressaltando a ausência de fluxo. Um fator importante é a obstrução do canal de drenagem, por meio de barreiras visando otimizar o abastecimento do pivô.

Os valores da condutividade elétrica indicaram que ao longo do perfil as amostras de solos, das diferentes áreas irrigadas, apresentam diferentes valores, entretanto, quando comparadas com os valores das amostras do solo sem pivô, os mesmos são altos e, possivelmente, está ocorrendo contaminação por meio do fertilizante químico.

Existem na bacia reservatórios naturais de água que foram aterrados para expansão agrícola e, este fator interfere no regime hídrico local.

Apoiando a classificação pelo DAEE da Bacia do Ribeirão dos Cocais como crítica foi observado um alto consumo de água e uma frequência significativa de problemas ambientais que se encontram em desenvolvimento na bacia, tais como a eutrofização de reservatórios e de canais de drenagem, alteração na qualidade das águas e dos solos, processos erosivos. Algumas sub-bacias da bacia principal apresentam uma elevada porcentagem de ocupação por pivô de irrigação.

Foi observado em campo, processo de escoamento superficial que, provavelmente, ocorre nas áreas irrigadas pelo dimensionamento inadequado da lâmina de água a ser aplicada no processo de irrigação. O dimensionamento correto requer dados específicos da área irrigada e da cultura a ser plantada. Dados pré-estabelecidos de forma regional podem não retratar a condições necessárias da área irrigada e, isto ocasiona os problemas encontrados nesta pesquisa.

Por fim, para a implantação de um projeto de irrigação é de fundamental importância que contemple dados referentes ao solo, tais como, capacidade de campo, ponto de murchamento, potencial matricial, água disponível e a sua capacidade de infiltração potencial, assim, como dados relacionados a cultura plantada, tais como evapotranspiração de referência e para a cultura, profundidade efetiva da raiz e coeficiente da cultura. O pivô deverá ser programado para aplicar a lâmina de acordo com as condições da área irrigada com o objetivo de obter um melhor rendimento com o mesmo volume de água e, portanto, com uma maior economia, e evitar problemas ambientais de diferentes naturezas.

## 7 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Boletim 04, 1996.

ABREU, C. A.; RAIJ, B. V. **Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1**. Bragantia, Campinas, v.55, n.2, p. 357-363. 1996.

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. **Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre**. CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2007. p. 125-150.

AGUIAR, L. S. G.; DOS SANTOS TARGA, M.; BATISTA, G. T. (2007). **Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim**. Revista Ambiente e Água– AnInterdisciplinaryJournalofApplied Science: v, 2(1).

ALBUQUERQUE. P.E.P. **Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo – Circular Técnica –Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ISSN 1679-1150, 2010.** Disponível em: <<http://sna.agr.br/sistema-de-irrigacao-por-gotejamento-podera-ser-alternativa-na-agricultura>> Acesso em: 10/04/2016.

AL-DURRAH, M.M., BRADFORD, J.M. **The Mechanism of raindrop splash on soil surfaces**. SoilSci. Soc. Am. J.46:1086-1090.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; ARRUDA, F.B.; ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. **Métodos agrometeorológicos para controle da irrigação**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1990, 62p. (Boletim Técnico, 133).

ALVARENGA, R.C.; FIGUEIREDO, A.F.; OLIVEIRA, W.; FREIRE, J.C. **Armazenamento de água em um podzólico vermelho amarelo sob pastagem e cultivo anual**. Ciência Prática, v.7, p.48-57, 1983.

ANDRADE, C. de L.T. de. **Seleção do Sistema de Irrigação**. Circular Técnica 14. Embrapa Milho e Sorgo, 2001. ISSN 1679-1150.

ANDRADE, C.L.T.; BRITO, R.A.L. **Métodos de irrigação**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica. 6ª ed. Set./2010 Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/imetodos.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/imetodos.htm)> Acesso em 12/04/2016.

ANDRADE, C. L.T.; BRITO, R.A.L. **Sistema de Produção**, Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 8ª ed. Out./2012.

ARAGÜES, R. **Agricultura de regadío, calidad del agua y flujos de retorno**. In: Symposium Nacional Presente y Futuro de los Regadíos Españoles. Madrid: Cedexmoptma.1994. 18p.

ARRUDA, F.B.; BARROSO, L.F.S. **Estimativa do uso da água para fins de projetos de irrigação, em função da evaporação de tanque**, em Ribeirão Preto. Bragantia, Campinas, v.43, n.2, p.677-682, 1984.

