



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA – CA  
ENGENHARIA CIVIL

ERONILDO LUIZ DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ALUVIÕES PARA A  
CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO**

CARUARU – PE

2018

ERONILDO LUIZ DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ALUVIÕES PARA A  
CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Universidade Federal de Pernambuco como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo

CARUARU – PE

2018

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S586a Silva Filho, Eronildo Luiz da.  
Avaliação do potencial de aproveitamento de aluviões para a construção de barragens subterrâneas no semiárido pernambucano. / Eronildo Luiz da Silva Filho. – 2018.  
45 f. il. : 30 cm.

Orientador: José Almir Cirilo.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.  
Inclui Referências.

1. Recursos hídricos. 2. Barragens e açudes. 3. Aluvião. 4. Salinização. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2018-314)

ERONILDO LUIZ DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ALUVIÕES PARA A  
CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Universidade Federal de Pernambuco como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o  
candidato APROVADO com nota \_\_\_\_\_.

Caruaru, 14 de Janeiro de 2018

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. José Almir Cirilo

Universidade Federal de Pernambuco

---

Orientador

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco

---

Avaliador

Dr<sup>a</sup>. Tatiane B. Veras de Albuquerque

Universidade Federal de Pernambuco

---

Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais Eronildo Luiz e Maria de Fátima por todo amor, apoio e incentivo nas horas difíceis que sempre me deram e mostraram que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

A minha namorada Bárbara Andréa pelo apoio e ajuda em todas etapas na universidade, e pela compreensão minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

Aos meus avós (in memoriam) que sempre acreditaram e incentivaram a formação, e sei que de algum lugar estão vibrando com minha vitória.

A Universidade Federal de Pernambuco por toda estrutura proporcionada durante o curso, e a todos os professores responsáveis não só pela minha formação acadêmica e profissional, como também pela contribuição no caráter e respeito.

Ao meu orientador Dr. José Almir Cirilo, pelo suporte dado no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Enfim a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Enquanto o poço não seca, não sabemos dar  
valor à água”

Thomas Fuller

## RESUMO

Diante da histórica escassez de recursos hídricos na região semiárida, é latente a necessidade de se encontrar novas fontes de obtenção e armazenamento de água, seja para o consumo humano e animal ou seja para plantação. Fatores como menor taxa de evaporação, menor risco de poluição, baixo consumo de áreas com inundação e custo baixo, comparado a outros represamentos, tornam a barragem subterrânea uma opção eficaz para essa demanda hídrica na região. Como sua construção se dá sobre os solos aluvionares, o presente trabalho é fundamentalmente elaborado para identificação e mapeamento desse tipo de solo, no tocante à aptidão para a construção de barragens subterrâneas. Este estudo almeja fornecer uma base com locais para a implantação dessas barragens, de acordo com duas abordagens. A primeira consiste na estimativa de volume armazenável dos bolsões aluvionares do estado. A outra se dá pela análise de áreas e de risco de salinização primária das águas armazenadas nesses barramentos, já que esse é um dos principais problemas desse tipo de barramento.

Palavras-chave: Escassez hídrica. Recursos hídricos. Barragem subterrânea. Solo aluvionar. Controle de salinização.

## **ABSTRACT**

Faced with the historical scarcity of water resources in the semi-arid region, it is evident the need to find new alternatives for obtaining and storing water, whether for human and animal consumption, or for farming. Factors such as lower evaporation rate, lower pollution risk, low loss of flooded areas and low cost, compared to other impoundments, make the underground dams an effective option for this water demand in the region. As its construction takes place on alluvial soils, the present work is fundamentally elaborated for identification and mapping of this type of soil, regarding the aptitude for the construction of underground dams. This study aims to provide a basis with locations for the implementation of these dams, according to two approaches. The first is the estimation of storable volume of alluvial pockets of the state. The other is the analysis of areas and the risk of primary salinization of the water stored in these dams, since this is one of the main problems of this type of dam.

Key words: Water scarcity. Water resources. Underground dam. Alluvial soil. Control of salinization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do Ciclo Hidrológico .....	14
Figura 2 – Elementos da bacia hidrográfica .....	17
Figura 3 – Esquema da barragem subterrânea, vista longitudinal .....	19
Figura 4 – Esquema da barragem subterrânea, vista tridimensional .....	19
Figura 5 - Número de barragens subterrâneas em Pernambuco .....	20
Figura 6 – Colocação do septo impermeável na trincheira .....	21
Figura 7 – Poço amazonas constituído de tijolo cerâmico .....	22
Figura 8 – Poço amazonas constituído de anéis de concreto .....	22
Figura 9 – Sub-bacias de drenagem do estado de Pernambuco .....	25
Figura 10 – Cursos d'água do estado de Pernambuco .....	26
Figura 11 – Solos aluvionares (em vermelho) sobre a rede de drenagem do estado de Pernambuco .....	26
Figura 12 – Identificação dos solos aluvionares por municípios.....	27
Figura 13 – Solos Aluvionares escolhidos.....	28
Figura 14 – Classificação dos solos em níveis (Propriedades salinas em vermelho).....	31
Figura 15 – Solos suscetíveis à salinização .....	32
Figura 16 – Área de drenagem da Barragem Pedro Moura .....	33
Figura 17 – Área de drenagem da Barragem de Jucazinho.....	33
Figura 18 – Dados dos aluviões 158, 51, 174, 44, 40, 204, 206, 210, 211 e 133 .....	36
Figura 19 – Dados dos aluviões 128, 151, 171, 55 e 16 .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo total de água (km <sup>3</sup> /ano) .....	12
Tabela 2 – Faixas para a condutividade hidráulica em função do tipo de solo .....	18
Tabela 3 – Tabela de área por porção aluvionar .....	27
Tabela 4 – Características dos solos selecionados.....	29
Tabela 5 – Classificação dos solos quando à capacidade das propriedades salinas	32
Tabela 6 – Características dos solos selecionados e estimativa de volume .....	34
Tabela 7 – Parâmetros de classificação da salinidade.....	36
Tabela 8 – Susceptibilidade de salinização.....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	Justificativa .....	11
1.2	Motivação .....	12
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
1.3.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1	Ciclo Hidrológico.....	14
2.1.1	<b>Precipitação .....</b>	<b>14</b>
2.1.2	<b>Infiltração .....</b>	<b>15</b>
2.1.3	<b>Escoamento superficial .....</b>	<b>16</b>
2.1.4	<b>Evaporação .....</b>	<b>16</b>
2.2	Bacia hidrográfica .....	17
2.3	Condutividade hidráulica .....	17
2.4	Solos Aluvionares .....	18
2.5	Barragens subterrâneas .....	19
2.6	Salinidade no Solo.....	23
2.7	Zoneamento Agroecológico - ZAPE .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1	Geração da rede hidrográfica .....	25
3.2	Identificação dos solos .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÃO .....</b>	<b>34</b>
4.1	Volume máximo armazenável .....	34
4.2	Susceptibilidade a salinização.....	35
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região semiárida é classificada pela nova delimitação do semiárido brasileiro do Ministério da Integração Nacional (2004) como sendo uma área que atenda a 3 critérios: Precipitação pluviométrica inferior a 800 milímetros, índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990, e o risco de seca maior que 60%. Segundo essa classificação, no estado de Pernambuco, dos 184 municípios, 122 (66,3%) estão classificados como da região semiárida.

Essa região sofre continuamente com as estiagens, com graves consequências socioeconômicas para a população, tendo em vista que a água é um bem essencial para o desenvolvimento econômico, seja este agrícola ou industrial, bem como para a manutenção da vida da população.

Segundo EMBRAPA:

Nos anos 2012 e 2013, mais de 1.400 municípios da região Nordeste e do norte de Minas Gerais foram severamente castigados com a estiagem [...] um relatório divulgado pela Agência Nacional de Águas aponta que, até o ano de 2025, mais de 70% das cidades com população acima de 5.000 habitantes do Semiárido enfrentarão crise no abastecimento de água para consumo humano. (2014)

Levando-se em conta a extensão do semiárido pernambucano, através de grandes reservatórios abastecer a populações difusas se torna complicado do ponto de vista econômico, tornando mais relevante o uso de medidas mais locais para este abastecimento. Atualmente diversas soluções são utilizadas para amenizar esse efeito, a exemplo as cisternas, poços, barreiros, barragens superficiais e, em menor escala, barragens subterrâneas, foco principal do presente trabalho.

### 1.1 Justificativa

Segundo Rebouças (2002), a água doce é um elemento essencial aos ecossistemas, ao abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento das atividades industriais e agrícolas. Um crescimento expressivo do consumo, nesses quesitos, é demonstrado na Tabela 1. Uma das condições básicas para a existência de vida na terra é a presença de água na forma líquida (LIMA, 1986).

Tabela 1 – Consumo total de água (km<sup>3</sup>/ano)

Uso	Ano 1970	Ano 1975	Ano 2000
Suprimento doméstico	120	150	500
Indústria	510	630	1.300
Agricultura	1.900	2.100	3.400
Total	2.530	2.880	5.200

Fonte: Gleick, 1993; Pielou, 1998; Thundisi, 2001.

A implantação de barragens subterrâneas no semiárido pode contribuir de forma positiva na melhoria do abastecimento de populações difusas, bem como no gerenciamento dos recursos hídricos.

Frente a isso, o presente trabalho visa analisar os solos aluvionares no semiárido do estado de Pernambuco, a fim de classificar sua aptidão de acordo com a área, capacidade de acúmulo de água com base na topografia da bacia de contribuição, bem como potenciais riscos de salinização.

## 1.2 Motivação

A motivação para a realização desse trabalho é a constante escassez de recursos hídricos no semiárido do estado de Pernambuco. Como é de se esperar novas formas de obtenção e armazenamento de água devem ser estudadas e disponibilizadas para o abastecimento das populações difusas.

Para um estudo desse escopo faz-se necessário conhecimentos nas áreas de Hidráulica, Hidrologia, Geologia, Topografia, Geoprocessamento, dentre outros. Por consequência, a elaboração deste trabalho proporcionará o exercício dos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de Engenharia Civil, bem como trará a experiência, que poderá ser utilizado na vida profissional, e poderá servir de suporte para estudos, projetos e ações.

Destarte, a concepção deste estudo irá indicar localidades com potencial para a implantação de barragens subterrâneas, bem como proporcionar de forma prática uma análise tanto qualitativa como quantitativa dos bolsões aluvionares do semiárido do estado.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o potencial de aproveitamento dos solos aluvionares do estado de Pernambuco para a implantação de barragens subterrâneas através da aplicação de métodos computacionais.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar as áreas de solos aluviais, com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco.
- Quantificar a capacidade de armazenamento dos bolsões aluviais.
- Verificar a constituição de solos vizinhos, com o objetivo de, conhecendo sua composição, prever e evitar a salinização das barragens subterrâneas.
- Gerar um banco de dados de possíveis áreas aproveitáveis para a implantação das barragens subterrâneas.

