



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

JOÃO ILTON RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA CONTRIBUIÇÃO POTENCIAL DO SOLO NO
PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM
UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMI-ÁRIDO
BAIANO.**

Salvador

2005

JOÃO ILTON RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA CONTRIBUIÇÃO POTENCIAL DO SOLO NO
PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM
UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMI-ÁRIDO
BAIANO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – MEAU – da Universidade Federal da Bahia em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Prof^ª. PhD. Yvonilde Dantas Pinto de Medeiros
Co-orientador: Prof^ª. PhD. Iara Brandão de Oliveira

Salvador
2005

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha obstinada, incentivadora e confiante esposa, Ana Cristina, aos meus familiares e amigos, os quais compartilharam deste, de coração e suor.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a FORÇA necessária para realização deste empreendimento.

Agradecimento especial ao AMIGO José Jorge Carvalho pelo acolhimento, incentivo e promoção deste trabalho, sem os quais este não passaria de um projeto, a você, meus sinceros agradecimentos.

À Escola Politécnica da UFBA pela possibilidade de realizar este trabalho.

Ao CT-HIDRO, FINEP, FUNPEC e a Rede de Hidrologia do Semi-árido (REHISA), responsáveis pela implantação do Projeto Integrado de Implantação de Bacia Experimental do Semi-árido (IBESA), no qual a unidade de pesquisa do presente trabalho está inserida.

As Professoras Yvonilde Medeiros e Iara Brandão, um agradecimento especial pelo respeito e incentivo na realização do trabalho.

Aos Professores José Martim Ucha e Maria José do Rego pelas contribuições valiosas durante o desenvolvimento desta pesquisa.

A colega Andréa Fontes, pelos inúmeros telefonemas “salvadores” e pela atenção sempre acolhedora. E aos colegas da Superintendência de Recursos Hídricos: Heráclio Alves, Ricardo Rodrigues, Cláudia Margareth, Leonardo Santana, Zoltan Romero, Carlete Marques, Rosane Aquino, Silvio Santos, Lúcia Tenório, Joselice Pinheiro e em especial a Paulo Maia, agradeço pelo ambiente profícuo de idéias e compreensão.

Aos demais amigos Lúcio Landin e Luis Alberto pela força e ajuda.

Aos funcionários do MEAU, principalmente Isabel pela amizade e ajuda prestadas.

Aos colegas do Grupo de Recursos Hídricos pelo incentivo, apoio e amizade.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram ao sucesso deste trabalho.

RESUMO

Os açudes representam a principal fonte de água para a região do semi-árido do nordeste brasileiro. No entanto, a presença da água não significa ausência da sede, devido a atuação de vários processos que afetam a qualidade das águas armazenadas. Dentre estes, encontra-se a salinização, responsável pelo acúmulo de sais nas águas, tornando-as imprestáveis para o consumo humano e animal e para a irrigação. Em geral, os solos presentes na área de drenagem dos açudes exercem um papel fundamental neste processo, atuando como fornecedor dos sais, sendo a concentração destes ampliada pela ação de fatores climáticos que retiram água e mantêm os sais. Neste trabalho é discutida a participação dos solos no processo de salinização das águas de dois açudes inseridos na bacia experimental do riacho do Cedro, localizada no semi-árido baiano. Foram analisadas as características morfológicas e as propriedades físicas e químicas de amostras de solos retiradas em quatro toposseqüências distribuídas ao longo da área da bacia hidrográfica, bem como amostras de sedimento do fundo do açude, permitindo observar e classificar os solos e as águas quanto aos sais presentes, foram avaliados também os parâmetros geométricos dos açudes. Com os resultados obtidos foi possível observar que os solos apresentaram maiores concentrações de sais no sentido descendente das toposseqüências e de montante para jusante na área da bacia, sendo o ânion cloreto e o cátion cálcio, os sais solúveis mais abundantes, responsáveis pela classificação cloretado-cálcico das águas superficiais e pela tendência de maior salinidade que sodicidade, observadas na maioria das amostras. Verificou-se que os parâmetros geométricos dos açudes tendem a favorecer a salinização de suas águas, dada às suas formas abertas e pouco profundas que ampliam os efeitos da evaporação e pela dificuldade de sangria que reduz a retirada de sais.

Palavras-chave: solos afetados por sais; toposseqüência; semi-árido.

ABSTRACT

The reservoirs represent the main water source for the semi-arid region of the Brazilian Northeast. However, the presence of water doesn't mean the lack of thirst, due to the action of various processes that affect the quality of the stored water. Among these, there's the salinization, responsible for the ions accumulation in the water, making it inadequate for human and animal consumption and for irrigation. The soil present in the catchment areas of the reservoirs have a fundamental role in the process of salinization, acting as a supplier of ions, where their concentration is enlarged by the climatic factors, for they remove water and maintain the salt. In this work, the soil participation of the water salinization process of two reservoirs in the experimental catchment of the Cedro River, located in the semi-arid of Bahia, is discussed. The morphologic characteristics and the physical and chemical properties of soil samples were analyzed. The soil samples were removed in four toposequences spread in the catchments, and also samples of sediments from the bottom of the reservoir were collected, allowing observing and classifying the soil and the water as of salt present. Also the geometric parameters of the reservoirs were evaluated. With these obtained results, it was possible to observe that the soil presented greater salt concentrations in the bottom parts of the toposequences and upstream-downstream of the catchment. The chloride and the calcium were the most abundant soluble salts, responsible for the classification and for the higher salinity tendency over sodicity. As for the reservoirs it was verified that their geometric parameters have a tendency to favor the salinization of their waters, defined by their open and shallow forms that enlarge the effects of evaporation and the difficulties of the reservoirs' overflow, which reduces the withdrawal of salt.

Keywords: Salt-affected soils; toposequence; semi-arid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1. Características físico-químicas das águas de açudes do nordeste (LEPRUN, 1988).	15
Quadro 2. Valores médios de algumas determinações analíticas de águas de riachos em função do solo da bacia (LEPRUN, 1988).	21
Quadro 3. Algumas características das águas de riachos amostradas na mesma região com solos diferentes (LEPRUN, 1988).	22
Figura 1. Fator de concentração de sais no solo Bruno não Cálcico Vértico (MOLINIER et al., 1989).	25
Figura 2. Mapa de localização da área em estudo.	34
Figura 3. Mapa geológico da área em estudo.	36
Figura 4. Relevo, drenagem e açudes da área em estudo.	38
Figura 5. Mapa pedológico da área em estudo.	39
Figura 6. Fotografia da vegetação característica da área em estudo.	41
Figura 7. Distribuição temporal da precipitação pluviométrica nas estações em Valente, Santa Luz, Gavião, Riachão do Jacuípe e Serrinha.	46
Figura 8. Perfil longitudinal do riacho do Cedro com os açudes Flori e Nenenzinho.	52
Figura 9. Fotografias de eflorescências salinas observadas nas margens do açude Nenenzinho.	53
Figura 10. Esquema de uma toposseqüência portando os três segmentos básicos.	54
Figura 11. Mapa de localização das quatro toposseqüências.	57
Quadro 4. Limites para classificação de solos (RICHARDS, 1954).	64
Quadro 5. Categorias de risco de salinidade e sodicidade (LOGAN, 1965).	65
Figura 12. Diagrama de classificação dos riscos de salinidade e sodicidade (LOGAN, 1965).	65
Figura 13. Diagrama de Piper, utilizado na classificação do método de íons solúveis dominantes (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).	66
Figura 14. Esquema ilustrativo da toposseqüência 1 (Tp1), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2, Pr3 e Pr4 e respectivas distribuições das camadas Cm1 e Cm2.	68
Figura 15. Esquema ilustrativo da toposseqüência 2 (Tp2), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2 e Pr3 e respectivas distribuições das camadas Cm1 e Cm2.	70
Figura 16. Esquema ilustrativo da toposseqüência 3 (Tp3), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2, Pr3 e Pr4 e respectivas distribuições das camadas Cm1 e Cm2.	71
Figura 17. Esquema ilustrativo da toposseqüência 4 (Tp4), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2 e Pr3 e respectivas distribuições das camadas Cm1 e Cm2.	72
Figura 18. Diagrama da freqüência de sangria do açude em função de sua altura e da razão obtida entre os volumes armazenado e escoado (MOLLE; CADIER, 1992).	108
Figura 19. Cotograma diário do açude Nenenzinho e pluviograma médio diário da Bacia Experimental do Riacho do Cedro (01/07/2003 a 30/09/2004)	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das estações pluviométricas circunvizinhas.	45
Tabela 2. Precipitação total média mensal e anual (mm) por estação.	45
Tabela 3. Média mensal e anual do número de dias com chuva por estação.	46
Tabela 4. Chuvas máximas médias mensais e máxima diária histórica (mm) por estação.	47
Tabela 5. Valores médios mensais e anual das temperaturas mínima, média e máxima (°C) em Serrinha.	48
Tabela 6. Evaporação média mensal e anual (mm) – Piche - em Serrinha.	49
Tabela 7. Índice de aridez mensal e anual calculados em Serrinha e nas estações circunvizinhas à área em estudo.	50
Tabela 8. Parâmetros característicos dos açudes Flori e Nenenzinho.	51
Tabela 9. Relação da localização e profundidade das amostras coletadas em campo.	59
Tabela 10. Principais características morfológicas dos solos amostrados.	77
Tabela 11. Principais propriedades físicas dos solos analisados.	83
Tabela 12. Principais propriedades químicas dos solos amostrados - Trocáveis.	88
Tabela 13. Principais propriedades químicas dos solos amostrados - Solúveis.	94
Tabela 14. Conformação de algumas propriedades químicas quanto à camada, ao segmento e área de drenagem.	97
Tabela 15. Classificação dos solos analisados quanto à salinidade e sodicidade.	101
Tabela 16. Concentração de sais solúveis nas águas dos açudes Flori e Nenenzinho	102
Tabela 17. Classificação da qualidade das águas dos açudes Flori e Nenenzinho	102
Tabela 18. Equações, coeficientes e resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto por Molle e Cadier (1992) nas áreas de drenagem dos açudes Flori e Nenenzinho.	107

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS EM AÇUDES DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO	13
2.1.1 Definição de salinidade	13
2.1.2 Composição química das águas superficiais e de açudes no semi-árido nordestino	14
2.2 A PARTICIPAÇÃO DO SOLO NO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	20
2.2.1 Relações entre as características físico-hídricas das águas superficiais e a natureza do solo	20
2.2.2 Movimento dos sais no solo	23
2.2.3 Solos afetados por sais	26
2.2.3.1 Origem e dinâmica dos sais no solo	27
2.2.3.2 Características gerais dos solos afetados por sais	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.2 GEOLOGIA	35
3.3 RELEVO LOCAL	37
3.4 SOLOS	38
3.5 VEGETAÇÃO	41
3.6 CLIMA	42
3.6.1 Classificação climática segundo Köppen	43
3.6.2 Classificação climática segundo Thornthwaite	43
3.6.3 Pluviosidade	44
3.6.4 Temperatura	47
3.6.5 Evaporação	48
3.6.6 Índice de Aridez	49
3.7 ÁGUAS SUPERFICIAIS	50
3.7.1 Medidas de condutividade elétrica na água do açude Nenenzinho	52
3.8 AVALIAÇÃO DOS SOLOS UTILIZANDO TOPOSSEQUÊNCIA	53
3.9 SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS TOPOSSEQUÊNCIAS	56
3.10 COLETA DAS AMOSTRAS EM CAMPO	58
3.11 ANÁLISES E DETERMINAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO	60
3.11.1 Análises químicas	60
3.11.2 Análises físicas	62
3.12 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS TOPOSSEQUÊNCIAS SELECIONADAS	67
4.1.1 Topossequência 1 (Tp1)	68
4.1.2 Topossequência 2 (Tp2)	69
4.1.3 Topossequência 3 (Tp3)	70
4.1.4 Topossequência 4 (Tp4)	72
4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SOLOS ANALISADOS	73
4.2.1 Principais características morfológicas dos solos analisados	74

4.2.2 Principais propriedades físicas dos solos analisados	78
4.2.3 Principais propriedades químicas dos solos analisados	84
4.2.4 Classificação dos solos analisados quanto à salinidade e sodicidade	95
4.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ACUMULAÇÃO DE SAIS NOS AÇUDES FLORI E NENENZINHO	102
4.3.1 Avaliação dos parâmetros geométricos dos açudes	103
4.3.2 Acompanhamento da evolução salina no açude Nenenzinho	109
5. CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	117

1. INTRODUÇÃO

O *déficit* hídrico no semi-árido nordestino é focado, quase sempre, considerando apenas o seu aspecto quantitativo sem avaliar a qualidade das águas disponíveis. Esta visão conduz a “soluções” que priorizam a acumulação de água, como se a presença deste bem fosse suficiente para dirimir todos os problemas causados pela sua escassez. Daí a construção indiscriminada de barragens na região. No entanto, continua havendo sede no semi-árido, estando-se próximo ou afastado do espelho d’água.

No nordeste brasileiro, principalmente na região semi-árida, a construção de um açude tem implicações que vão além do uso, muitas vezes significa poder. E este sobrepõe-se às demais razões sejam elas técnicas, científicas ou mesmo a necessidade humana.

Por esta razão, constroem-se reservatórios sem considerar a potencialidade hidrológica da área e sem os cuidados necessários para preservação da qualidade da água armazenada, ou seja, sem compromisso com a sustentabilidade do manancial, que entende os aspectos quantidade e qualidade dos recursos hídricos como *uno*.

Isto explica o abandono de açudes, os quais, por não possuírem desde o projeto qualquer tipo de controle ou critério de manejo, tornam-se espelhos d’água de única finalidade, a evaporação.

A falta de manejo e controle apropriados dos açudes impede o reparo ou mesmo o conhecimento da acumulação de sais que degrada progressivamente a qualidade de suas águas, este processo pode começar a ocorrer já na sua construção e possui diversas causas interrelacionadas.

Entretanto, os estudos referentes ao acúmulo de sais apresentam, em sua grande maioria, uma abordagem focada na avaliação da qualidade da água determinando os seus possíveis usos e prevendo os riscos associados.

Deste modo, o objeto de estudo é o resultado final do processo, a água degradada, que a depender do seu grau de concentração de sais pode ser nociva ao consumo humano e animal; pode afetar o crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura; e pode também, prejudicar a própria estrutura do solo, pois a adsorção de sódio proveniente de água com elevado teor deste elemento, provoca a dispersão das frações de argila e, conseqüentemente, diminui a permeabilidade do solo.

Estudos científicos e algumas experiências localizadas têm demonstrado a dificuldade de práticas convencionais reduzirem os problemas decorrentes da concentração de sais nas águas, por serem onerosas e até inviáveis do ponto de vista econômico, assim como, práticas alternativas de convivência que ainda não estão disponíveis em grande escala, devendo-se, deste modo, privilegiar à sua prevenção. Embora os estudos sobre este tema indiquem a importância do solo para esta prevenção, a sua consideração não ocorre de forma consistente. Isto pôde ser evidenciado pela carência observada de trabalhos que dêem ênfase aos solos presentes na bacia hidrográfica para justificar a qualidade das águas superficiais. No entanto, é natural que os elementos químicos responsáveis pela acumulação de sais nas águas superficiais estejam, de alguma forma, presentes nos solos de sua bacia hidrográfica, tratando-se, portanto, de uma poluição “natural” de origem difusa com contribuição de toda área de drenagem.

Diante do exposto, decidiu-se caracterizar e classificar os solos presentes e as águas armazenadas em uma pequena bacia hidrográfica localizada no semi-árido baiano, objetivando avaliar o processo de salinização.

Este estudo foi realizado utilizando os resultados obtidos com a análise das características morfológicas e das propriedades físicas e químicas dos solos amostrados em perfis abertos ao longo de quatro toposseqüências selecionadas na área de drenagem mencionada.

O estudo dos solos utilizando as toposseqüências como unidade de exploração permite compreender em três dimensões - profundidade do perfil, segmento geomórfico da vertente e posição em relação à área de drenagem - a dinâmica dos elementos químicos presentes no solo e a sua interação com as águas superficiais.

Foram analisadas também amostras de sedimentos do fundo de dois açudes localizados na bacia, o Flori e o Nenenzinho, e amostras de suas águas para avaliar o aporte de sais proporcionado pelo solo da área de drenagem, bem como as características físicas de ambos açudes que contribuem para acumulação de sais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS EM AÇUDES DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

2.1.1 Definição de salinidade

Por definição, salinidade é a concentração total dos íons dissolvidos. Assim, quanto maior a salinidade da água, maior será a quantidade de sólidos dissolvidos nesta e maior sua condutividade elétrica, pois os íons são partículas carregadas eletricamente (LOGAN, 1965).

A condutividade elétrica é uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, tendo proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos (íons). A condutividade elétrica cresce com a temperatura e varia com o tipo de sal dissolvido para uma mesma concentração (LOGAN, 1965).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA - N° 20 de 18/06/1986 considera que a classificação das águas doces, salobras e salinas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade, trazendo em suas definições os limites de salinidade de cada classe.

- águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,50‰;
- águas salobras: águas com salinidade maior que 0,50‰ e menor que 30‰;
- águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30‰.

De acordo com Logan (1965), o grau de salinidade das águas interfere em várias propriedades químicas desta, atuando direta ou indiretamente no metabolismo dos animais e vegetais que a consomem (LOGAN, 1965). Para obter-se, então, uma avaliação mais precisa da água com salinidade elevada, não basta apenas medir a sua condutividade elétrica, é necessário avaliar

os seus constituintes iônicos. Pois, a depender da concentração unitária de cada um destes, é possível compreender o processo de salinização que ocorre na área estudada, evidenciar a sua origem e prever os resultados da sua utilização.

Os constituintes iônicos da água que mais frequentemente contribuem para a sua salinização são: os cátions sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), e os ânions cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) (LEPRUN, 1988; SANTIAGO, 1984; LARAQUE, 1989; BARROS, 1994; SILVA Jr et al., 1999; QUEIROZ, 2000).

De modo geral, os íons que apresentam maiores concentrações nas águas superficiais da região semi-árida do nordeste brasileiro são, em ordem, o cloreto (Cl^-); o bicarbonato (HCO_3^-) e o sódio (Na^+), conforme pode ser comprovado por estudos da qualidade da água em açudes localizados no semi-árido nordestino realizados por vários pesquisadores.

2.1.2 Composição química das águas superficiais e de açudes no semi-árido nordestino

Ao longo dos anos vários trabalhos vêm sendo publicados avaliando-se a composição química das águas superficiais e de açudes no semi-árido brasileiro. A seguir, são apresentados alguns estudos realizados por ordem de abrangência.

No estudo de Leprun (1988), denominado “Primeira Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais no Nordeste”, foi feito um levantamento de dados disponíveis sobre as características físico-químicas das águas superficiais distribuídas na zona semi-árida de embasamento cristalino do nordeste brasileiro. Foram avaliadas por volta de 504 análises químicas de águas oriundas de açude, cacimbão, poço raso (2-6m), rios, riachos e águas de escoamentos superficiais e fontes, sendo a grande maioria dos dados provenientes de análises realizadas em águas de açudes. Obteve-se, de um modo geral, águas com altos teores de

sódio, cloreto e bicarbonato, apresentando, segundo a concentração, a seguinte hierarquia: cátions $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$; e ânions $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$.

Os dados permitiram classificar o tipo dominante de águas superficiais do nordeste semi-árido como cloretadas-sódicas. Constatou-se que há um aumento na concentração de íons nas águas retiradas do açude-rio-cacimba-poço (LEPRUN, 1988).

Ao considerar apenas as águas provenientes de açudes, obteve-se, neste mesmo trabalho, os resultados apresentados no Quadro 1:

Quadro 1. Características físico-químicas das águas de açudes do nordeste (LEPRUN, 1988).

364 amostras	pH	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
			(mg.L ⁻¹)						
Média	7,7	519,63	25,89	12,72	53,66	9,62	80,86	7,07	117,95
Desvio Padrão	0,6	978,16	37,47	22,24	100,80	8,43	42,08	8,92	57,53
Máximo	9,7	>10.000	678,6	280,0	>1.000	>100	>1.000	80,10	373,30
Mínimo	5,6	44,00	1,60	0,50	1,30	0,40	0,50	0,00	4,80

Diante destes resultados, o mesmo autor vai além na sua classificação e afirma que as águas dos açudes da zona semi-árida do embasamento cristalino são do tipo cloretada-sódica, com reações alcalinas, duras a muito duras, com salinidade total elevada e resíduo seco médio.

Laraque (1989) analisou mensalmente as características físico-químicas das águas de doze açudes, todos inseridos na zona semi-árida do nordeste, durante os anos de 1987 e 1988, obtendo resultados similares aos de Leprun (1988). Ou seja, os íons mais abundantes foram, em ordem, HCO_3^- , Cl^- , Na^+ e Ca^{2+} .

Segundo esses estudos, a condutividade elétrica evoluiu entre uma faixa inicial de 75 a 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C, para alcançar, no final do período seco, valores entre 200 a 900 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C. Sendo assim, com a progressão da perda de água nos açudes por evaporação, a qualidade das águas remanescentes tendeu para salinidade neutra, sendo o risco de sodificação fraco em todo período.

Outro trabalho desenvolvido utilizando critérios similares foi o do Sub-Programa de Geração e Adaptação de Tecnologia do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste – GAT/PDCT-NE. Este estudo foi realizado utilizando diversas fontes de água como poços, rios, açudes e cacimbões nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, coletando-se água mensalmente no período de fevereiro de 1988 a janeiro de 1989 (SUASSUNA; AUDRY, 1992).

Comparando-se as composições iônicas das várias origens no decorrer do ano, os autores confirmam que as águas iniciais, pouco concentradas, são bastante diversificadas, mais frequentemente do tipo bicarbonatada cálcica e mais esporadicamente misto sódico.

Segundo Suassuna e Audry (1992), as águas mais concentradas são sistematicamente cloretadas-sódicas. Observando-se que para águas com condutividade elétrica acima de 1.500 $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$, não se verifica praticamente nenhuma ocorrência do tipo bicarbonato ou mista (SUASSUNA; AUDRY, 1992).

Outro estudo que avaliou o comportamento químico das águas foi desenvolvido por Santiago (1984), em sua tese de doutorado, na qual analisou a variação da concentração de íons nas águas de dois açudes localizados em região semi-árida do Estado do Ceará, nos anos de 1980 e 1982.

Estes açudes apresentaram, segundo a autora, em todo o período analisado, a seguinte hierarquia de concentração de íons: Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , ou seja, em todo período de realização do estudo as águas apresentaram-se cloretadas-sódicas (SANTIAGO, 1984).

O fato interessante deste trabalho, é que o íon de maior concentração ao longo de todo período avaliado, foi o cloreto que diferencia-se dos demais estudos apresentados haja vista que, naqueles, o cloreto torna-se mais concentrado à medida que progride a estação seca.

Barros (1994) ao analisar, até o ano de 1984, os mesmos açudes estudados por Santiago (1984), confirma os resultados da concentração dos íons apresentados pela primeira autora, ou seja, o cloreto mantém-se como o íon de maior concentração em todo período analisado.

Estudos realizados por Costa e Gheyi (1984) com o intuito de caracterizar as águas usadas para irrigação na microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba, utilizando águas de várias fontes (poços amazonas e açudes, principalmente), coletadas no período seco e chuvoso, mostram que, de modo geral, o Na^+ predomina sobre o Ca^{2+} e Mg^{2+} . No período chuvoso, no entanto, chegou-se a observar a predominância do Ca^{2+} e Mg^{2+} sobre o Na^+ , principalmente quando as concentrações de HCO_3^- , eram maiores que as de Cl^- , fato ocorrido apenas em águas com salinidade baixa (condutividade elétrica $<750\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Queiroz (2000) ao analisar, no período de 1998 a 2000, a concentração dos íons maiores das águas de quatro açudes inseridos na região semi-árida, próxima ao município de Tauá no estado do Ceará, constatou que dois açudes apresentaram concentrações maiores de HCO_3^- , ou seja, águas bicarbonadas sódicas ou mistas; enquanto os outros dois apresentaram concentrações maiores de Cl^- , predominando águas do tipo cloretadas-sódicas.

Na avaliação dos resultados apresentados pelos estudos descritos acima, observa-se que as águas dos açudes inseridos na região semi-árida do nordeste brasileiro são, de modo geral, predominantemente cloretadas-sódicas.

A variação das concentrações de íons apresentadas nos trabalhos mencionados tem amplitudes consideráveis, ou seja, no período seco a concentração tende a aumentar, já que a evaporação neste período é mais intensa, retirando-se apenas água, mantendo a mesma massa de sais e, nos períodos úmidos, o aporte de água é superior ao de sais o que diminui a concentração destes. Por isso, há uma variação na composição química das águas dos açudes, da estação chuvosa para seca, havendo aumento nas concentrações em valores percentuais de Cl^- e Na^+ ,

enquanto o Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e, principalmente, o HCO_3^- , diminuem relativamente na estação seca.

Silva Jr. et al (1999), concluíram que o motivo responsável pela composição química apresentada pelas águas do semi-árido é a elevada solubilidade do cloreto de sódio em relação a solubilidade dos bicarbonatos de cálcio e magnésio. Desta forma, o aumento da concentração salina das águas proporciona cada vez maiores teores de cloreto de sódio, em detrimento dos teores de bicarbonatos de cálcio e magnésio que tendem a precipitar em virtude da sua menor solubilidade.

De acordo com Suassuna e Audry (1992), o fato das águas apresentarem esta composição química constitui-se em uma vantagem para a região, pois as águas da região semi-árida apresentam, em grande proporção, um risco de salinização bastante alto. Esta evolução natural das águas protege-as de riscos elevados de sodificação, que são mais delicados de manejar e podem provocar mais danos à estrutura dos solos e conseqüentemente às culturas.

Com relação a origem dos sais nos solos de regiões semi-áridas existem interpretações de que os fatores climáticos agem no transporte e deposição dos aerossóis marinhos no solo, posteriormente lixiviam e transportam os sais e, por fim, concentram estes nos corpos d'água superficiais e subterrâneos, conforme sugerem diversos autores, tais como: Friedman (1969); Santiago (1984); Barros (1994); e Oliveira (1997).

A amplitude de variação da concentração de sais nos açudes de maior porte ($>10^5 \text{ m}^3$) é reduzida quando comparada com os açudes menores. Isto ocorre devido a maior inércia obtida pela importância dos volumes dos reservatórios maiores (SUASSUNA; AUDRY, 1992).

As exceções observadas pelos estudos realizados por Santiago (1984) e Barros (1994) e em metade dos casos estudados por Queiroz (2000), que apresentaram, em todo o período

estudado, maiores concentrações de cloretos. Segundo os autores, estes sais provêm de aerossóis marinhos depositados nos solos e depois lixiviados e transportados para os açudes.

Esta explicação parece aceitável nos casos dos açudes estudados por Santiago (1984) e Barros (1994) que, devido a proximidade das bacias estudadas do litoral cearense, é possível que haja uma considerável deposição de sais oriundos do mar que, segundo Barros (1994), é por volta de 1,3 ton por km² por ano.

O mesmo não parece ser a justificativa para os açudes estudados por Queiroz (2000) que, segundo o autor, apresentaram uma massa de aerossóis depositado de aproximadamente 5,5kg por km² por ano, haja vista a distância destes ao litoral.

Outro fato importante a ser observado é que açudes nos quais são realizadas maiores retiradas de água apresentam menores amplitudes de variação de concentração de sais, haja vista que em tais retiradas os sais também são extraídos (SANTIAGO, 1984).

Diante da homogeneidade dos resultados obtidos pelas análises da composição iônica das águas superficiais do semi-árido brasileiro, tem-se como primeira reação atribuir a responsabilidade do acúmulo dos sais aos fatores climáticos, desprezando a influência dos solos nesta composição.

No entanto, para Molle (1994) dentre os fatores que influenciam no processo de salinização das águas represadas estão: (i) a natureza da bacia hidrográfica, considerando o seu relevo e, sobretudo, as características de seus solos e subsolo; (ii) o dimensionamento do açude possibilitando “sangrias” regulares do mesmo; (iii) a profundidade do açude, fator predominante, pois determina a importância da lâmina evaporada com relação ao volume armazenado e (iv) a utilização do açude, pois, ao se retirar água, também se retira os sais nela contidos.

Silva Jr et al (1999), ao estudarem a composição química das águas do cristalino do nordeste brasileiro com a intenção de estabelecer equações que simplifiquem a determinação da composição das águas, concluíram que as equações comprovaram existir diferença nas composições químicas das águas originárias de regiões diferentes. Além do efeito climático na evaporação e na concentração dos sais, os solos de diferentes regiões, com suas litologias características, têm capacidade de influenciar sobre a composição iônica percentual das águas, com incremento de íons específicos sobre outros, sendo determinantes da composição química das águas. Em que concordam os trabalhos desenvolvidos por: Leprun (1988); Santos et al. (1984); Molinier et al. (1989); Suassuna (2003) e Laraque (1989).