ARRUDA, F.B.; ZULLO JR., J. & OLIVEIRA, J.B. **Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível baseado na textura do solo**. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 11:11-15, 1987.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. GHEYI et al., Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 29).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

BARRETO, L.V.; BARROS, F.M.; BONOMO, P.; ROCHA, F.A.; AMORIM, J. da S. **Eutofização dos Rios Brasileiros**. Enciclopédia Biosfera. 2013

BELTRAME, L. E. S.; TAYLOR, J. C. **Causas e efeitos da compactação do solo**. Lav. Arroz, v.33, p.59-62, 1980.

BENITES, V.M. **Tecnologias para o aumento de eficiência de fertilizantes e identificação de fontes alternativas de fertilizantes de nutrientes para a agricultura brasileira.** Projeto FertBrasil. Disponível em: <<https://sistemas.sede.embrapa.br/ideare/pages/home/principal/principalframes.jsf>>. Acesso em: 04/07/2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação.** 8ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

BIGGAR, J.W.; ROLSTON, D.E.; NIELSOEN, D.R. **Transport of salts by water.** California Agriculture, v.38, n.10, p.10-11. 1984.

BOUWER, H. **Effect of irrigate agriculture on groundwater.** Journal of Irrigation and Drainage, New York, v.113, n.1, p. 5-14, 1987.

BRADFORD, J. L. **Penetrability.** In: **Methods of Soil Analysis, Madison, ASA-SSSA Inc.** Publisher, p.463-477, 1986.

BRUNINI, O.; PINTO, H.S.; ZULLO, J.; PELLEGRINI, G.Q.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; PIRES, R.C. de M. **Sistema de aconselhamento agrometeorológico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., Goiânia, 1998. Anais. Goiânia: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 1998. p.15-37.

BUBENZER, G.D.; JONES Jr, B.A. **Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 14, n. 2, p. 625-628, 1971.

CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2005.

CARTER, D.L. **Soil erosion on irrigate lands**. Irrigation of crops. Madison: SSSA, 1990. p.1143 – 1172 (Agronomy, 30).

CARTER, D.L. **Soil Erosion om irrigation lands**. In: STEWART, B.A. **IrrigationofAgriculturalCrops**. Madison: SSSA, 1990. Agronomy, 30.

CARUSO, R. **Água, vida**. Campinas, Fundação Cargill, 1998. 112p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley:California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670

CHRISTOFIDIS, D. **Os recursos hídricos e a prática de quimigação no Brasil e no mundo**. ITEM, Brasília, n. 49, p. 8-13, 2001.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, 1956. 24p. Agricultural Handbook, 82

CRUCIANI, D. E. 1989. **A Drenagem na Agricultura**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 337p.

CRUZ, J.C., KARAM, D., MONTEIRO, M.A.R., MAGALHÃES. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517p. ISBN 978-85802-10-3

COELHO, R.D. **Caracterização do sistema de irrigação pivô central (lepa), operando em condição de micro relevo condicionado**. Tese de Doutorado. Departamento de Hidráulica. Universidade de São Paulo/EESC. 1996.

COELHO, S.A. **Avaliação da eficiência de irrigação em nível de parcela no Projeto de Irrigação do Estreito**. Bahia. Viçosa: Imprensa Universitária, 1986. 110p.

COSTA, R.N.T.; SOUZA, F. **Irrigação por superfície**. In: ROSA, M. de F.; GONDIM, R. S.; FIGUEIREDO, M.C.B. (Org.). **Gestão sustentável no Baixo Jaguaribe**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006, v. XI, p. 261-288.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R.; **Hidrologia Subterrânea**, 2<sup>nd</sup> ed., Ediciones Omega: Barcelona, 1996.

CHILTON, P. J.; LAURENCE, A. R.; STUART, M. E. **Em Groundwater Quality**; Nash, H.; McCall, G. J., eds.; Chapman & Hall: London, 1996, cap. 3

CRUCIANI, D.E. **A drenagem na Agricultura**. São Paulo, Nobel, 1983. 337p

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. FAO. Irrig. and Drain. Paper 33, 1979, 193p.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

Environmental Protection Authority (**EPA**) of Western. Redbook Recommended Conservation Reserves 1976 - 1991 (DPAW-025). *Australia*, 1991.