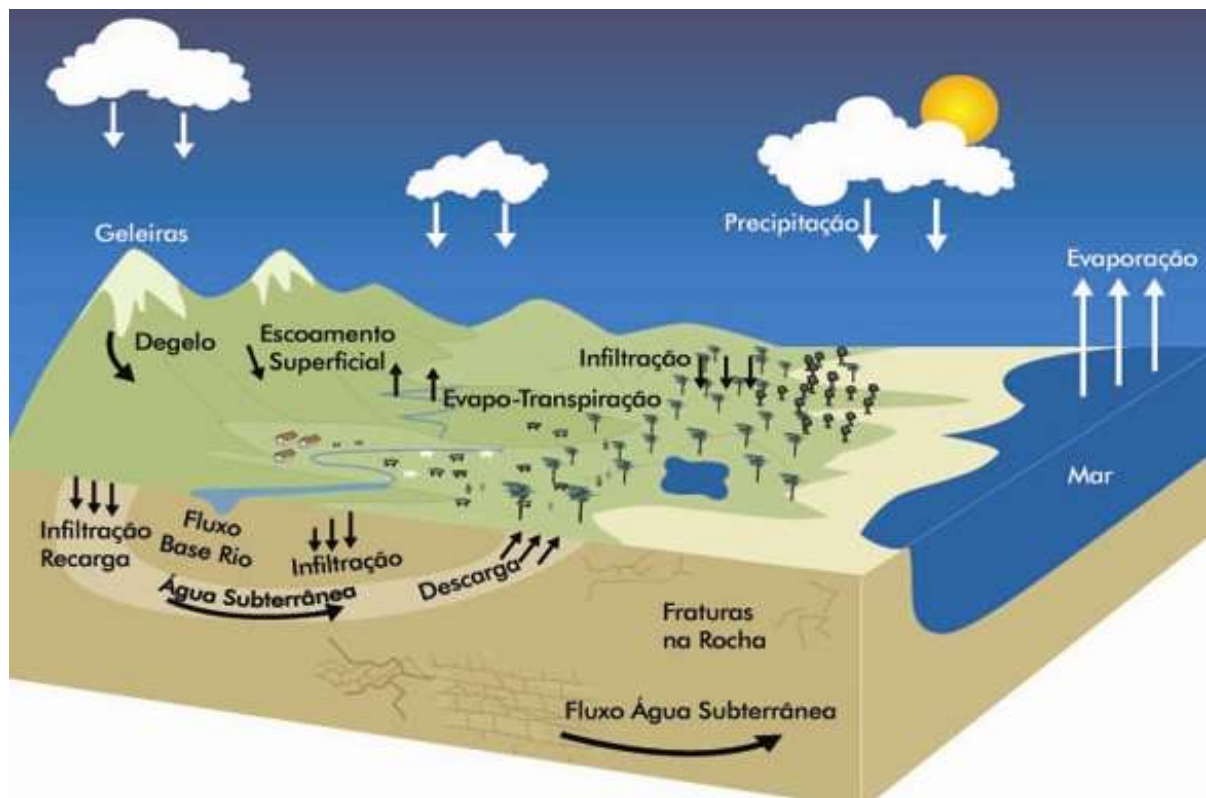
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2001).

As principais etapas do ciclo, consoante Figura 1, são a precipitação, infiltração, escoamento superficial e evaporação, que serão descritos nas seções 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 e 2.1.4, respectivamente.

Figura 1 – Representação do Ciclo Hidrológico



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2018

#### 2.1.1 Precipitação

Para Tucci (2001), a precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico, seja em forma de chuva, neblina, granizo e outros, diferenciando-se apenas pelo estado físico da água. As precipitações podem ser classificadas em:

- **Convectivas:** Quando a massa de ar quente se eleva até camadas mais frias da atmosfera, com o resfriamento da água que se condensa e precipita-se no estado líquido. Consoante Azevedo (2010), esse tipo abrange pequenas áreas e se caracteriza por ter curta duração e grande intensidade. Tucci (2001), comenta que são precipitações que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias.
- **Orográficas:** Ocorrem com o encontro de ventos quentes e úmidos com áreas de relevo mais elevado, como montanhas. Também chamadas de chuvas de relevo. Segundo Tucci (2001), essas atingem pequenas áreas e possuem longa duração e pequena intensidade.
- **Frontais:** Advém do choque entre massa de ar quente e fria, a água em estado de vapor é condensada e há precipitação de água em fase líquida. Segundo Azevedo (2010), este tipo de precipitação atinge grandes áreas e é caracterizado por longa duração e média intensidade.

### **2.1.2 Infiltração**

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo (SOBRINHO, et al, 2003). Esse processo se inicia com a penetração nas camadas mais superficiais com a água se movendo para baixo, dentre os vazios, até atingir uma camada menos permeável.

Segundo Libardi (2005), alguns fatores interferem nos padrões de infiltração, sendo um dos principais o manejo do solo nas atividades agrícolas e atributos pedogenéticos (físicos, químicos e processo de formação do solo). Há de salientar que a textura e declividade do terreno, porosidade, umidade, matéria orgânica, cobertura vegetal, também influenciam de forma substancial na infiltração da água no solo, conforme preceitua Carduro e Dorfman (1988).

Esse fenômeno possui vários aspectos positivos, uma vez que a infiltração acarreta o preenchimento dos vazios do solo com água, que pode ser utilizada pela vegetação, para a recarga de aquíferos, ou, em casos como os das barragens subterrâneas acompanhadas de poço, promover a dessedentação dos animais e desenvolver a economia, mediante atividades agrícolas.

Assim sendo, essa é uma das etapas mais importantes do ciclo hidrológico, responsável pela recarga de aquíferos, reduzindo o escoamento superficial direto e,



como resultado, a erosão hídrica (TUCCI e BELTRAME, 2000). Segundo Libardi (2005), durante uma chuva, parte da água pode infiltrar e se movimentar para baixo e parte pode escorrer pela superfície, caso o terreno apresente declividade.

### **2.1.3 Escoamento superficial**

Escoamento superficial é a etapa do ciclo hidrológico onde a água precipitada escoar sobre um solo saturado ou superfície impermeável, desde que a superfície em questão tenha inclinação, para provocar o fluxo superficial. A duração está associada praticamente à duração da precipitação (TUCCI, 2001).

Este escoamento pode, no percurso, interpelar outras lâminas de fluxo provocando um aumento nas vazões seguintes, encontrar cursos d'água adicionando volume ao mesmo, bem como represar-se mediante algum barramento. Esse represamento, caso se dê em um solo permeável, essa água pode infiltrar-se ao longo do tempo, diante disto, para as barragens subterrâneas, é recomendável a construção de um barramento de pedras a jusante com cerca de 0,60m, para reter um pouco da água do escoamento superficial durante os períodos de chuva garantindo uma maior infiltração na área (COSTA, 2001). Mais informações sobre as barragens subterrâneas encontram-se na seção 2.4.

### **2.1.4 Evaporação**

Evaporação é o processo de transferência da água superficial do estado líquido para o gasoso (SPERLING, 2002). O principal fator condicionante para a evaporação é a radiação solar, que transforma a água em vapor, entretendo a temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação principalmente em superfícies líquidas (MIRANDA et al., 2010).

A evaporação da água presente nos vazios do solo sabidamente se dá em uma taxa menor que a de lâmina de água expostas diretamente à radiação solar. Diante disto tem-se que o grande impacto negativo de um reservatório superficial, frente a um reservatório de águas subterrâneas, é a questão da evaporação, pois altas taxas resultarão em grandes perdas de água para esse fenômeno.

Conforme Mole (1989), no semiárido essa taxa de evaporação chega a atingir 3.000 mm/ano, que quando comparadas as precipitações médias anuais da região,

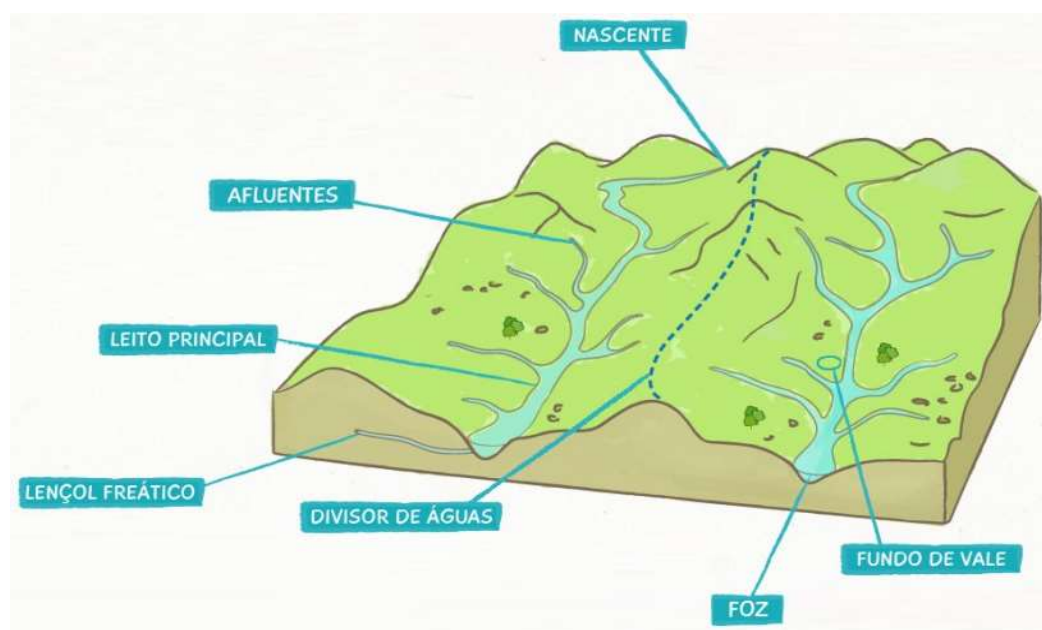
inferior a 800 mm/ano (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2004), é bastante elevada. Por outro lado, segundo Montenegro (2012), a evaporação da água no interior no solo no semiárido atinge cerca de 1800 mm/ano.

## 2.2 Bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (TUCCI, 2001).

De acordo com Tucci (2009), bacia hidrográfica é uma área de captação das precipitações e destinação do deflúvio, através de uma trama de drenagem composta por cursos de água, para um ponto de saída chamado de exutório. Nesta definição as águas superficiais escoam para áreas mais baixas dando origem à riachos, que juntam-se formando os rios ou leito principal, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Elementos da bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado, Santos, 2012

## 2.3 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica saturada é a facilidade com que a água se movimenta no meio poroso. Esse parâmetro é indispensável para o estudo de transporte e movimento de água no solo. A condutividade hidráulica em fase saturada

de um solo descreve a funcionalidade de seu sistema poroso, englobando propriedades como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (RAMIRES, et al, 1997). A partir disso se observa que, entre outros fatores, solos com mais uniformidade de granulometria e conectividade de poros tem uma maior condutividade hidráulica que os de granulometria mais descontínua e poros desconexos.