Em resumo, as características fisioclimáticas da bacia de contribuição do açude, seu dimensionamento e parâmetros geométricos, bem como o seu manejo são cruciais para entender e amenizar o processo de salinização que ocorrem nas águas armazenadas superficialmente no nordeste brasileiro. Também, o solo é um componente fundamental no processo de salinização das águas superficiais, seja como fornecedor primário dos sais ou como depositário destes. Sendo assim, a sua participação neste processo deve ser avaliada com mais cuidado.

2.2 A PARTICIPAÇÃO DO SOLO NO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

2.2.1 Relações entre as características físico-hídricas das águas superficiais e a natureza do solo

Os estudos realizados por Leprun (1988) na região semi-árida do nordeste brasileiro, apresentados a seguir, mostram que os solos exercem influência na composição química das águas superficiais, sobretudo, no seu nível de concentração iônica percentual.

Num destes estudos, Leprun (1988) avaliou as análises físico-químicas das águas coletadas em uma mesma época, de riachos com escoamento temporário de alguns dias por ano, com extensões variando de 2 a 3 km, que escoam em solos diferentes.

As médias de mais de 40 análises de águas de riachos em função do solo da bacia são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Valores médios de algumas determinações analíticas de águas de riachos em função do solo da bacia (LEPRUN, 1988).

Análises	SOLOS							
	Areias Quartzosas	Latosolos V.A.	Podzólicos V.A.	Vertissolos	Podzólicos V.A. Equivalentes Eutróficos	Solos Litólicos Eutróficos	Solonet Solodizados	Planossolos Solodizados
CE ($\mu\text{mhos.cm}^{-1}$)	98,4	188,5	226,2	329,4	484,1	621,0	2.817,2	4.596,7
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	26,9	44,1	51,8	73,3	109,3	147,2	1.148,8	1.375,5
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	12,7	24,8	36,9	36,7	56,8	70,6	528,6	750,0

Esta tabela utiliza a antiga nomenclatura da classificação de solos.

Segundo o autor, constata-se, à vista desses resultados analíticos, que as médias das características da mineralização das águas dos riachos variam conforme o tipo de solo, havendo um gradiente crescente da salinização na ordem apresentada na tabela, isto é, das Areias Quartzosas até os Planossolos Solodizados.

O segundo estudo utiliza dados analíticos de águas superficiais coletadas em cinco pontos com distâncias inferiores a 4 km e com solos distintos. Os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 3, que apresenta algumas características das águas relacionadas ao solo, pelos quais escoam.

Quadro 3. Algumas características das águas de riachos amostradas na mesma região com solos diferentes (LEPRUN, 1988).

Característica Química	Areias Quartzosas	Podzólicos V.A Equivalentes Eutróficos	Solos Litólicos	Planossolos Solodizados
pH	6,0	7,4	8,5	7,7
CE. ($\mu\text{mho.cm}^{-1}$)	71,0	368,0	1.756	1.709
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	12,3	38,9	154,4	180,0
K ⁺ (mg.L ⁻¹)	0,2	4,5	4,0	8,3
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	17,2	75,7	450,9	381,0
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	3,2	16,5	30,0	20,5

Esta tabela utiliza a antiga nomenclatura da classificação de solos.

O exame dos dados acima mostra grandes variações das características físico-químicas das águas, por diferentes tipos de solo presentes nas bacias hidrográficas, apesar da contigüidade da amostragem. Assim, como no estudo anterior, pode-se constatar o crescimento da mineralização e da salinidade das águas, em função do tipo de solo.

O terceiro estudo de Leprun (1988) avaliou a relação entre as águas de açudes e o tipo de solo de suas bacias hidrográficas. Para realização deste estudo, foram analisadas as águas de seis açudes, com distância máxima de 15 km entre si, todos localizados próximos ao município de Tauá, no estado do Ceará.

Foi observado que os açudes apresentaram variações nas composições químicas de suas águas, mesmo estando localizados próximos entre si. Os açudes com águas mais concentradas estavam situados nas bacias onde predominam os solos Solonetz Solodizados ricos em cátions, particularmente o sódio.

As bacias hidrográficas dos açudes que apresentaram água com concentração intermediária eram formadas por unidades de Solos Litólicos Eutróficos, muito ricos em minerais primários em via de intemperização; enquanto os açudes com águas menos concentradas estavam localizados sobre uma associação de solos Bruno Não-Cálcicos e de Podzólicos V.A. Equivalente Eutróficos. A amplitude das variações das características físico-químicas das águas foi relevante, tais como: condutividade elétrica menor valor medido $213 \mu\text{mho.cm}^{-1}$,

maior valor $1.280 \mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ e os teores de cloreto e de sódio variaram respectivamente de 7 a $290\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e de 9,5 a $157\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Leprun (1988) concluiu que há uma estreita relação entre a composição das águas superficiais e o tipo de solo por onde elas escoam e atravessam, esta constatação é importante, diante do fato da maioria dos estudos realizados quanto à qualidade das águas do nordeste não abordarem com maior profundidade o papel do solo com relação à qualidade das águas superficiais.

Portanto, estes estudos realizados por Leprun (1988), embora sem a pretensão de serem conclusivos, estimulam a investigação mais aprofundada da influência do solo no processo de salinização das águas superficiais, que é preponderantemente atribuída ao clima, conforme constata-se na maioria dos estudos realizados neste tema.

Segundo Laraque (1989), as relações entre a química do solo e das rochas da bacia de alimentação e a qualidade das águas do açude, são complexas e necessitam de pesquisas complementares. O autor sugere, então, que se estude pequenas bacias hidrográficas com cobertura pedológica homogênea de forma a permitir a quantificação mais precisa da influência específica dos solos sobre a qualidade da água.

Embora estes estudos concluam sobre a importância do solo no processo de salinização das águas superficiais, eles não apresentavam o solo como principal objeto de estudo, não sendo avaliado, com maior profundidade, o seu papel neste processo.

2.2.2 Movimento dos sais no solo

Uma vez no solo, o movimento dos sais dissolvidos é fortemente dependente do fluxo da água. Íons solúveis movem-se prontamente com a água do solo. Os íons também se movem

por difusão e dispersão. Estes mecanismos tendem a equilibrar a distribuição espacial dos componentes difusos na água, transferindo-se no sentido de maior concentração para menor concentração (ALBERTA, 2001).

Desta forma, torna-se importante avaliar a natureza dos escoamentos que podem ocorrer em uma bacia hidrográfica para compreender o modo pelo qual estes podem transportar os sais interferindo no processo de salinização dos seus solos e corpos d'água.

Os escoamentos superficial e subsuperficial são privilegiados em uma grande parcela do semi-árido, não apenas pela ocorrência de chuvas curtas e intensas, mas, também, pela estrutura geológica do Escudo Cristalino que, em conjunto com outros fatores climáticos, propiciam solos geralmente rasos (cerca de 0,60m), de baixa capacidade de infiltração e reduzida drenagem natural (SUASSUNA, 1996).

Muito embora o escoamento superficial seja privilegiado, os outros escoamentos têm um poder de salinização mais efetivo, devido ao maior contato com o perfil do solo e, conseqüentemente, com os sais aí presentes.

Molinier et al. (1989), ao estudarem um solo Bruno não Cálcico Vértico (antiga nomenclatura), na região de Sumé no estado da Paraíba, verificaram que a água, após percolar o solo a certas profundidades, teve sua composição química alterada.

Neste estudo, verificou-se que a água da chuva, inicialmente com baixo teor de sais dissolvidos, aumentou a sua concentração de sais em até quatro vezes pelo escoamento superficial. No mesmo solo, após infiltração de 0,80m, esta concentração alcançou níveis superiores a cinquenta vezes, conforme é apresentado na Figura 1.

	Carga Total Dissolvida (mg.kg⁻¹)	Fator de Concentração
Água de chuva	0,017	
Água de escoamento	0,067	
Água de drenagem na base do solo vértico	0,87	
Poço de 8m	1,14	

Figura 1. Fator de concentração de sais no solo Bruno não Cálcico Vértico (MOLINIER et al., 1989).

Desse modo, verifica-se que em uma bacia hidrográfica há pré-disposição natural em acumular sais nas áreas de menor altitude. Haja vista que estas áreas, devido à topografia, recebem contribuição dos diferentes escoamentos (superficial, subsuperficial e subterrâneo) nos quais são incorporados sais distribuídos nos solos a montante.

Além da presença da água, outro fator importante para avaliação do movimento dos sais no solo é determinado pela natureza das argilas que compõem o solo. As argilas predominantes em solos de regiões de clima semi-árido tropical pertencem, em geral, ao grupo dos silicatos, sendo a caulinita, mineral do tipo 1:1, e a montmorilonita, mineral do tipo 2:1, as mais comuns e características destas regiões (MONIZ, 1975; BRADY, 1983; KLAR, 1988; PRADO, 2003).

O tipo de argila predominante é responsável por algumas características químicas do solo importantes no processo de troca iônica, indicador do grau de fornecimento de íons para a água que mantém contato com o solo.

No entanto, os tipos de argila não ocorrem independentemente um do outro. Em determinado solo, é possível encontrar vários minerais de argila em íntima mistura sendo encontrados, ainda, minerais que possuem propriedades e composições intermediárias em relação às do tipo

1:1 e 2:1 (BRADY, 1983). Assim sendo, o solo passa a ter características particulares definidas pela composição das argilas que o formam.

A caracterização das argilas presentes no solo é importante, pois ao mesmo tempo em que os sais movimentam-se no solo, eles reagem entre si e interagem com a matriz do solo numa sucessão cíclica contínua de processos físicos e químicos inter-relacionados, tais como adsorção, dessorção, mobilização, imobilização, precipitação e dissolução (PREVEDELLO, 1996).

Em regiões de clima semi-árido, os elementos lixiviados percorrem um caminho geralmente curto, quando relacionados àqueles de clima úmido. Isso ocorre devido à quantidade de água envolvida no processo ser insuficiente para uma remoção completa dos compostos dissolvidos. Tem-se a ocorrência de um ambiente propício à fixação de parte desses materiais com a formação de novos compostos como os minerais argilosos à jusante, minerais esses com alto poder de adsorção de cátions, como as argilas 2:1 (REGO, 2000).

2.2.3 Solos afetados por sais

Segundo Pereira et al. (1985), no nordeste brasileiro há aproximadamente uma área de 9.000.000 de hectares coberta por solos geneticamente salinos (na antiga nomenclatura: Planossolos, Solonetz, Solochack). Embora os sais estejam presentes em todos os solos, há aqueles em que esta presença é mais efetiva e, como visto acima, quanto maior a concentração de sais, mais o solo poderá contribuir para a salinização das águas superficiais.

Quando o acúmulo destes sais atinge um determinado nível, o solo passa a ter suas propriedades estruturais afetadas. Este acúmulo é determinado por processos denominados de

salinização/sodificação. E, embora estes processos ocorram em várias partes do mundo é mais comum em regiões de clima árido e semi-árido (RICHARDS, 1954; SZABOLCS, 1989).

Desta forma, o processo de salinização/sodificação dos solos tem uma relação direta com as condições de aridez. As altas taxas de evaporação e baixa precipitação, associadas às características do material de origem e as condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (GOMES et al., 2000).

No semi-árido nordestino estes processos têm seus efeitos potencializados devido a pouca ou média profundidade dos solos e a sua baixa permeabilidade (SUASSUNA, 1996).

2.2.3.1 Origem e dinâmica dos sais no solo

Os sais solúveis do solo são constituídos principalmente dos cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloreto, carbonato, bicarbonato e sulfato (Richards, 1954). Apresentam-se, segundo Kovda (1973), principalmente, sob as formas de cloreto de sódio (NaCl), de sulfato de magnésio ($MgSO_4$), de sulfato de sódio (Na_2SO_4), de cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e de carbonato de sódio (Na_2CO_3).

Segundo Suassuna (1996), a origem destes sais na região semi-árida do nordeste brasileiro, de modo geral, pode ser devido: (i) ao intemperismo de minerais primários existentes no substrato rochoso e no solo; (ii) aos aerossóis marinhos e (iii) à ações antrópicas. A seguir estas origens são descritas.

A rocha matriz tem em sua composição vários constituintes que por meio de processos químicos, físicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo, são, gradativamente, intemperizados liberando-se na forma simples

(RICHARDS, 1954). Estes íons incorporam-se ao solo e, a depender do seu acúmulo, podem tornar-se prejudiciais.

Entretanto, é importante ressaltar que de um mesmo material de origem, dependendo das condições impostas pelos outros fatores de formação, principalmente o relevo e clima, podem resultar em solos muito diferentes (CARVALHO, 1995).

Os sais liberados durante o processo de intemperização das rochas, dependendo do relevo da região, podem ser carreados para horizontes inferiores mediante percolação ou levados a lugares distantes por escoamento superficial e subsuperficial, conforme o fluxo de água.

Os sais presentes nas águas dos escoamentos subsuperficiais, podem, por capilaridade, acumular-se na superfície do solo à medida que a água for evaporada ou consumida pela planta. Por sua vez, os sais incorporados às águas dos escoamentos superficiais são responsáveis pela deposição e acúmulo em rios, mares, açudes e lagoas. Em regiões úmidas, por tratar-se de zonas com precipitações elevadas, os sais são lixiviados até a zona freática ou eliminados através das águas superficiais com maior frequência. Em regiões de clima semi-árido, por apresentarem déficit hídrico na maior parte do ano e por, na maioria das vezes, os solos serem rasos ou apresentarem camadas impermeáveis, a água que contém sais fica sujeita aos processos de evaporação e evapotranspiração (OLIVEIRA, 1997; SILVA Jr.et al., 1999; ALBERTA, 2001).

No entanto, Richards (1954) e Oliveira (1997) ressaltam que, embora a fonte principal e direta dos sais presentes no solo seja a intemperização das rochas, são raros os exemplos em que esta fonte de sais tenha provocado problemas relacionados com a salinidade do solo no mesmo local, sendo a salinização, normalmente, resultado da acumulação de sais oriundas de outras áreas.

Observa-se que a gênese de solos afetados por sais está fortemente associada com a formação geomorfológica predominante na paisagem e com os fatores climáticos. O homem contribui decisivamente para alterar, acelerar ou diminuir o processo (CRUCIANI, 2004).

A outra origem salina do solo relaciona-se com os sais presentes na água do mar, estes quando vaporizados são transportados pelos ventos ou chuvas compondo o chamado “ciclo do sal”. O sal de maior concentração nos aerossóis marinhos é o cloreto de sódio, isto devido ao seu caráter conservativo e sua alta solubilidade (MUNN, 2004).

Após o transporte, estes sais são depositados sobre os solos mesmo em regiões distantes da costa. Segundo Santiago (1984), o estudo da concentração de cloretos na água da chuva do nordeste revelou um decréscimo exponencial nesta concentração para distâncias acima de 75 km. Dada às condições evaporimétricas da região semi-árida, no entanto, estes sais tendem a se acumular nas partes superiores do solo para posteriormente, quando houver um evento pluviométrico significativo, serem carreados por escoamento superficial e subsuperficial (SANTIAGO, 1984; BARROS,1994). Neste caso, os fatores climáticos tais como vento, chuva e evaporação exercem papel preponderante no processo de salinização dos solos e, por conseqüência, dos corpos d’água.

O homem, eterno modificador de ambientes, exerce um papel importante como fator da salinização do solo. Segundo Oliveira (1997), a salinização induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada taxa de evapotranspiração potencial e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano.

A salinidade induzida se manifesta em decorrência da irrigação praticada nestas áreas, onde o controle da drenagem não é feito, ou feito de modo ineficiente. O mesmo ocorre quanto ao controle da qualidade da água utilizada na irrigação, bem como a presença de águas sub-superficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade. Além disso, a salinidade pode ser

causada pela aplicação de fertilizantes de modo excessivo e pouco parcelado (GOMES et al., 2000).

No semi-árido brasileiro, as maiores incidências de áreas salinizadas de forma induzida concentram-se nas terras mais intensamente cultivadas com uso de irrigação (OLIVEIRA, 1997). Segundo Gomes et al. (2000), aproximadamente 25% das áreas irrigadas do nordeste apresentam problemas de salinidade. Este tipo de salinização é responsável por perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos, tornando-os estéreis, em grandes extensões de terras (OLIVEIRA, 1997).

Desta forma, seja qual for a origem dos sais no solo, é importante saber que parte destes sais será carreado para o corpo d'água, contribuindo para a composição química e concentração das águas.

2.2.3.2 Características gerais dos solos afetados por sais

As características químicas dos solos afetados por sais são principalmente determinadas por quantidades e espécies de sais presentes. As quantidades relativas de sódio, cálcio e magnésio presentes na solução do solo do complexo de troca podem variar consideravelmente (RICHARDS, 1954).

Em solos de regiões semi-áridas com boa drenagem predominam os cátions de cálcio e magnésio. Visto serem os compostos de menor solubilidade entre os acumulados, esses cátions, são precipitados na forma de carbonato de cálcio durante o processo de concentração dos sais causada pela evaporação ou evapotranspiração, quando a drenagem é inadequada ou o lençol freático se encontra próximo à superfície, aumentando, deste modo, a proporção relativa de sódio solúvel na solução do solo (RICHARDS, 1954; OLIVEIRA, 1997).

Enquanto o fenômeno de acumulação de sais no solo é denominado de salinização, ao aumento gradual de sódio denomina-se sodificação. A sodificação geralmente ocorre posteriormente à salinização, porém, estes processos podem ocorrer de forma simultânea quando se tem, na solução do solo, sais exclusivos ou predominantemente de sódio (CRUCIANI, 2004).

Segundo Munns (2004), em regiões semi-áridas são comuns os solos salinos-sódicos, pois os sais são acumulados devido à baixa permeabilidade provocada pelo subsolo sódico.

Os efeitos dos sais sobre o solo ocorrem, basicamente, pela interação eletroquímica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente (BRADY, 1983).

Segundo Richards (1954), na presença marcante dos sais de cálcio e magnésio e ausência de quantidades significativas de sódio trocável, os solos tornam-se floculados. Como consequência, estes solos apresentam permeabilidade superior ou igual ao solo similar não-salino.

O autor afirma, ainda, que quando o sódio solúvel atinge a concentração relativa superior a 50% na solução, o mesmo passa a ser absorvido pelo meio em proporções suficientes para promover a dispersão reduzindo, assim, a permeabilidade do solo (RICHARDS, 1954). O grau de expansão e dispersão do solo depende da natureza do argilomineral predominante, sendo a montmorilonita mais sensível e a caulinita menos sensível (BRADY, 1983).

A grande proporção de sódio (íon monovalente) nos complexos de troca dos solos reduz a atração entre as partículas, ocasionando expansão e dispersão das argilas. As partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando os espaços porosos com consequente deterioração da estrutura do solo e das propriedades de permeabilidade.

Desta forma, os solos afetados por sais podem ser classificados como salinos - apresentam altas concentrações de sais solúveis; sódicos - com altas concentrações de sódio trocável; e salino-sódico - apresentam altas concentrações de sais e de sódio trocáveis (RICHARDS, 1954).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em uma área da Bacia Experimental do riacho do Cedro, compreendida no município de São Domingos, cuja sede dista 250km de Salvador, capital do Estado da Bahia.

A escolha desta área deveu-se, entre outros motivos, às suas dimensões exíguas, por conter um açude em relevante processo de salinização e por dispor de levantamento topográfico e pedológico em escala satisfatória.

A Bacia Experimental do riacho do Cedro é objeto de estudos desenvolvidos pelo Grupo de Recursos Hídricos da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, objetivando gerar informações sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas localizadas na região semi-árida do nordeste brasileiro, escopo do Projeto Integrado de Implantação de Bacia Experimental no Semi-árido (IBESA), em conjunto com mais seis universidades integrantes da Rede de Hidrologia do Semi-Árido (REHISA).

Para realizar o estudo da contribuição potencial do solo no processo de salinização das águas superficiais foi necessário, antes, investigar algumas variáveis que exercem funções preponderantes neste processo, tais como: clima, vegetação, geologia da região e características químicas e físicas do solo da área em estudo.

As investigações de campo foram realizadas utilizando-se toposseqüências, consistindo na análise dos solos em trincheiras abertas ao longo de encostas, em pelo menos três pontos distintos: topo, meia encosta e sopé da vertente. Este tipo de investigação, ao longo de uma vertente, permite que se verifique os processos responsáveis pela dinâmica da mesma (CHRISTOFOLETTI, 1997).

A partir de descrições morfológicas, a realização de análises físicas e químicas buscou identificar as propriedades do solo mais relevantes no processo de salinização das águas superficiais do açude Nenezinho, cuja área de drenagem é caracterizada a seguir.

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está localizada na região conhecida como Zona do Sisal da Bahia, a noroeste de Salvador, posicionada aproximadamente no centro do quadrilátero compreendido entre as coordenadas 11° e 12° (Latitude Sul) e 39° e 40° (Longitude Oeste) (Figura 2), com uma área de 10,69km² inserida na bacia do rio Jacuípe, afluente à margem esquerda do rio Paraguaçu.

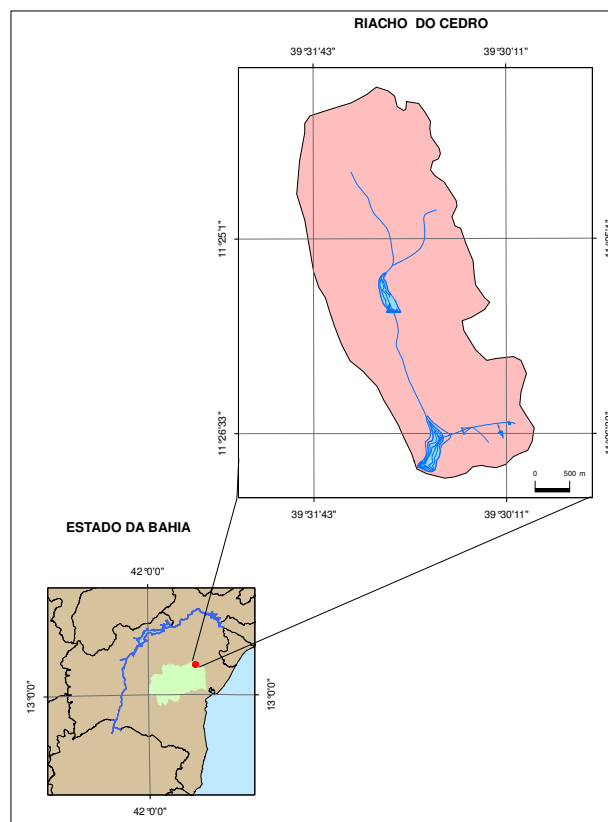


Figura 2. Mapa de localização da área em estudo.

3.2 GEOLOGIA

A descrição da geologia aqui apresentada tem como base as informações obtidas na Folha Serrinha (SC.24-Y-D) de escala 1:250.000, elaborada por Melo et al. (1995). De acordo com este trabalho, a área em estudo está inserida no domínio geológico que ocupa praticamente toda a parte oriental da Folha Serrinha, que se trata de um bloco cratônico constituído por gnaisses, plutônicos e supracrustais, e migmatitos do Complexo Santa Luz, que representam o embasamento arqueano da seqüência vulcanossedimentar eoproterozóica, metamorfozada, em sua maior parte, na fácies xisto-verde, do *Greenstone Belt* do Rio Itapicuru (Figura 3).

O Complexo Santa Luz representa embasamento de idade arqueana, abrangendo o agrupamento litológico de gnaisses bandados, gnaisses a granada e silimanita e rochas calciossilicáticas. A área de ocorrência dessas litologias apresenta um relevo bastante arrasado.

Os gnaisses bandados caracterizam-se pela alternância de bandas de espessuras variáveis (20 a 50cm) de biotita-gnaisses cinzentos, de granulação média, bandas mais largas de anfibolitos escuros, finos a médio, bem foliados e outras de gnaisses graníticos, médios de cor rósea e cujos cristais de quartzo mostram textura *flaser* marcante.

As rochas calciossilicáticas ocorrem apenas na forma de fragmentos dispersos em solo argiloso, escuro. São de coloração esverdeada, finamente granulada, exibem foliação pouco nítida e constituída por diopsídio, predominante, escapolita, feldspato e quartzo.

Os gnaisses a granada e silimanita são representados por afloramentos, de cor cinza predominante, bem foliados, de granulação média a fina, constituídos principalmente de quartzo, feldspato, biotita, granada e silimanita, exibindo, raramente, feições de migmatização com estruturas bandada e magmatítica.

Embora as bordas do bloco cratônico mostrem-se retrabalhadas pela zona de cisalhamento transpressional dextral que se encontra próxima ao limite da área em estudo representa para seu interior, os traços das superfícies-S das rochas que desenham contornos suaves ao redor dos núcleos ovalados, correspondentes ao domos granito-gnáissicos que lhe são intrusivos.

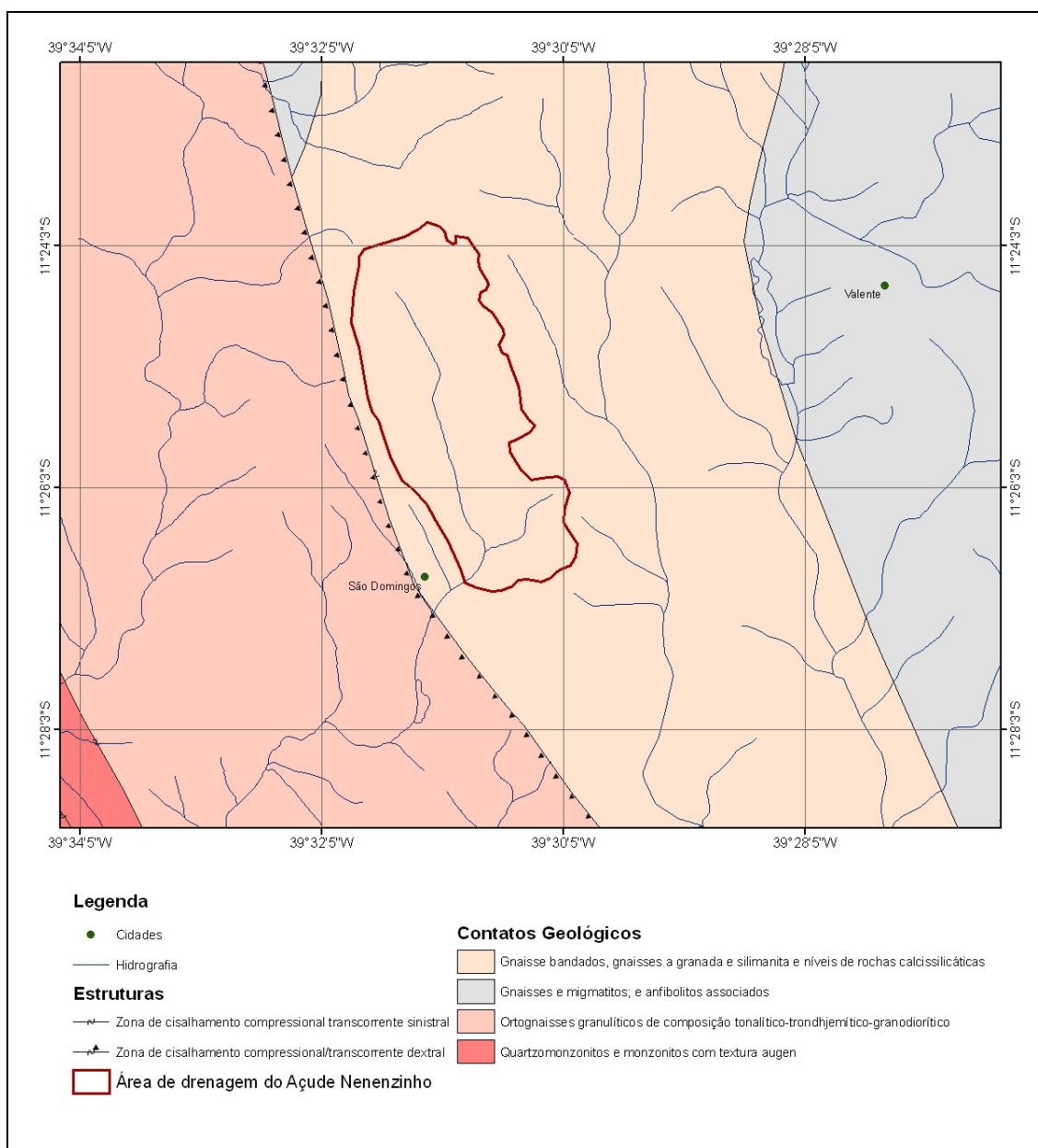


Figura 3. Mapa geológico da área em estudo.

3.3 RELEVO LOCAL

A unidade geomorfológica na qual a área está inserida corresponde, segundo Melo et al. (1995), ao Pediplano Sertanejo, apresentando relevo arrasado com formas suavemente onduladas, aplanadas e rampeadas, de altitudes variando de 240 a 400m, com elevações residuais que marcam desníveis de até 300m, evidenciando os intensos processos de desnudação e aplainamento aos quais foi submetida a região. Localmente, o relevo é bastante movimentado graças à presença de inúmeros pontões e *inselbergs* estruturados por ortognaisses granulíticos e granitóides, além de relevos residuais em forma de cristas onde afloram rochas calciossilicática e quartzíticas.