EVERTS, C.J.; KANWAR, R.S. **Estimating preferential flow to a subsurface drain with tracers**. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 33, n. 2, p. 451-4457, 1990.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.O.M. **Produtividade de genótipos de milho** (Zeamays L.) Sob manejo diferenciado de irrigação e adubação. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 24, n. 3, p. 663-670, jul./set. 2000.

FILIZOLA, H. F. et al, **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p. il.

FISCHER, R.A. & HAGAN, R.M. **Plant water relations, irrigation management and crop yield**. *Expl. Agric.* v.1, p.161-177, 1965.

FRIZZONE, J.A. **Análise de cinco modelos para o cálculo da distribuição e frequência de precipitações na região de Viçosa**. 1979. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'EDLIA, M.; PARIS, M.; **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**, The World Bank: Washington, 2002.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R.; **Poluição das águas subterrâneas**, Instituto Geológico: São Paulo, 1993.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada em datos existents**, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Cepis: Lima, 1991.

FUREGATTI, S.A. **Avaliação da variabilidade das características geotécnicas relacionadas aos processos erosivos com ensaios in situ**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GHASSEMI, F., JAKEMAN, A.J., and NIX, H.A., 1995, **Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies**: Wallingford, UK, CAB International, 544 p.

GHEYI, H.R. **Problemas de salinidade na agricultura irrigada**. Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.329-345, 2000.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; VAN DER WERF, H. **Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO\*ECO method**. *Environmental Impact Assessment Review*, Amsterdam, v. 20, p. 227-239, 2000.



GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. João Pessoa, Ed. Universitária/UFPB, 1994, 344p.

GOMES, H.P. **Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. 281p.

GROHMANN, F.; QUEIROZ-NETO, J.P. **Efeito da compactação artificial de 2 solos limo argiloso sobre a penetração das raízes de arroz**. *Bragantia*, 25:421-431, 1996.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. **Vehicle and wheels factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes**. *Soil & Tillage Research*, v. 11,p.239-282, 1988.

HART, W.E. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.15,n. 4, p.656-661, 666, 1972.

HIRATA, R. C. A.; *Rev. IG* 1993, 14, 39.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 5, p.137-69.

HORNSBY, A.G., **Pollution and public health problems related to irrigation**. In: STEWART, B.A. *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison: SSSA, 1990. Agronomy, 30.

HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. **Plant response to water deficits water use efficiency and drought resistance**. *Agric. Meteorol.*, v.14 p.59-84, 1974.

JALALI, M., MERRIHPOUR, H.; **Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil**. *Environ Geol* (2008) 53: 1289 - 1298

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York, ASCE, 1973. 215p.

JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; PRATT, B.J. **Estimating soil moistures depletion from climate, crop and soil data**. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 14:954-959, 1971.

JUNIOR, J.A L., SILVA, A. L. P. **Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010 Pág. 1

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation.** Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

KINCAID, D.C. **Application rates from center pivot irrigation with current sprinkler types.** Applied Engineering in Agriculture Vol. 21(4): 605-610 2005 American Society of Agricultural Engineers ISSN 0883-8542.

KHAN, M. A.; ABDULLAH, Z. **Salinity - sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (Oryza sativa L.) under dense soil conditions.** Environmental and Experimental Botany, Paris, v.49, n.2, p.145-157, 2003.

KLAR, A.E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação de água.** São Paulo: Nobel, 1991. 156 p

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.26,n.4, p.858-867, 2002.

KLUTE, A. **Methods of soil analysis.**Part I. Physical and mineralogical.American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin.1986.1188p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo,2005.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 178p. 2002

LIMA, L. A.; **Características de distribuição de água e perdas de solo de bocais do emissor Quad-Spray tipo LEPA.** Engenharia Agrícola (Online), v. 33, p. 223-236, 2013.

LIMA, L. A.; PENAFORTE, A.B.; SILVA, A.M. da; FARIA. **Análise da performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional e da distribuição de água no perfil do solo.** Ciência e Prática, Lavras-MG, v. 20, n.1, p. 45-51, 1996.

MENDES.A. Manual sobre projetos de Irrigação.– Projeto Cana pede Água. 2012.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B. **Influence of canopy crop on water consumption and basal crop coefficient of bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.)** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING AGENG'96, 1996, Madrid, 1996, v.I, p.619-620.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B. **Transferência dos valores de coeficiente de cultura basal do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** obtidos em evapotranspirômetros para as condições de cultura irrigada. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Rio de Janeiro, 1997.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação.** Campina Grande:UFPB, 1994. 60p.