Tabela 2 – Faixas para a condutividade hidráulica em função do tipo de solo

Classe textural	k [m/dia]
Areia	4,96
Areia franca	1,45
Franco arenoso	0,61
Franco	0,31
Franco Siltoso	0,15
Franco Argilo arenoso	0,10
Franco Argiloso	0,05
Franco Argiloso Siltoso	0,04
Argila Arenosa	0,03
Argila Siltosa	0,02
Argila	0,01

Fonte: Febusson e Debo, 1990.

Na Tabela 2 tem-se os valores da condutividade hidráulica de acordo com o tipo de solo. A partir desta, pode-se extrair que solos compostos por areia possuem uma condutividade hidráulica saturada maior que os demais.

## 2.4 Solos Aluvionares

Aluviões são formações de solo onde seus constituintes são transportados pelos cursos d'água e depositados nas regiões onde a velocidade do fluxo é reduzida. Por conta dessa característica, esse solo tem sua granulometria variada, variação esta que se dá em função da velocidade do corpo hídrico.

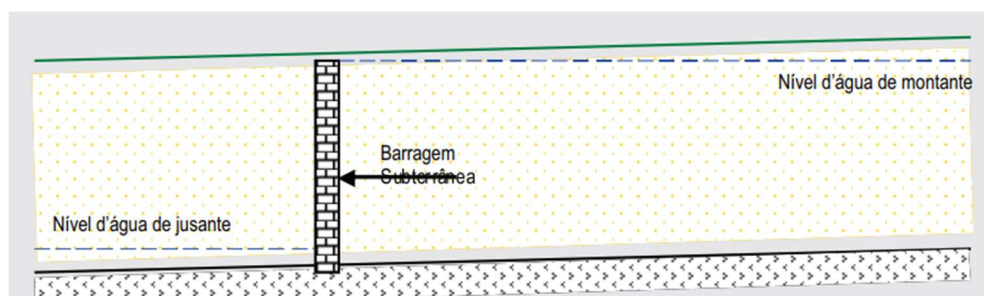
A sua formação se inicia pelo intemperismo das regiões altas, por meio da água, temperatura, vento ou vegetação. Esse material degradado ao entrar em contato com o corpo hídrico é transportado e como citado anteriormente é depositado em regiões de velocidade inferiores à média do curso d'água.

Composto principalmente por areia de granulometria em média mais elevada que os demais solos, os solos aluvionares possuem um maior coeficiente de vazios, resultando numa elevada condutividade hidráulica, conforme visto anteriormente na Tabela 02, o que torna esse tipo de solo ideal para a implantação das barragens subterrâneas, já que tem elevada taxa de infiltração e um maior volume armazenável.

## 2.5 Barragens subterrâneas

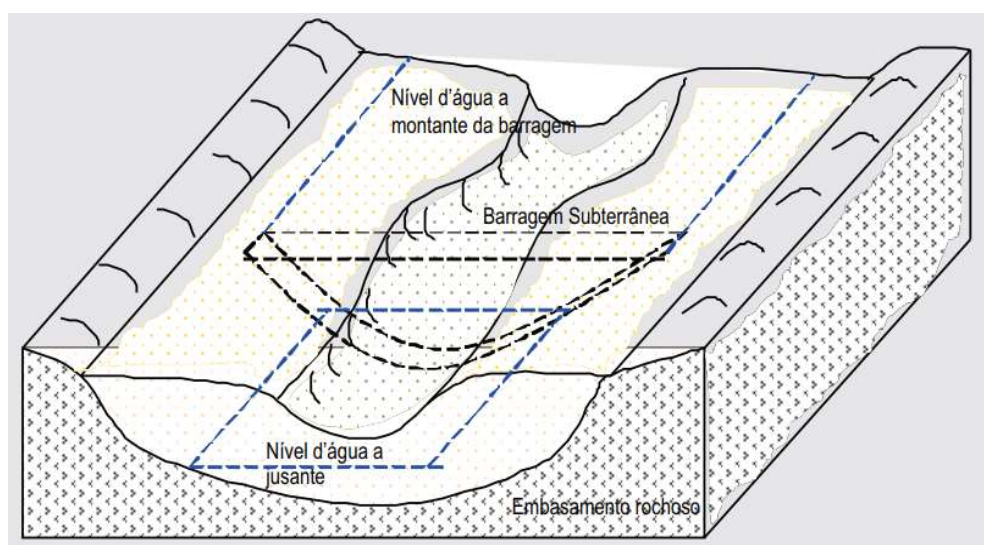
Para Costa (2001) a barragem subterrânea consiste no armazenamento das águas contidas nos aluviões dos rios, que são alimentadas anualmente pelo escoamento superficial. Basicamente a barragem resume-se em construir um barramento sub a superfície, de modo a reter a água infiltrada no solo, impedindo a continuação do seu curso horizontal. Conforme ilustra as Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Esquema da barragem subterrânea, vista longitudinal



Fonte: Costa, 2015.

Figura 4 – Esquema da barragem subterrânea, vista tridimensional



Fonte: Costa, 2015.

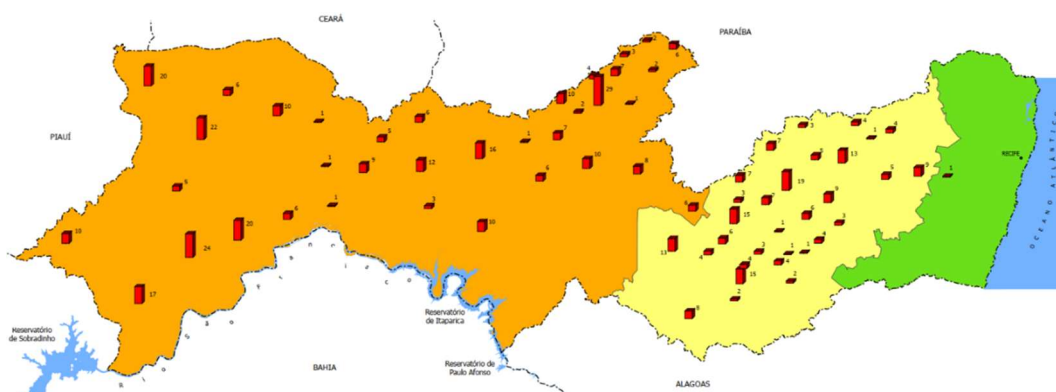
Do ponto de vista de disponibilidade de área as barragens subterrâneas são uma ótima alternativa tecnológica frente a soluções de represamento superficial, sua vantagem nesse aspecto se dá pelo fato desta não haver perdas de áreas por inundação, podendo ainda se utilizar da superfície da barragem para a agricultura.

De acordo com Costa:

A barragem subterrânea é uma obra de fácil e rápida execução, podendo ser executada em um a dois dias, baixo custo, da ordem de apenas R\$ 2.000,00, que protege a água da evaporação, da poluição e não acarreta inundações superficiais (2001, p.1).

A localização realizada em 1998 de barragens subterrâneas em Pernambuco é representada na Figura 5.

Figura 5 - Número de barragens subterrâneas em Pernambuco



Fonte: SRHE-PE, 1998.

Em localidades como o semiárido, que enfrenta altos índices de evaporação para uma lâmina d'água exposta, atingindo taxas de 3.000 mm/ano (MOLLE, 1989), este tipo de solução é de grande valia frente ao represamento por barreiros, que atrelando a estiagem à contribuição da evaporação podem chegar a secar totalmente em épocas do ano. Segundo Montenegro (2012), a evaporação da água no solo do semiárido atinge cerca de 1800 mm/ano. Isso torna mais interessante a escolha por barragem subterrânea, frente ao represamento por barreiros, onde a taxa de evaporação, 3.000 mm/ano, é quase o dobro.

Essas barragens tem um grande potencial a ser aproveitado, pois com o seu baixo custo, baixa necessidade de área para alagamento, facilidade na construção os retornos de benefícios são amplos, como cita Costa:

Essa barragem subterrânea, que mais tarde viria a ser reproduzida em mais três na mesma propriedade, vem assegurando, desde 1987, ao seu proprietário, a produção (com irrigação) de mangas numa área de 40 há de terraços aluviais, que são exportadas anualmente para a Europa. (2001)

Na Coreia, desde a década de 80, seis barragens subterrâneas são operadas até os dias atuais, segundo Kim (2017). Seus usos são os mais diversos, indo desde irrigação até a obtenção de água para o resfriamento de uma usina nuclear na bacia do Rio Palar, no Sul da Índia.

Sua construção é relativamente simples, cuja execução se dá inicialmente pela escavação, manual ou mecanizada, de uma trincheira transversal ao eixo do rio, a jusante do local da barragem, com profundidade suficiente para atingir o embasamento cristalino. Seguido pela colocação de um septo impermeável, conforme indicado na Figura 6 que impedirá a percolação da água para a jusante da barragem, formando assim a represa subterrânea. Esse septo pode ser uma lona plástica, argila compactada, pedra argamassada, entre outros.

Figura 6 – Colocação do septo impermeável na trincheira



Fonte: Portal Correio, 2014.

Deve-se construir, na região mais baixa da trincheira um poço amazonas, constituídos de tijolos cerâmicos, como ilustrado na Figura 7, ou anéis de concreto pré-moldado, conforme mostra a Figura 8, bem como a colocação de drenos na face



do septo impermeável para facilitar a entrada de água para o poço. Esse poço servirá para facilitar a retirada de água, monitoramento do nível e qualidade da água do represamento. Além do poço amazonas, deve-se instalar a montante da barragem um piezômetro, onde será possível acompanhar o nível d'água durante todo o ano.

Figura 7 – Poço amazonas constituído de tijolo cerâmico



Fonte: Costa, 2015.

Figura 8 – Poço amazonas constituído de anéis de concreto



Fonte: Autor, 2018.

Executa-se posteriormente o fechamento da vala, com o material proveniente da escavação. Recomenda-se construir um pequeno barramento superficial, em torno de 0,6 metros, onde sua finalidade será reter um pouco de água das precipitações para garantir uma maior infiltração para a barragem. Segundo Senthilkumar e Elango (2011), a construção de uma barreira em uma barragem subterrânea torna possível aumentar a exploração de forma significativa.

## **2.6 Salinidade no Solo**

A salinidade das águas é um grande problema enfrentado pelas barragens subterrâneas, esta pode ser resultado da salinidade presente no solo. Para Resende et al (1988), os solos salinos são solos com alto teor de sais solúveis como: cloretos, cálcio, sulfatos, magnésio e principalmente o sódio. A salinização, para Amaral (2005), pode ocorrer de forma natural através de processos pedogenéticos, sendo denominada salinização primária, ou pode ser resultado de ação humana, salinização secundária.

Em ambientes favoráveis os sais solúveis presentes nos materiais de intemperismo dos minerais constituintes dos solos são lixiviados para camadas inferiores, atingindo o lençol freático e sendo transportados para o oceano, diante disto os solos salinos não são comuns de ocorrer em áreas mais úmidas. Já em regiões com baixa pluviosidade e alta taxa de evaporação, como o semiárido, os sais tendem a ficar concentrados na superfície, assim ocorrendo a salinização deste solo.