Góis (1998), citando os estudos realizados pelo Projeto Geossistemas, Planejamento e Desenvolvimento do Semi-árido Baiano (1991), descreve quatro unidades distintas do meio natural que ocorrem na região onde está localizada a área em estudo, denominadas Cristas Onduladas de Valente; Pediplano de Santa Luz; Alinhamento de Serra Branca; e Alinhamento de São Domingos.

O Alinhamento de São Domingos é a porção onde está localizada a cidade de São Domingos e os povoados de Alto Bonito, Pedra Vermelha, Mandacaru, Pau Preto e Vargem do Bravo. O alinhamento é constituído por um relevo mais acidentado, com alguns *inselbergs*, apresentando, como exemplos, a Serra de Caraconha e a Serra da Cruz, com cotas superiores a 500m.

No entanto, com o levantamento topográfico realizado na área em estudo, observou-se a predominância de relevo suave a plano. Este levantamento topográfico foi utilizado na elaboração, via o software ArcView®, da representação topográfica da área estudada em três

dimensões (Figura 4), contendo também a rede de drenagem e os açudes existentes no curso d'água principal.

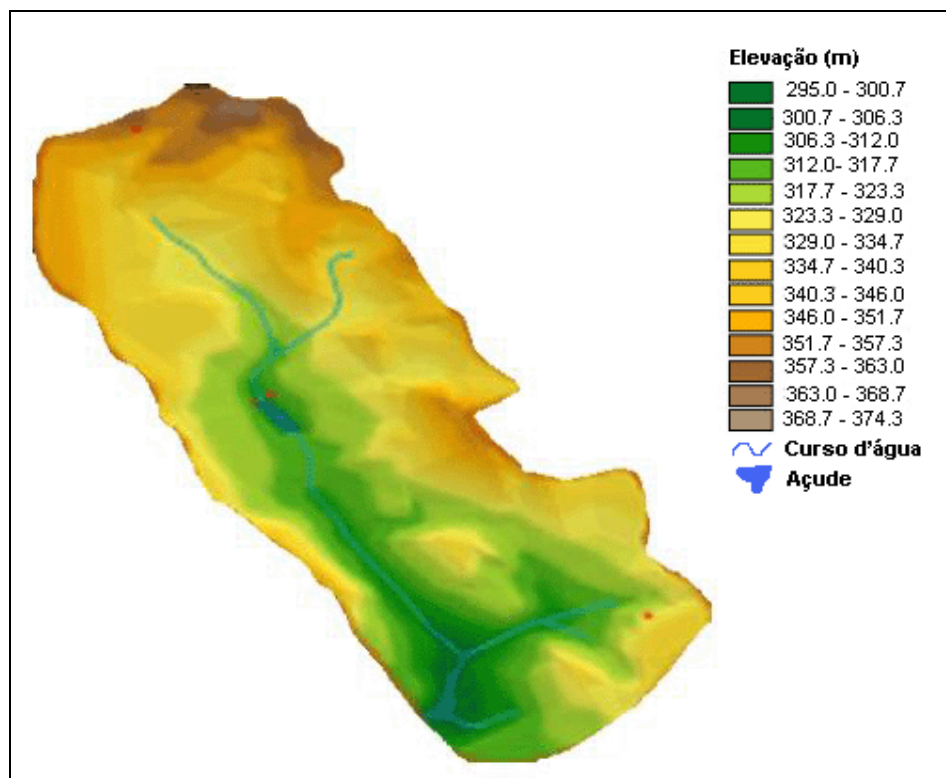


Figura 4. Relevo, drenagem e açudes da área em estudo (MEDEIROS; FONTES, 2003).

3.4 SOLOS

Os principais tipos de solos encontrados na área em estudo, com as suas respectivas áreas de ocorrência, estão representados na Figura 5.

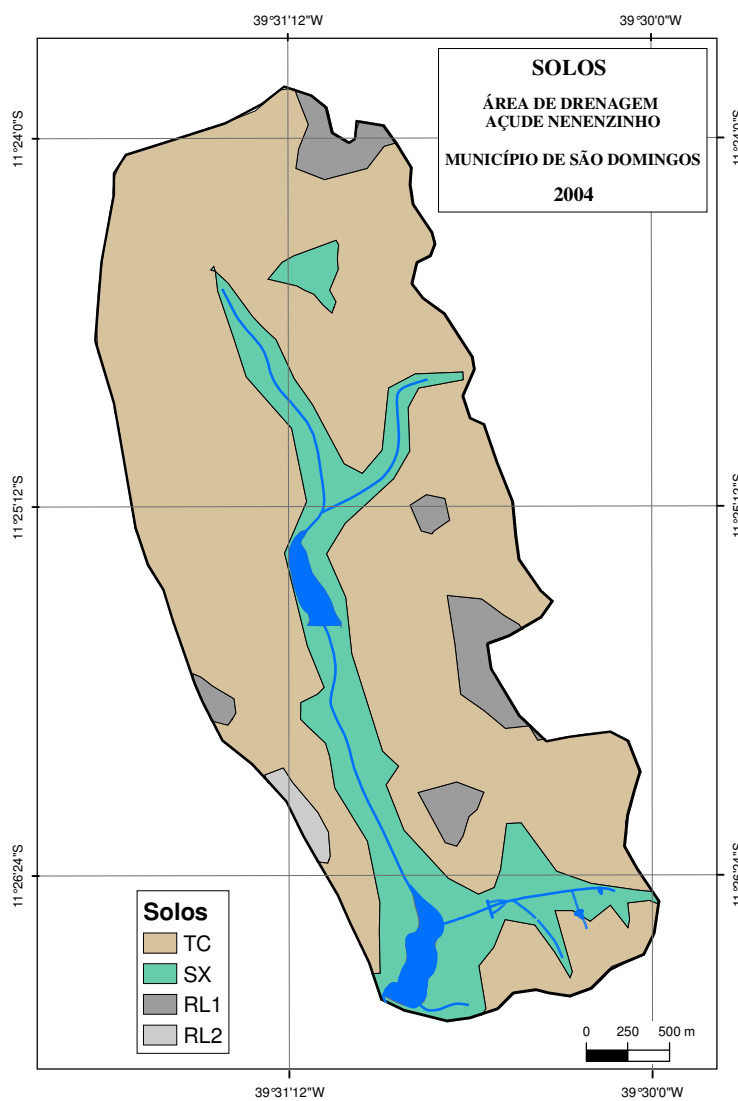


Figura 5. Mapa pedológico da área em estudo (MEDEIROS; FONTES, 2003).

A unidade TC é composta pela associação de LUVISSOLOS CRÔMICOS (antigo Bruno não-cálcico) e de NEOSSOLOS LITÓLICOS (antigo Solo Litólico), associados com PLANOSSOLOS HÁPLICOS. O LUVISSOLO CRÔMICO apresenta fase pedregosa e não pedregosa e relevo ondulado e suave ondulado, com horizonte A moderado (profundidade acima de 10cm) escurecido pela matéria orgânica e textura média/argilosa. O NEOSSOLO LITÓLICO configura um solo jovem, pouco desenvolvido, com fase pedregosa e ocupando relevo ondulado e suave ondulado, apresentando horizonte A moderado e textura média. O

PLANOSSOLO HÁPLICO apresenta horizonte B de acumulação de argila de atividade alta (Ta) e horizonte A fraco e moderado com textura média/argilosa e relevo plano.

A unidade TC ocupa 7,99km² da área de estudo, sendo representada por solos rasos com baixa capacidade de retenção de umidade e contribuindo para um escoamento superficial acentuado.

A unidade SX está presente em 2,09km² principalmente nas baixadas, fundo de vertente, com profundidade variando de pouca a mediana, é composta por PLANOSSOLO HÁPLICO + VERTISSOLO HIDROMÓRFICO + NEOSSOLO LITÓLICO, associados com LUVISSOLO CRÔMICO. O PLANOSSOLO HÁPLICO ocupa área de relevo plano e suave ondulado e apresenta acumulação de argila de atividade alta (Ta) e horizonte A fraco a moderado com textura arenosa/argilosa. O VERTISSOLO HIDROMÓRFICO apresenta textura argilosa e ocupa relevo plano e suave ondulado, já o NEOSSOLO LITÓLICO apresenta fase pedregosa e ocupa relevo plano e suave ondulado, apresentando horizonte A moderado textura média e argilosa. O LUVISSOLO CRÔMICO apresenta fase pedregosa e não pedregosa e ocupa relevo plano e suave ondulado, com horizonte A moderado, apresentando textura média/argilosa mais afloramento de rochas.

A unidade RL1 é composta pela presença de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico com horizonte A moderado e fraco, apresentando textura média e argilosa, relevo suave ondulado e ondulado, mais afloramento de rochas. Esse solo ocupa as áreas mais elevadas, englobando uma área de 0,54km².

A classificação tipo RL2 é composta também pela presença de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico. Entretanto, apresenta horizonte A fraco e textura média, relevo ondulado, mais afloramento de rochas. Esse solo ocupa as áreas mais elevadas, englobando uma área de 0,07km².

3.5 VEGETAÇÃO

A vegetação natural predominante na área de estudo é a caatinga, composta por espécies xerófilas, algumas das quais são cactáceas. Dessa forma, na composição vegetal predominante ocorrem: juazeiro, umburana, mandacaru e umbuzeiro (Figura 6). Nos períodos chuvosos, rapidamente surge uma vegetação rasteira, predominantemente constituída por gramíneas.



Figura 6. Fotografia da vegetação característica da área em estudo.

A área apresenta um grau acentuado de desmatamento da vegetação nativa pois essa é utilizada na alimentação de animais, principalmente no período seco, e por ceder espaço à plantação de sisal, principal atividade econômica da região.

No início dos anos 50, houve uma expansão da cultura do sisal nessa área e adjacências, que perdurou até a década de 80 englobando, além do município de São Domingos, os de Valente, Retirolândia, e Conceição do Coité, que visavam, com a produção, atender a uma grande demanda das indústrias localizadas na região Sudeste do Brasil. As condições atuais, entretanto, estão abaixo do potencial produtivo da região. Outros tipos de plantações, tais como milho e feijão são encontradas em pequena escala, para subsistência.

A área é constituída de pequenas propriedades agrícolas que utilizam trabalho manual sem mecanização nem uso de fertilizantes ou pesticidas.

3.6 CLIMA

Segundo Pereira et al. (2002), clima é uma descrição estática que expressa as condições médias, geralmente mais de 30 anos, do sequenciamento registrado no tempo em um local. O ritmo das variações sazonais de temperatura, chuva, entre outros, caracteriza o clima de uma região.

O período mínimo de trinta anos foi determinado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) com base em princípios estatísticos de tendência de valor médio. Desse modo, inclui-se anos com desvios para mais e para menos em todos os elementos do clima. Ao valor médio de 30 anos, chama-se Normal Climatológica (PEREIRA et al., 2002).

As inúmeras variações no clima, de local para local, determinadas pelas diferentes combinações dos processos atmosféricos, produzem, correspondentemente, um grande número de tipos climáticos. Para facilitar a descrição e proceder ao mapeamento das regiões climáticas, é necessário identificá-las e classificá-las em diferentes tipos (VIANELLO; ALVES, 1991).

A classificação climática da área de estudo é apresentada a seguir utilizando os critérios de Köppen e Thornthwaite.

3.6.1 Classificação climática segundo Köppen

A classificação de Köppen considera vegetação natural, temperatura, chuva e características sazonais (VIANELLO; ALVES, 1991) e vem sendo aprimorada desde o ano de 1901.

A área em estudo é classificada como **Aw'**, onde **A** indica clima tropical chuvoso; com a temperatura do mês mais frio superior a 18°C e, **w'**, indica que a época mais seca coincide com o inverno e a época mais chuvosa com o verão.

3.6.2 Classificação climática segundo Thornthwaite

Esta classificação introduz o conceito de balanço hídrico, comparando a evapotranspiração potencial com a precipitação, a fim de obter um índice de umidade. Uma vez que o excesso d'água (EXC) e a deficiência d'água (DEF) ocorrem, em muitos locais, em diferentes estações do ano, ambos devem ser considerados no cálculo do índice de umidade (I_m), um afetando positivamente e o outro negativamente (VIANELLO; ALVES, 1991).

A classificação climática de Thornthwaite utiliza índices calculados com base no balanço hídrico climatológico normal. A partir dos valores anuais, são definidos os índices relacionados à disponibilidade hídrica (PEREIRA et al., 2002).

Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Médio e Baixo Paraguaçu (Bahia, 1996), a área em estudo está classificada no tipo climático definido por Thornthwaite como: **D** – semi-árido, com índice de umidade entre -40 a -20, possuindo de 9 a 12 meses secos durante o ano.

3.6.3 Pluviosidade

A área em estudo está inserida na região conhecida como o Polígono das Secas, onde as chuvas apresentam grande variabilidade espacial e temporal, característica típica de regiões semi-áridas. Nesta área, observam-se dois períodos de chuva: o primeiro período chuvoso ocorre entre os meses de novembro e fevereiro causado, principalmente, pela passagem das frentes frias vindas do sul do País. O segundo período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio, onde o principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

É importante salientar que, na área em estudo, não havia registro de dados climatológicos até a implantação de quatro estações pluviométricas e uma estação climatológica todas digitais, como parte integrante do Projeto da Bacia Experimental.

Os dados gerados por estas estações não serão utilizados para caracterização da chuva por apresentarem poucos dados, haja vista que foram implantadas em 2003 e por apresentarem períodos de falhas, comuns na etapa inicial em que se encontra o Projeto.

Desta forma, para realizar a análise de pluviosidade, recorreu-se aos dados pluviométricos das estações circunvizinhas, com séries históricas representativas disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH/BA), as quais são apresentadas na Tabela 1.

Além destas estações, serão utilizados os dados climatológicos de precipitação, temperaturas e evaporação obtidos na estação 83190, mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Serrinha. Esta estação foi selecionada por ser a mais próxima da área em estudo que faz parte do Sistema Nacional de Meteorologia, com série de dados representativa.

Tabela 1. Relação das estações pluviométricas circunvizinhas.

Estação	Órgão responsável	Município	Lat. (S)	Long. (W)	Alt. (m)	Período de dados
Valente	DNOCS	Valente	11°34'00"	39°28'00"	350	1933-1983
Santa Luz	DNOCS	Santa Luz	11°16'00"	39°21'00"	349	1958-1987
Santa Luzia	SUDENE	Santa Luz	11°16'00"	39°21'00"	349	1941-1971
Gavião	DNOCS	Riac. do Jacuípe	11°28'00"	39°46'00"	312	1959-1985
Gavião II	ANA	Gavião	11°28'27"	39°47'05"	-	1983-2001
Serrinha	INMET	Serrinha	11°38'00"	38°58'00"	359,6	1961-1990

De acordo com as séries de dados obteve-se a precipitação total média mensal (mm) e o total anual (mm) de cada estação, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Precipitação total média mensal e anual (mm) por estação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Valente	43,9	53,9	48,1	49,9	45,3	32,7	40,3	23,5	19,3	27,5	70,5	57,3	486,6
Santa Luz	50,6	85,1	82,3	73,2	50,1	63,0	34,8	23,1	14,6	30,9	55,5	54,2	616,3
Santa Luzia	53,7	33,1	51,4	53,6	45,7	29,4	34,7	16,6	6,9	15,1	64,7	37,2	467,2
Gavião	78,8	72,3	74,7	39,9	35,3	39,7	30,5	19,0	12,1	17,1	74,2	54,8	547,6
Gavião II	43,7	35,8	71,5	33,0	31,8	33,7	29,0	24,0	17,9	24,0	59,1	102,2	472,2
Média	54,1	56,0	65,6	49,9	41,6	39,7	33,9	21,2	14,2	22,9	64,8	61,1	518,0
Serrinha	82,2	80,4	102,8	84,0	108,8	95,2	79,8	54,6	37,6	50,0	65,3	101,7	942,4

Observa-se que, as precipitações médias mensais, têm um comportamento similar em todas as estações, indicando que elas estão submetidas ao mesmo regime pluviométrico durante o ano. No entanto, a estação de Serrinha (83190), pelo fato de estar mais próxima do litoral, apresenta os maiores valores de precipitação (Figura 7).

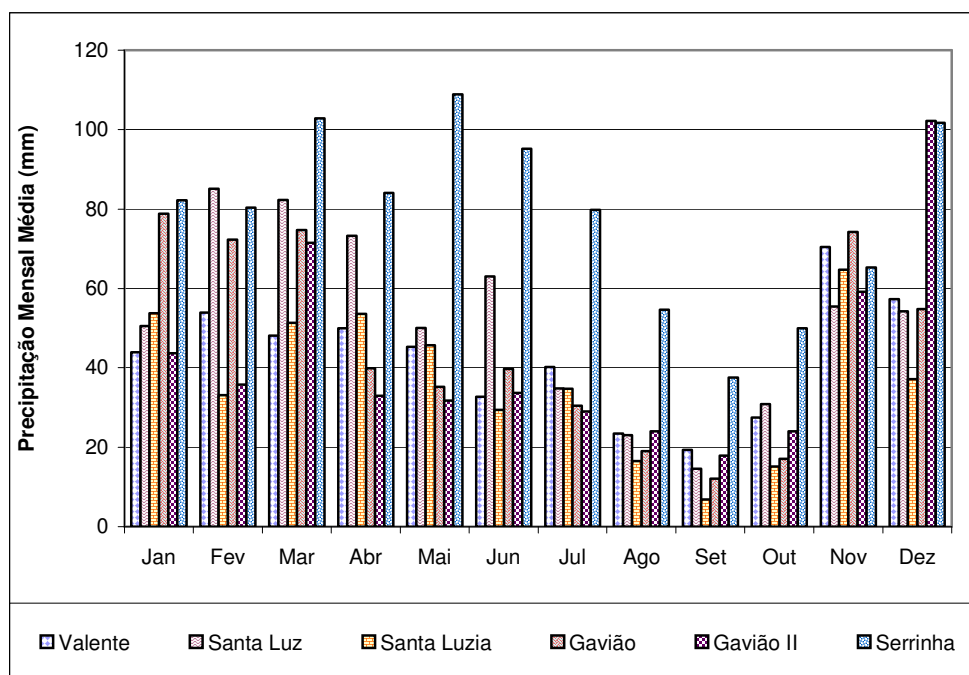


Figura 7. Distribuição temporal da precipitação pluviométrica nas estações em Valente, Santa Luz, Gavião, Riachão do Jacuípe e Serrinha.

De acordo com a tabela, verifica-se que os meses de agosto, setembro e outubro apresentam as menores precipitações, sendo o mês de setembro o mais seco, confirmando a classificação de Köppen.

A distribuição média mensal do número de dias com chuva (NDC) é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Média mensal e anual do número de dias com chuva por estação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Valente	4	4	5	7	11	10	11	7	4	3	5	4	71
Santa Luz	3	4	4	4	6	5	6	4	2	2	3	3	45
Santa Luzia	3	3	3	4	6	6	7	4	1	2	4	2	44
Gavião	4	3	4	3	4	4	4	2	1	1	3	3	37
Gavião II	4	4	7	7	8	10	9	8	5	4	6	7	75
Média	4	4	5	5	7	7	7	5	3	2	4	4	54

Ao analisar em conjunto as Tabelas 2 e 3, nota-se que os meses que apresentam os maiores números de dias com chuvas (NDC) não coincidem com os que apresentam os maiores índices pluviométricos. Isto indica que este período (maio, junho e julho) está sob a influência dos ventos úmidos vindos do Oceano Atlântico, ou seja, está sob o efeito de brisa. Estes

ventos são responsáveis pela formação de nuvens do tipo estratiformes, com extensa dimensão horizontal causando chuvas contínuas e de fraca intensidade (ARAÚJO, 1996).

A seguir são apresentadas, na Tabela 4, as chuvas máximas médias mensais (mm) e a máxima diária histórica de cada estação.

Tabela 4. Chuvas máximas médias mensais e máxima diária histórica (mm) por estação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Máx. Hist.*
Valente	21,9	30,4	25,1	20,3	13,6	8,8	10,2	8,1	9,4	11,9	33,0	26,2	150,2-mar/69
Santa Luz	24,9	31,0	37,9	25,6	16,0	17,7	11,4	11,4	6,6	19,4	27,5	25,8	116,0-out/76
Santa Luzia	25,2	13,5	21,8	22,6	16,6	10,8	9,9	6,8	4,0	9,8	27,0	20,9	160,0-mar/57
Gavião	32,6	30,2	31,1	16,3	12,8	15,8	11,9	10,4	9,2	11,3	42,3	21,8	145,0-nov/62
Gavião II	19,3	14,6	29,1	13,1	10,4	10,2	10,6	8,2	9,0	12,5	21,5	37,0	72,0-dez/01
Média	24,8	23,9	29,0	19,6	13,9	12,7	10,8	9,0	7,6	13,0	30,3	26,3	-

*Máx. Hist. = máxima diária histórica.

É possível perceber que, as maiores precipitações pluviométricas, de modo geral, ocorrem em dois períodos: um em novembro ou dezembro e outro em março. Estas chuvas intensas são fruto da atuação das frentes frias e da ZCIT. As nuvens formadas com a atuação desses sistemas são do tipo convectivas, ou seja, nuvens com grande dimensão vertical gerando precipitações intensas em curtos períodos de tempo (ARAÚJO, 1996).

Em média, a chuva diária máxima anual representa 13% do total anual precipitado, confirmando a má distribuição temporal da chuva e indicando o favorecimento do escoamento superficial. Observa-se na Tabela 3 que, em média, chove na região 54 dias por ano, logo, em média, 311 dias sem chuva o que indica uma média de 10 meses secos, confirmando a classificação de Thorntwaite.

3.6.4 Temperatura

Como visto na seção anterior, na área em estudo existem duas estações: uma chuvosa e outra seca. No entanto, não há grandes variações da temperatura média mensal que, ao longo do

ano, apresenta-se alta, não havendo diferenças pronunciadas entre as temperaturas mínimas e máximas, conforme pode ser observado na Tabela 5, a qual apresenta as normais mensais de temperatura mínima, máxima e média em °C da estação de Serrinha. Como dito anteriormente, esta é a estação mais próxima da área em estudo que possui dados meteorológicos e faz parte do Sistema Nacional de Meteorologia.

Tabela 5. Valores médios mensais e anual das temperaturas mínima, média e máxima (°C) em Serrinha.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Mínima	21,0	21,0	21,1	20,8	19,8	18,8	17,8	17,8	18,4	19,7	20,6	20,9	21,1
Média	25,4	25,3	25,1	24,3	23,1	21,8	21,0	21,2	22,3	23,8	24,8	25,3	23,6
Máxima	31,6	31,4	30,9	29,7	27,6	26,3	25,8	26,7	28,2	30,1	30,9	31,5	29,2

Contudo, deve-se observar que, devido ao efeito da continentalidade, as temperaturas na área de estudo provavelmente são maiores que as obtidas em Serrinha.

3.6.5 Evaporação

A evaporação de água para atmosfera ocorre nos oceanos, lagos, rios, solos, vegetação úmida, do orvalho e chuva, tendo como fonte original de energia a radiação solar.

Outras variáveis meteorológicas também exercem influência na evaporação, entre elas: temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e vento (TUCCI; BELTRAME, 2000; LLAMAS, 1993).

Pelo fato da evaporação ser o resultado da interação destas variáveis, ao analisar o efeito desta também analisa-se, mesmo que indiretamente, a participação das demais variáveis.

Na região semi-árida as taxas de evaporação são altas devido, principalmente, a elevadas horas de sol por ano e incidência de ventos fortes e quentes (SUASSUNA, 1996). A perda de água causada pela evaporação tem efeito importante na composição química das águas

superficiais e dos solos, pois a evaporação retira apenas a água deixando os sais, aumentando, desta forma, a concentração dos mesmos no meio.

A Tabela 6 apresenta os valores médios mensais e anual da evaporação medidos na estação de Serrinha com atmômetro Piche (1960 a 1990).

Tabela 6. Evaporação média mensal e anual (mm) – Piche - em Serrinha.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	151,3	120,2	120,5	90,8	70,7	58,2	67,1	83,3	101,8	146,2	149,5	157,9	1.317,5

Embora o atmômetro Piche encontre-se em franco desuso para medida de evaporação, estas foram as normais mais recentes disponíveis na região. Devido ao efeito da continentalidade espera-se também que a evaporação na área de estudo seja maior que os valores obtidos em Serrinha.

3.6.6 Índice de Aridez

Uma característica marcante do semi-árido é a relação entre a precipitação e a evaporação. A relação destas duas variáveis define o índice de aridez.

$$IA = \frac{Pluv.}{Eva} \quad (1)$$

Onde:

Pluv. – chuva anual ou mensal em (mm);

Eva – evaporação anual ou mensal em (mm).

Este índice demonstra a proporção entre a entrada e a saída naturais de água que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Esta diferença evidencia um dos principais fatores climáticos responsável pela variação na composição química das águas superficiais e nas propriedades físicas e químicas dos solos (DUQUE, 1980).

Ao considerar os dados médios mensais e anual de pluviometria contidos na Tabela 2 e a evaporação média mensal e anual apresentadas na Tabela 6, foi possível calcular o índice de aridez mensal e anual.

Tabela 7. Índice de aridez mensal e anual calculados em Serrinha e nas estações circunvizinhas à área em estudo.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Serrinha	0,54	0,67	0,85	0,93	1,54	1,64	1,19	0,66	0,37	0,34	0,44	0,64	0,72
Circunvizinhas	0,36	0,47	0,54	0,55	0,59	0,68	0,51	0,25	0,14	0,16	0,43	0,39	0,39

De modo geral, considerando a faixa de valores do índice de aridez entre 0,21-0,50, estabelecida pela Resolução do CONAMA N° 238 de 22/12/1997, o clima em Serrinha enquadra-se como semi-árido nos meses entre setembro e novembro.

Ao utilizar as médias mensais e anual de pluviometria das estações circunvizinhas à área em estudo e as médias mensais e anual de evaporação em Serrinha observa-se que, mesmo utilizando no cálculo do índice de aridez, uma evaporação provavelmente menor que a da área em estudo, ainda assim, os valores do índice de aridez obtidos são de clima semi-árido, destacando-se os meses de setembro e novembro com valores de região árida. A exceção ocorre entre os meses de abril a junho que encontram-se um pouco acima da faixa de valores.

3.7 ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os cursos d'água presentes na área estudada são intermitentes, apresentando escoamento apenas nos meses de maiores índices pluviométricos, ou seja, de novembro a março. Diante desta escassez, a população busca mecanismos para armazenar água e suprir suas necessidades no período seco.

Os modos de armazenamento de água mais utilizados na área são os açudes, os “tanques” de pequeno porte cavados no solo sem revestimento e as cisternas em alvenaria construídas próximas às casas para captação das águas das chuvas que caem sobre a cobertura.

Dentre estes armazenamentos destacam-se dois barramentos do curso d’água principal, denominados de açude Flori e açude Nenenzinho, cujas características principais são apresentadas a seguir na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros característicos dos açudes Flori e Nenenzinho.

Parâmetros Característicos	Açude Flori	Açude Nenenzinho
Área de drenagem (km ²)	6,30	10,69
Perímetro (km)	13,2	15,49
Índice de Compacidade	1,47	1,33
Índice de Declividade Global (m/km)	7,32	5,44
Desnível específico (m)	18,36	18,37
Diferença das cotas correspondentes a 5% e 95% da área (m)	40	52
Comprimento do rio mais longo (km)	2,28	4,79
Extensão da rede de drenagem (km)	3,64	8,04
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,578	0,705
Profundidade (m)	4,00	3,00
Área máxima estimada do espelho d’água (m ²)	56.974	161.964
Volume máximo armazenável (m ³)	73.993	173.681
Ano de construção	1970	1966
Condutividade elétrica set/2002 (μS.cm ⁻¹)*	585	20.000

(*) análise de salinidade realizada no laboratório do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica.

A Figura 8 apresenta o perfil longitudinal do riacho do Cedro contendo, em seqüência, os dois barramentos existentes ao longo do seu curso na área abrangida pelo estudo, estando o açude Flori a montante do açude Nenenzinho.

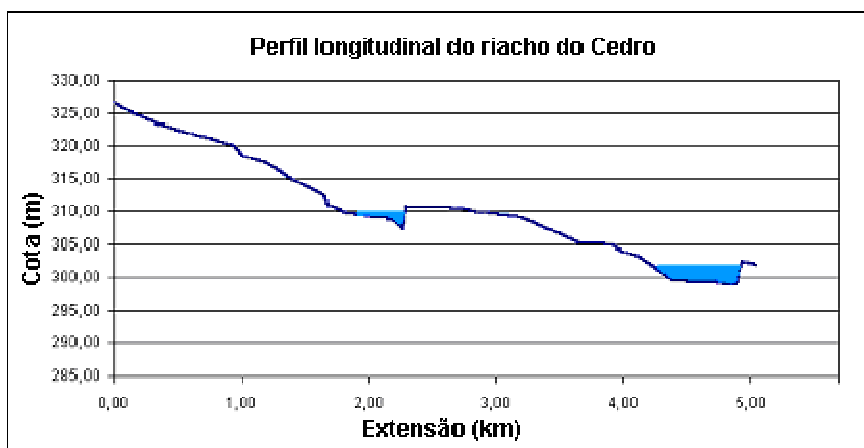


Figura 8. Perfil longitudinal do riacho do Cedro com os açudes Flori e Nenenzinho.