MELLO, A.C.; ARRUDA, F.B. **Efeito do dossel vegetativo no consumo de água e no coeficiente de cultura basal da ervilha (*Pisum sativum* L.)**. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA e II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA. 1996. Bauru, SP.

MELO, R.F. de; ANJOS, J.B. dos; PEREIRA, L.A.; BRITO, L.T. de; SILVA, M.S.L. da. **Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido.** Petrolina, 2011. ISSN 1809-0001.

NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos Solos – Ensaio de Laboratório.** São Carlos – EESC – USP, 1995.

NUNES FILHO, J.; GUERRA, C.A.M.; SOUZA, A.R.; SÁ, V.A. L.; SOARES, M.J.C.C. **Qualidade da água de açudes, para fins de irrigação no sertão de Pernambuco.** ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n.44, p.35-39, 1991.

OLITTA. A.F.L. **Os métodos de irrigação**. Sao Paulo: Livraria Nobel, 1977. 00267 P.

OLIVEIRA, E.L.; KLAR, A.E. **Gotejadores de bambu para utilização em sistemas de irrigação subsuperficial: uma solução de baixo custo.** Irriga. Botucatu, v.4, p. 140-157, 1999.

OLOKESUSI, F. **Legal and institutional framework of environmental impact assessment in Nigeria: an initial assessment.** *Environmental Impact Assessment Review*, New York, v. 18, p. 159-174, 1998.

ONGLEY, E.D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas.** Tradução de GHEYI, H.R.; DAMASCENO, F.A.V.; BRITO, L. T. de L. Campina Grande: UFPB, 2000. 92 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 55).

PENMAN, H.L. **Evapotranspiration: an introduction survey.** *Neth. J. Agrc. Sci.*, 4:9-29. 1956.

PENMAN, H.L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** *Proc. Royal Society of London*, A193: p.120 – 45. 1948.

PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração.** FEALQ, Piracicaba, 183p. 1997.

PIRES, R.C. de M. **Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto,** São Paulo. Piracicaba, 1992. 115p. Tese (Mestrado) – ESALQ/USP, 1992.

PIRES, R.C. de M.; ARRUDA, F.B. **Lâmina adicional de irrigação.** *Bragantia*, v.54, n.1, p.201-207, 1995.

PIRES, R.C. de M.; CALHEIROS, R. de O.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. & ARRUDA, F.B. **Informações básicas sobre irrigação e drenagem.** In: *Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo*, 6 ed. Campinas, Instituto Agrônômico, p.222-225, 1998. (IAC. Boletim 200).

PORTO, R. La L. ZAHED, F. K. **Bacias Hidrográficas**, Escola Politécnica da USP, PHD 307, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 1999. Disponível em: <[http://www.ufmt.br/ppgrh/ementas/rh/Apostila\\_Bacias\\_Hidrograficas-USP.pdf](http://www.ufmt.br/ppgrh/ementas/rh/Apostila_Bacias_Hidrograficas-USP.pdf)> Acesso em: 03/01/2016.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. da. **Escoamento Superficial**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 80 p.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997. Campina Grande. Anais. Campina Grande: UFPB/SBEA.1 CD. SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution 24: 201-207. 2009.

RAWLS, W.J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J.A.; WARD, T.J. **Infiltration**. In: AMERICAN SOCIETY of CIVIL ENGINEERS. Hydrology Handbook. 2. ed. New York: ASCE, 1996. p.75-124. (ASCE Manuals and Reporton Engineering Practice, 28).

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J., (2007). **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 330-333, 2004. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>

RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. **Salinity in irrigation agriculture**. In: STEWART, B.A. Irrigation of Agricultural Crops. Madison: SSSA, 1990. Agronomy, 30.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável.** In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S; ALVAREZ, V.H. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: 2003. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.

ROCHA, O; PIRES, J. S. R.; SANTOS, J.E. dos. (2000). A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: Espindola, E. L. G. **A bacia hidrográfica do rio Monjolinho: Uma abordagem Eossistêmica e a visão interdisciplinar.** São Paulo: Rima. p.1-16.

SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação.** 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SALTER, P.J.; GOODE, J.E. **Crop responses to water at different stages of growth.** Bucks, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967.246p.(Research Review, 2).