A caracterização da salinidade de uma área com grande extensão pode ser feita por meio de amostras saturadas de solo, onde a medição da condutividade elétrica é medida a partir da fase líquida do solo, conforme BEN-DOR et al. (2008). Onde quanto mais sais, maior a condutividade elétrica. Segundo EMBRAPA (1999), o caráter salino corresponde a condutividade elétrica, a 25 °C, maior ou igual a 4 e menor que 7 dS/m (decisiemens por metro). O caráter sálico corresponde a condutividade elétrica, a mesma temperatura, maior ou igual a 7 dS/m (decisiemens por metro). Onde o Siemen (S) é a unidade de condutância elétrica do Sistema Internacional de Unidades.

A grande problemática desse tipo de solo é o fato de que, segundo Brady (1989), os solos salinos, pelas suas elevadas concentrações de sais solúveis, são prejudiciais para os vegetais.



## **2.7 Zoneamento Agroecológico - ZAPE**

O Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco – ZAPE foi empreendido pela Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária de Pernambuco em convênio com a Embrapa. Neste estudo foi levantado os tipos de solos constituintes de todos estado de Pernambuco na escala 1:100.000.

O fato de conhecer o tipo de solo constituinte de cada região do estado é de grande valia, seja para a agricultura, para de antemão saber o comportamento do solo, se aceitam ou não algum tipo de cultura, seja para a engenharia civil, para se ter uma estimativa de resistência a penetração e profundidade do solo, para a gestão de recursos hídricos como na definição de barramentos, projetos de irrigação, risco de salinização, entre muitas outras áreas.

### 3 METODOLOGIA

A abordagem do estudo se dará tanto de forma quantitativa, na avaliação dos volumes dos solos aluvionares, quanto qualitativa, no processo de estudar a possibilidade de salinização dos futuros barramentos subterrâneos.

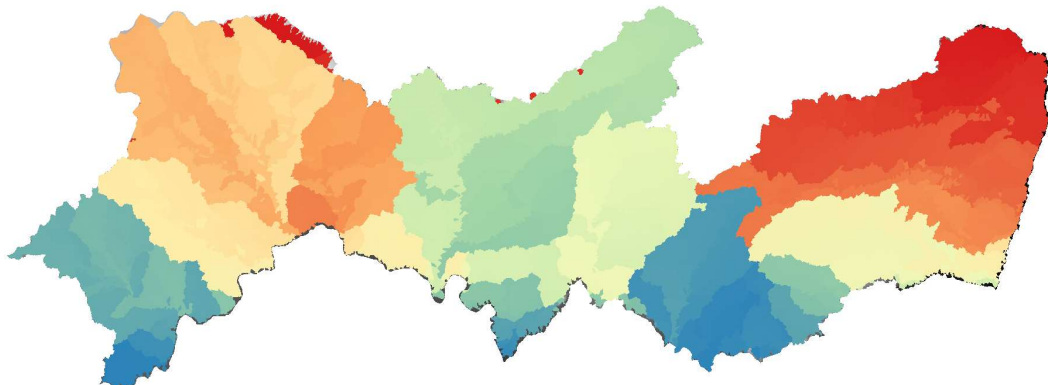
#### 3.1 Geração da rede hidrográfica

Embora existam mapeamentos da rede hidrográfica disponíveis nas bases de dados espaciais oficiais, como a do IBGE, não há uma boa precisão dos traçados. Dessa forma é preciso traçar a rede de rios com bases de dados espaciais mais adequadas, como o *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (NASA, 2015) e Pernambuco Tridimensional – PE3D (SRHE, 2016).

Pela escala adotada, de 1:1.000 nas áreas urbanas de 26 municípios e 1:5.000 nas demais áreas, e precisão de 25 cm de altura, a base do PE3D seria ideal. Entretanto, pelo seu volume de dados, para a realização do geoprocessamento seria necessário um processamento computacional muito pesado, assim sendo possível apenas a geração de menores bacias. Como o objetivo é gerar os cursos d'água do estado por inteiro, fez-se necessário utilizar o SRTM, pelo menor volume de dados.

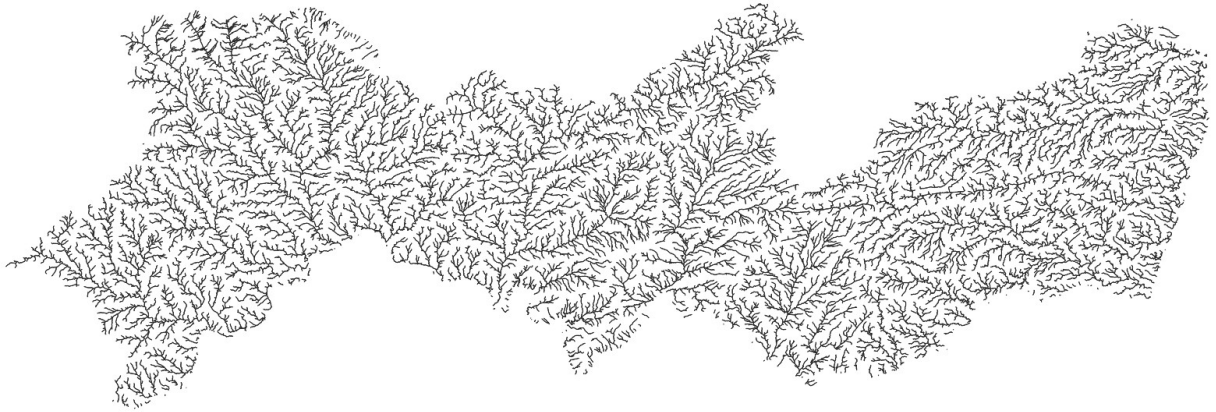
Nesta etapa, para o geoprocessamento foi utilizado o software QGis. Inicialmente foi gerado as bacias hidrográficas do estado, as declividades do solo e com isso foi gerado os cursos d'água de todo o estado. Os dados obtidos a partir deste processos foram as bacias de contribuição dos solos aluvionares, como mostrado na Figura 9, bem como a rede de drenagem do estado, como pode-se ver na Figura 10.

Figura 9 – Sub-bacias de drenagem do estado de Pernambuco



Fonte: Autor, 2018.

Figura 10 – Cursos d'água do estado de Pernambuco

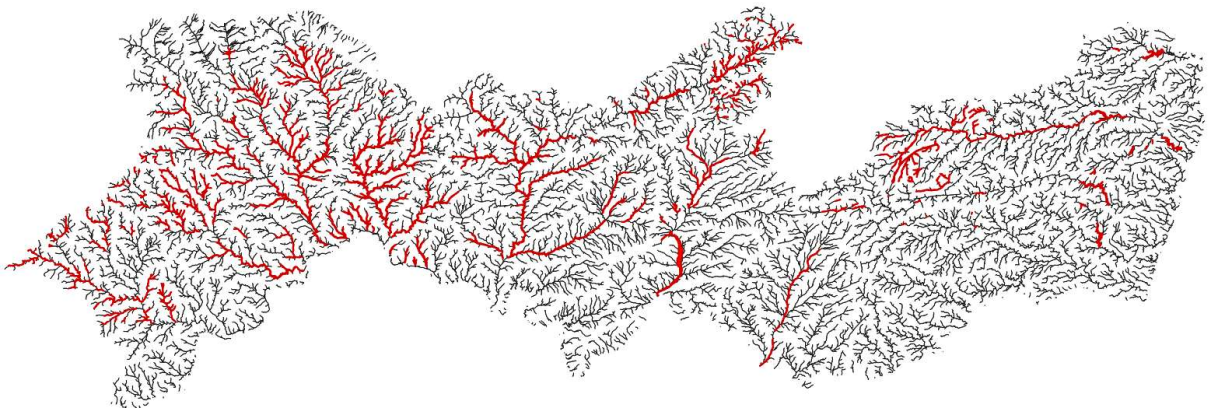


Fonte: Autor, 2018.

A rede de drenagem gerada é, segundo CIRILO e MENDES (2013), uma estrutura vetorial de linhas onde esta é feita por meio de uma linha que passa no centro geométrico do curso d'água, onde cada segmento de reta representa um trecho de rio. Também segundo CIRILO e MENDES (2013), uma bacia hidrográfica é subdividida, sem gerar sobreposições, em sub-bacias. Uma sub-bacia é conceitualmente um elemento que gera vazões no seu exutório.

A partir dessa rede de rios criada com as técnicas de geoprocessamento, foi possível sobrepor os solos aluvionares obtidos através dos dados do Zoneamento Agroecológico (EMBRAPA, 2001). Como resultado foi obtido um mapa com os solos aluvionares sobrepostos à rede de rios do estado de Pernambuco, mostrado na Figura 11, e através dessa pode-se observar que o estado de Pernambuco tem um grande número de regiões com solos aluvionares, inclusive muitos destes cobrindo grandes áreas, o que potencializa o poder de armazenamento de água dos mesmos.

Figura 11 – Solos aluvionares (em vermelho) sobre a rede de drenagem do estado de Pernambuco

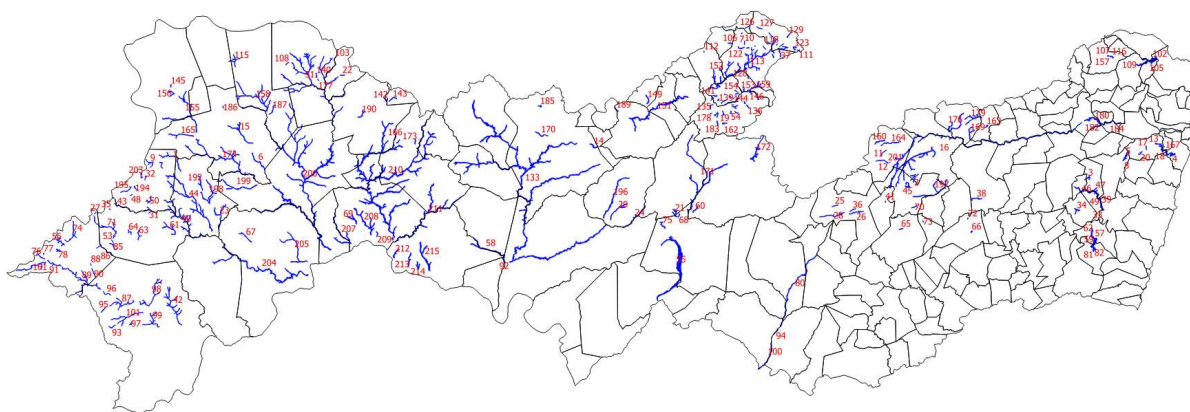


Fonte: Autor, 2018.