3.7.1 Medidas de condutividade elétrica na água do açude Nenenzinho

Ao notar-se a diferença de salinidade das águas entre os açudes, foram realizadas três campanhas de medição de parâmetros de qualidade de água, utilizando uma sonda multiparâmetros modelo HORIBA U-10[®], com capacidade de medir seis parâmetros: pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, demanda de oxigênio e salinidade.

Nestas campanhas as águas do reservatório Nenenzinho apresentaram valores de condutividade elétrica elevados ($\geq 750 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): no dia 10/07/2003 ($32.300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); no dia 23/08/2003 ($35.400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e no dia 07/10/2003 ($55.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Vale ressaltar que estas campanhas foram realizadas no período seco, estando o nível de água do açude baixo, indicando um período de alta concentração de sais devido principalmente a evaporação.

O processo de salinização do açude Nenenzinho também pode ser evidenciado pelas “manchas brancas” visíveis em suas margens no período seco, tal como é apresentado na Figura 9, referentes às eflorações salinas.



Figura 9. Fotografias de eflorescências salinas observadas nas margens do açude Nenenzinho

3.8 AVALIAÇÃO DOS SOLOS UTILIZANDO TOPOSSEQÜÊNCIA

O estudo foi realizado em toposseqüências, utilizando-se a metodologia proposta por Boulet (1988), que consiste na análise dos solos em perfis abertos, ao longo de encostas, em pelo menos três pontos diferentes: topo, meia encosta e sopé da vertente. Vale salientar que o interesse deste estudo limita-se à avaliação dos solos quanto às suas características físicas e químicas relevantes na dinâmica da salinização, sem pretensões pedogenéticas.

Nos climas semi-áridos, a escassez de chuvas permite a manutenção de certos compostos que engendram uma maior diversificação dos tipos de solo em áreas, às vezes, pouco extensas. Assim sendo, o relevo termina por desempenhar um papel muito importante na diversificação dos tipos de solo, tendo em vista propiciar uma redistribuição dos materiais acumulados pela escassez de chuvas (REGO, 2000),

Werlang et al. (2002) ao caracterizar hidricamente uma toposseqüência do semi-árido paraibano, afirma que as toposseqüências devem ser utilizadas porque permitem estabelecer correlações entre características dos solos e da superfície. Segundo os autores, espera-se que as características do solo variem conforme a sua posição numa toposseqüência, mas qual a extensão desta variação?

Como o objetivo deste trabalho é compreender a dinâmica do solo no processo de salinização das águas superficiais, decidiu-se avaliar o solo utilizando-se como elemento de exploração as toposseqüências. Tendo em vista que, segundo Christofolletti (1997), é impossível considerar as vertentes e os rios como entidades separadas pois, como membros de um sistema aberto que é a bacia de drenagem, estão continuamente em interação.

A toposseqüência ou vertente, esquematicamente, estende-se do topo ou interflúvio até o canal fluvial e apresenta a superfície topográfica como limite superior e a superfície rochosa inalterada como limite inferior, possuindo pelo menos três segmentos básicos: topo, meia-encosta e sopé (CHRISTOFOLETTI, 1997) (Figura 10).

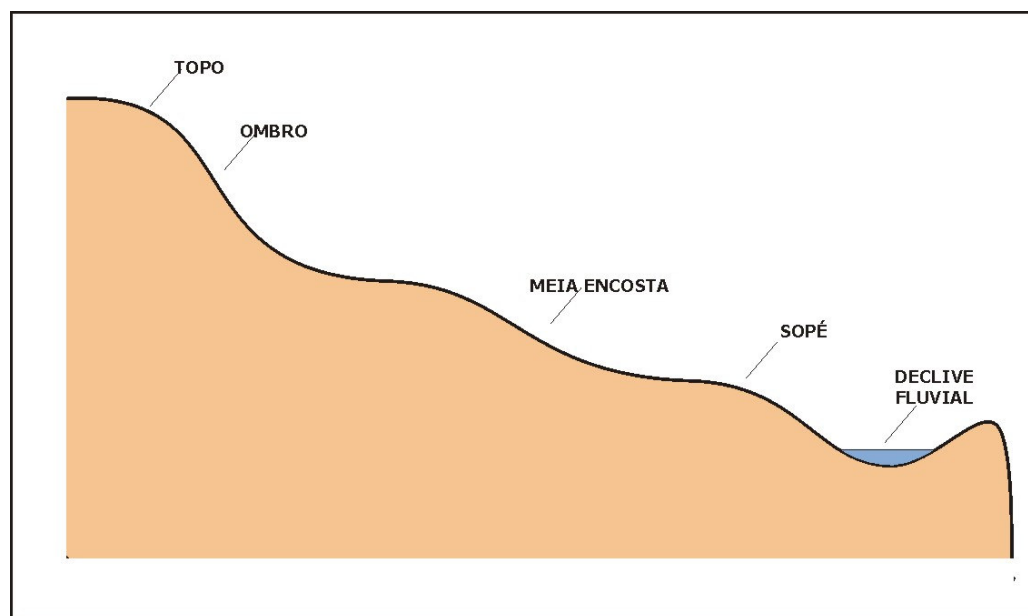


Figura 10. Esquema de uma toposseqüência portando os segmentos básicos.

Góis (1998) citando Hall (1983), afirma que a influência do relevo se reflete principalmente sobre a dinâmica da água, quer no sentido vertical, quer no sentido horizontal e atribui a cada segmento geomórfico da vertente comportamento distinto do fluxo da água, conforme descrição a seguir:

- Topo: forma convexa a côncava quase plana; parte mais estável da paisagem com predominância de movimento vertical da água. É o segmento que deve apresentar maior uniformidade em relação aos seus solos;
- Ombro: forma convexa, instável, com linhas de fluxos definidas; apresenta o fluxo lateral subsuperficial e superficial. Quando tem altas declividades apresenta solos rasos, com um grau elevado de complexidade quanto à sua distribuição espacial;
- Meia encosta: apresenta perfil topográfico desde linear a côncavo ou convexo. É um segmento típico de transporte de material, geomorfologicamente instável, apresentando solos desuniformes em superfícies irregulares. Está sujeito a um maior número de ciclos de umedecimento e secagem do que as posições superiores. Este segmento pode ser subdividido em “meia encosta superior” e em “meia encosta inferior”;
- Sopé: apresenta perfil topográfico côncavo, sendo o segmento da vertente que recebe deposição de sedimentos advindos das posições superiores. O fluxo lateral subsuperficial da água tem maior atuação neste segmento, havendo em alguns casos a confluência com o fluxo basal desta na vertente e, eventualmente, proximidade do lençol freático. No sopé deve-se esperar solos heterogêneos devido aos complexos processos ali atuantes;
- Declive aluvial: segmento de construção aluvial com influência marcante do lençol freático. Nele deve-se esperar o menor grau de desenvolvimento do solo, sendo este segmento influenciado por deposições recentes do rio, o que afeta a variabilidade do solo. Nesse segmento é comum a ocorrência de paleossolos.

Assim compreendida, a sua dinâmica pode ser estudada na perspectiva dos sistemas abertos, recebendo e perdendo tanto matéria como energia. As fontes primárias de matéria são a

precipitação, a rocha subjacente e a vegetação, enquanto as fontes originais de energia são constituídas pela gravidade e radiação solar. Os vários processos que se verificam na vertente (escoamento, meteorização, movimentos de regolito, infiltração, eluviação e outros) fazem com que haja fluxo de matéria e energia através do sistema que acaba sendo transferido para o sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1997).

O transporte lateral em subsuperfície de material em solução, tais como sódio, cálcio, potássio, magnésio, entre outros, e partículas em superfície, afeta os solos da vertente, em particular, os situados nas partes mais baixas (MONIZ et al., 1993), alterando, desta forma, a composição química dos solos localizados na parte baixa da vertente.

3.9 SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS TOPOSSEQÜÊNCIAS

Para a definição dos critérios de amostragem necessária para realização deste trabalho, levou-se em consideração as seguintes características da área em estudo: (i) predominância de relevo suave ondulado a plano, sem vertentes abruptas; (ii) quatro tipos de solos rasos a medianamente rasos; (iii) vegetação tipo caatinga com alto grau de degradação ou plantação perene de sisal, palma e culturas de subsistência; (iv) manejo do solo não mecanizado e sem uso de fertilizantes ou pesticidas.

De posse dos mapas topográfico e pedológico, ambos na escala 1:25.000, procedeu-se a seleção das toposseqüências em seções transversais aos principais cursos d'água e que transpassassem por tipos diferentes de solos.

Desta forma, foram selecionadas quatro vertentes (Tp1, Tp2, Tp3 e Tp4), tendo suas extensões variando de 152m a 505m, distribuídas ao longo da bacia de drenagem, com pelo menos os três segmentos básicos: topo, meia encosta e sopé. A Tp1 localizou-se a montante

do açude Flori, a Tp2 logo a jusante deste mesmo açude, enquanto as Tp3 e Tp4 localizaram-se a montante do açude Nenenzinho, estendendo-se perpendicularmente aos seus principais afluentes, conforme pode ser observado na Figura 11.

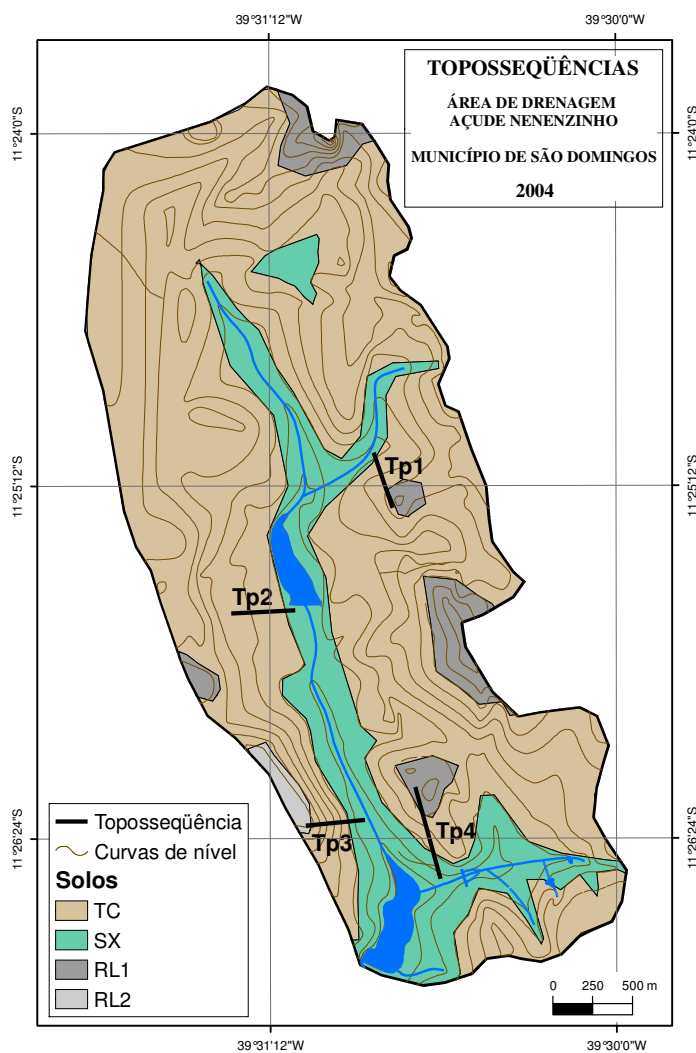


Figura 11. Mapa de localização das quatro topossequências.

Selecionadas as topossequências, procedeu-se a localização dos perfis, utilizando como critérios de escolha o segmento da vertente e a mudança do tipo de solo. Os procedimentos utilizados na abertura dos perfis obedecem à norma NBR 9604/86 ABNT MB 1031/89 – Abertura de poço e trincheira de inspeção de solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.

Os perfis foram abertos até alcançar a superfície rochosa subjacente, a profundidade média encontrada foi de 30cm, sendo denominados de Pr1, Pr2, Pr3 e Pr4 à medida que se descia a vertente.

3.10 COLETA DAS AMOSTRAS EM CAMPO

Uma vez abertas as trincheiras, foi possível avaliar o perfil do solo. Tendo em vista que o objetivo desta pesquisa não era classificar pedologicamente o solo, mas avaliar a presença e dinâmica dos sais neste, optou-se por não realizar amostragem em todos os horizontes pedológicos observados, preferindo-se considerar o perfil conforme a consistência verificada.

A consistência foi a característica morfológica privilegiada, pois, segundo Lemos e Santos (1996), esta varia primordialmente com o conteúdo de umidade, bem como a textura, matéria orgânica, a quantidade e natureza do material coloidal e o tipo de cátion adsorvido. Estas propriedades, conforme visto no capítulo anterior, são relevantes para entender o processo de transferência de sais que é o objetivo deste trabalho.

Na maioria dos perfis foi possível identificar duas camadas de consistências distintas, sendo a mais superficial denominada de Cm1 e a mais profunda de Cm2. Foram realizadas coletas e descrições destas camadas utilizando as normas estabelecidas pelo Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (LEMOS; SANTOS, 1996). Foram coletadas, acondicionadas e identificadas, conforme normas descritas por Lemos e Santos (1996), duas amostras deformadas por camada, sendo 3kg encaminhados para realização das análises químicas e 3kg para realização dos ensaios físicos.

A relação das amostras coletadas para análises químicas e físicas é apresentada na Tabela 9, na qual é possível identificar a topossequência (Tp), a trincheira (Tr) e camada (Cm) da qual foi originária.

Tabela 9. Relação da localização e profundidade das amostras coletadas em campo

Amostra	Identificação	Coordenadas UTM		Profundidade
		X	Y	
1	Tp1Pr1Cm1	443975	8737560	00-10
2	Tp1Pr2Cm1	443932	8737644	00-30
3	Tp1Pr3Cm1	443933	8737680	00-20
4	Tp1Pr3Cm2			20-60
5	Tp1Pr4Cm1	443928	8737710	00-50
6	Tp1Pr4Cm2			50-100
7	Tp2Pr1Cm1	443140	8736730	00-08
8	Tp2Pr1Cm2			08-22
9	Tp2Pr2Cm1	443230	8736752	00-10
10	Tp2Pr2Cm2			10-40
11	Tp2Pr3Cm1	443378	8736748	00-30
12	Tp2Pr3Cm2			30-62
13	Tp3Pr1Cm1	443608	8735420	00-20
14	Tp3Pr1Cm2			20-60
15	Tp3Pr2Cm1	443679	8735440	00-80
16	Tp3Pr3Cm1	443756	8735440	00-20
17	Tp3Pr3Cm2			20-30
18	Tp3Pr4Cm1	443813	8735446	00-20
19	Tp3Pr4Cm2			20-60
20	Tp4Pr1Cm1	444191	8735606	00-12
21	Tp4Pr1Cm2			12-25
22	Tp4Pr2Cm1	444261	8735370	00-15
23	Tp4Pr2Cm2			15-25
24	Tp4Pr3Cm1	444332	8735124	00-20
25	Tp4Pr3Cm2			20-60

Além das coletas relacionadas acima, foram retiradas amostras de água e do sedimento do fundo dos açudes Flori e Nenenzinho para avaliação da sua composição química.

3.11 ANÁLISES E DETERMINAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO

Todas as amostras coletadas foram submetidas às mesmas análises químicas e físicas com o objetivo de avaliar as propriedades do solo presente na área de drenagem do açude Nenezinho relacionadas com a dinâmica dos sais presentes. A seguir faz-se uma descrição sucinta das análises e determinações efetuadas no Laboratório de Solos do DNOCS, em Salvador/BA.

3.11.1 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas conforme recomendações do manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA (1979), sendo determinados os seguintes parâmetros:

- a) pH (água): Método potenciométrico, utilizando-se a relação solo:água de 1:2,5.
- b) pH (cloreto de potássio): Método potenciométrico, utilizando-se a relação solo/solução de KCl normal de 1:2,5.
- c) Complexo Sortivo: Extração pelo acetato de amônio normal (pH 7) e relação solo: solução extratora de 1:10.
- d) Cálcio: Método volumétrico, com titulação pela EDTA. Dados em $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo.
- e) Magnésio: Método volumétrico pelo EDTA. Dados em $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo.
- f) Sódio: Determinado pelo fotômetro de chama diretamente no extrato acético de solo. Dados em $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo.
- g) Potássio: Determinado pelo fotômetro de chama diretamente no extrato acético de solo. Dados em $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo.

- h) Valor Soma de Bases (Sb): Obtido pela expressão $Sb = Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+$. Dados em $cmol_c.kg^{-1}$ de solo.
- i) Hidrogênio Trocável: Método volumétrico. Extração pelo acetato de cálcio normal (pH 7) e dosagem pelo hidróxido de sódio. Dados em $cmol_c.kg^{-1}$ de solo.
- j) Alumínio Trocável: Método volumétrico. Extração pelo cloreto de potássio normal e titulação com o hidróxido de sódio. Dados em $cmol_c.kg^{-1}$ de solo.
- l) Capacidade de Troca de Cátions (CTC): Soma dos valores $Sb + H^+ + Al^{3+}$. Dados em $cmol_c.kg^{-1}$ de solo.

- m) Valor V (percentagem de saturação de bases): Calculado pela expressão:

$$V = \frac{100 \times Sb}{CTC} \quad (2)$$

- n) Porcentagem de Sódio Trocável (PST): Calculado pela expressão:

$$PST = \frac{Na^+ \times 100}{CTC} \quad (3)$$

- o) Condutividade Elétrica no Extrato de Saturação (CE_e): Medida no extrato de solo obtido por filtração a vácuo, depois de feita a determinação da porcentagem de saturação. Dados expressos em $dS.m^{-1}$ a $25^\circ C$, obtidos diretamente numa Ponte de Condutividade (“bridge soil testes”) modelo A-110.
- p) Cálcio no extrato de saturação: Método complexométrico pelo EDTA ($mE.L^{-1}$).
- q) Magnésio no extrato de saturação: Método complexométrico, junto do cálcio calculado pela diferença ($mE.L^{-1}$).
- r) Sódio no extrato de saturação: Método fotométrico ($mE.L^{-1}$).

- s) Potássio: Método fotométrico (mE.L^{-1}).
- t) Carbonatos no extrato de saturação: Método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico (mE.L^{-1}).
- u) Bicarbonatos no extrato de saturação: Método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico (mE.L^{-1}).
- v) Cloretos no extrato de saturação: Método volumétrico pelo nitrato de prata (mE.L^{-1}).
- x) Sulfatos no extrato de saturação: Método gravimétrico com sulfato de bário (mE.L^{-1}).
- z) Razão de Adsorção de Sódio (RAS): Calculado pela expressão:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (4)$$

3.11.2 Análises físicas

As análises físicas foram realizadas conforme recomendações do manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA (1979), sendo determinadas as seguintes propriedades:

- a) Densidade Aparente: Determinada pelo método do anel volumétrico e em algumas amostras pelo método da proveta volumétrica.
- b) Densidade Real: Método do picnômetro; determinação feita em 20 g de solo seco em estufa, com emprego de álcool etílico, para obtenção do volume de solo correspondente.

- c) Umidade a 15 atmosferas: Método de membrana de tensão de Richards, segundo o U.S. Salinity Laboratory. Dados expressos em % de solo seco a 105°C.
- d) Umidade a 1/3 e 1/10 atmosferas: Método da “placa porosa”, segundo a U.S. Salinity Laboratory. Dados expressos em % de solo seco a 105°C.
- e) Análise Granulométrica/Dispersão Total: Método do densímetro com emprego do hexametáfosfato ou do hidróxido de sódio como dispersante. Separação das frações segundo a escala americana (areia grossa: 2-0,2 mm; areia fina: 0,2 - 0,05 mm; silte: 0,05 - 0,002 mm e argila: menor que 0,002 mm).
- f) Análise Granulométrica/Dispersão Natural: Método similar ao anterior, com a determinação da argila sem o uso do dispersante.
- g) Classificação Textural: Baseado no triângulo de classificação americano, segundo o Soil Survey Manual, e denominação de classe de acordo com a tradução sugerida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

3.12 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

O objetivo final das análises realizadas nos solos foi permitir a avaliação da contribuição destes no processo de salinização das águas superficiais, sendo necessário para isto, classificá-los quanto à sua afetação por sais.

O termo “solos afetados por sais” refere-se amplamente a salinidade e sodicidade. Salinidade é uma medida da concentração de todos os sais solúveis que estão presentes no solo, incluindo cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloretos, bicarbonato, carbonato e sulfato. Sodicidade é uma

medida do íon sódio no complexo de troca do solo em relação à CTC (PST, equação 3) e em relação à soma de cálcio e magnésio (RAS, equação 4) (KLAR, 1988).

Richards (1954) associa a salinidade e a sodicidade do solo a alguns parâmetros relativamente fáceis de serem obtidos: a condutividade elétrica do extrato de saturação que mantém relação direta com a concentração total dos sais solúveis, dado em dS.m^{-1} à 25°C; o Percentual de Sódio Trocável (PST), obtido pela relação do sódio com a CTC, e o pH.

A classificação elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSL) e descrita por Richards (1954) apresenta os limites relacionados a seguir no Quadro 4.

Quadro 4. Limites para classificação de solos (RICHARDS, 1954).

SOLO	CE_e (dS.m⁻¹)*	PST (%)	pH
Não-Afetado (Normal)	< 4	< 15	< 8,5
Salino	> 4	< 15	< 8,5
Sódico	< 4	> 15	≥ 8,5
Salino-sódico	> 4	> 15	< 8,5

Esta classificação é largamente empregada até os dias atuais, inclusive no Nordeste Brasileiro, por utilizar parâmetros comumente medidos nas análises de fertilidade do solo e apresentar limites precisos.

Além dos parâmetros utilizados na classificação descrita acima, este trabalho analisou os sais solúveis presentes nos extratos de saturação dos solos, cujos métodos de obtenção foram descritos na seção anterior. Tais análises possibilitaram classificar os extratos de saturação dos solos utilizando os critérios estabelecidos pelo USSL para avaliação de águas de irrigação, conforme descrita por Logan (1965).

A classificação dos extratos de saturação dos solos utilizando critérios estabelecidos para a água, sustenta-se na afirmação de Lopes e Guidolin (1989) de que a natureza química do extrato de saturação do solo é próxima à da água. Outro fato, é que esta análise indica as características que a água está susceptível a adquirir quando em contato com o solo.

Esta classificação baseia-se nos valores da condutividade elétrica em $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C e no valor da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), obtido pela relação dos cátions solúveis Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ cuja expressão matemática foi apresentada anteriormente. Estes valores são plotados no diagrama de classificação apresentado na Figura 12, onde se determina a categoria de risco de salinidade e sodicidade, conforme descritos no Quadro 5 (LOGAN, 1965):

Quadro 5. Categorias de risco de salinidade e sodicidade (LOGAN, 1965)

Categorias de risco de salinidade	Categorias de risco de sodicidade
C1 – Pouco risco de salinidade.	S1 – Baixo risco de sodicidade.
C2 – Médio risco de salinidade.	S2 – Médio risco de sodicidade.
C3 – Alto risco de salinidade.	S3 - Forte risco de sodicidade
C4 – Muito alto risco de salinidade	S4 – Muito forte risco de sodicidade
C5 – Excepcionalmente alto risco de salinidade.	

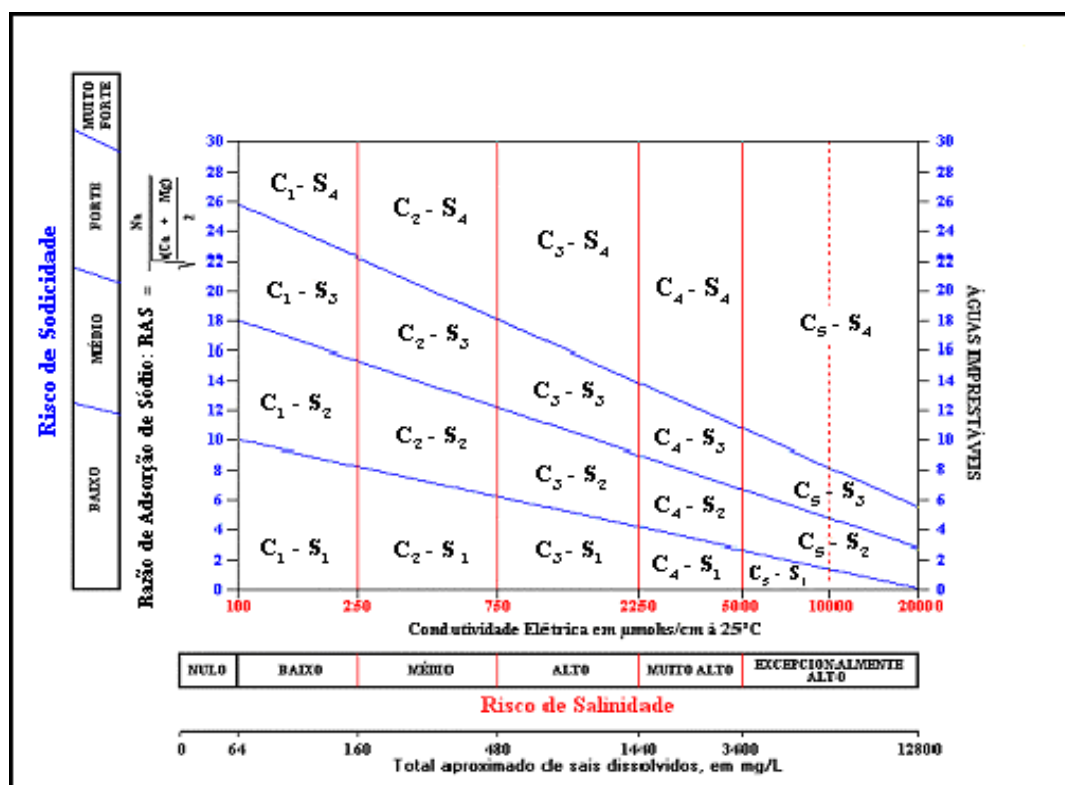


Figura 12. Diagrama de classificação dos riscos de salinidade e sodicidade (LOGAN, 1965).

Outra classificação utilizada neste trabalho tendo como base os íons solúveis foi obtida pelo método dos íons solúveis dominantes. Este método é utilizado tradicionalmente na classificação de águas e é baseado na relação dos teores dos íons que apresentam maiores concentrações, os quais são plotados no diagrama de Piper de onde se obtém a classificação, conforme Figura 13 apresentada a seguir (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos das análises químicas e físicas sendo discutidos enfocando a dinâmica e classificação dos sais no solo.

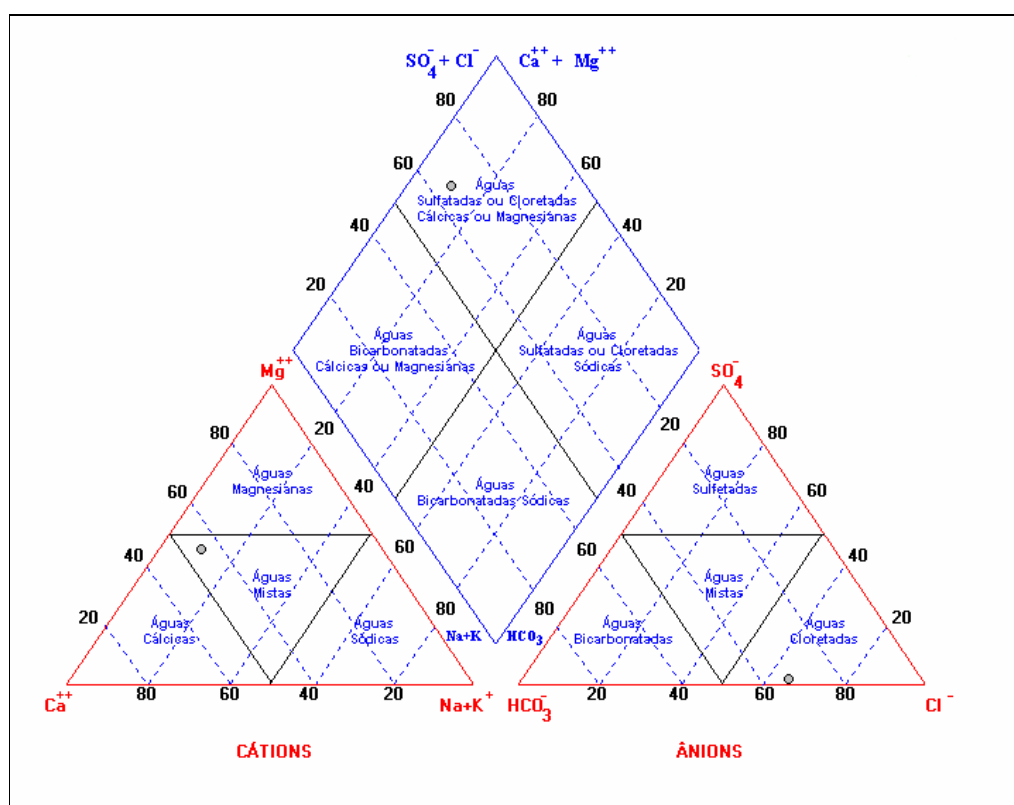


Figura 13. Diagrama de Piper, utilizado na classificação do método de íons solúveis dominantes (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997)

Por este método os extratos de saturação dos solos podem ser classificados como: sulfatado cálcico, magnésiano ou sódico; cloretado cálcico, magnésiano ou sódico; bicarbonatado cálcico, magnésiano ou sódico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas observações de campo, nas análises laboratoriais e cálculos realizados, utilizando como material de estudo o solo e a água coletados na área de drenagem do açude Nenenzinho.