SAMANI, Z.A.; WALKER, W.R.; WILLARDSON, L.S. **Infiltration under surge flow irrigation.** Transactionsofthe ASAE, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 1539-1542, 1985.

SANTOS, A.M.; CABELGUENNE, M.; SANTOS, F. L. **EPIC-PHASE: a Model to explore Irrigation Strategies.** Journal of Agricultural Engineering Research, New York, v. 75, p. 409-416, 2000.

SCHMIDT, W. **Impacto ambiental da quimigação.** In: SEMINÁRIO DE QUIMIGAÇÃO, 1997, Barreiras. Anais. Barreiras: Dow Agro Sciences, 1997. p. 55-67.

SCHMIDT, W. **Uso de óleo sem surfactante na aplicação de clorpirifós via insetigação na cultura do milho.** Dissertação de Mestrado. Piracicaba, 2003, 83 p. Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz.



STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** Rev. Bras. Ci. Solo, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf.** STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos, v. 1, n. 3, p.18-23, jan./fev. 1983.

SCHMIDT, W.; COELHO, R.D.; JACOMAZZI, M.A.; ANTUNES, M.A.H. **Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - Região Sudeste.**

SCHULBACH, H.; ALDRICH, T. **Water requirements for food production.** Soil and Water newsletter, Amsterdam, v. 38, p. 13-17, 1978.

SCHULTZ, B. **Role of dams in irrigation, drainage and flood control.** Water Resources Development, Oxfordshire, v. 18, n. 1, p. 147-162, 2002.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, P.R. **Balanço Hídrico Climatológico Normal e Sequencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação.** Aula nº 9. disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. ESALQ/USP – 2009.

SILVA JUNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. **Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SHARPLEY, A.N. **The effect of storm interval on the transport of soluble phosphorus in run off.** Journal of Environmental Quality, Madison, v. 9, n. 4, p. 575-578, 1980.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome FAO 45 p. 1991.

SOUSA, C.H.C. 2007. **Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão**. Fortaleza. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on irrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TESTZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas, FEAGRI- Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2011. 203p.

THOMANN, R.V.; MUELLER, J.A. **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control** Harper Collins Publishers, 1987.

TORMENA, C.A.; PIRES DA SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

TRIPATHI, M. P.; PANDA, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S. (2003). **Identification and Prioritisation of Critical Sub-watersheds for Soil Conservation Management using the SWAT Model**. Biosystems Engineering 85 (3), 365–379.

TUCCI, C.E.; **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009, 943 p.

UNDERSANDER, D. J., T. H. MAREK, and R. N. CLARK. 1985. **Effect of nozzle type on runoff and yield of corn and sorghum under center pivot sprinkler systems**. Irrig. Sci. 6(1): 107-116.

ULZURRUN, M.D.D. **Salinidad e alcalinidad del suelo em relación com el riego de drenaje**. In: V máster internacional de riego y drenaje. Madrid: centermapya, 161p. 2000.

URCHEI, M.A. (Ed.) **Princípios de agricultura irrigada: caracterização e potencialidades em Mato Grosso do Sul**. Editado por Mário Artemio Urchei e Carlos Ricardo Fietz. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 150p.; 21cm. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 37).

VANAGS, C.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. (2004). **The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance**. In: Proceedings of the 3rd Australian New Zealand Soils Conference. p. 5-9.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. **Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils**. *SoilSci.*, Baltimore, 68:75-94, 1949.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245p. 1975.

VON BERNUTH, R. D., and J. R. GILLEY. **Evaluation of center pivot application packages consider droplet induced infiltration reduction**. *Trans. ASAE* 28(6): 1985

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG. 1996.

WALKER, W.R. **Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems**, Rome: FAO, 1989, 138p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 45).

WHITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: EPU, 1977. 339 p

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. *Scientific Agriculture*, v.27, n.11, p.565-583, 1947. E.M. de M. ROCHA et al.