### 3.2 Identificação dos solos

A partir de todos os dados obtidos do Zoneamento Agroecológico do estado de Pernambuco pode-se realizar a separação dos dados de solos aluvionares dos outros tipos de solos, através do software QGis. Com os solos aluvionares já separados e corrigidos suas falhas foi então atribuído um número identificador para cada porção de solo, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Identificação dos solos aluvionares por municípios



Fonte: Autor, 2018.

A posteriori foi gerada uma tabela de atributos contendo, da mesma forma, os dados referentes a área, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3 – Tabela de área por porção aluvionar

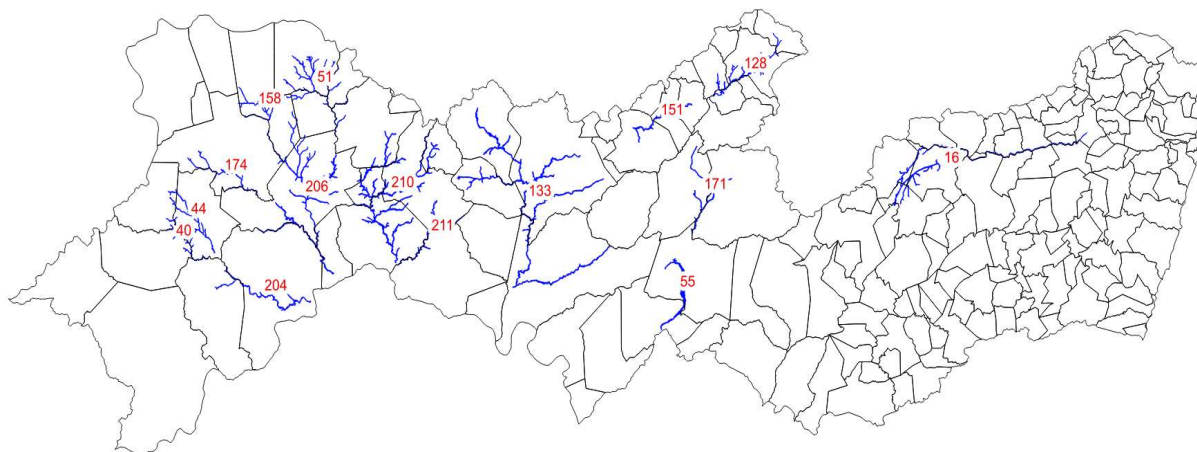
ID	Área (ha)	ID	Área (ha)	ID	Área (ha)	ID	Área (ha)	ID	Área (ha)	ID	Área (ha)
133	23.315	23	879	212	348	94	184	64	106	10	53
210	22.208	71	796	170	341	123	179	96	105	150	51
206	16.672	1	785	67	336	189	170	97	102	49	50
16	9.124	179	785	190	333	92	168	136	98	125	50
51	7.365	161	762	91	328	188	167	138	98	73	46
55	6.606	100	758	31	323	129	162	54	97	186	45
128	5.811	101	717	149	315	82	161	114	96	137	43
204	4.724	87	709	86	314	166	161	25	94	130	42
211	4.450	29	689	167	308	122	158	19	92	41	41
171	4.222	102	642	104	307	202	156	65	91	79	40
174	3.796	61	631	180	305	39	151	191	91	72	39
151	3.639	105	627	160	303	173	143	81	90	77	37
40	3.272	99	607	75	295	11	139	22	89	84	37

44	3.247	69	558	2	293	13	139	33	89	178	36
158	2.590	6	548	34	287	78	139	68	88	35	35
80	2.236	74	533	26	267	132	137	200	88	53	35
155	1.935	165	531	47	266	209	137	66	84	116	35
208	1.811	59	502	57	259	183	134	140	84	117	35
207	1.736	115	500	38	254	93	131	126	82	118	35
215	1.712	21	479	3	249	203	129	154	82	48	32
197	1.618	213	471	60	244	95	127	168	82	7	31
42	1.579	28	469	152	240	20	125	134	80	177	28
89	1.531	192	457	50	236	175	122	111	75	144	27
196	1.531	169	447	156	235	185	122	145	74	148	26
58	1.421	139	443	143	234	70	120	110	73	112	25
46	1.349	43	427	153	232	30	119	121	73	27	24
205	1.316	5	423	195	222	90	119	119	71	107	23
182	1.190	164	412	181	221	106	117	147	70	120	23
172	1.171	18	394	142	215	193	116	184	69	162	22
15	1.101	56	390	9	214	163	115	32	67	88	21
198	1.100	4	386	187	214	194	114	37	67	8	19
199	1.096	62	383	12	210	141	113	131	67	201	17
176	1.008	45	382	85	190	127	112	108	60	83	12
24	892	124	376	113	189	135	111	17	59	157	5
98	886	14	360	76	186	146	110	103	56	109	3
159	882	214	349	63	184	36	108	52	55		

Fonte: Autor, 2018.

Diante dos dados obtidos foram escolhidos os 15 maiores bolsões aluvionares, com relação a área superficial, para assim ser realizado o estudo apenas dos selecionados. Na Figura 13 pode-se observar os bolsões selecionados.

Figura 13 – Solos Aluvionares escolhidos



Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 4 são demonstradas características de localização e área das aluviões selecionadas.

Tabela 4 – Características dos solos selecionados

ID	Área (ha)	Municípios	Município predominante
133	23.315	São José Do Belmonte, Serra Talhada, Mirandiba, Floresta	Serra Talhada
210	22.208	Verdejante, Serrita, Salgueiro, Cabrobó	Cabrobó
206	16.672	Ouricuri, Parnamirim, Santa Maria Da Boa Vista, Orocó	Parnamirim
16	9.124	Belo Jardim, Jataúba, Brejo Da Madre De Deus, Santa Cruz Do Capibaribe, Taquaritinga Do Norte, Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho, Riacho Das Almas, Caruaru, Cumaru, Surubim, Passira, Salgadinho, Limoeiro	Brejo Da Madre De Deus
51	7.365	Exu, Moreilândia, Granito, Serrita	Exu
55	6.606	Ibimirim, Inajá	Ibimirim
128	5.811	Itapetim, São José Do Egito, Tabira, Tuparetama, Ingazeira	São José Do Egito
204	4.724	Lagoa Grande, Santa Maria Da Boa Vista	Santa Maria Da Boa Vista
211	4.450	Salgueiro, Cabrobó, Belém De São Francisco	Belém Do São Francisco
171	4.222	Custódia, Sertânia, Ibimirim	Custódia
174	3.796	Ouricuri, Santa Cruz, Parnamirim	Ouricuri
151	3.639	Afogados Da Ingazeira, Carnaúba, Flores	Flores
40	3.272	Santa Filomena, Santa Cruz, Dormentes, Lagoa Grande	Santa Cruz
44	3.247	Santa Filomena, Santa Cruz	Santa Cruz
158	2.590	Bodocó, Ouricuri	Bodocó

Fonte: Autor, 2018.

Para possibilitar a análise qualitativa relacionada a possibilidade de salinidade das águas das regiões estudadas é necessário saber a área de contribuição de cada região aluvionar. Diante disso, ainda com os dados do Zoneamento Agroecológico realizado pela EMBRAPA foram separados apenas os *shapefiles* (arquivos vetoriais, no caso em forma de polígono, padrão do geoprocessamento) contendo os solos tidos como com uma maior susceptibilidade de sofrer salinização.



A análise prévia, com base em informações da literatura sobre o assunto, resultou em cinco tipos de solos com susceptibilidade de salinização:

- Cambissolos Háplicos
- Luvisolos Crômicos
- Neossolos Quartzarênicos
- Planossolos Háplicos
- Vertissolos Háplicos.

Com os solos selecionados extraídos do ZAPE, através do *software QGis*, notou-se que grande parte do estado sofreria com a salinidade severa. Diante disto foi necessário classificar os solos entre si, do mais passível à salinização ao com menor risco. A metodologia utilizada pra isso foi a classificação Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, desenvolvido pela EMBRAPA (2006), que classifica os solos em vários níveis. Essa classificação se dá em 6 níveis, onde do primeiro ao quarto são: ordem, subordem, grupos e subgrupos.

Com os dados de classificação do SiBCS foi possível observar e que nível se encontra a salinidade do tipo de solo estudado, da forma que solos com a salinidade classificada no nível 3 têm maior chance de estarem salinizados que um solo com salinidade classificada no nível 4, de modo que quando mais afastado é o nível, menor a susceptibilidade de salinização.

Segundo AGEITEC (2014a), os Cambissolos Háplicos possuem 12 classificações no terceiro nível. Entre elas tem-se a classificação como sódico, em níveis de toxidade em culturas, e dessa forma tem-se o Cambissolo Háplico sódico, em terceiro nível.

O Luvisolo Crômico, segundo AGEITEC (2014b), não possui no terceiro nível característica salina. Partindo para o quarto nível encontra-se dois subgrupos com propriedades salinas, os Salinos e Solódicos. Obtendo como resultado o Luvisolo Crômico Órtico Salino e Luvisolo Crômico Órtico Solódico, como se pode observar na Figura 14.

Já segundo AGEITEC (2014c), o Neossolo Quartzarênico possui 2 grupos no terceiro nível, nenhum diretamente classificado como salino. No quarto nível, dentro do grupo dos órticos, encontra-se o subgrupo solódico. Como resultado tem-se o Neossolo Quartzarênico Órtico Solódico, com propriedades salinas.

O Planossolo Hálpico, para AGEITEC (2014d), possui 6 grupos no terceiro nível, entre eles o sálico, em quantidades tóxicas às plantas, e ainda o subgrupo solódico. Ao descer para o nível dos subgrupos encontram-se mais 4 subgrupos com propriedades salinas, como se pode ver na Figura 14.

Já no caso do Vertissolo Hálpico, segundo AGEITEC (2014e), dos 4 grupos do terceiro nível dois são salinos, sendo eles o sódico e o sálico, o primeiro ainda com um subgrupo salino. Na Figura 14 pode-se ter uma identificação visual da classificação citada, bem como a localização, na mesma, das propriedades salinas.

Figura 14 – Classificação dos solos em níveis (Propriedades salinas em vermelho)

Nível 1 Ordem	Nível 2 Subordem	Nível 3 Grupo	Nível 4 Subgrupo
Cambissolo	Hálpico	Sódico	
Luvissolo	Crômico	Órtico	Salino
			Solódico
Neossolo	Quartazrênico	Órtico	Solódico
		Sálico	Solódico
		Carbonático	Sódico
Planossolo	Hálpico	Eutrófico	Salino
			Solódico
		Distrófico	Solódico
Vertissolo	Hálpico	Sódico	
		Sálico	

Fonte: Autor, 2018.

Através desse estudo foi possível classificar os cinco solos selecionados, ordenando-os quanto à susceptibilidade do mesmo estar salinizado na prática. Simplificando a avaliação do potencial de salinização das barragens que tenham sua bacia de contribuição inserida nesses solos, essa classificação é disposta na Tabela 5.