As coletas dos solos e sedimentos foram realizadas em toposseqüências e no fundo dos açudes respectivamente permitindo, com os resultados obtidos, avaliar de modo preliminar a dinâmica dos sais no solo. As análises químicas das águas possibilitaram a identificação de elementos comuns com o solo. E, por fim, os açudes Flori e Nenenzinho foram avaliados quanto ao seu poder de aporte e acumulação de sais.

Com estes resultados, foi possível entender a dinâmica dos sais no solo, a forma de transferência para as águas superficiais e a acumulação que ocorrem na área em estudo.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS TOPOSSEQÜÊNCIAS SELECIONADAS

As coletas das amostras de solo foram realizadas em quatro toposseqüências distribuídas ao longo da área de drenagem, conforme apresentado na Figura 10 do capítulo anterior. A seguir, são apresentadas as características gerais das toposseqüências selecionadas.

4.1.1 Topossequência 1 (Tp1)

A topossequência 1 apresentou extensão, desnível e declividade de 152m, 13,60m e 9% respectivamente, foi localizada a montante do açude Flori, estendendo-se perpendicularmente à margem esquerda de um dos seus principais afluentes.

Em seu segmento de topo observou-se a conservação da vegetação natural, estimulada pela prática da atividade de apicultura; os demais segmentos apresentaram cobertura vegetal incipiente.

De modo geral, os solos presentes nesta vertente apresentaram-se de rasos a pouco profundos, havendo, principalmente nos segmentos mais elevados, a ocorrência de afloramentos rochosos. A exceção ocorreu no sopé, onde o solo apresentou-se mais profundo. Foram selecionados quatro pontos ao longo da topossequência para abertura das trincheiras, de forma a possibilitar a realização do estudo dos perfis do solo. Os perfis que apresentaram consistências sensivelmente distintas foram divididos em camadas determinadas pela diferença morfológica, conforme ilustrado na Figura 14.

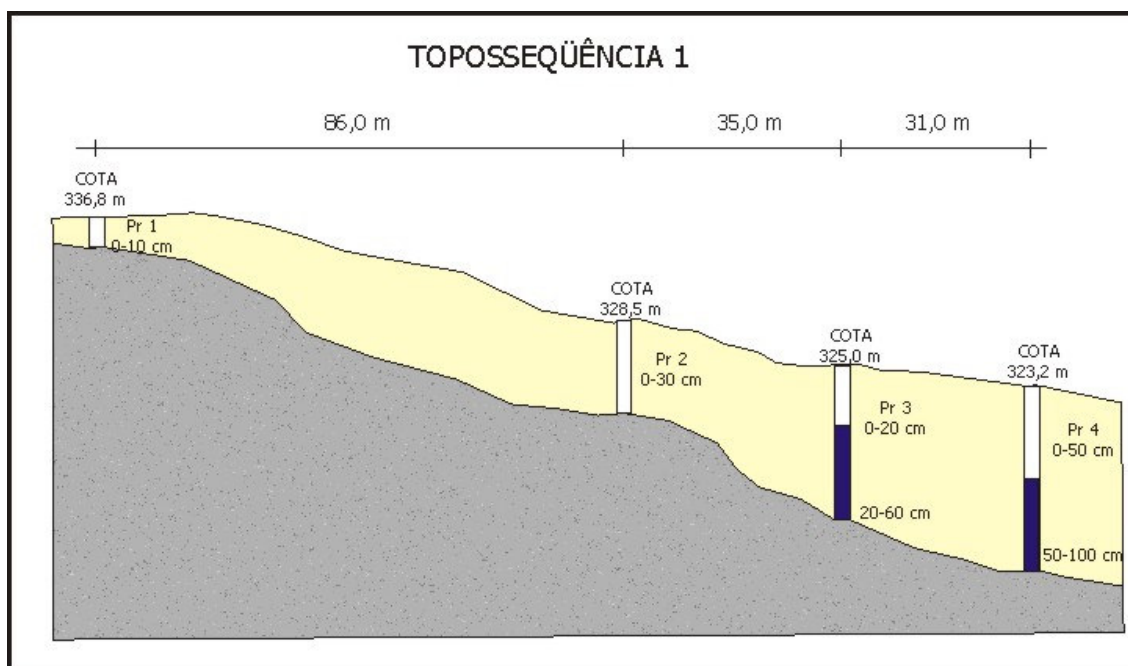


Figura 14. Esquema ilustrativo da topossequência 1 (Tp1), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2, Pr3 e Pr4 e respectivas distribuições das camadas Cm1 (branco) e Cm2 (azul).

Ao longo desta toposseqüência foram observadas duas unidades de mapeamento: no terço superior e médio a unidade dos NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, representada pelos perfis (Pr1, Pr2 e Pr3) e no terço inferior, a unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos típicos representado pelo perfil Pr4.

4.1.2 Toposseqüência 2 (Tp2)

A Toposseqüência 2 apresentou extensão de 200m, desnível de 6,60m e declividade de 3,3%, foi localizada logo a jusante do açude Flori e estendeu-se perpendicularmente à margem direita do riacho do Cedro, principal curso d'água da área estudada.

Em todos os segmentos desta toposseqüência houve degradação da cobertura vegetal, os solos apresentaram-se rasos nos segmentos de topo e meia-encosta e pouco profundo no segmento de sopé.

Foram abertas três trincheiras ao longo da toposseqüência de modo a expor os perfis dos solos e possibilitar a análise da variação de consistência ao longo deste. Em cada perfil foram determinadas duas camadas de acordo com a consistência apresentada, conforme ilustrado pela Figura 15.

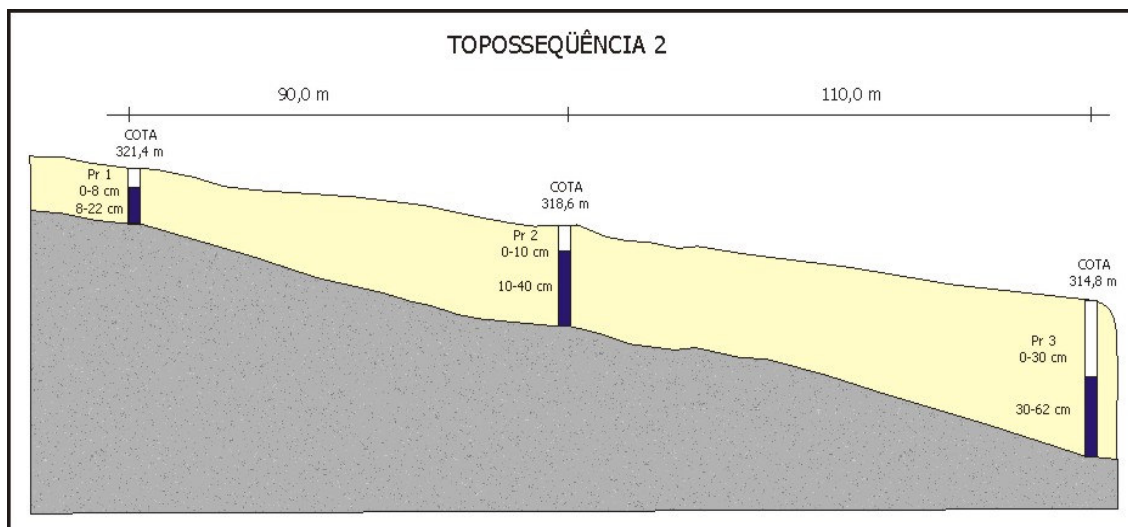


Figura 15. Esquema ilustrativo da topossequência 2 (Tp2), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2 e Pr3 e respectivas distribuições das camadas Cm1 (branco) e Cm2 (azul).

Ao longo desta topossequência foram observadas duas unidades de mapeamento: no terço superior e médio a unidade dos NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, representados pelos perfis Pr1 e Pr2 e no terço inferior pela unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos típicos representado pelo perfil Pr3.

4.1.3 Topossequência 3 (Tp3)

A topossequência 3 teve extensão de 194m e desnível de 22,90m e declividade de 12%, foi localizada a montante do açude Nenezinho, estendeu-se perpendicularmente à margem direita do seu principal afluente, riacho do Cedro.

Em seu segmento de topo observou-se afloramento rochoso, vegetação de caatinga relativamente conservada e nos demais segmentos a vegetação encontrou-se degradada, sendo a área utilizada como pastagem para o gado.

Os solos presentes nesta topossequência apresentaram-se de raso a pouco profundo. Foram abertas quatro trincheiras e com a análise dos perfis do solo foram identificadas duas camadas distintas na maioria dos perfis, a exceção foi encontrada na meia encosta superior, na qual foi observada apenas uma camada (Figura 16) e a presença de fendas verticais e horizontais com mais de 1cm.

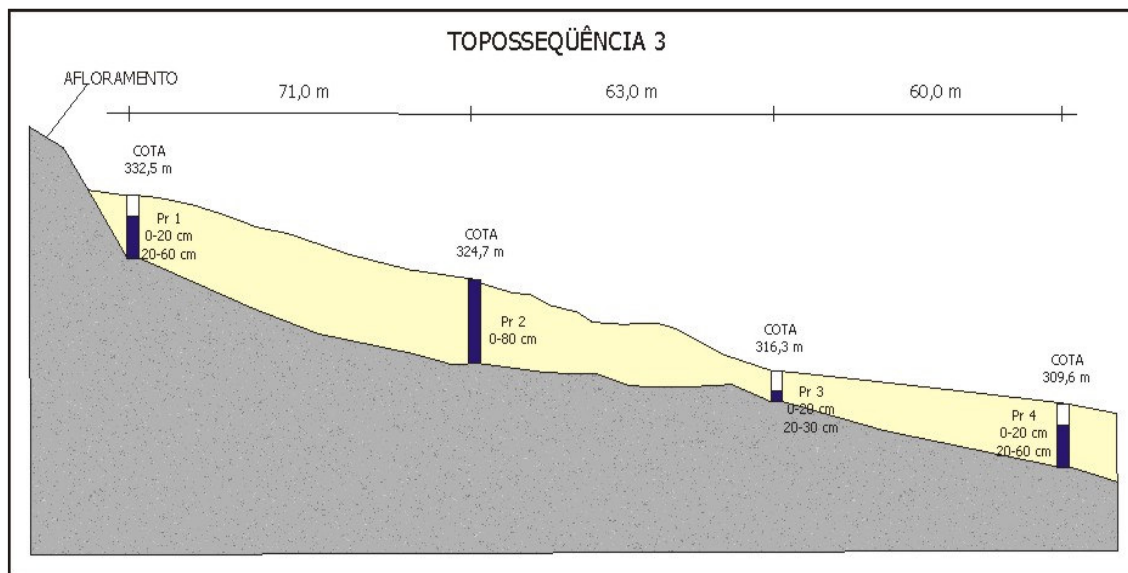


Figura 16. Esquema ilustrativo da topossequência 3 (Tp3), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2, Pr3 e Pr4 e respectivas distribuições das camadas Cm1 (branco) e Cm2 (azul).

Foram observadas três unidades de mapeamento nesta topossequência: no topo a unidade dos NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos solódicos lípticos representada pelo perfil Pr1; na meia-encosta superior pela unidade dos VERTISSOLOS HIDROMÓRFICOS Órticos solódicos, representada pelo perfil Pr2; a meia-encosta inferior pela unidade dos CAMBISSOLOS HÁPLICOS Sódicos típicos representada pelo perfil Pr3; e no sopé pela unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos típicos, representada pelo perfil Pr4.

A presença da unidade de mapeamento no segmento de meia-encosta superior deve-se, provavelmente, ao relevo interno apresentar forma côncava (Figura 16), propiciando um local favorável ao acúmulo de água durante certos períodos do ano sendo responsável pela formação deste tipo de solo.

4.1.4 Topossequência 4 (Tp4)

A topossequência 4 tem extensão de 505m, desnível de 17,10m e declividade de 3%, foi localizada a montante do açude Nenezinho, estendendo-se perpendicularmente à margem direita de um de seus afluentes secundários.

Em seu segmento de topo e meia-encosta observou-se cobertura vegetal natural relativamente conservada, enquanto no segmento de sopé predomina uma vegetação rasteira.

Os solos presentes nesta topossequência apresentaram-se rasos no topo e na meia-encosta e pouco profundos no sopé. Foram abertas três trincheiras ao longo da topossequência expondo os perfis dos solos e possibilitando a análise da variação da consistência. Em cada perfil foram determinadas duas camadas de acordo com a consistência apresentada, conforme ilustrado na Figura 17.

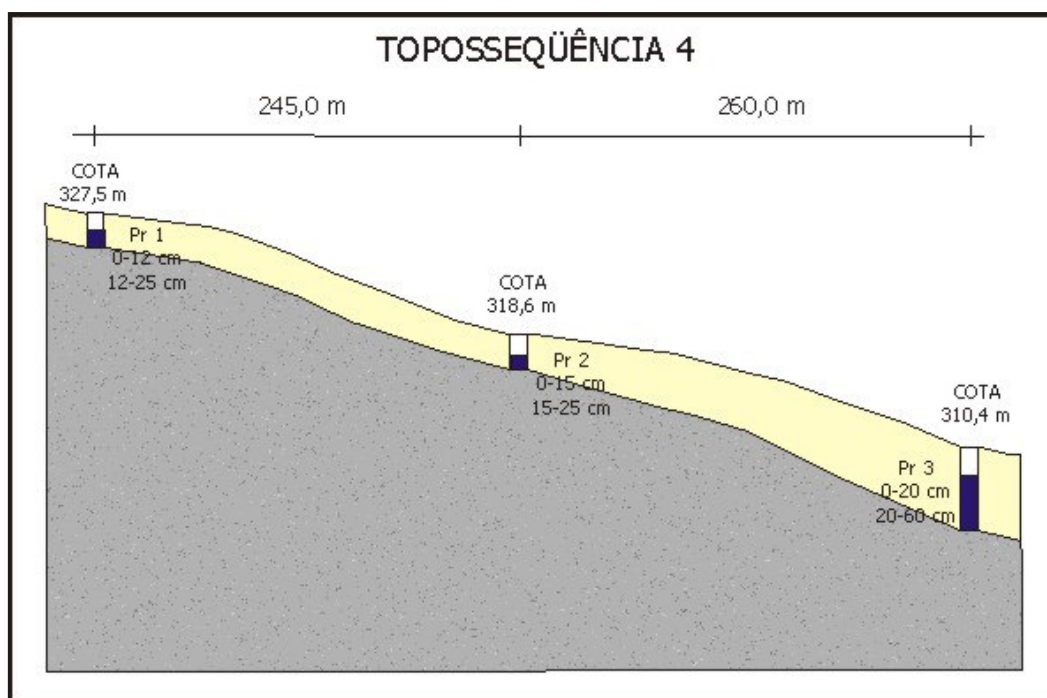


Figura 17. Esquema ilustrativo da topossequência 4 (Tp4), com a posição dos perfis estudados Pr1, Pr2 e Pr3 e respectivas distribuições das camadas Cm1 (branco) e Cm2 (azul).

Duas unidades de mapeamento foram identificadas ao longo desta toposseqüência: NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, representados pelos perfis Pr1 e Pr2 situados no topo e na meia-encosta da vertente e a unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS Sálidos solódicos no sopé, representada pelo perfil Pr3.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SOLOS ANALISADOS

As amostras de solo coletadas nas quatro toposseqüências foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Água do Departamento Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS), no escritório regional em Salvador/BA, para realização dos ensaios descritos na seção 3.11.

Como o interesse desta pesquisa é avaliar o solo na área em estudo, os resultados obtidos em cada toposseqüência foram analisados em conjunto, de modo a possibilitar uma visão mais ampla da dinâmica dos sais. Os resultados obtidos com as análises laboratoriais por toposseqüência são apresentados no Apêndice A.

Nesta seção, os resultados de campo e laboratoriais foram divididos em características morfológicas e propriedades físicas e químicas (trocaíveis e solúveis). Para realização das análises, as médias dos resultados foram agrupadas de modo a permitir a avaliação do comportamento médio do solo em três dimensões distintas:

- (i) em relação à profundidade, por meio da avaliação das médias obtidas nas camadas superficial e subsuperficial;
- (ii) em relação aos segmentos geomórficos, por meio da avaliação das médias obtidas no topo, meia encosta e sopé das toposseqüências; e

- (iii) em relação à área de drenagem do açude Nenezinho, por meio da avaliação das médias obtidas nas toposseqüências.

Assim, foi possível entender a dinâmica dos sais nos solos classificando-os quanto à salinidade e/ou sodicidade, bem como avaliar a sua contribuição no processo de salinização das águas superficiais da área de drenagem do açude Nenezinho. A seguir são apresentados os principais resultados obtidos.

4.2.1 Principais características morfológicas dos solos analisados

As toposseqüências apresentaram forma dominante de colinas pouco elevadas, com alturas média de 15m, topos arredondados e declividades variáveis de 7% em média, confirmando a descrição de relevo suave ondulado a plano como apresentado na seção 3.3.

A classificação pedológica dos solos, conforme as toposseqüências analisadas, apresentaram, de modo geral, nos segmentos de topo e meia encosta unidades dos NEOSSOLOS LITÓLICOS que são constituídos por material mineral, pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos que não conduziram modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos (EMBRAPA, 1999). Os solos desta classe são caracterizados por possuir horizonte A ou O hístico com menos de 40cm de espessura, diretamente em contato com a rocha; ou com o horizonte C ou Cr, ou ainda diretamente com material de fragmentos de rocha, com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico dentro de 50cm da superfície do solo (EMBRAPA, 1999).

O segmento de sopé apresentou em todas as toposseqüências a unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS, comuns no terço inferior de encostas pouco íngremes, que compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial eluvial, de textura mais leve, com permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela detenção de lençol d'água sobreposto, de existência periódica e presença variável durante o ano (EMBRAPA, 1999).

As exceções ocorreram na toposseqüência Tp3 que apresentou solos com classificações distintas às descritas acima, devido, principalmente, aos teores de sódio observados. Destes, o mais incomum ocorreu no segmento de meia encosta que apresentou unidade dos VERTISSOLOS HIDROMÓRFICOS Órticos solódicos, provavelmente em função do relevo interno apresentar forma côncava, conforme descrito no Apêndice A. Estes solos são constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico, pequena variação textural ao longo do perfil, fendas profundas na época seca, expansão quando úmido, teor de argila $\geq 30\%$ e ausência de contato lítico dentro dos primeiros 30cm de profundidade (EMBRAPA, 1999).

Na Tabela 10 são apresentadas as principais características morfológicas observadas nas amostras retiradas nas quatro toposseqüências estudadas.

Os perfis dos solos analisados apresentaram-se de rasos (≤ 50 cm) a pouco profundos ($>50 \leq 100$ cm). De modo geral, as profundidades aumentaram conforme o segmento da toposseqüência, verificando-se no topo profundidade média de 29,75cm, na meia encosta de 44,20cm e no sopé de 70,50cm. Estas profundidades adequam-se às classificações dos solos e ao comportamento teórico dos segmentos geomórficos da vertente, conforme descrição apresentada na seção 3.8.

A consistência dos solos analisados apresentou variações entre solta a extremamente dura quando seco e solta a extremamente firme quando úmido. Como esta característica

morfológica foi utilizada para distinguir as camadas estudadas em cada perfil aberto, verificou-se que as camadas subsuperficiais (Cm2) apresentaram consistência mais forte que as camadas superficiais (Cm1). Verificou-se também uma tendência sutil média de aumento de consistência no sentido topo-sopé das toposseqüências.

Nos solos analisados, a estrutura mais freqüente foi de pequenos a médios blocos subangulares, comuns em solos com horizonte B incipiente (EMBRAPA, 1999), havendo em alguns segmentos de topo a presença de cascalhos, principalmente naquelas associações onde se verificou a presença de afloramentos rochosos.

Na composição das cores dos solos analisados o matiz mais freqüente foi 10YR, observado em 22 amostras, seguida pela 7,5YR em 3 amostras, ambas indicando coloração amarelada e baixa magnetização devido ao teor baixo de Fe_2O_3 (EMBRAPA, 1999). O valor e o croma variaram de 3 a 5 e 1 a 6, respectivamente, resultando em solos brunos ou bruno amarelados (EMBRAPA, 1999).

A classificação textural apresentada por 18 amostras de solos foi franco-argilo-arenosa, indicando teores de argila entre 16 e 35%, constituindo-se em solos de textura média. No entanto, houve amostras de texturas mais arenosas (3 amostras) com teores de argila próximos a 12% que ocorreu principalmente nas camadas superficiais dos solos, e também texturas mais argilosas (4 amostras) com teores de argila próximos a 40%, observados em camadas subsuperficiais.

Tabela 10. Principais características morfológicas dos solos amostrados.

Local de retirada da amostra	Perfil	Camada	Profundidade (cm)	Consistência		Estrutura	Cor		Classificação Textural
				Seco	Úmido		Seco	Úmido	
Tp1	Pr1	Cm1	00-10	Solta	Solta	Blc.subangular muito cascalhenta	7,5YR4/4	7,5YR4/4	Franco-argilo-arenosa
	Pr2	Cm1	00-30	Solta	Solta	Blc.subangular muito cascalhenta	7,5YR3/4	7,5YR3/4	Franco-argilo-arenosa
	Pr3	Cm1	00-20	Solta	Solta	Muito cascalhenta	10YR4/6	10YR3/4	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	20-60	Lig. dura	Solta	Blc.subangular muito cascalhenta	7,5YR5/6	7,5YR4/4	Franco-argilo-arenosa
	Pr4	Cm1	00-50	Lig. dura	Muito friável	Bloco subangular	10YR5/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	50-100	Lig. dura	Friável	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/2	Franco-argilo-arenosa
Tp2	Pr1	Cm1	00-08	Dura	Firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	08-22	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Argilosa
	Pr2	Cm1	00-10	Dura	Firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	10-40	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilosa
	Pr3	Cm1	00-30	Dura	Firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	30-62	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR4/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
Tp3	Pr1	Cm1	00-20	Lig. dura	Friável	Bloco subangular cascalhenta	10YR4/6	10YR3/4	Franco-arenosa
		Cm2	20-60	Dura	Macia	Bloco subangular cascalhenta	10YR4/6	10YR3/4	Franco-arenosa
	Pr2	Cm1	00-80	Ext. dura	Ext. firme	Bloco subangular	10YR3/1	10YR3/1	Argilosa
	Pr3	Cm1	00-20	Lig. dura	Friável	Bloco subangular	10YR4/2	10YR3/2	Franco-arenosa
		Cm2	20-30	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
	Pr4	Cm1	00-20	Lig. dura	Friável	Bloco subangular	10YR3/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa
Cm2		20-60	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR5/3	10YR3/3	Franco-argilo-arenosa	
Tp4	Pr1	Cm1	00-12	Solta	Solta	Bloco subangular cascalhenta	10YR3/6	10YR3/4	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	12-25	Lig. dura	Muito friável	Bloco subangular	10YR3/6	10YR3/4	Argilo-arenosa
	Pr2	Cm1	00-15	Lig. dura	Muito friável	Bloco subangular	10YR4/6	10YR3/6	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	15-25	Dura	Friável	Bloco subangular	10YR4/6	10YR3/6	Franco-argilo-arenosa
	Pr3	Cm1	00-20	Dura	Firme	Bloco subangular	10YR3/2	10YR3/1	Franco-argilo-arenosa
		Cm2	20-60	Ext. dura	Muito firme	Bloco subangular	10YR3/2	10YR3/2	Franco-argilo-arenosa

Tp-Topossequência; Pr – Perfil; Cm – Camada.

4.2.2 Principais propriedades físicas dos solos analisados

Com a análise dos dados físicos, apresentados na Tabela 11, foi possível avaliar as principais propriedades físicas do solo, como segue.

A composição granulométrica apresentou em média fração de areia total (areia grossa+areia fina) superior a 50%. Considerando todas as amostras, o percentual médio observado na camada superficial foi de 55% e na subsuperficial foi de 55%. Entre os segmentos, a meia encosta foi o que apresentou o menor percentual médio 53%, quando comparado aos demais, 56% verificado no topo e 57% no sopé. Estes teores de areia total acima de 50% da composição textural, observados na maioria das amostras, confirmam o baixo grau de desenvolvimento dos solos, característica comum em solos de regiões semi-áridas (GÓIS, 1988).

Por sua vez, o teor de argila médio foi de 28%, apresentando uma tendência de aumento na camada subsuperficial (29%) quando comparado ao da camada superficial (27%). Embora o segmento de meia encosta apresente o maior teor médio 29%, quando comparado aos demais, topo 27% e sopé 28%, não foi possível identificar uma tendência, dada à pequena diferença destes valores. No entanto, foi observada, apesar do valor apresentado pela Tp3, uma tendência de aumento dos teores médios de argila nas topossequências no sentido montante-jusante da área de drenagem como teores médios iguais a Tp1 27%; Tp2 31%; Tp3 24% e Tp4 31%.

Esta tendência indica a atuação de um possível processo de transporte de finos que ocorre na área de drenagem, provocado, principalmente, pelos escoamentos superficiais e subsuperficiais nos períodos úmidos, culminando em deposição de finos nas partes mais baixas da área. Isto pode ser comprovado pelo elevado teor de argila apresentado nos

sedimentos de fundo do açude Nenenzinho (50%) quando comparado com o teor de argila dos sedimentos de fundo do açude Flori (23%).

A média da relação silte/argila obtida nos solos analisados foi de 0,61; os maiores valores ocorreram nas camadas superficiais (0,67), comparado aos obtidos nas subsuperficiais (0,53). O segmento de sopé apresentou o menor valor médio-0,56, nos demais os valores foram próximos; 0,62 no topo e 0,63 na meia encosta. Entre as toposseqüências verificou-se que a Tp3 apresentou a maior média (0,68) e a Tp4 a menor 0,52. Estes valores médios encontram-se abaixo do limite de 0,70 estabelecido pela EMBRAPA (1999), para solos de textura média, acima do qual ocorre maior estágio de intemperismo do solo. Sendo assim, estes valores indicam que há pouco desenvolvimento dos solos e que a retirada de finos, descrita anteriormente, é mais efetiva para a argila que para o silte.

O teor de argila¹ somado ao teor de silte foi em média igual a 448,00g.kg⁻¹ e o teor médio de argila foi igual a 278,80g.kg⁻¹; tais valores indicam que, segundo Tomé Jr. (1997), na média, os solos presentes na área de drenagem, apresentaram de baixa a moderada susceptibilidade à erosão e de média a baixa retenção de água.

O grau de argila dispersa apresentou média de 19%, não havendo diferenças significativas entre as médias obtidas na camada superficial (19%) e subsuperficial (19%). Entre os segmentos das toposseqüências verificou-se que a meia encosta apresentou maior valor médio-20%, e os demais, 18% no topo e 18% no sopé. Foi observada uma tendência discreta de redução do grau de argila dispersa média entre as toposseqüências no sentido montante-jusante, sendo na Tp 1 igual a 21% e na Tp4 igual a 20%.

O grau de floculação médio apresentou-se maior na camada subsuperficial (36%) quando comparado à camada superficial (28%). Já entre os segmentos da vertente, na meia encosta verificou-se o menor valor médio igual a 30% quando comparado aos observados no topo e

¹ Para converter de (%) para (g.kg⁻¹) multiplica-se o valor por 10.

no sopé 33% e 34%, respectivamente. Entre as toposseqüências houve uma clara tendência de aumento no sentido montante-jusante da área de drenagem do açude Nenenzinho, com valores variando de 23% na Tp1 e 37% na Tp4, contrapondo-se ao grau de argila dispersa.

Com estes resultados verificou-se uma relação inversa entre o teor de argila e o grau de argila dispersa e direta com o grau floculação, ou seja, quanto maior o teor de argila menor o grau de dispersão e maior a floculação, conforme pode ser observado comparando-se os valores obtidos nas camadas superficial e subsuperficial e no sentido montante-jusante da área em estudo.

Ao analisar a porosidade dos solos estudados, verificou-se que a camada superficial apresenta valor médio de 37% foi um pouco maior que a média obtida na camada subsuperficial que foi de 36%. O valor médio apresentado no segmento de sopé das toposseqüências foi de 34%, o menor quando comparado aos demais, 37% no topo e 38% na meia encosta. No sentido montante-jusante da área de drenagem foi observada uma redução na porosidade, devendo-se destacar a toposseqüência Tp2 que apresentou a menor média 29%; as demais são: 42% na Tp1, 38% na Tp3 e 37% na Tp4.

Estes valores de porosidade encontram-se próximos ao limite inferior de 30% estabelecido por Moniz (1975), isto se deve à influência da argila do tipo 1:2 que facilita a compactação natural apresentada pelos solos.