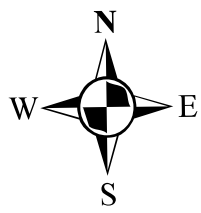
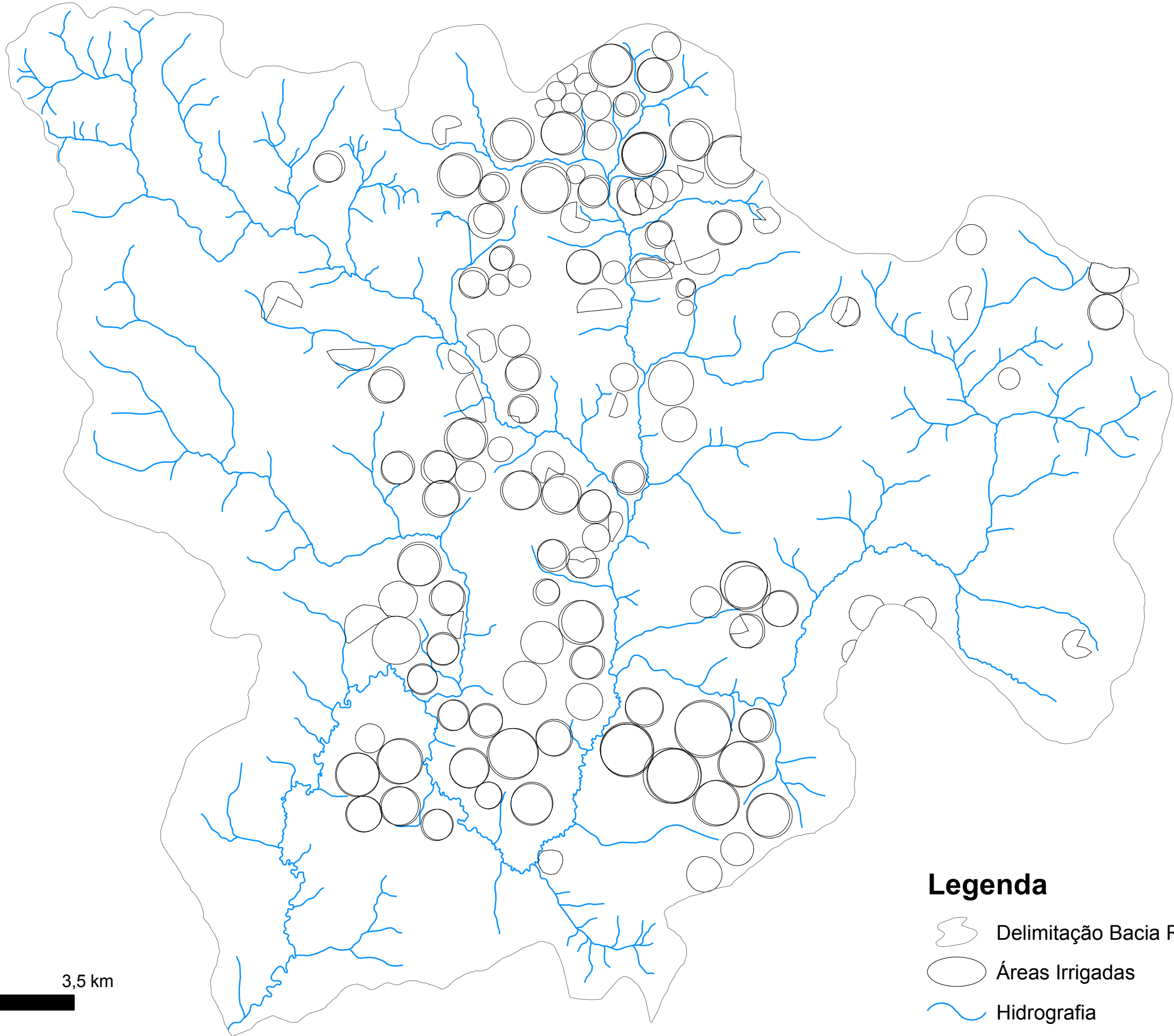
ZALIDIS, G., STAMATIADIS, S., TAKAVAKOGLU, V., ESKRIDGE, K., MISOPOLINOS, N. **Impacts of Agriculture practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology**. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 (2002) 136-146

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; DOS SANTOS COLLARES, J.Q. (2004). **Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil.** Environmental geology, 45(3), 408-425.

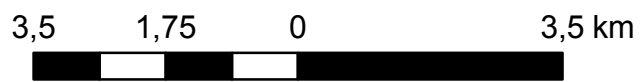
ZUQUETTE, L.V; PALMA, J.B. **Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu.** R. Esc. Minas, Ouro Preto, 59(1)/; 81-87, jan. mar. 2006.