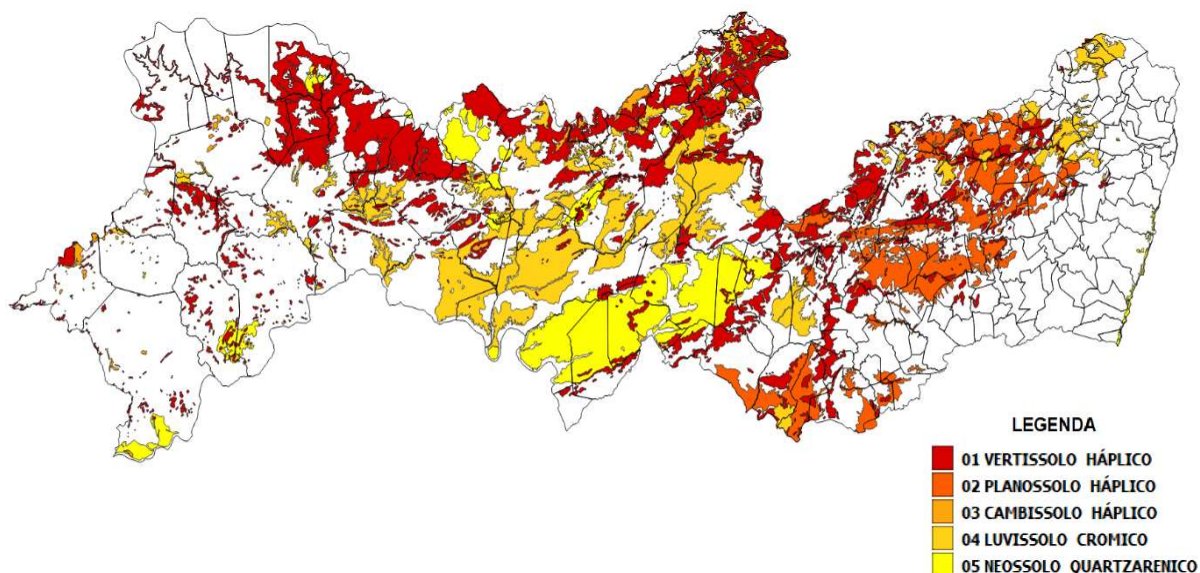
Tabela 5 – Classificação dos solos quando à capacidade das propriedades salinas

Classificação	Tipo de Solo
1	Vertissolo Háptico
2	Planossolo Háptico
3	Cambissolo Háptico
4	Luvissolo crômico
5	Neossolo Quartzarênico

Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 15 pode-se observar a localização e o risco de cada tipo de solo estudado.

Figura 15 – Solos suscetíveis à salinização

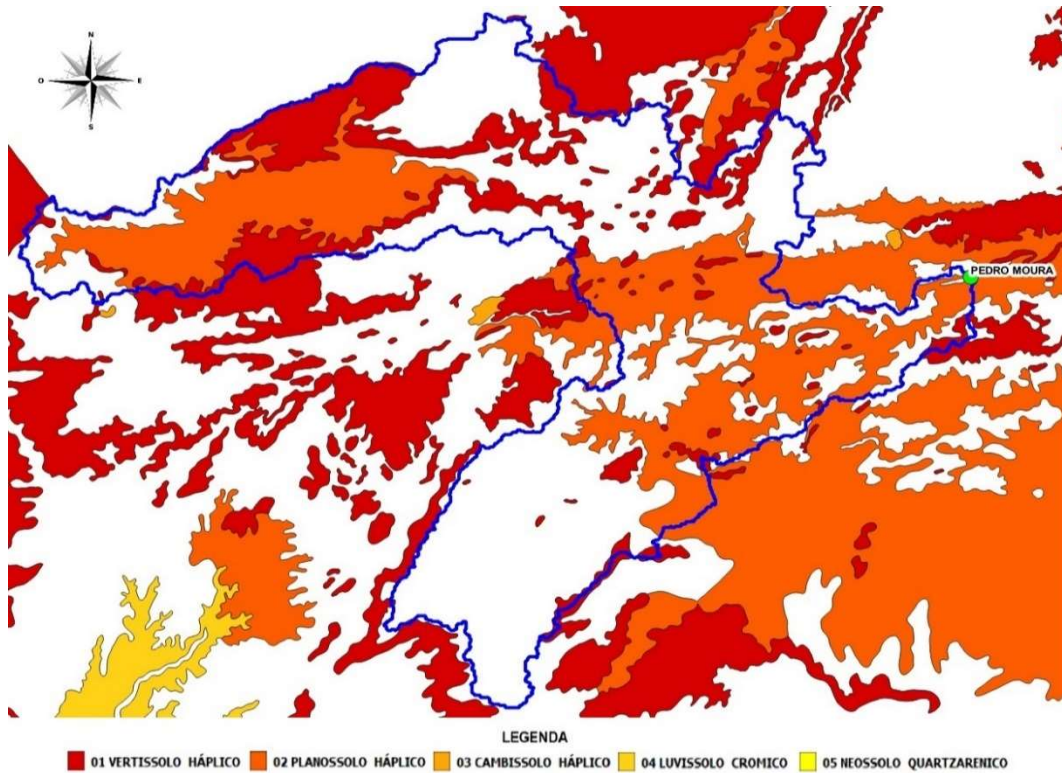


Fonte: Autor, 2018.

Uma forma de comprovar a possibilidade de salinização das áreas marcadas na Figura 15, foi o fato do conhecimento prévio de altos teores de sais nas barragens superficiais de Pedro Moura, na cidade de Belo Jardim, e de Jucazinho, em Surubim. Diante do disposto, foi verificada qual a inserção dessas barragens nas áreas prováveis de salinização. Assim, conforme comprovado nas Figuras 16 e 17, as duas estão com suas bacias de contribuição incluídas em solos salinos, confirmando o disposto anteriormente.

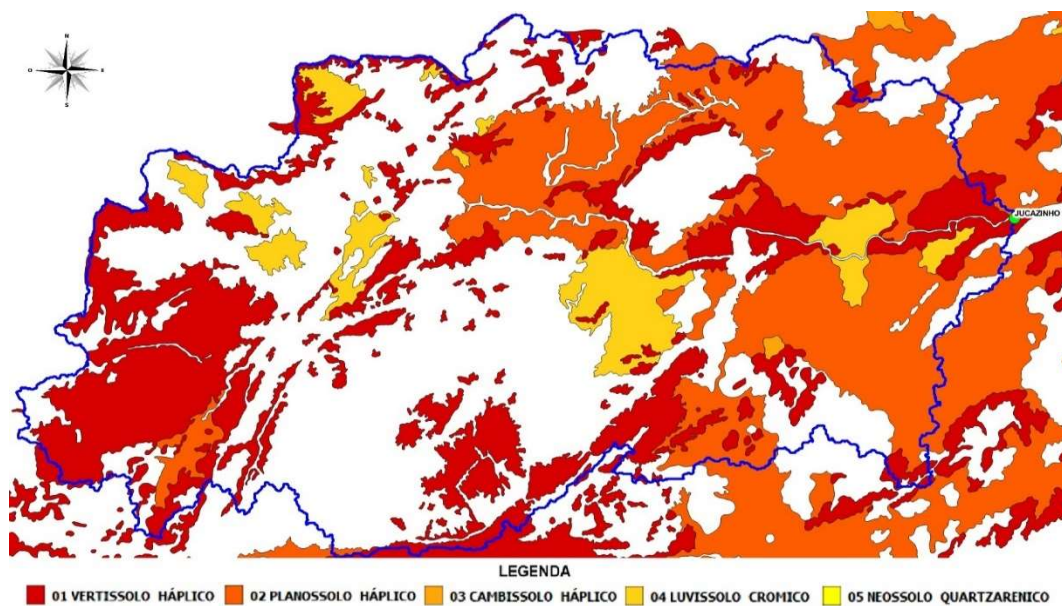
Nas Figuras 16 e 17 encontra-se a delimitação das microbacias de contribuição, em azul, e os solos tidos como salinos para as barragens de Pedro Moura e Jucazinho, respectivamente.

Figura 16 – Área de drenagem da Barragem Pedro Moura



Fonte: Autor, 2018.

Figura 17 – Área de drenagem da Barragem de Jucazinho



Fonte: Autor, 2018.

## 4 RESULTADOS E DISCURSÃO

### 4.1 Volume máximo armazenável

Como o objetivo é classificar quanto ao possível volume armazenável fez-se necessário estimar a profundidade destes solos, visto que já se tem a área superficial e o cálculo do volume se deu pela multiplicação da área pela altura. Para isso foi estimada uma altura média de 3 metros, diante de não ter sido encontrado na literatura valores específicos das regiões estudadas. Ressalta-se que essa pode ser uma estimativa conservadora, visto que a profundidade dos solos, principalmente no sertão, pode ser bastante superior. Mesmo no Agreste, onde os solos são mais rasos, a prática popular de exploração dos aluviões no rio Capibaribe, por exemplo, mostra potencial significativo de acumulação de água.

O volume calculado com a multiplicação da área superficial pela profundidade resulta apenas no volume do solo, no caso do bolsão aluvionar. Para obter o de água armazenável deve-se multiplicar o volume do solo pela porosidade efetiva, pois esse representa os vazios contidos no solo, que poderão ser preenchidos com água. Segundo CUSTODIO (1983), a porosidade efetiva para um solo aluvionar é entre 6,7% e 27,8%, sendo adotado o valor de 10,0% para o cálculo. O resultado desses cálculos é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos solos selecionados e estimativa de volume

ID	Área (ha)	Municípios	Município predominante	Volume (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
133	23.315	São José Do Belmonte, Serra Talhada, Mirandiba, Floresta	Serra Talhada	69,95
210	22.208	Verdejante, Serrita, Salgueiro, Cabrobó	Cabrobó	66,62
206	16.672	Ouricuri, Parnamirim, Santa Maria Da Boa Vista, Orocó	Parnamirim	50,02
16	9.124	Belo Jardim, Jataúba, Brejo Da Madre De Deus, Santa Cruz Do Capibaribe, Taquaritinga Do Norte, Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho, Riacho Das Almas, Caruaru, Cumaru, Surubim, Passira, Salgadinho, Limoeiro	Brejo Da Madre De Deus	27,37
51	7.365	Exu, Moreilândia, Granito, Serrita	Exu	22,10
55	6.606	Ibimirim, Inajá	Ibimirim	19,82
128	5.811	Itapetim, São José Do Egito, Tabira, Tuparetama, Ingazeira	São José Do Egito	17,43

204	4.724	Lagoa Grande, Santa Maria Da Boa Vista	Santa Maria Da Boa Vista	14,17
211	4.450	Salgueiro, Cabrobó, Belém De São Francisco	Belém Do São Francisco	13,35
171	4.222	Custódia, Sertânia, Ibimirim	Custódia	12,67
174	3.796	Ouricuri, Santa Cruz, Parnamirim	Ouricuri	11,39
151	3.639	Afogados Da Ingazeira, Carnaúba, Flores	Flores	10,92
40	3.272	Santa Filomena, Santa Cruz, Dormentes, Lagoa Grande	Santa Cruz	9,82
44	3.247	Santa Filomena, Santa Cruz	Santa Cruz	9,74
158	2.590	Bodocó, Ouricuri	Bodocó	7,77

Fonte: Autor, 2018.