A capacidade de campo (umidade a 1/3 ATM) apresentou média de 20%, sem haver diferenças significativas quanto às medias obtidas nas camadas superficiais 20% e subsuperficiais 21%. Nos segmentos, verificou-se uma tendência de aumento no sentido descendente da toposseqüência, com médias de 20%, 20% e 21% no topo, meia encosta e sopé, respectivamente. Entre as toposseqüências não foi possível verificar tendências de aumento ou redução, sendo a Tp3 a que apresentou a menor média 18% e a Tp2 a maior 22%.

De acordo com estes valores, observa-se que os solos estudados apresentaram moderado poder de retenção de água no solo o que contribui para a fixação dos cátions trocáveis (KLAR, 1988).

Diante das características físicas médias observadas nos solos presentes na área em estudo notou-se que, de modo geral, há favorecimento para formação de escoamento superficial.

Considerando separadamente as camadas superficial e subsuperficial, percebeu-se que a primeira apresentou melhores condições médias para o escoamento vertical quando comparada com a segunda devido, principalmente, à maior porosidade ali obtida.

Com relação aos segmentos da toposseqüência, verificou-se, pela análise dos dados, que o segmento de meia encosta, em comparação aos demais, apresentou as melhores condições no favorecimento de escoamento, determinadas por uma maior porosidade e menor floculação. O segmento de topo apresentou as melhores condições para infiltração, dado o seu percentual médio de areia e menor capacidade de campo. Sendo o sopé, o segmento que apresentou as características físicas menos favoráveis ao escoamento, devido ao seu maior grau de floculação, menor porosidade e maior capacidade de campo.

Quanto às toposseqüências notou-se que há uma tendência de transporte de finos no sentido montante-jusante, haja vista o teor de argila observado. A Tp2 apresentou a menor porosidade e maior capacidade de campo, não havendo portanto, uma tendência linear na avaliação destas características em relação à área como um todo.

De acordo a estes resultados, verifica-se que na área de drenagem do açude Nenenzinho há predisposição do solo em favorecer os escoamentos superficial e lateral, de modo mais intenso, principalmente nas áreas mais elevadas das vertentes, devido a presença de solos rasos, pouco permeáveis e com baixa capacidade de retenção. Estas características diminuem

no segmento de sopé onde os solos apresentam-se com maiores profundidades e maior capacidade de retenção de água, tendendo a reduzir o escoamento.

Tabela 11. Principais propriedades físicas dos solos analisados.

Amostras	Perfil	Camada	Profundidade (cm)	Composição Granulométrica (%)				Argila Dispersa em Água (%)	Floculação (%)	Densidade (g.cm ³)		Porosidade (%)	Umidade (%)		Água Útil (%)
				Ar. gros	Ar.fina	Silte	Argila			Apar.	Real		1/3 ATM	15 ATM	
Tp1	Pr1	Cm1	00-10	31	29	12	28	20	29	1,67	2,54	35	21	11	10
	Pr2	Cm1	00-30	24	27	18	31	23	26	1,44	2,59	45	23	12	11
	Pr3	Cm1	00-20	17	44	18	21	18	14	1,33	2,43	46	17	10	7
		Cm2	20-60	29	22	16	30	23	23	1,38	2,38	42	22	11	11
	Pr4	Cm1	00-50	35	18	22	25	19	24	1,48	2,53	42	21	10	11
		Cm2	50-100	37	23	14	26	21	19	1,55	2,56	40	22	10	12
Tp2	Pr1	Cm1	00-08	25	30	20	25	20	20	1,81	2,46	27	20	10	10
		Cm2	08-22	23	22	15	40	26	35	1,7	2,4	30	25	12	13
	Pr2	Cm1	00-10	18	34	23	25	20	20	1,77	2,5	31	19	8	11
		Cm2	10-40	26	16	22	36	22	39	1,73	2,53	32	23	11	13
	Pr3	Cm1	00-30	24	32	17	27	17	37	1,83	2,56	29	21	10	11
		Cm2	30-62	27	28	15	30	17	43	1,76	2,38	26	21	10	11
Tp3	Pr1	Cm1	00-20	26	42	15	17	13	24	1,41	2,59	46	17	9	8
		Cm2	20-60	28	41	19	12	7	42	1,48	2,66	45	13	7	6
	Pr2	Cm1	00-80	33	9	18	40	31	23	1,75	2,53	31	27	12	15
	Pr3	Cm1	00-20	18	48	19	15	7	53	1,71	2,66	36	12	7	5
		Cm2	20-30	29	30	15	26	18	31	1,69	2,59	36	19	10	9
	Pr4	Cm1	00-20	25	35	16	24	18	25	1,45	2,5	42	20	10	10
Cm2		20-60	35	23	11	31	17	45	1,75	2,43	28	21	10	11	
Tp4	Pr1	Cm1	00-12	21	23	22	34	19	44	1,4	2,27	39	20	10	10
		Cm2	12-25	28	21	16	35	23	34	1,48	2,4	39	21	11	10
	Pr2	Cm1	00-15	23	29	17	31	21	32	1,4	2,5	44	21	10	11
		Cm2	15-25	28	27	14	31	20	35	1,6	2,59	39	20	9	11
	Pr3	Cm1	00-20	26	30	14	30	23	23	1,77	2,53	30	22	9	13
		Cm2	20-60	29	29	15	27	13	52	1,68	2,53	34	21	10	11
A. Flori	-	Cm1	00-20	25	33	19	23	17	26	1,58	2,40	35	21	10	11
A. Nenezinho	-	Cm1	00-20	1	12	37	50	38	24	1,56	2,22	30	27	14	13

Tp-Topossequência; Pr – Perfil; Cm – Camada; Ar. gros – areia grossa; Ar. fin. – areia fina; Apar. – aparente;

4.2.3 Principais propriedades químicas dos solos analisados

Os valores dos atributos químicos do complexo argilo-húmico das amostras coletadas podem ser observados na Tabela 12.

O valor de pH em H₂O apresentou média de 7,3, classificado como de alcalinidade fraca, as médias obtidas considerando apenas as camadas superficiais foi de 7,2 e nas camadas subsuperficiais de 7,4, ambas confirmando a classificação de alcalinidade fraca (EMBRAPA, 1999).

Comparando-se as diferenças entre os valores de pH obtidos em H₂O e KCl, por meio da expressão $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, verifica-se que todas as amostras apresentaram valores negativos, indicando que nos solos predominaram cargas negativas, sendo assim, apresentam capacidade de adsorverem mais cátions que ânions trocáveis (TOMÉ Jr., 1997).

Observa-se na Tabela 12 que o cálcio é o cátion trocável mais abundante nos solos analisados, sendo o seu teor médio igual a 7,99cmol_c.kg⁻¹ de solo. Este valor é superior a soma dos teores médios dos demais íons trocáveis (5,26cmol_c.kg⁻¹ de solo).

O teor médio obtido na camada superficial foi de 7,51cmol_c.kg⁻¹ de solo e na camada subsuperficial foi de 8,59cmol_c.kg⁻¹ de solo. Em relação aos segmentos da toposseqüência, observou-se que na meia encosta há uma redução na média dos teores de cálcio (7,35cmol_c.kg⁻¹ de solo), quando comparado aos valores médios obtidos no topo (8,61cmol_c.kg⁻¹ de solo) e no sopé (8,24cmol_c.kg⁻¹ de solo). O menor teor médio ocorreu na meia encosta devido, provavelmente, ao processo de remoção causado pela água.

Dentre as toposseqüências, observou-se uma tendência de aumento nos teores médios de cálcio no sentido montante-jusante, sendo os teores médios iguais a: Tp1 6,57 cmol_c.kg⁻¹ de solo; Tp2 9,72 cmol_c.kg⁻¹ de solo; Tp3 6,06 cmol_c.kg⁻¹ de solo e Tp4 9,93 cmol_c.kg⁻¹ de solo.

A Tp3 apresenta uma redução significativa em seu valor, provavelmente devido à sua natureza litológica.

O segundo cátion que apresentou maior abundância foi o magnésio com teor médio, considerando todas as amostras, de $3,27\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo. Os teores médios obtidos nas camadas superficial e subsuperficial foram praticamente iguais, $3,17$ e $3,26\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, respectivamente.

Observou-se uma tendência de redução nos teores médios de magnésio obtidos entre os segmentos de topo, meia encosta e sopé, $3,77$; $3,10$ e $3,04\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, respectivamente. Entre as toposseqüências os teores médios não apresentaram grandes variações, sendo o menor valor igual a $2,50\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, encontrado na Tp3 e o maior igual a $3,77\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo encontrado na Tp4.

O potássio foi o cátion que apresentou os menores teores, com exceção do alumínio que foi nulo em todas as amostras analisadas. O teor médio de potássio foi de $0,38\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, havendo um aumento no teor médio deste elemento nas camadas superiores ($0,45\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo) quando comparado ao das camadas subsuperficiais ($0,30\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo).

Entre os segmentos, houve uma tendência de aumento dos teores no sentido topo-sopé sendo obtidos teores médios de $0,13\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo no topo, $0,37\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo na meia encosta e $0,62\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo no sopé. Dentre as toposseqüências, a maior concentração foi observada na Tp1 com teor médio de $1,2\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, na Tp2 $0,14\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, na Tp3 $0,11\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo e $0,13\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo na Tp4. O teor médio expressivo de potássio obtido na toposseqüência Tp1, em comparação aos demais, deveu-se, provavelmente, ao fato da área onde localizou-se o perfil Pr3 ter sido utilizada para secagem de sisal, o que propiciou a incorporação deste íon ao solo.

O sódio apresentou teores médios de $0,54\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, entre as camadas superficial e subsuperficial houve um aumento na média dos teores, sendo respectivamente igual a $0,36$ e $0,77\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo. Nos segmentos obteve-se o maior teor médio na meia encosta ($0,71\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo), provavelmente devido à alta solubilidade do sódio (CARVALHO, 1995), com $0,19\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo no segmento de topo e $0,64\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo verificado no sopé.

Dentre as toposseqüências o maior teor médio de sódio foi de $0,91\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo obtido na Tp3, seguido por $0,57\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo na Tp4, $0,48\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo na Tp2 e $0,15\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo na Tp1. Estes teores de sódio apresentados pela Tp3 ampliam as possibilidades de haver alguma diferença litológica entre esta e as demais toposseqüências, conforme já mencionada na avaliação do cálcio.

Quanto a acidez potencial, esta deveu-se exclusivamente aos teores de hidrogênio, haja vista que os teores de alumínio trocável foram nulos. O teor médio de hidrogênio foi de $1,07\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, permanecendo constante ao longo das camadas, nos segmentos das vertentes e nas toposseqüências, indicando solos pobres em matéria orgânica (TOMÉ Jr., 1997).

A Capacidade de Troca Catiônica, CTC, apresentou em todos os solos analisados valores acima de $27\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de argila, indicando solos com argila de alta atividade (EMBRAPA, 1999). O cálcio foi o cátion predominante em todas as amostras representando, em média, 60% da CTC.

O valor médio da CTC foi de $13,25\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, apresentando uma tendência de aumento na camada subsuperficial com média de $13,99\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo, enquanto na superficial a média foi de $12,67\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de solo. Em relação aos segmentos geomórficos, observou-se que a meia encosta apresentou o menor teor de CTC, igual a $12,66\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, o topo $13,73\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ e o sopé $13,58\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. O fato da meia encosta apresentar a menor

CTC, confirma o comportamento típico de transporte de material, geomorfologicamente instável deste segmento (GÓIS, 1998).

Dentre as toposseqüências, verificou-se uma tendência de aumento dos teores médios de CTC no sentido montante-jusante apresentando os seguintes valores Tp1 $12,23\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, Tp2 $15,19\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, Tp3 $10,64\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ e Tp4 $15,38\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Dois eventos merecem destaque, o menor teor médio verificado na Tp3, causado, provavelmente, pela redução do teor médio de argila verificada também nesta toposseqüência e o valor relativamente alto na Tp2, justificado pela sua menor porosidade e maior capacidade de campo.

Os valores de saturação por base (V%) apresentaram-se elevados, com média de 91%, confirmando o caráter eutrófico em todos os solos analisados, indicando maior fertilidade e que a CTC possui maior proporção dos cátions Ca, Mg, K e Na. Em média, o menor valor de V% foi de 88%, observado na toposseqüência Tp3.

Apesar dos pequenos valores verificados nos teores de sódio, o percentual de sódio trocável (PST) apresentou variações importantes. O valor médio da PST foi de 4,23%, havendo uma tendência de aumento quando comparados os teores médios das camadas superficiais (2,90%) e subsuperficiais (5,92%). Entre os segmentos geomórficos, verificou-se que os maiores valores do PST encontraram-se na meia encosta (5,68%), acompanhado pela CTC e associado à alta solubilidade do sódio. O sopé apresentou valor médio de 4,31% e o topo 2,07%.

O maior valor de PST foi obtido na camada subsuperficial do perfil Pr3 da Tp3 (19,37%), conferindo-lhe caráter sódico. Acompanhado da camada Cm1 (11,59%) do perfil Pr2, da camada Cm2 do perfil Pr3 (8,12%) e Cm2 do perfil Pr1 (7,23%) que apresentaram solos com caráter solódico. O mesmo foi verificado nos solos das camadas subsuperficiais do perfil Pr2 da Tp2 (7,38%) e do perfil Pr3 da Tp4 (14,06%).

Tabela 12. Principais propriedades químicas dos solos amostrados - Trocáveis.

Amostras	Perfil	Camada	Profundidade (cm)	pH		Complexo Sortivo (cmol.c.kg ⁻¹ de solo)								V(%)	PST(%)
				H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	Sb	CTC		
Tp1	Pr1	Cm1	00-10	6,5	5,0	8,30	3,40	0,11	0,10	0,00	1,30	11,91	13,21	90,00	0,76
	Pr2	Cm1	00-30	6,8	5,3	8,20	3,20	2,00	0,09	0,00	1,20	13,49	14,69	92,00	0,61
	Pr3	Cm1	00-20	7,2	5,9	7,40	3,11	0,49	0,10	0,00	1,10	11,10	12,20	91,00	0,82
		Cm2	20-60	6,5	5,6	5,40	3,10	0,09	0,31	0,00	1,10	8,90	10,00	89,00	3,10
	Pr4	Cm1	00-50	7,2	6,0	5,00	3,00	2,10	0,07	0,00	1,10	10,17	11,27	90,00	0,62
		Cm2	50-100	9,2	7,6	5,10	3,40	2,40	0,22	0,00	0,90	11,12	12,02	93,00	1,83
Tp2	Pr1	Cm1	00-08	7,0	5,5	11,40	4,90	0,16	0,12	0,00	1,10	16,58	17,68	94,00	0,68
		Cm2	08-22	7,7	5,9	12,40	6,40	0,08	0,21	0,00	1,00	19,09	20,09	95,00	1,05
	Pr2	Cm1	00-10	7,2	6,6	3,70	2,10	0,39	0,34	0,00	1,10	6,53	7,63	86,00	4,46
		Cm2	10-40	7,3	6,6	10,40	3,10	0,07	1,20	0,00	1,50	14,77	16,27	91,00	7,38
	Pr3	Cm1	00-30	7,3	6,6	10,30	2,90	0,08	0,33	0,00	1,00	13,61	14,61	93,00	2,26
		Cm2	30-62	7,5	6,7	10,10	3,00	0,05	0,69	0,00	1,00	13,84	14,84	93,00	4,65
Tp3	Pr1	Cm1	00-20	7,6	6,2	3,00	1,40	0,11	0,17	0,00	0,90	4,68	5,58	84,00	3,05
		Cm2	20-60	7,6	6,1	2,90	1,60	0,09	0,42	0,00	0,80	5,01	5,81	86,00	7,23
	Pr2	Cm1	00-80	7,5	6,3	11,40	4,60	0,25	2,30	0,00	1,30	18,55	19,85	93,00	11,59
	Pr3	Cm1	00-20	7,5	6,1	2,30	1,60	0,09	0,45	0,00	1,10	4,44	5,54	80,00	8,12
		Cm2	20-30	7,6	6,0	5,60	2,10	0,04	2,10	0,00	1,00	9,84	10,84	91,00	19,37
	Pr4	Cm1	00-20	6,9	5,5	6,40	3,10	0,10	0,17	0,00	1,00	9,77	10,77	91,00	1,58
Cm2		20-60	6,8	5,3	10,80	3,11	0,06	0,74	0,00	1,40	14,71	16,11	91,00	4,59	
Tp4	Pr1	Cm1	00-12	7,3	6,5	12,10	4,90	0,09	0,12	0,00	1,00	17,21	18,21	95,00	0,66
		Cm2	12-25	7,3	6,1	10,18	3,80	0,28	0,16	0,00	1,10	14,42	15,52	93,00	1,03
	Pr2	Cm1	00-15	7,3	6,0	8,30	4,00	0,16	0,07	0,00	1,00	12,53	13,53	93,00	0,52
		Cm2	15-25	7,3	6,1	10,80	4,10	0,08	0,13	0,00	0,90	15,11	16,01	94,00	0,81
	Pr3	Cm1	00-20	7,1	5,9	7,40	3,60	0,13	0,62	0,00	0,90	11,75	12,65	93,00	4,90
		Cm2	20-60	6,8	5,3	10,80	2,20	0,06	2,30	0,00	1,00	15,36	16,36	94,00	14,06
A. Flori		Cm1	00-20	7,1	5,6	7,00	2,30	0,92	1,48	0,00	0,90	11,70	12,60	93,00	11,75
A. Nenenzinho		Cm1	00-20	6,6	5,0	14,30	6,80	0,88	2,95	0,00	0,90	24,93	25,83	97,00	11,42

Tp-Topossequência; Pr - Perfil; Cm - Camada ; Sb - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátion; V - saturação por base; PST - percentual de sódio trocável.

Nos ensaios referentes aos sais solúveis foram determinadas as concentrações dos íons cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato e cloreto, bem como a condutividade elétrica no extrato de saturação a 25°C e determinada a razão de adsorção de sódio (RAS), cujos resultados são apresentados na Tabela 13.

Quanto aos cátions, o cálcio apresentou concentração média de 3,39mE.L⁻¹, com média na camada superficial de 2,69mE.L⁻¹ e na camada subsuperficial de 4,29mE.L⁻¹. Nos segmentos da topossequência observou-se que a meia encosta apresentou a menor concentração média igual a 2,72mE.L⁻¹, seguida do topo com 2,86mE.L⁻¹ e o sopé com a maior igual a 4,70mE.L⁻¹. Em relação às topossequências, as concentrações médias de cálcio apresentaram uma tendência de aumento no sentido montante-jusante da área de drenagem, sendo o menor valor igual a 2,67mE.L⁻¹ obtido na Tp2 e o maior 4,93mE.L⁻¹ na Tp4.

Os valores das concentrações médias do magnésio indicaram uniformidade deste elemento na área de estudo, sendo sua concentração média igual a 1,46mE.L⁻¹. Considerando as camadas, obteve-se na superficial média de 1,43mE.L⁻¹ e na subsuperficial 1,51mE.L⁻¹. Entre os segmentos da topossequência observou-se que a meia encosta apresentou a menor concentração média 1,28mE.L⁻¹, comparando-se ao topo com 1,49mE.L⁻¹ e o sopé com 1,68mE.L⁻¹. Quanto às topossequências observou-se que a menor concentração média foi de 1,26mE.L⁻¹ obtida na Tp3 e a maior de 1,83mE.L⁻¹ na Tp 4.

As concentrações de potássio foram as menores observadas, sendo a sua média igual a 0,45mE.L⁻¹, na camada superficial a concentração média foi de 2,54mE.L⁻¹ e na subsuperficial de 0,57mE.L⁻¹. Verificou-se uma redução da concentração média no sentido descendente da vertente; no topo obteve média de 0,28mE.L⁻¹, na meia encosta de 1,28mE.L⁻¹ e no sopé de 0,70mE.L⁻¹. Comparando-se as concentrações das topossequências observou-se uma tendência de redução no sentido montante-jusante, a Tp1 apresentou o maior valor 0,74mE.L⁻¹, na Tp2 obteve-se 0,37mE.L⁻¹, na Tp3 0,46mE.L⁻¹ e na Tp4 média de 0,21mE.L⁻¹.

Dentre os cátions solúveis, o sódio foi o elemento que apresentou a maior média de concentração igual a $4,17\text{mE.L}^{-1}$. A concentração média considerando os valores apenas das camadas superficiais foi de $2,54\text{mE.L}^{-1}$, e das camadas subsuperficiais foi de $6,24\text{mE.L}^{-1}$. Observou-se também uma tendência de aumento entre os segmentos da topossequência, sendo a média de concentração do sódio no topo igual a $3,12\text{mE.L}^{-1}$, na meia encosta de $3,45\text{mE.L}^{-1}$ e no sopé de $5,98\text{mE.L}^{-1}$.

Ao comparar os valores médios de concentração de sódio entre as topossequências estudadas verificou-se uma tendência de aumento no sentido montante-jusante da área de drenagem, apresentando por topossequência as seguintes médias de concentração: Tp1 igual a $1,67\text{mE.L}^{-1}$, Tp2 igual a $4,54\text{mE.L}^{-1}$, Tp3 $3,57\text{mE.L}^{-1}$ e Tp4 igual a $6,99\text{mE.L}^{-1}$.

Diante destes resultados, a topossequência Tp3 merece um comentário à parte, pois esta apresentou o maior teor médio de sódio trocável, no entanto foi a terceira na concentração de sódio solúvel. Isto possivelmente ocorreu devido ao efeito danoso que o sódio promove na estrutura dos solos, dificultando ainda mais o intemperismo químico deste elemento que por si só já apresenta alta solubilidade.

O cloreto foi o ânion que apresentou as maiores concentrações médias na área em estudo. Sua concentração média foi de $7,14\text{mE.L}^{-1}$, a camada superficial apresentou média de $5,22\text{mE.L}^{-1}$ e a camada subsuperficial de $12,78\text{mE.L}^{-1}$.

Entre os segmentos, o sopé apresentou a maior média $10,07\text{mE.L}^{-1}$, no topo observou-se uma média de $7,90\text{mE.L}^{-1}$ e a meia encosta a menor concentração igual a $5,72\text{mE.L}^{-1}$. A concentração de cloreto aumentou por volta de 240% da topossequência Tp1 ($4,64\text{mE.L}^{-1}$) para a Tp4 ($11,05\text{mE.L}^{-1}$), indicando um aumento efetivo à medida que se aproxima das partes mais baixas da área de drenagem na Tp2 a concentração média foi de $6,65\text{mE.L}^{-1}$ e na Tp3 de $6,36\text{mE.L}^{-1}$.

As concentrações médias observadas no bicarbonato não apresentaram diferenças tão relevantes quanto às do cloreto, a concentração média foi de $2,42\text{mE.L}^{-1}$. Na camada superficial obteve-se média de $1,81\text{mE.L}^{-1}$ e na camada subsuperficial de $3,19\text{mE.L}^{-1}$. Observou-se uma tendência média de aumento ao longo da vertente: no topo a concentração média foi de $1,97\text{mE.L}^{-1}$, na meia encosta de $2,15\text{mE.L}^{-1}$ e no sopé de $3,10\text{mE.L}^{-1}$. Entre as toposseqüências a Tp1 apresentou a menor concentração média $2,03\text{mE.L}^{-1}$, as toposseqüências Tp2 e Tp3 apresentaram a mesma média igual a $2,27\text{mE.L}^{-1}$ e a maior concentração foi obtida na Tp4 igual a $3,12\text{mE.L}^{-1}$.

Os resultados das somas dos cátions solúveis foram próximos aos da soma dos ânions daí, as observações feitas para um são cabíveis à outra. A concentração média obtida com a soma dos cátions solúveis foi de $9,47\text{mE.L}^{-1}$, ao considerar apenas as camadas superficiais dos perfis analisados o valor médio obtido foi de $7,00\text{mE.L}^{-1}$ e para as camadas subsuperficiais obteve-se $12,61\text{mE.L}^{-1}$. Entre os segmentos, observou-se um aumento de concentração média no sentido descendente da vertente, onde o topo apresentou concentração de $7,75\text{mE.L}^{-1}$, a meia encosta de $7,81\text{mE.L}^{-1}$ e o sopé $13,05\text{mE.L}^{-1}$. Quanto às toposseqüências observou-se uma tendência de aumento no sentido montante-jusante da área de drenagem com concentração média de $6,67\text{mE.L}^{-1}$ na Tp1, $8,92\text{mE.L}^{-1}$ na Tp2, $8,49\text{mE.L}^{-1}$ na Tp3 e $13,96\text{mE.L}^{-1}$ na Tp4.

Não foi possível estabelecer uma correlação satisfatória entre a condutividade elétrica do extrato de saturação a 25°C (CE_e) e as concentrações dos íons solúveis. O seu valor médio foi de $0,868\text{dS.m}^{-1}$. Na camada superficial observou-se um valor médio de $0,706\text{dS.m}^{-1}$ e na subsuperficial de $1,075\text{dS.m}^{-1}$. Os valores obtidos nos segmentos de topo e meia encosta são próximos $0,679$ e $0,675\text{dS.m}^{-1}$, respectivamente, enquanto o sopé apresentou média de $1,277\text{dS.m}^{-1}$. Entre as toposseqüências observou-se o maior valor médio $1,357\text{dS.m}^{-1}$ na Tp4, o menor valor $0,664\text{dS.m}^{-1}$ na Tp2, na Tp1 média de $0,760\text{dS.m}^{-1}$ e $0,718\text{dS.m}^{-1}$ na Tp3.

Individualmente merece destaque a camada subsuperficial do perfil Pr3 da topossequência Tp4, por ter apresentado o maior valor de CE_e ($4,815dS.m^{-1}$), resultado da concentração elevada de sais solúveis ($52,61mE.L^{-1}$), classificando o solo como salino.

O grau de sodificação do solo medido por meio da razão de adsorção de sódio (RAS) apresentou média de $2,62mE.L^{-1}$, na camada superficial a média obtida foi de $1,84mE.L^{-1}$ e na camada subsuperficial de $3,62mE.L^{-1}$. Dentre os segmentos observa-se uma tendência de aumento no sentido descendente da vertente com valor médio no topo de $2,16mE.L^{-1}$, na meia encosta de $2,70mE.L^{-1}$ e no sopé de $2,93mE.L^{-1}$. A topossequência Tp4 apresentou o maior valor médio $3,46mE.L^{-1}$, o segundo maior $3,40mE.L^{-1}$ foi obtido na Tp2, a média da Tp3 foi de $2,42mE.L^{-1}$ e o menor valor $1,25mE.L^{-1}$ foi observado na Tp1.

Estas médias por si só, não indicam o risco de sodicidade ao qual está submetido o solo, sendo necessário avaliar em conjunto a outros fatores, o que é realizado na seção posterior.

Diante dos resultados e discussões das propriedades químicas realizadas acima, pôde-se constatar que os sais tendem a se acumular principalmente nas camadas mais profundas, influenciados pelas propriedades físicas do solo que nestas camadas apresentam, em média, maior capacidade de retenção e menor porosidade que nas superficiais.

Quanto aos segmentos geomórficos, observou-se que os menores teores e concentrações de íons ocorreram na meia encosta, provocado pela remoção destes devido a atuação de agentes externos facilitada por suas condições topográficas e pedológicas.

Com relação à área de drenagem, observou-se que há um aumento de concentração de sais no sentido montante-jusante, principalmente com relação aos sais solúveis; isto ocorre devido à associação dos transportes laterais e superficiais que vão reduzindo à medida que alcançam as partes baixas da área de drenagem, dadas às condições topográficas e as propriedades físicas dos solos.

Desta forma, pode-se esperar que os primeiros escoamentos superficiais que chegam ao açude no momento das cheias apresentem melhor qualidade de suas águas. Ao contrário, os escoamentos que chegam posteriormente, depois das cheias incorporarem águas infiltradas em camadas mais profundas, apresentam pior qualidade de suas águas.

Esta acumulação de sais torna-se mais evidente quando compara-se os teores e concentrações observados nos sedimentos de fundo dos açudes Flori e Nenenzinho (tabelas 12 e 13). Mesmo havendo outros fatores que exercem influência sobre estas acumulações, como os descritos na seção 4.3, a diferença obtidas entre estes sedimentos é marcante, confirmando a acumulação de sais no sentido montante-jusante da área.

É interessante observar que os teores obtidos nos sedimentos do fundo dos açudes apresentam proporcionalidade aos teores médios dos solos compreendidos em suas respectivas áreas de drenagem. Ou seja, os íons que apresentaram maiores teores e concentrações nos solos analisados, também apresentaram nos solos do fundo dos açudes, havendo uma relativa elevação quanto às concentrações de sódio e cloreto, devido ao poder conservativo que estes apresentam.

Tabela 13. Principais propriedades químicas dos solos amostrados - Solúveis.