# ANEXO 1




# Áreas Irrigadas

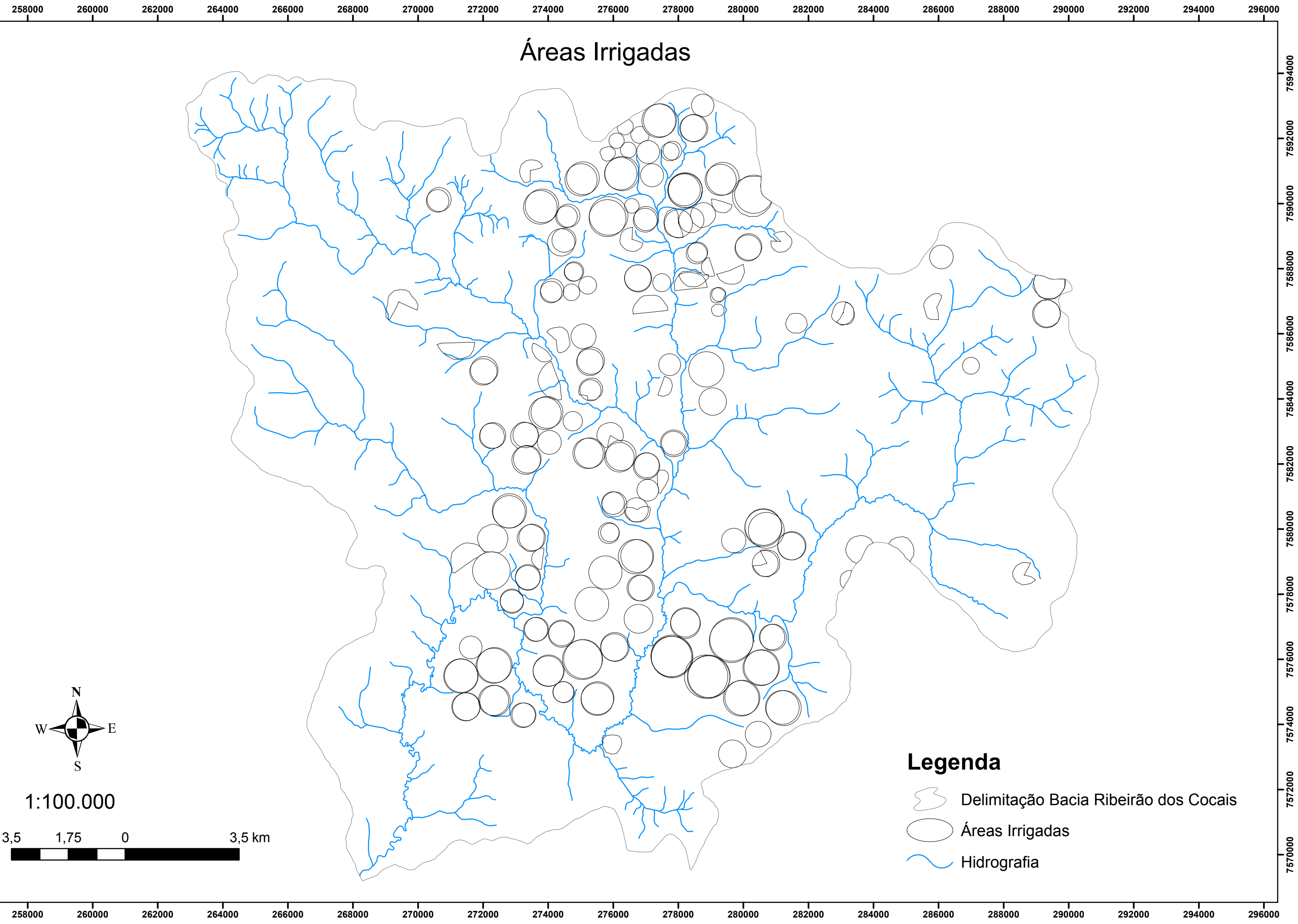


1:100.000



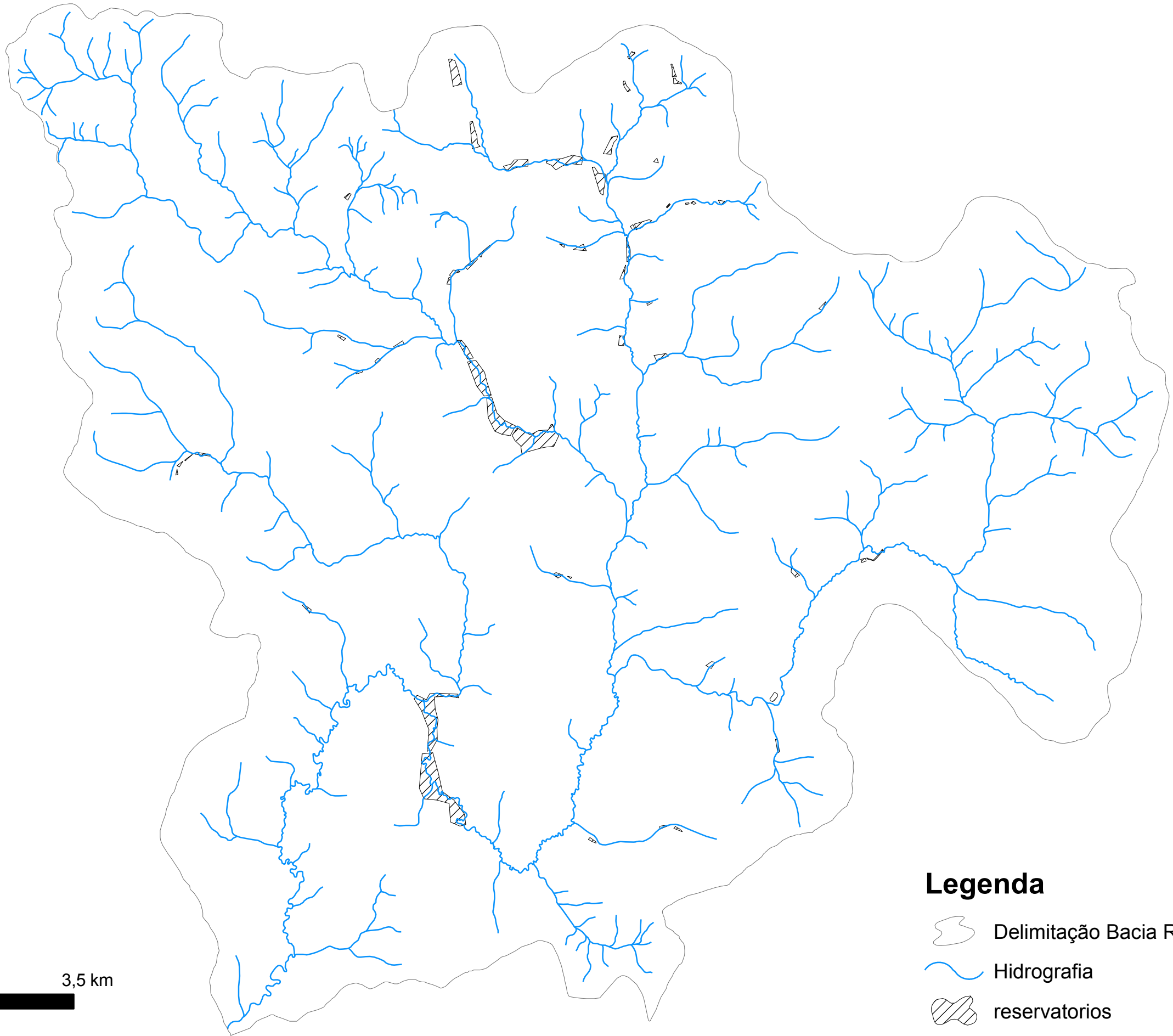
## Legenda

-  Delimitação Bacia Ribeirão dos Cocais
-  Áreas Irrigadas
-  Hidrografia






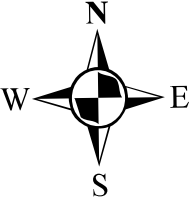
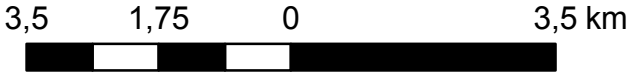
# ANEXO 2

# Reservatórios



## Legenda

-  Delimitação Bacia Ribeirão dos Cocais
-  Hidrografia
-  reservatorios



1:100.000

258000 260000 262000 264000 266000 268000 270000 272000 274000 276000 278000 280000 282000 284000 286000 288000 290000 292000 294000 296000

7570000 7572000 7574000 7576000 7578000 7580000 7582000 7584000 7586000 7588000 7590000 7592000 7594000



# ANEXO 3

# SubBacias e Vertentes da Área de Estudo