O maior bolsão aluvionar é localizado no município de Serra Talhada, sendo estimado um volume máximo armazenável de quase 70 milhões de metros cúbicos, seguido por outro em Cabrobó com mais de 65 milhões de metros cúbicos. Em terceiro o bolsão de Parnamirim, com estimativa de aproximadamente 50 milhões de metros cúbicos de capacidade de armazenamento. Esses três maiores se estendem pelo domínio de quatro municípios cada.

Já no caso da aluvião no município de Brejo da Madre de Deus, é a que mais atravessa o maior número de municípios, dentre os estudados, um total de 15 municípios, com o volume armazenável de quase 30 milhões de metros cúbicos. A aluvião do município de Exu com aproximadamente 22 milhões de metros cúbicos armazenáveis, teria o quinto maior volume do estado, seguido pelos de Ibimirim, São José do Egito, Santa Maria da Boa Vista, Belém do São Francisco, Custódia, Ouricuri, Flores, Santa Cruz e Bodocó, respectivamente, com volumes entre 20 e 7 milhões de metros cúbicos. Ressalta-se que essa capacidade de acumulação pode estar subdimensionada, visto que se considerou profundidade média das aluviões de 3 metros apenas, embora experiências anteriores mostram que se pode alcançar valores mais elevados.

## 4.2 Susceptibilidade a salinização

Depois da classificação dos solos quanto ao volume armazenável, foi realizado o estudo de susceptibilidade de salinização apenas com os quinze maiores. Com o cruzamento dos dados obtidos, como solos aluvionares selecionados, solos salinos,



bacias de drenagem e cursos d'água, foi possível observar todo o percurso do escoamento superficial até chegar no aluvião estudado.

Diante do disposto, foram criados 5 níveis de classificação quanto à possibilidade de sofrer salinização nos barramentos que vierem a ser executados, conforme mostrado na Tabela 7. Essa classificação estende-se de 1, muito baixa susceptibilidade, até 5, muito alta susceptibilidade de salinização.

Tabela 7 – Parâmetros de classificação da salinidade

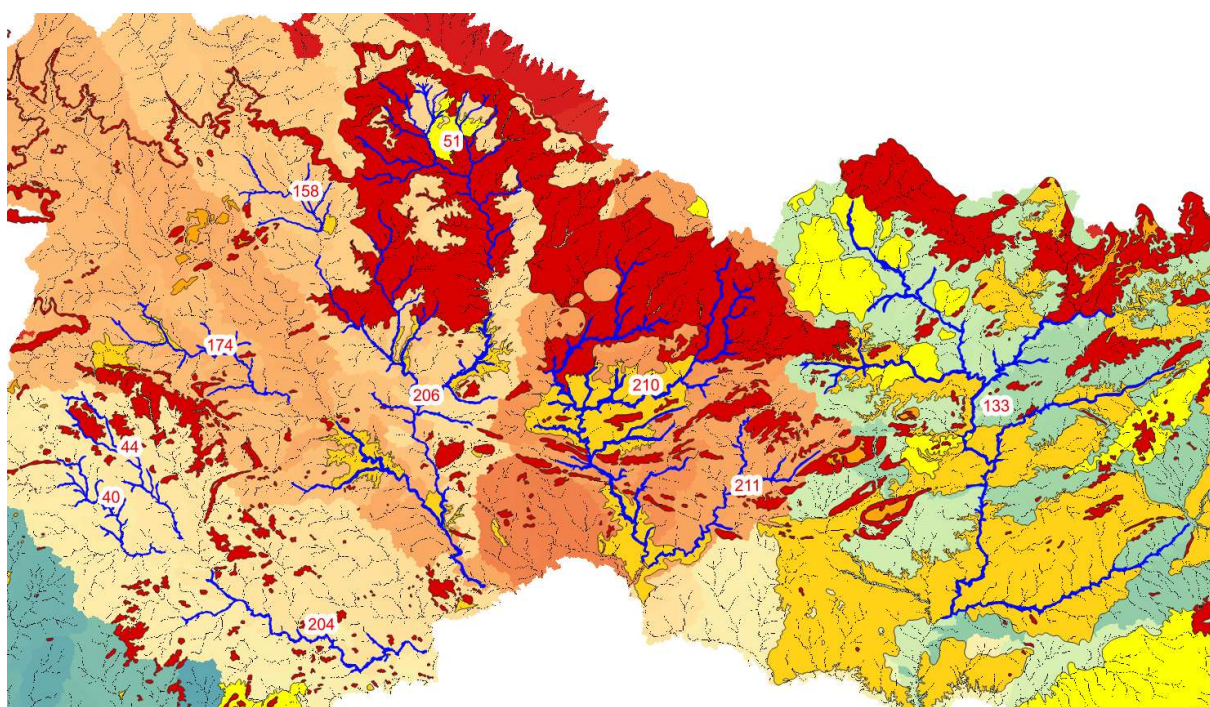
1	2	3	4	5
Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta

Fonte: Autor, 2018.

Foi analisado caso por caso das aluviões selecionadas, percorrendo toda a área contribuinte para o armazenamento deste, a fim de observar quais os solos por onde esse escoamento de dará, sendo assim possível classificar as aluviões conforme citado.

Parte do cruzamento das informações consta na Figura 18, onde pode-se observar dez das quinze aluviões selecionados, e na Figura 19, onde estão o restante. Nelas estão expostas as bacias de contribuição, caminhos de drenagem, solos salinos já classificados quando ao grau de salinização e os solos aluvionares estudados.

Figura 18 – Dados dos aluviões 158, 51, 174, 44, 40, 204, 206, 210, 211 e 133



01 VERTISSOLO HÁPLICO 02 PLANOSSOLO HÁPLICO 03 CAMBISSOLO HÁPLICO 04 LUVISSOLO CRÔMICO 05 NEOSSOLO QUARTZARENICO

Fonte: Autor, 2018.

A aluvião que corta a cidade de Bodocó, com ID158 tem uma pequena extensão em contato com solo do tipo Luvisso Crômico, e pequenas porções de solo do tipo Vertissolo Háplico dentro de sua bacia de contribuição, recebendo, desta forma, classificação 2 de susceptibilidade de salinização.

Cortando o município de Exu, está a aluvião 51, que praticamente em sua totalidade está inserida em solo do tipo Vertissolo Háplico, com parte também em contato com o solo do tipo Neossolo Quartzarênico, desta forma é classificada como nível 5.

O bolsão aluvionar com ID174, no município de Ouricuri, possui trechos em contato direto com o solo do tipo Luvisso Crômico, e também há pequenas porções de solo do tipo Vertissolo Háplico dentro de sua bacia de contribuição, assim recebendo classificação 2 no tocante à possibilidade de salinização.

Cortando o município de Santa Cruz tem-se dois bolsões aluvionares, o 40 e o 44. O primeiro não tem contato direto com solo salino e pequena parte dele está dentro da sua bacia de contribuição, recebendo classificação 1. O segundo, entretanto, tem uma parte em contato com o solo do tipo Vertissolo Háplico e também mais alguns trechos dentro da sua bacia de contribuição, recebendo a classificação de número 3 na susceptibilidade de salinização.

O município de Santa Maria da Boa Vista é interceptado pela aluvião 204, que em nenhum ponto do seu comprimento tem interface com algum solo tido como salino. Na sua bacia de contribuição tem segmentos de contribuição do solos do Tipo Vertissolo Háplico, entretanto esses solos são pontuais, não apresentando risco iminente à salinização das águas na aluvião, recebendo classificação nível 1.

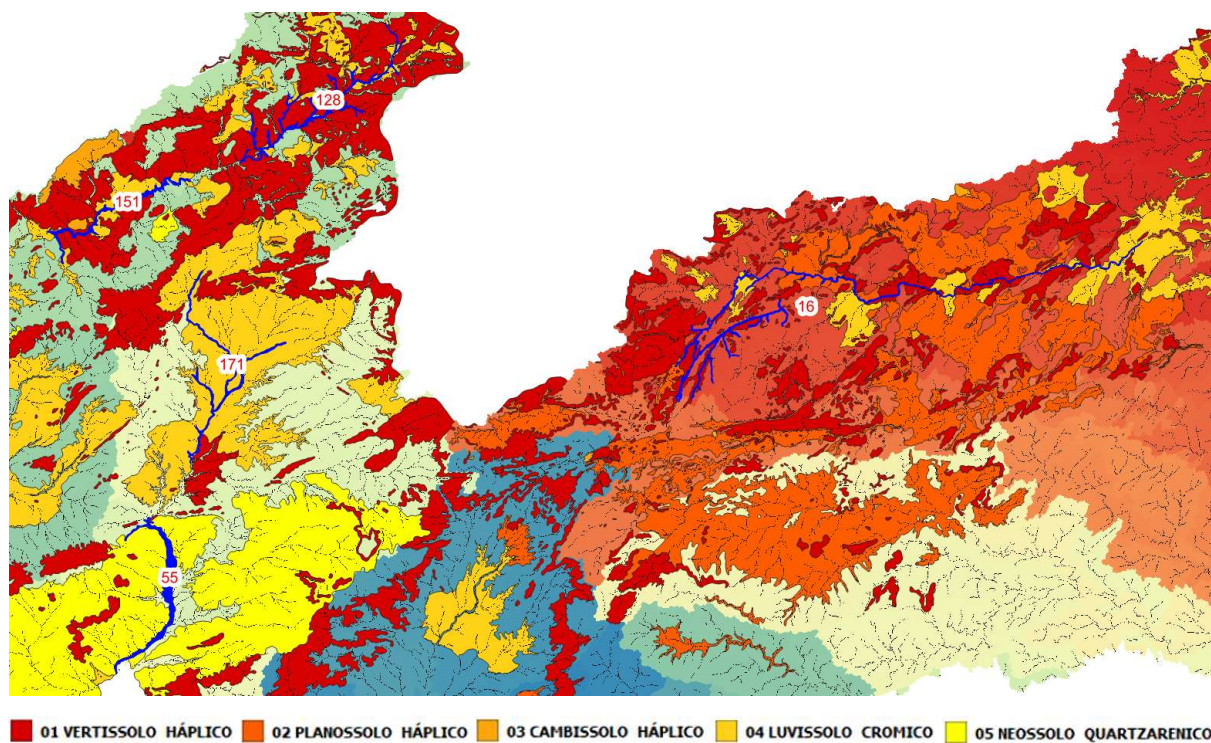
Já a porção de solo aluvionar de ID 206, no município de Parnamirim tem uma boa parte da sua bacia de contribuição, mais distante do exutório, no solos do tipo Vertissolo Háplico, e algumas porções no decorrer do seu curso em contato com o Luvisso Crômico. Recebeu então a classificação de número 4 quanto à susceptibilidade de salinização.