Amostras	Perfil	Camada	Profundidade (cm)	Saís Solúveis (mE.L ⁻¹)								CE _e (dSm ⁻¹)	RAS (mEL ⁻¹)
				Cátions					ânions				
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Total	HCO ₃	Cl	Total		
Tp1	Pr1	Cm1	00-10	1,60	1,60	0,10	0,26	3,56	1,20	2,42	3,62	0,600	0,21
	Pr2	Cm1	00-30	4,00	1,60	0,21	1,20	7,01	2,60	4,20	6,80	0,710	0,72
	Pr3	Cm1	00-20	2,40	2,40	0,11	0,87	5,78	1,20	4,60	5,80	0,720	0,56
		Cm2	20-60	4,00	1,60	0,11	0,87	6,58	2,00	4,62	6,62	0,730	0,52
	Pr4	Cm1	00-50	1,60	0,80	0,67	3,31	6,38	2,00	4,48	6,48	0,790	3,02
		Cm2	50-100	3,20	0,80	3,23	3,48	10,71	3,20	7,51	10,71	1,010	2,46
Tp2	Pr1	Cm1	00-08	5,60	2,40	0,52	5,66	14,18	3,10	11,08	14,18	0,863	2,83
		Cm2	08-22	2,40	0,80	0,31	8,70	12,21	3,00	9,21	12,21	0,616	6,88
	Pr2	Cm1	00-10	1,60	0,80	0,57	4,53	7,50	2,00	5,51	7,51	0,616	4,14
		Cm2	10-40	1,60	0,80	0,52	3,57	6,49	2,10	4,45	6,55	0,603	3,26
	Pr3	Cm1	00-30	1,60	1,60	0,21	1,31	4,72	1,10	3,62	4,72	0,577	1,04
		Cm2	30-62	3,20	1,60	0,11	3,48	8,39	2,30	6,00	8,30	0,707	2,25
Tp3	Pr1	Cm1	00-20	1,60	0,80	0,26	1,40	4,06	1,40	2,71	4,11	0,603	1,28
		Cm2	20-60	4,00	1,60	0,26	3,13	8,99	2,10	6,90	9,00	0,746	1,87
	Pr2	Cm1	00-80	5,60	1,60	1,03	4,96	13,19	3,40	9,81	13,21	0,798	2,61
		Pr3	Cm1	00-20	2,40	1,60	0,36	4,61	8,97	2,00	6,97	8,97	0,720
	Pr4		Cm1	00-20	2,40	0,80	0,41	5,66	9,27	3,40	6,68	10,08	0,694
		Cm2	20-30	2,40	0,80	0,41	5,66	9,27	3,40	6,68	10,08	0,694	4,47
Pr4	Cm1	00-20	3,20	0,80	0,16	1,22	5,38	1,00	4,46	5,46	0,733	0,86	
	Cm2	20-60	3,20	1,60	0,77	4,00	9,57	2,60	6,97	9,57	0,733	2,58	
Tp4	Pr1	Cm1	00-12	3,20	2,40	0,31	1,31	7,22	2,00	5,30	7,30	0,733	0,78
		Cm2	12-25	1,60	0,80	0,21	1,40	4,01	1,00	3,11	4,11	0,590	1,28
	Pr2	Cm1	00-15	1,60	0,80	0,16	0,87	3,43	1,00	2,46	3,46	0,577	0,79
		Cm2	15-25	1,60	0,80	0,16	7,34	9,90	2,10	7,90	10,00	0,577	6,70
	Pr3	Cm1	00-20	1,60	0,80	0,21	4,00	6,61	1,30	5,39	6,69	0,850	3,65
		Cm2	20-60	20,00	5,40	0,21	27,00	52,61	11,30	42,14	53,44	4,815	7,58
A. Flori	-	Cm1	00-20	8,00	4,00	0,93	2,00	14,93	3,63	13,30	16,93	0,720	0,82
A. Nenenzinho	-	Cm1	00-20	48,00	16,00	3,13	61,74	128,87	36,40	91,86	128,26	11,978	10,91

Tp-Topossequência; Pr - Perfil; Cm - Camada; CE_e - condutividade elétrica do extrato de saturação a 25°C; RAS - razão de adsorção de sódio.

4.2.4 Classificação dos solos analisados quanto à salinidade e sodicidade

A Tabela 14 apresenta, por meio de gráficos, os teores e concentrações médios de algumas propriedades que se relacionam mais diretamente com os processos de salinização e/ou sodicidade. Esta tabela facilita a visualização da conformação dos sais no solo, permitindo identificar a camada, o segmento e a posição na área de drenagem que encontra-se mais suscetível à salinidade e/ou sodicidade.

Ao analisar as propriedades químicas, trocáveis e solúveis, das amostras de solo notou-se que as maiores concentração médias de sais, considerando apenas o perfil do solo, ocorreram nas camadas subsuperficiais. Isto pode ser confirmado pelos gráficos “CTC *versus* Camada” e “Soma de Cátions *versus* Camada” apresentados da Tabela 14. Esta constatação é justificada pelas propriedades físicas verificadas nestas camadas que dificultam a percolação da água restringindo a remoção dos sais.

Este mesmo comportamento foi observado no pH, na CE_e , no PST e RAS . Nos dois primeiros devido a relação direta com a CTC e com os sais solúveis, respectivamente. O PST teve seu comportamento médio influenciado pelos teores de sódio encontrados, principalmente, na topossequência Tp3, já o RAS foi influenciado pelas Tp2 e Tp3.

Considerando apenas os segmentos geomórficos, verificou-se que os íons trocáveis, aqui representados pela CTC, apresentaram em média uma redução dos seus teores na meia encosta, bem como o pH. Isto ocorreu devido à maior susceptibilidade de remoção de elemento que este segmento apresenta em relação aos demais, apoiada pelas propriedades físicas dos solos presentes neste segmento.

Comportamento contrário apresentou o PST, ou seja, na meia encosta verificou-se os maiores valores, devido à associação de dois fatores: a redução da CTC e a manutenção dos teores de sódio provocada pela sua alta solubilidade.

Quanto aos solúveis observou-se, por meio dos valores obtidos com a soma dos cátions e CE_e , uniformidade nas concentrações médias verificadas no topo e na meia encosta, havendo uma elevação considerável (60%) no sopé, causada, possivelmente, pela transferência lateral dos demais e pelo maior poder de retenção apresentado pelos solos deste segmento.

O RAS apresentou tendência de aumento no sentido descendente da toposseqüência, havendo uma taxa de aumento maior entre o topo e a meia encosta do que entre a meia encosta e o sopé. Este valor médio na meia encosta se justifica da mesma forma que o PST, no entanto, no sopé a média foi bastante influenciada pelo valor ocorrido no perfil Pr3 da Tp4.

Ao analisar os valores de acordo com a sua posição em relação à área de drenagem, observa-se que a Tp4 apresentou os maiores valores médios quanto a CTC, soma de cátions, CE_e e RAS, indicando um acúmulo de elementos químicos na parte mais baixa da área em estudo e um efetivo aumento do sódio solúvel em relação ao cálcio e magnésio, verificado pelo valor da RAS; isto provavelmente se deve à precipitação desses dois íons.

O PST mais elevado foi verificado na Tp3 devido a dois fatores: à baixa CTC verificada nesta toposseqüência e o aumento do teor de sódio, suficiente para alterar as características de alguns solos desta vertente.

Tabela 14. Conformação de algumas propriedades químicas quanto à camada, ao segmento e área de drenagem.

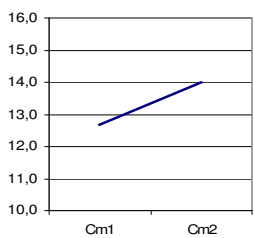
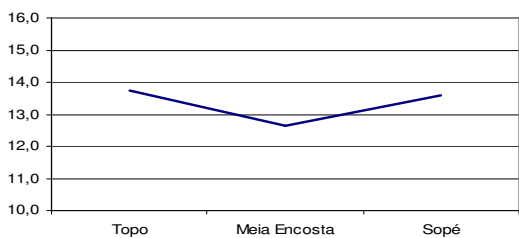
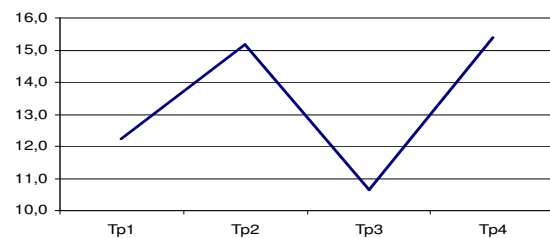
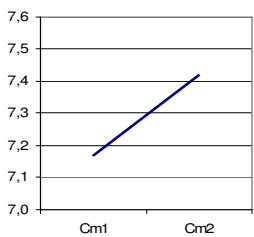
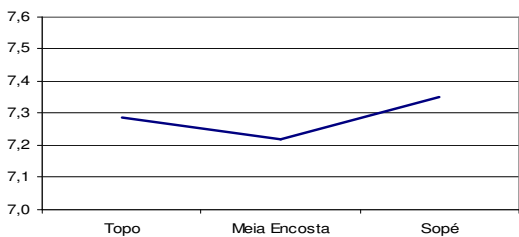
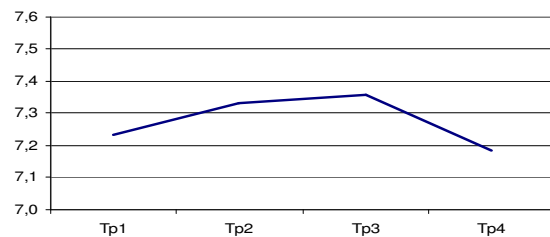
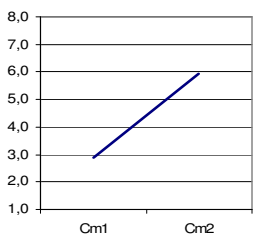
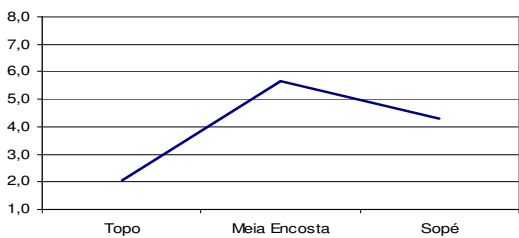
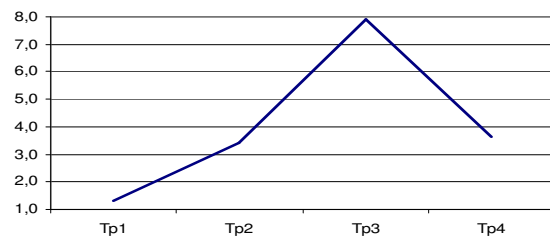
Propriedades	Camada	Segmento	Área																								
CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ de solo)	 <table border="1"> <caption>Data for CTC - Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>12,5</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>14,0</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)	Cm1	12,5	Cm2	14,0	 <table border="1"> <caption>Data for CTC - Segmento</caption> <thead> <tr> <th>Segmento</th> <th>CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>13,8</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>12,5</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>13,5</td> </tr> </tbody> </table>	Segmento	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)	Topo	13,8	Meia Encosta	12,5	Sopé	13,5	 <table border="1"> <caption>Data for CTC - Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>12,2</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>10,8</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>15,2</td> </tr> </tbody> </table>	Área	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)	Tp1	12,2	Tp2	15,0	Tp3	10,8	Tp4	15,2
Camada	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)																										
Cm1	12,5																										
Cm2	14,0																										
Segmento	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)																										
Topo	13,8																										
Meia Encosta	12,5																										
Sopé	13,5																										
Área	CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)																										
Tp1	12,2																										
Tp2	15,0																										
Tp3	10,8																										
Tp4	15,2																										
pH	 <table border="1"> <caption>Data for pH - Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>7,18</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>7,42</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	pH	Cm1	7,18	Cm2	7,42	 <table border="1"> <caption>Data for pH - Segmento</caption> <thead> <tr> <th>Segmento</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>7,28</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>7,22</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>7,35</td> </tr> </tbody> </table>	Segmento	pH	Topo	7,28	Meia Encosta	7,22	Sopé	7,35	 <table border="1"> <caption>Data for pH - Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>7,25</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>7,35</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>7,38</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>7,20</td> </tr> </tbody> </table>	Área	pH	Tp1	7,25	Tp2	7,35	Tp3	7,38	Tp4	7,20
Camada	pH																										
Cm1	7,18																										
Cm2	7,42																										
Segmento	pH																										
Topo	7,28																										
Meia Encosta	7,22																										
Sopé	7,35																										
Área	pH																										
Tp1	7,25																										
Tp2	7,35																										
Tp3	7,38																										
Tp4	7,20																										
PST (%)	 <table border="1"> <caption>Data for PST - Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>PST (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>2,8</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>5,8</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	PST (%)	Cm1	2,8	Cm2	5,8	 <table border="1"> <caption>Data for PST - Segmento</caption> <thead> <tr> <th>Segmento</th> <th>PST (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>4,2</td> </tr> </tbody> </table>	Segmento	PST (%)	Topo	2,0	Meia Encosta	5,5	Sopé	4,2	 <table border="1"> <caption>Data for PST - Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>PST (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>3,5</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>7,8</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>3,8</td> </tr> </tbody> </table>	Área	PST (%)	Tp1	1,5	Tp2	3,5	Tp3	7,8	Tp4	3,8
Camada	PST (%)																										
Cm1	2,8																										
Cm2	5,8																										
Segmento	PST (%)																										
Topo	2,0																										
Meia Encosta	5,5																										
Sopé	4,2																										
Área	PST (%)																										
Tp1	1,5																										
Tp2	3,5																										
Tp3	7,8																										
Tp4	3,8																										

Tabela 14. Conformação de algumas propriedades químicas quanto à camada, ao segmento e área de drenagem (cont.).

Propriedade	Camada	Topossequência	Área																								
Soma de Cátions (mE.L⁻¹)	<table border="1"> <caption>Soma de Cátions (mE.L⁻¹) vs Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>Soma de Cátions (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>7,0</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>12,5</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)	Cm1	7,0	Cm2	12,5	<table border="1"> <caption>Soma de Cátions (mE.L⁻¹) vs Topossequência</caption> <thead> <tr> <th>Topossequência</th> <th>Soma de Cátions (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>7,8</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>7,8</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>13,0</td> </tr> </tbody> </table>	Topossequência	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)	Topo	7,8	Meia Encosta	7,8	Sopé	13,0	<table border="1"> <caption>Soma de Cátions (mE.L⁻¹) vs Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>Soma de Cátions (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>6,8</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>9,0</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>8,5</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>14,0</td> </tr> </tbody> </table>	Área	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)	Tp1	6,8	Tp2	9,0	Tp3	8,5	Tp4	14,0
Camada	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)																										
Cm1	7,0																										
Cm2	12,5																										
Topossequência	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)																										
Topo	7,8																										
Meia Encosta	7,8																										
Sopé	13,0																										
Área	Soma de Cátions (mE.L ⁻¹)																										
Tp1	6,8																										
Tp2	9,0																										
Tp3	8,5																										
Tp4	14,0																										
CE_e (dS.m⁻¹)	<table border="1"> <caption>CE_e (dS.m⁻¹) vs Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>CE_e (dS.m⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>1,1</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	CE _e (dS.m ⁻¹)	Cm1	0,7	Cm2	1,1	<table border="1"> <caption>CE_e (dS.m⁻¹) vs Topossequência</caption> <thead> <tr> <th>Topossequência</th> <th>CE_e (dS.m⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>1,3</td> </tr> </tbody> </table>	Topossequência	CE _e (dS.m ⁻¹)	Topo	0,7	Meia Encosta	0,7	Sopé	1,3	<table border="1"> <caption>CE_e (dS.m⁻¹) vs Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>CE_e (dS.m⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>1,35</td> </tr> </tbody> </table>	Área	CE _e (dS.m ⁻¹)	Tp1	0,75	Tp2	0,65	Tp3	0,7	Tp4	1,35
Camada	CE _e (dS.m ⁻¹)																										
Cm1	0,7																										
Cm2	1,1																										
Topossequência	CE _e (dS.m ⁻¹)																										
Topo	0,7																										
Meia Encosta	0,7																										
Sopé	1,3																										
Área	CE _e (dS.m ⁻¹)																										
Tp1	0,75																										
Tp2	0,65																										
Tp3	0,7																										
Tp4	1,35																										
RAS (mE.L⁻¹)	<table border="1"> <caption>RAS (mE.L⁻¹) vs Camada</caption> <thead> <tr> <th>Camada</th> <th>RAS (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cm1</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>Cm2</td> <td>3,6</td> </tr> </tbody> </table>	Camada	RAS (mE.L ⁻¹)	Cm1	1,9	Cm2	3,6	<table border="1"> <caption>RAS (mE.L⁻¹) vs Topossequência</caption> <thead> <tr> <th>Topossequência</th> <th>RAS (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Topo</td> <td>2,1</td> </tr> <tr> <td>Meia Encosta</td> <td>2,7</td> </tr> <tr> <td>Sopé</td> <td>2,9</td> </tr> </tbody> </table>	Topossequência	RAS (mE.L ⁻¹)	Topo	2,1	Meia Encosta	2,7	Sopé	2,9	<table border="1"> <caption>RAS (mE.L⁻¹) vs Área</caption> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>RAS (mE.L⁻¹)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tp1</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tp2</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>Tp3</td> <td>2,4</td> </tr> <tr> <td>Tp4</td> <td>3,4</td> </tr> </tbody> </table>	Área	RAS (mE.L ⁻¹)	Tp1	1,2	Tp2	3,4	Tp3	2,4	Tp4	3,4
Camada	RAS (mE.L ⁻¹)																										
Cm1	1,9																										
Cm2	3,6																										
Topossequência	RAS (mE.L ⁻¹)																										
Topo	2,1																										
Meia Encosta	2,7																										
Sopé	2,9																										
Área	RAS (mE.L ⁻¹)																										
Tp1	1,2																										
Tp2	3,4																										
Tp3	2,4																										
Tp4	3,4																										

Com objetivo de avaliar o quanto a acumulação dos sais afetou os solos presentes na área de drenagem foram utilizados três métodos de classificação, a Tabela 15 apresenta o resumo dos valores e resultados obtidos em cada amostra de solo analisado.

Os três métodos de classificação utilizados foram: USSL – Trocáveis que utiliza como dados de análise o PST, o pH e a CE_e ; USSL – Solúveis que utiliza os dados de CE_e e RAS; e o dos íons solúveis dominantes que utiliza o percentual relativo dos cátions e ânions. Estes métodos de classificação foram descritos na seção 3.12 do Capítulo 3.

Segundo o método USSL-Trocáveis, 24 amostras de solo foram classificadas como normais, ou seja, solos não afetados por sais. Havendo uma amostra de solo (Tp3Pr3Cm2) classificado como sódico, devido o valor elevado do PST, conforme discutido anteriormente. Duas (2) foram classificadas como salinas a Tp4Pr3Cm2 e o sedimento de fundo do açude Nenenzinho, sendo este segundo muito mais concentrado.

Quanto aos resultados obtidos com a classificação da USSL-Solúveis, observou-se que 5 amostras apresentaram categoria C1S1, significando: baixo risco de salinidade e baixo risco de sodicidade, todas estas amostras encontravam-se na topossequência Tp1. Em 15 amostras a categoria apresentada foi de C2S1, indicando médio risco de salinidade e baixo risco de sodicidade, verificado em todas as topossequências e no sedimento de fundo do açude Flori. A categoria C2S2 foi verificada em apenas 2 amostras Tp2Pr1Cm2 e Tp4Pr2Cm2, indicando solo com médio risco de salinidade e médio risco de sodicidade. As amostras Tp2Pr1Cm1, Tp3Pr2Cm1 e Tp4Pr3Cm1 foram classificadas como C3S1, indicando alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade. A amostra Tp4Pr3Cm2 foi classificada como C4S3, indicando muito alto risco de salinidade e forte risco de sodicidade e o sedimento de fundo do açude Nenenzinho foi classificado como C5S4, risco excepcionalmente alto de salinidade e muito forte de sodicidade.

Destas classificações pode-se confirmar que 81% das amostras apresentaram de baixo a médio risco de salinidade (categorias C1 e C2) e 85% baixo risco de sodicidade (categoria S1). Isto indica que a área como um todo contribui mais efetivamente para a salinização das águas que para a sua sodificação, ou seja, o sódio não é o íon mais abundante na área de estudo. Isto tem um aspecto positivo, devido às maiores dificuldades em retirar o sódio quando comparado a outros íons e aos maiores malefícios causados por este, quando em excesso, à permeabilidade dos solos.

Como visto acima, as principais exceções quanto ao risco de sodicidade ocorreram na parte mais baixa da área de drenagem, na qual constatou-se categorias S3 e S4, provavelmente devido ao poder conservativo do sódio. Como esta parte da bacia é a que mantém contato mais prolongado com as águas superficiais, isto pode indicar uma possível tendência de maior concentração de sódio em tempos futuros.

A outra classificação utilizada foi a do método dos íons dominantes, com a qual obteve-se como resultado: 15 amostras de solos classificados como cloretado cálcico e 12 como cloretado sódico. Estas classificações indicam o cloreto como o principal ânion verificado em todas as amostras e os cátions, em ordem, o cálcio em 56% das amostras e o sódio em 44%. Embora estas classificações estejam dentro do esperado para a região semi-árida é importante investigar, em estudos posteriores, a origem destes íons na área de estudo.

Tabela 15. Classificação dos solos analisados quanto à salinidade e sodicidade.

Amostras	Perfil	Camada	Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	CE _e (dS.m ⁻¹)	PST (%)	RAS (mE.L ⁻¹)	Classificação USSL		Classificação pelos Íons solúveis dominantes
								Trocáveis	Solúveis	
Tp1	Pr1	Cm1	00-10	6,5	0,6	0,76	0,21	Normal	C1S1	Cloretado cálcico
	Pr2	Cm1	00-30	6,8	0,71	0,61	0,72	Normal	C1S1	Cloretado cálcico
	Pr3	Cm1	00-20	7,2	0,72	0,82	0,56	Normal	C1S1	Cloretado cálcico
		Cm2	20-60	6,5	0,73	3,1	0,52	Normal	C2S1	Cloretado cálcico
	Pr4	Cm1	00-50	7,2	0,79	0,62	3,02	Normal	C1S1	Cloretado sódico
		Cm2	50-100	9,2	1,01	1,83	2,46	Normal	C1S1	Cloretado sódico
Tp2	Pr1	Cm1	00-08	7	0,863	0,68	2,83	Normal	C3-S1	Cloretado cálcico
		Cm2	08-22	7,7	0,616	1,05	6,88	Normal	C2-S2	Cloretado sódico
	Pr2	Cm1	00-10	7,2	0,616	4,46	4,14	Normal	C2-S1	Cloretado sódico
		Cm2	10-40	7,3	0,603	7,38	3,26	Normal	C2-S1	Cloretado sódico
	Pr3	Cm1	00-30	7,3	0,577	2,26	1,04	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
		Cm2	30-62	7,5	0,707	4,65	2,25	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
Tp3	Pr1	Cm1	00-20	7,6	0,603	3,05	1,28	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
		Cm2	20-60	7,6	0,746	7,23	1,87	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
	Pr2	Cm1	00-80	7,5	0,798	11,59	2,61	Normal	C3-S1	Cloretado cálcico
	Pr3	Cm1	00-20	7,5	0,72	8,12	3,26	Normal	C2-S1	Cloretado sódico
		Cm2	20-30	7,6	0,694	19,37	4,47	Sódico	C2-S1	Cloretado sódico
	Pr4	Cm1	00-20	6,9	0,733	1,58	0,86	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
Cm2		20-60	6,8	0,733	4,59	2,58	Normal	C2-S1	Cloretado sódico	
Tp4	Pr1	Cm1	00-12	7,3	0,733	0,66	0,78	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
		Cm2	12-25	7,3	0,59	1,03	1,28	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
	Pr2	Cm1	00-15	7,3	0,577	0,52	0,79	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
		Cm2	15-25	7,3	0,577	0,81	6,7	Normal	C2-S2	Cloretado sódico
	Pr3	Cm1	00-20	7,1	0,85	4,9	3,65	Normal	C3-S1	Cloretado sódico
		Cm2	20-60	6,8	4,815	14,06	7,58	Salino	C4-S3	Cloretado sódico
A. Flori	-	Cm1	00-20	7,1	0,720	11,75	0,82	Normal	C2-S1	Cloretado cálcico
A. Nenenzinho	-	Cm1	00-20	6,6	11,978	11,42	10,91	Salino	C5-S4	Cloretado sódico

Tp-Topossequência; Pr – Perfil; Cm – Camada; CE_e – condutividade elétrica do extrato de saturação a 25°C ;PST – percentagem de sódio trocável; RAS – razão de adsorção de sódio.

4.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ACUMULAÇÃO DE SAIS NOS AÇUDES FLORI E NENENZINHO

Como visto nas seções anteriores, as maiores concentrações de sais solúveis ocorrem nas camadas subsuperficiais, nos segmentos de sopé e nas partes baixas da área de drenagem, os solos tendem a apresentar maior salinidade que sodicidade e os íons solúveis mais abundantes são o cloreto, o cálcio e o sódio.

Estas afirmações puderam ser confirmadas pelos resultados obtidos com a análise da qualidade das águas dos açudes Flori e Nenezinho apresentadas nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Concentração de sais solúveis nas águas dos açudes Flori e Nenezinho

Açude	Data de Coleta das Amostras	Sais Solúveis (mE.L ⁻¹)							
		Cátions					ânions		
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Total	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Total
Flori	30/09/2004	0,80	0,40	0,10	0,10	14,93	0,20	1,20	16,93
Nenezinho	30/09/2004	36,40	28,40	0,00	12,30	77,10	23,40	52,40	75,80

Tabela 17. Classificação da qualidade das águas dos açudes Flori e Nenezinho

Açude	pH (H ₂ O)	CE (µS.cm ⁻¹)	RAS (mEL ⁻¹)	Classificação USLL	Classificação pelos Íons solúveis dominantes
Flori	6,5	120	0,12	C1-S1	Cloretada Cálcica
Nenezinho	7,5	8.300	2,16	C5-S2	Cloretada Cálcica

Notou-se que as águas do açude Flori apresentaram concentrações iônicas compatíveis à água potável (<7,5mE.L⁻¹), no entanto as águas do açude Nenezinho apresentaram concentrações na ordem de 55 vezes maiores. Estas concentrações foram confirmadas pelos valores da condutividade elétrica (CE) apresentados na Tabela 17. De acordo com os valores de pH, notou-se que as águas do açude Flori apresentaram acidez fraca, enquanto as do Nenezinho alcalinidade fraca.

Segundo a classificação do USLL, as águas do açude Flori apresentaram baixa salinidade e baixo conteúdo de sódio, o que é corroborado pelo valor de sua RAS, estas águas podem ser utilizadas indiscriminadamente nas atividades agrícolas. Já as águas do açude Nenezinho foram classificadas como excepcionalmente salina e medianamente sódica, o que restringe a sua utilização nas atividades agrícolas e para o consumo humano e animal.

A diferença obtida na qualidade das águas dos dois açudes estudados apresenta uma similaridade à composição química dos solos, concordando, desta forma, com a característica observada nos solos em proporcionarem maior salinização que sodicidade.

De acordo com o método dos íons dominantes, as águas de ambos os açudes foram classificadas como cloretadas cálcicas. Isto indica que, embora o açude Nenezinho tenha apresentado concentração total de sais maior que a do açude Flori, a composição química das suas águas são similares. Esta composição química das águas dos açudes quando comparada com a composição química da maioria das amostras de solos analisadas evidencia a influência da contribuição do solo no processo de salinização das águas superficiais.

Verifica-se assim, que o açude recebe do solo os sais, havendo aporte no período úmido e aumento de concentração no período de seco. A seguir são apresentados e discutidos alguns fatores que exercem influência na dinâmica dos sais, com o objetivo de entender as diferenças nas concentrações observadas nos açudes Flori e Nenezinho.

4.3.1 Avaliação dos parâmetros geométricos dos açudes

A concentração salina observada no açude Flori é inferior à do açude Nenezinho, conforme pode ser observado na Tabela 16.

Como ambos os açudes estão submetidos às mesmas variáveis meteorológicas e às mesmas taxas de infiltração, dada a homogeneidade físico-climática da área em estudo, decidiu-se avaliar alguns de seus parâmetros geométricos com a finalidade de compreender esta diferença observada.

Alguns parâmetros geométricos influenciam sobre o risco de salinização dos reservatórios superficiais. Estes são definidos por meio da profundidade do açude, sua área de espelho d'água máxima; área da bacia hidrográfica e seu volume máximo armazenável (MOLLE; CADIER, 1992).

Segundo Molle (1994), para o semi-árido a relação entre a profundidade e o volume do açude pode ser dada pelas seguintes expressões:

$$V = \frac{H \times S}{\alpha} \quad (5)$$

$$V = K \times H^\alpha \quad (6)$$

Onde: V – volume armazenado pelo açude;

H – altura do nível de água do açude;

S – área do espelho d'água;

α – coeficiente de forma das curvas das encostas do açude;

K – coeficiente de abertura e representa o caráter mais ou menos “aberto” do açude.

Este autor afirma que normalmente no semi-árido brasileiro os valores de K podem variar de 200 a 10.000, indicando vale encaixado e vale aberto, respectivamente. E os valores de α variam de 2,20 a 3,40 indicando encostas côncavas a encostas convexas. Valores abaixo ou acima dos apresentados indicam anormalidades.

Estes parâmetros foram calculados para os açudes de Flori e Nenenzinho utilizando as expressões (5) e (6), aplicando-se os valores de altura máxima (H) e volume máximo armazenado (V), apresentados na Tabela 8.