O bolsão aluvionar de ID 210, corta o município de Cabrobó e em quase sua plenitude é cercado por solos do tipo Vertissolo Háplico e Luvisso crômico, desta forma sendo registrado como classe 5.

O município de Belém de São Francisco é cortado pela aluvião 211, em quase sua totalidade não inserida diretamente em solo salino. Entretanto, na sua bacia de contribuição existem algumas porções com solo do tipo Vertissolo Háplico, e seu exutório entra em contato com o Luvissoilo Crômico, assim sendo classificada com classe 3 de salinização.

O bolsão aluvionar 133, localizado no município de Serra Talhada, devido à sua grande extensão ultrapassa várias áreas de solos tidos como salinos. Entretanto, em sua maioria, são Luvissoles Crômicos e também tem parte significativa sem contato com esses solos, desta forma sendo classificado como 3 na possibilidade de salinização.

Figura 19 – Dados dos aluviões 128, 151, 171, 55 e 16



Fonte: Autor, 2018.

O bolsão aluvionar com ID 128, situado no município de São José do Egito, tem quase toda a sua totalidade em contato com solos do tipo Vertissolo Háplico e Luvissoilo Crômico, recebendo classificação 5 de risco de sofrer salinização em suas águas.

O município de Flores é cortado pela aluvião de ID 151 que tem praticamente toda sua extensão em contato com o Vertissolo Háplico e com Luvissoilo Crômico, resultando em um nível 5 de risco de sofrer salinização em suas águas.

Com ID 171, a aluvião que corta a cidade de Custódia, tem contato direto com o solo do tipo Luvisso Crômico quase na totalidade de sua extensão e pequenas áreas de contato com o Vertissolo Háplico, bem como sua inserção na bacia de contribuição. Assim, foi avaliada como classe 4 de risco de salinização.

A aluvião que corta o município de Brejo da Madre de Deus, com ID 16, possui grande áreas em contato direto com os solos do tipo Vertissolo Háplico, Planossolo Háplico e com o Luvisso Crômico, bem como grande parte da sua bacia de contribuição possui também contato com esses tipos de solo. Recebeu, portanto a classificação de nível 5 na possibilidade de sofrer salinização.

Como esperado as aluviões da região Agreste do estado, possuem maior risco de terem suas águas salinizadas por meio do processo primário. Por fim, na Tabela 8 apresenta-se o resumo da situação final, onde consta a susceptibilidade de salinização por solo aluvionar, representado pelo seu número de identificação.

Tabela 8 – Susceptibilidade de salinização

ID	Susceptibilidade
133	3
210	5
206	4
16	5
51	5
55	3
128	5
204	1
211	3
171	4
174	2
151	5
40	1
44	3
158	2

Fonte: Autor, 2018.

É importante ressaltar que o estudo trata apenas da possibilidade de salinização primária, havendo também que se levar em conta que fatores como irrigação e drenagem mal feitos, uso desajustado de fertilizantes, manejo inadequado do solo e da água são fatores que provocam salinização secundária. É de se notar também que este estudo de salinização depende da resolução do levantamento feito,



neste caso o ZAPE com resolução de 1:100.000, o que nos proporciona uma indicação de precisão mediana.

Para o caso de se efetivar a implantação de um barramento nessas regiões tidas como com maior susceptibilidade de sofrer salinização deve-se fazer um estudo local, com amostras dos solos das áreas de contribuição até o barramento almejado, bem como amostras de água encontrada no subsolo da região a montante do futuro barramento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da escassez hídrica sofrida na região do semiárido, as barragens subterrâneas se mostram eficientes e uma alternativa com importante capacidade de atender à demanda hídrica no meio rural, seja para a produção agrícola e animal ou mesmo para o consumo humano na ausência de água de melhor qualidade. Uma grande vantagem é o baixo custo de implantação e o aproveitamento de toda a bacia a montante, sem perda de área para o cultivo.

Neste trabalho foi analisada a viabilidade de implantação de barragens subterrâneas em solos aluvionares em todo o semiárido do estado de Pernambuco. Foram feitos estudos em solos aluvionares quando ao volume máximo armazenável, no propósito de encontrar critério de avaliação no tocante à possibilidade de salinização do futuro barramento, caso construído.

Diante dos resultados foi possível perceber que dentre os 15 bolsões aluvionares selecionados pode-se obter volumes armazenáveis da ordem dos milhões de metros cúbicos, e também foi possível notar que os aluviões da região do agreste são bem mais passíveis de sofrer salinização que os direcionados ao sertão.

Percebe-se também que esse tipo de represamento hídrico, além dos benefícios citados, é amplamente exequível na região semiárida do estado, pois esta conta com amplas áreas de solos aluvionares. Os locais marcados como passíveis de gerarem águas salinas não devem ser necessariamente descartados e sim realizado um estudo de campo, com coleta e análise de amostras.

Pelas simplificações feitas, deve-se registrar que os resultados do cruzamento das informações quanto aos riscos de salinização e a capacidade de armazenamento de água nas aluviões devem ser considerados como trabalho preliminar para implementação de barragens subterrâneas. A análise de solo e água e, quando possível, avaliação por técnicas de Geofísica permitirão sempre estimativa mais adequada da capacidade de acumulação de água no solo e sua qualidade.

## REFERÊNCIAS

- AGEITEC - EMBRAPA. **Cambissolos háplicos**. Disponível em: <[Http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/cont000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/cont000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html)>. Rio de Janeiro, 2014a. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.
- AGEITEC - EMBRAPA. **Luvissolos crômicos**. Disponível em: <[Http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/cont000gn230xhm02wx5ok0liq1mqv181o7y.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/cont000gn230xhm02wx5ok0liq1mqv181o7y.html)>. Rio de Janeiro, 2014b. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.
- AGEITEC - EMBRAPA. **Neossolo quartzarênicos**. Disponível em: <[Http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/cont000gn230xho02wx5ok0liq1mqarta66.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/cont000gn230xho02wx5ok0liq1mqarta66.html)>. Rio de Janeiro, 2014c. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.
- AGEITEC - EMBRAPA. **Planossolos háplicos**. Disponível em: <[Http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/cont000gn362j9y02wx5ok0liq1mq86zqh78.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/cont000gn362j9y02wx5ok0liq1mq86zqh78.html)>. Rio de Janeiro, 2014d. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.
- AGEITEC - EMBRAPA. **Vertissolos háplicos**. Disponível em: <[Http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/cont000gn362ja002wx5ok0liq1mqeukhsfe.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/cont000gn362ja002wx5ok0liq1mqeukhsfe.html)>. Rio de Janeiro, 2014e. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.
- AMARAL, F. C. S. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semi-árida**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2005. P. 220
- AZEVEDO, J. R. G. **Hidrometria aplicada à gestão de recursos hídricos**. Recife, 2010.
- BRADY, N.C.; **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 1989. 878 p.
- BEN-DOR, E.; GOLDSHLEGER, N.; ESHEL MOR, V. **Combined Active and Passive Remote Sensing Methods for Assessing Soil Salinity: A Case Study from Jezre'el Valley, Northern Israel**. In: Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management, Metternicht, G., Zinck, J.A., Eds.; CRC Press: Boca Raton - FL, USA, 2008; p. 236–253
- CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília, 1988.
- CIRILO, J. A.; MENDES, C. A. B. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação: 2ª edição Revista e Ampliada**. 2ª ed. Porto Alegre: ABRH, 2013. 533p.

COSTA, W. D. **Barragem subterrânea: uma obra de redenção no semi-árido**. IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Olinda, 2001.

COSTA, W. D. **Barragens subterrâneas & barragens de assoreamento, conceitos e construção**. Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades, V.3, n. 1, 2015.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1157p. 1996.

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIRES, C.G. **La conductividad hidraulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del solo**. Agro Sur, v.25, n.1, p.51-56, 1997.

EMBRAPA. **ZAPE: Zoneamento Agroecológico de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/>>. Recife, 2001. Acesso em: 08 de Maio de 2018.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006, 306p.

EMBRAPA. **Convivência com a seca**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/sobre-o-tema>>. Recife, 2014. Acesso em: 01 de Julho de 2018.

GLEICK, P.H. **Water in crisis. A guide to the world's freshwater resources**. Oxford University. Press. 473 pp. 1993.

KIM, J. KIM, M. CHOO, C. JOEONG, G. **Validity evaluation of a groundwater dam in Oshipcheon River, eastern Korea using a SWAT–MODFLOW model**. 2017. Environ Earth Sci.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: EDUSP, 2005. 335p.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, 1986, 242p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do semi-árido Brasileiro**. Brasília, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ciclo hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico.html>>. Brasília, 2018. Acesso em: 08 de Maio de 2018.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. **Ciclo hidrológico planetário: abordagens e conceitos**. Geo UERJ. v.1, n.21, p.109-119. 2010.

MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes**. Série Brasil. SUDENE. Hidrologia. Recife, série.25, 1989. p. 11 A 70.

MONTENEGRO, S. M. G. L. **Evaporação medida pelo método do domo em barragem subterrânea no semiárido pernambucano**. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Bonito, 2012.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 3.0 Global 1 arc second**. Disponível em: <<https://earthdata.nasa.gov/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-3-0-global-1-arc-second-data-released-over-asia-and-australia>>. Sioux Falls, 2015. Acesso em: 27 de Novembro de 2018.

PIELOU, E.C. **Fresh Water**. The University of Chicago. Press. 275 pp. 1998.

PORTAL CORREIO. **Barragem subterrânea garante água por dois anos mesmo na seca**. Disponível em: <<https://portalcorreio.com.br/barragem-subterranea-garante-agua-por-dois-anos-mesmo-na-seca/>>. João Pessoa, 2018. Acesso em: 18 de Junho de 2018.

REBOUÇAS, A. da C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil capitais ecológicas usos e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: OTAFOS, 1988. 81 p.

SANTOS, F. B. **Bacia hidrográfica**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2012.

SENTHILKUMAR; M; ELANGO, L. (2011). **Modelling the impact of a subsurface barrier on groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India**. Hydrogeology Journal, 19: 917–928.

SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.de; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, p.191-196, 2003.

SPERLING, Marcos von. **Tratamento de águas residuárias**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFMG, 2002.

SRHE-PE; ITEP. **Número de barragens subterrâneas no estado de Pernambuco**. Disponível em: <[http://www.srhe.pe.gov.br/documentos/PDF\\_Mapas/RH/Barragens\\_Subterraneas.pdf](http://www.srhe.pe.gov.br/documentos/PDF_Mapas/RH/Barragens_Subterraneas.pdf)>. Recife, 1998. Acesso em: 30 de Junho de 2018.

SRHE - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS DE PERNAMBUCO. **Pernambuco tridimensional – PE3D**. Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br>>. Recife, 2016. Acesso em: 05 de Dezembro de 2018.

TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.F. **Infiltração e armazenamento no solo.** In: Tucci, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação, 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2ª ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação.** 4ª ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2009