Para o açude Flori obteve-se os seguintes valores $K = 4.809$ e $\alpha = 2,40$, indicando que este açude encontra-se em vales abertos e planos e com encostas côncavas. Esta configuração favorece a formação de açude com espelho d'água menor e conseqüentemente efeitos menores de evaporação (MOLLE, 1994).

Para o açude Nenenzinho obteve-se $K = 8.034$ e $\alpha = 2,8$, indicando vale aberto e plano e encosta em "V". Estes valores contribuem para formação de uma maior área de espelho d'água, implicando em maiores efeitos da evaporação (MOLLE, 1994).

Isto pode ser confirmado pela razão entre o volume máximo armazenável e a área de espelho d'água máxima (V_{arm}/S) obtidas em ambos açudes. Conforme os dados apresentados na Tabela 8, o açude Flori possui razão entre o volume e espelho d'água máximos igual a 1,29m, enquanto que no Nenenzinho 1,07m, indicando que o volume armazenado no açude Flori está menos sujeito aos efeitos da evaporação que o armazenado no Nenenzinho.

Outra relação importante é obtida pela razão entre o volume máximo armazenável do açude e o volume escoado em sua respectiva bacia hidrográfica (V_{arm}/V_{esc}). Esta relação indica as possíveis ocorrências de "lavagens" ou "sangrias" no açude; quanto mais freqüente estas sangrias maiores serão as diluições e evacuações de sais (MOLLE; CADIER, 1992)

Para realização desta avaliação tornou-se necessário obter o volume escoado na bacia de contribuição dos açudes. O conhecimento do escoamento das bacias hidrográficas por meio dos métodos tradicionais de monitoramento torna-se difícil face ao período de dados necessários à realização dos estudos. Devido à ausência de dados fluviométricos da área de estudo, decidiu-se utilizar o modelo desenvolvido por Molle e Cadier (1992), por tratar-se de

um método simples que avalia as características hidrológicas a partir de considerações dos aspectos ambientais, tais como: solo, relevo, clima e vegetação.

A precisão dos resultados fornecidos por este método indireto é, certamente, inferior a de um estudo hidrólogo clássico e completo. Entretanto, deve-se levar em consideração a inexistência dos dados necessários à aplicação de estudo hidrológico clássico. Com a continuação do monitoramento das variáveis hidrológicas iniciado pelo projeto da Bacia Experimental do Cedro, espera-se que, no futuro, estes dados estejam disponíveis.

O método proposto por Molle e Cadier (1992) tem por princípio determinar a lâmina escoada padrão ($L_{600 \text{ Padrão}}$) a partir dos Tipos de Solos (TS) ou Unidades de Mapeamento (UMP) que ocorrem na Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD). Tal método foi desenvolvido a partir de resultados obtidos por meio de estudos realizados em 30 bacias hidrográficas representativas da região semi-árida, distribuídas em vários estados do nordeste brasileiro.

O coeficiente $L_{600 \text{ Padrão}}$ corresponde a uma lâmina fictícia que escoaria, sobre uma superfície ocupada por um tipo de solo ou por uma unidade de mapeamento, que recebesse uma precipitação média anual de 600mm, na zona climática do sertão. Este coeficiente padrão deve ser ajustado ($L_{600 \text{ Corrigida}}$) conforme as condições de outros aspectos ambientais: cobertura vegetal (CV), açudes existentes na bacia (CA) e zonas de retenção (CL). De posse do valor da $L_{600 \text{ Corrigida}}$, é necessário calcular a lâmina efetiva escoada ($L_{(P)}$) considerando a precipitação média anual ocorrida ($P = 518\text{mm}$ – Tabela 2) e o coeficiente climático (C) da área, para depois obter o volume médio anual escoado (V_{esc}).

A seguir, são apresentados na Tabela 18 as equações, os valores dos coeficientes e os resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto por Molle e Cadier (1992) nas áreas de drenagem dos açudes Flori ($S = 6,30\text{km}^2$ – Tabela 8) e Nenenzinho ($S = 10,69 \text{ km}^2$ – Tabela 8).

Tabela 18. Equações, coeficientes e resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto por Molle; Cadier (1992) nas áreas de drenagem dos açudes Flori e Nenenzinho.

Coeficiente e Equação Utilizados no Modelo		Flori	Nenenzinho
L₆₀₀ Padrão	(mm)	25,93	25,93
CV		1	1
CA		1	1
CL		1	1
L₆₀₀ Corrigida = L₆₀₀ Padrão x CV x CA x CV	(mm)	25,93	25,93
L_(P) = L₆₀₀ Corrigida x C x e^{0,0033(P-600)}	(mm)	19,78	19,78
V_{esc} = L_(P) x S x 1000	(m ³)	124.614,00	211.448,00

L600 Padrão - corresponde a uma lâmina fictícia que escoaria, sobre uma superfície ocupada por um tipo de solo ou por uma unidade de mapeamento, que recebesse uma precipitação média anual de 600mm, na zona climática do sertão; CV – cobertura vegetal; CA – existência de açude a montante; CL – zonas de retenção.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que o açude Flori tem um aporte anual, em média, de 124.614,00m³, considerando que a sua capacidade máxima de armazenamento é de 73.992,60m³, conclui-se que há, em média, anualmente uma “sangria” de aproximadamente 50.621m³, provocando renovação das águas armazenadas e reduzindo a concentração de sais. Os quais são transportados para área a jusante, na qual encontra-se o açude Nenenzinho.

Para a área de drenagem total do açude Nenenzinho obteve-se um volume médio escoado anualmente de 211.448m³. Entretanto, este valor não corresponde à realidade, pois deve-se subtrair dele o volume referente ao armazenamento máximo do açude Flori, por este estar a sua montante, resultando em um volume de aporte médio anual efetivo de aproximadamente 137.455m³. Considerando que a capacidade máxima de armazenamento deste açude é da ordem de 173.681m³ (Tabela 8), verifica-se então, que não há possibilidade de “sangria” em anos com precipitação dentro da média, não havendo renovação de águas nem retirada da massa salina.

Desta forma, as relações entre os volumes armazenado e escoado (V_{arm}/V_{esc}) dos açudes Flori e Nenenzinho são, respectivamente 0,59 e 1,26. De posse destes valores e das alturas dos açudes (Tabela 8), foi possível, por meio da Figura 18, estimar a frequência de sangria que ocorrem nos referidos açudes.

A frequência verificada no açude Flori foi da ordem de 6 sangrias a cada 10 anos e no açude Nenenzinho de aproximadamente 3 sangrias a cada 10 anos.

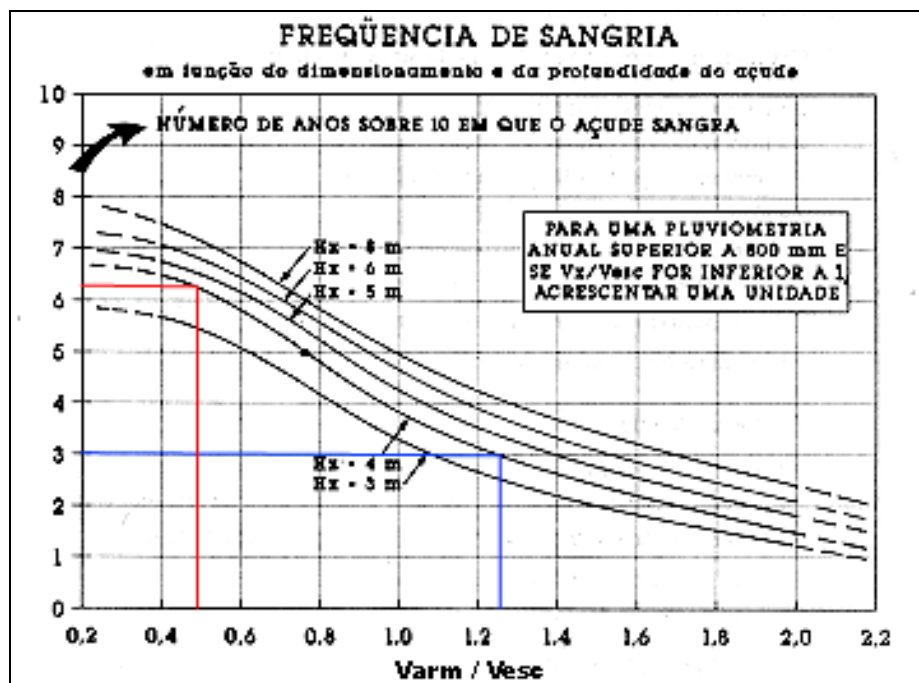


Figura 18. Diagrama da frequência de sangria do açude em função de sua altura e da razão obtida entre os volumes armazenado e escoado (MOLLE; CADIER, 1992).

De acordo com as avaliações realizadas nesta seção, observa-se que o açude Nenenzinho, comparado ao açude Flori, apresenta maior perda de água por evaporação, evidenciada pela proporção da sua área de espelho d'água em relação ao seu volume e pela forma "V" de suas encostas. Este açude mais é susceptível aos efeitos da evaporação, ou seja, perda de água sem correspondente perda de sais, contribuindo para o aumento gradativo da concentração de sais ao longo do período mais seco do ano.

Outro fator relevante é que o mesmo açude apresenta uma estimativa de frequência de sangria menor, indicando uma menor renovação de águas e, conseqüentemente, uma menor retirada de massa de sais provocada pela sangria.

Estes fatores associados justificam as diferenças observadas entre as concentrações de sais do açude Flori e Nenenzinho, conforme pôde ser verificado nas tabelas 16 e 17.

4.3.2 Acompanhamento da evolução salina no açude Nenenzinho

Ao comparar o valor da CE ($8.300 \mu\text{mho.cm}^{-1}$) obtido no açude Nenenzinho em 02/10/2004 (Tabela 16), com os valores obtidos nas campanhas realizadas anteriormente e apresentadas na seção 3.7.1 ($32.300 \mu\text{mho.cm}^{-1}$ em 10/07/2003; $35.400 \mu\text{mho.cm}^{-1}$ em 23/08/2003 e $55.000 \mu\text{mho.cm}^{-1}$ em 07/10/2003), percebe-se que, mesmo levando-se em consideração a aplicação de métodos distintos de determinação da CE, há uma diferença considerável entre os valores.

Estes valores indicam uma maior concentração salina, fruto da redução do volume de água armazenado no açude Nenenzinho, conforme pode ser observado no cotograma diário do período de 01/07/2003 a 30/09/2004 apresentado na Figura 19.

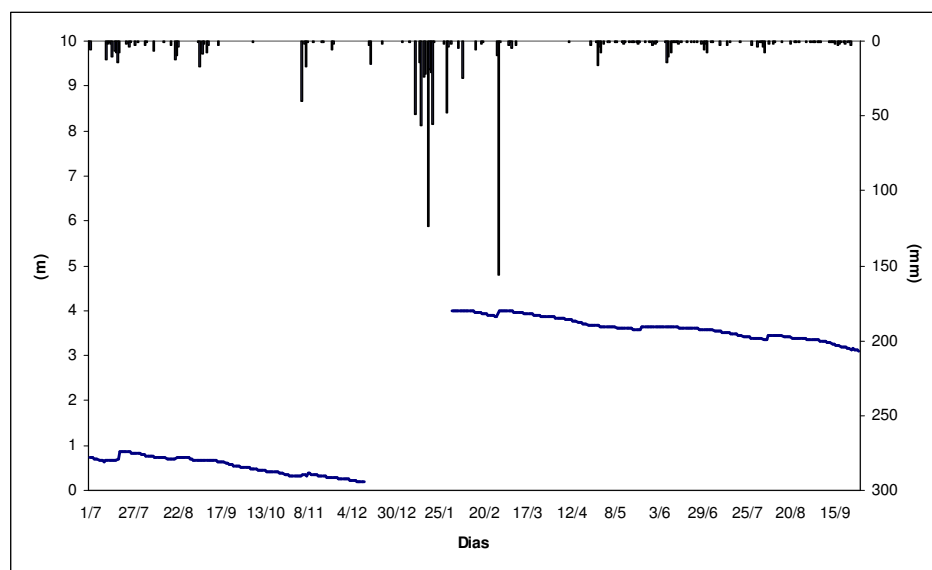


Figura 19. Cotograma diário do açude Nenenzinho e pluviograma médio diário da Bacia Experimental do Riacho do Cedro (01/07/2003 a 30/09/2004)

A falha observada no cotograma entre os dias 12/12/2003 e 31/01/2004, deveu-se à impossibilidade de realizar a leitura da régua. Isto ocorreu no início do período devido o nível

do açude estar abaixo do alcance do primeiro lance de régua e, depois, pelo nível estar acima do último lance de régua, devido à ocorrência de uma “sangria”.

Esta sangria foi provocada pelas intensas chuvas ocorridas em janeiro de 2004, registradas pelas quatro estações pluviométricas automáticas que foram instaladas pelo projeto da Bacia Experimental Riacho do Cedro.

Na Figura 19 também é apresentado o pluviograma obtido da média diária dos registros efetuados pelas estações CooperSertão, Fazenda Nenezinho, Fazenda Maria da Paz e Fazenda Geraldo.

Com a observação do gráfico pode-se afirmar que houve em janeiro de 2004 uma redução da massa de sais presentes no açude provocada por uma sangria. Sendo assim, o valor da salinidade obtido com a análise química das águas coletadas no dia 02/10/2004, embora elevado, não representou a situação mais crítica que provavelmente ocorreu em dezembro de 2003, considerando o período analisado.

Os valores das concentrações salinas apresentadas pelos sedimentos de fundo do açude Nenezinho indicam que este tem capacidade para salinizar um volume de água bem maior ao apresentado no dia 02/10/2004, haja vista que os sais podem ser dissolvidos novamente, salvo uma parte que fica retida nas argilas e nos sedimentos. Desta forma, a retirada de uma camada de alguns centímetros deste solo no período que o açude estiver seco ou com pouca água é salutar para melhoria da qualidade das águas armazenadas futuras.

5. CONCLUSÕES

A salinização das águas armazenadas superficialmente tem relação direta com a natureza física e química dos solos presentes na área de drenagem, sendo a acumulação de sais provocada por fatores climáticos, os quais têm seus efeitos intensificados devido às características físicas do açude.

O estudo dos solos realizado por meio de toposseqüências demonstrou-se válida por permitir uma compreensão da dinâmica dos sais em três dimensões: profundidade, ao considerar as camadas superficial e subsuperficial; seções transversais, ao considerar os segmentos de topo, meia encosta e sopé e eixo longitudinal da área de drenagem do açude Nenenzinho ao considerar as toposseqüências.

Os perfis dos solos analisados apresentaram-se de rasos (≤ 50 cm) a pouco profundos ($> 50 \leq 100$ cm). As profundidades aumentaram conforme o segmento da toposseqüência, verificando-se no topo profundidade média de 29,75cm, na meia encosta de 44,20cm e no sopé de 70,50cm. A classificação pedológica dos solos também alterou-se conforme os segmentos das toposseqüências analisadas, apresentando-se, de modo geral, nos segmentos de topo e meia encosta unidades dos NEOSSOLOS LITÓLICOS e no sopé a unidade dos PLANOSSOLOS HÁPLICOS, comuns no terço inferior de encostas pouco íngremes.

As exceções ocorreram na toposseqüência (Tp3) que apresentou solos com classificações distintas às descritas acima, devido, principalmente, aos teores de sódio observados. Destes, o mais incomum ocorreu no segmento de meia encosta que apresentou unidade dos VERTISSOLOS HIDROMÓRFICOS Órticos solódicos, provavelmente em função do relevo interno apresentar forma côncava.

Com as análises das propriedades físicas realizadas nas amostras de solo verificou-se que na área de drenagem do açude Nenezinho há predisposição do solo em favorecer os escoamentos superficial e lateral de modo mais intenso nas áreas mais elevadas das vertentes, devido à presença de solos rasos, pouco permeáveis e com baixa capacidade de retenção. Estas características diminuem no segmento de sopé onde os solos apresentam-se com profundidade variando de pouca a mediana e maior capacidade de retenção de água. A determinação dos parâmetros físico-hídricos do solo permitiria quantificar mais precisamente esta tendência apresentada pelo solo.

Quanto aos elementos químicos, percebeu-se que o cálcio foi o íon trocável que apresentou maior abundância em todas as toposseqüências estudadas, provavelmente devido à sua origem litólica. Dentre os sais solúveis, o cloreto foi o íon mais abundante. Considerando apenas os cátions, o sódio e o cálcio apresentaram as maiores concentrações médias, em parte devido ao caráter conservativo, principalmente dos dois primeiros elementos.

Quanto à dinâmica dos sais, pôde-se perceber que estes tendem a acumular-se, principalmente, nas camadas mais profundas influenciados pela proximidade da rocha e pelas propriedades físicas do solo que nestas camadas apresentam, em média, maior capacidade de retenção e menor porosidade que nas camadas superficiais.

Ao considerar os segmentos geomórficos, observou-se que os menores teores e concentrações de íons ocorreram na meia encosta, provocado pela remoção destes devido à atuação de agentes externos facilitada pelas condições topográficas e pedológicas apresentadas por este segmento.

Com relação à área de drenagem, quando comparadas as médias obtidas nas toposseqüências, observou-se que há um aumento de concentrações de sais no sentido montante-jusante, principalmente com relação aos sais solúveis. Isto ocorre devido à associação dos transportes laterais e superficiais que transferem os sais das partes altas para as baixas das vertentes que,

por sua vez, transferem para parte mais baixa da área de drenagem, por ação dos agentes externos e condições topográficas.

No entanto, as camadas subsuperficiais de todos os perfis apresentaram maior concentração de sais que as superficiais, indicando que os primeiros escoamentos superficiais que chegam ao açude no momento das cheias tendem a apresentar menor concentração de sais. Ao contrário, os escoamentos que chegam posteriormente, depois das cheias incorporarem águas infiltradas em camadas mais profundas, tendem a apresentar pior qualidade de suas águas.

A presença dos íons trocáveis e solúveis e a dinâmica destes na área de estudo proporcionaram solos de composições químicas distintas, sendo possível classificá-los de modo diverso.

Segundo o método de classificação do USSL-Trocáveis, 24 amostras de solo foram classificadas como normais, ou seja, solos não afetados por sais uma amostra classificada como sódica e duas como salinas.

Quanto aos resultados obtidos com a classificação da USSL-Solúveis, observou-se que 81% das amostras apresentaram de baixo a médio risco de salinidade (C1 ou C2) e que 85% apresentaram baixo risco de sodicidade (S1). Isto indica que a área como um todo contribui mais efetivamente para a salinização das águas que para a sua sodificação, sendo este um aspecto positivo, devido aos maiores malefícios causados pela presença excessiva de sódio no solo e na água e a maior dificuldade em recuperá-los. A principal exceção quanto ao risco de sodicidade foi encontrada em uma amostra coletada na parte mais baixa da área de drenagem, sendo classificada como forte risco de sodicidade (S3). Como esta é a parte da bacia mantém contato mais prolongado com as águas superficiais, pode indicar uma possível tendência de maior concentração de sódio em tempos futuros.

A outra classificação utilizada foi a do método dos íons dominantes com a qual obteve-se como resultado 15 amostras de solos classificados como cloretado cálcico e 12 como cloretado sódico. Estas classificações indicam o cloreto como o principal ânion verificado em todas as amostras e os cátions, em ordem, o cálcio em 56% das amostras e o sódio em 44%. Embora estas classificações estejam dentro do esperado para a região semi-árida é importante investigar a origem destes íons na área de estudo.

A amostra de sedimento de fundo do açude Nenenzinho foi a que apresentou as maiores concentrações salinas, sendo classificada de salina para o USLL-Trocável, excepcionalmente alto risco de salinidade e muito forte risco de sodicidade (C5S4) na USLL-Solúvel e cloretado sódico. Estes resultados quando comparados aos obtidos no sedimento de fundo do açude Flori (Normal, C2S1 e Cloretado cálcico), confirmam a tendência de acumulação de sais na parte mais baixa da área de estudo.

Esta tendência de acumulação de sais apresentada pela área de drenagem é responsável pelo maior aporte de sais que o açude Nenenzinho está sujeito em relação ao Flori. Além desta diferença de aporte, há outros fatores que reforçam as concentrações de sais apresentadas pelas águas do açude Nenenzinho em relação ao Flori, conforme é demonstrado a seguir.

Segundo a classificação do USLL, as águas do açude Flori apresentaram baixa salinidade e baixo conteúdo de sódio (C1S1) e concentrações iônicas compatíveis à água potável ($<7,5\text{mE.L}^{-1}$), podendo ser utilizadas indiscriminadamente nas atividades agrícolas e no consumo humano.

Já as águas do açude Nenenzinho foram classificadas como excepcionalmente salina e medianamente sódica (C5S2), com concentrações iônicas na ordem de 55 vezes maiores que as do açude Flori, o que restringe a sua utilização nas atividades agrícolas e no consumo humano e animal, confirmando a tendência observada nos solos em privilegiar a salinização em relação à sodicidade.

Esta composição química das águas dos açudes quando comparada com a composição química dos solos da maioria das amostras analisadas, evidencia, por si só, a influência do solo no processo de salinização das águas superficiais. No entanto, a diferença observada entre as concentrações apresentadas pelos açudes não são fruto apenas do maior aporte de sais a que está submetido o açude Nenezinho.

Como ambos os açudes estão submetidos às mesmas variáveis meteorológicas e às mesmas taxas de infiltração, dada a homogeneidade físico-climática da área em estudo, decidiu-se avaliar alguns de seus parâmetros geométricos com a finalidade de justificar a diferença de concentração de sais observada.

De acordo com as avaliações realizadas, observa-se que o açude Nenezinho, comparado ao açude Flori, apresenta maior perda de água por evaporação, evidenciada pela proporção da sua área de espelho d'água em relação ao seu volume e pela forma "V" de suas encostas, tornando este açude mais susceptível aos efeitos da evaporação, ou seja, perda de água sem correspondente perda de sais, contribuindo para o aumento gradativo da concentração de sais ao longo do período mais seco do ano.

Outro fator relevante é que o mesmo açude apresenta uma estimativa de frequência de sangria menor, indicando uma menor renovação das águas e, conseqüentemente, uma menor retirada de massa de sais provocada pela sangria. Estes fatores associados justificam a diferença observada entre as concentrações de sais do açude Flori e Nenezinho.

Embora o valor da salinidade apresentado pelo açude Nenezinho seja elevado, pelo acompanhamento do nível d'água observado neste açude entre os dias 01/07/2003 e 30/09/2004, conclui-se que esta concentração pode ser ainda maior.

Este estudo apresenta algumas limitações definidas pela própria natureza e abrangência da pesquisa, dentre as quais se destacam a falta de profundidade no estudo do desenvolvimento

pedogenético provocado pela avaliação do perfil do solo sem determinar os horizontes conforme recomendado pela pedologia; ausência de análise mineralógica impossibilitando a investigação da origem litólica dos elementos químicos presentes no solo e a falta de determinação dos parâmetros físico-hídricos (condutividade hidráulica, curva de retenção, entre outros) que reduziu a compreensão da dinâmica da água e dos sais no solo, os quais poderão ser realizados em pesquisas futuras.

Para tanto, recomenda-se monitorizar as variáveis do balanço hídrico juntamente à qualidade das águas do açude Nenenzinho ao longo de, pelo menos, um ano hidrológico completo, com o objetivo de avaliar a tendência de concentração dos íons.

No período seco, recomenda-se a retirada de uma camada de sedimentos de fundo do açude Nenenzinho, objetivando reduzir a acumulação de sais verificada neste e estimular o uso desta água de melhor qualidade para amenizar possíveis acumulações futuras, adicionalmente, deve-se avaliar o potencial hidrológico da área para definir critérios de dimensionamento e localização para construção de açudes em região semi-árida.

Quanto aos solos, recomenda-se investigar as origens dos íons solúveis mais abundantes (o cloreto, o sódio e o cálcio) por meio de análises mineralógicas e monitoramento dos aerossóis marinhos que possivelmente depositam-se na área de drenagem. Além disso, avaliar de modo mais preciso a dinâmica da água e conseqüentemente dos elementos químicos do solo por meio da determinação de seus parâmetros físico-hídricos, relação com a vegetação e evaporação.

REFERÊNCIAS

- ABROL, I. P.; YADAV, J. S. P; MASSOUD F. I. **Soil resources, management and conservation service FAO Land and Water**. FAO Soils Bulletin 39. Rome, 1988.
- ALBERTA, Environment. **Salt Contamination Assessment and Remediation Guidelines**. Alberta, 2001.
- ARAÚJO, H.A. **Padrões de ecos de radar meteorológico no semi-árido brasileiro e condições atmosféricas associadas**. Dissertação de Mestrado. UFPB, Campina Grande, 1996.
- BAHIA, Superintendência de Recursos Hídricos. **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Médio e Baixo Paraguaçu**. Salvador, 1996.
- BARROS, F.F. **Estudo da qualidade da água e balanço de sais em reservatórios superficiais na bacia do rio Curu**. Dissertação de Mestrado, UFCE, Fortaleza, 1994.
- BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agrônômica**. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, SBCS. p. 431-446. Campinas, 1988.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 20**, de 18 de junho de 1986.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 238**, de 22 de dezembro de 1997.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Boletim de Normais Climatológicas (1961 – 1990)**. SNI/DNM: Brasília, 1992.
- CARVALHO, I.G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Salvador: Bureau Gráfica Editora Ltda, 1995.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1997.
- COSTA, R.G.;GHEYI, H.R. **Variação da qualidade de água de irrigação da microrregião de Catolé do Rocha, PB**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 19,n.8,p.1021-1025, 1984.
- CRUCIANI, D. E. **Prevenção de solos à salinização**. Disponível em: www.irrigarte.hpg.ig.com.br/Salinidade.htm. Acesso em: 10/01/2004.
- DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. 5. ed. Mossoró: Coleção Mossoroense, Vol. CXLII, 1980.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Gráfica Editora Moderna Ltda, 1979.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção de Informação, Brasília, 1999.

FEITOSA, A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FRIEDMAN, I. **Deuterium content of natural waters and other substances**. Geochim.Cosmochim.Acta, p.89-103, 1969.

GÓIS, D. V. **Dinâmica das propriedades pedológicas em uma toposequência de solos no semi-árido baiano, município de Valente**. Dissertação de Mestrado. Salvador: UFBA, 1998.

GOMES, M. E.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. F. **Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimentos de arroz sob diferentes tratamentos**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.355-361. Campina Grande: Paraíba, 2000.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2. ed., São Paulo, Nobel, 1988.

KOVDA, D. A. **Irrigation, drainage and salinity: an international sourcebook**. Paris: FAO/UNESCO, 1973.

LARAQUE, A.. **Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE, 1989. (Série Hidrologia/26).

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LEPRUN, J. C. **Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do nordeste brasileiro**. Recife: SUDENE, 1988.

LIMA, L. A. **Efeitos de sais no solo e na planta**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola- Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997.

LLAMAS, J. **Hidrologia general: principios y aplicaciones**. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 1993

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. U.S.Agency for International Development: Recife, 1965.

LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo. ANDA, 1989.

MATSUI, E. **Origem e dinâmica de salinização da água do nordeste brasileiro – Bacia do rio Pajeú/PE**. Tese de Doutorado. USP: Piracicaba/SP, 1978.

MEDEIROS, Y. D.P.; FONTES, A.S. **I Relatório de Andamento. Bacia Experimental Rio do Cedro**. Projeto Integrado de Bacias do Semi-Árido (IBESA). Salvador: UFBA, 2003.

MELO, R.C.; LOUREIRO, H. S. ; PEREIRA, L.H.M. **Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil, Serrinha**. Folha SC. 24-Y-D. Estado da Bahia. CPRM. Brasília, 1995.

MOLINIER, M.; ALBUQUERQUE, C.H.C.; CADIER, E. **Análise da pluviometria e isoietas homogêneas do nordeste brasileiro**. Recife: SUDENE-DRN. Série Hidrologia/32, 1994.

MOLINIER, M; AUDRY, P; DESCONNETS, J.C.; LEPRUN, J.C.- **Dinâmica da água e das matérias num ecossistema representativo do nordeste brasileiro**: Condições de extrapolação espacial à escala regional. Recife:SUDENE/ORSTOM, 1989.

MOLLE, F. CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife:SUDENE-DPG-PRN-DPP-APR, 1992.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE. Série Hidrologia/30, 1994.

MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

MONIZ, A. C.; NASCIMENTO, A. C.; PIVA NETO, J. E. **Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo**. São Paulo. In: Revista Brasileira de Geociências, 1993.

MUNN, R. **The impact of salinity stress**. CSIRO-Division of Plant Industry, Canberra ACT, Austrália, 2004.

OLIVEIRA, M. **Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais**. In: Manejo e controle da salinidade da agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R. e SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEREIRA, J. R.; VALDIVIEZO, C. R.; CORDEIRO, G. G. **Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso**. In: Seminário sobre o uso de fosfógeno na agricultura, Brasília, 1985.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 3.ed. Piracicaba, 2003.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, Salesward-discovery, 1996.

QUEIROZ, G. H. **Salinização em açudes no município de Tauá-CE**. Dissertação de Mestrado. UFCE: Fortaleza, 2000.

REGO, M.J.M. do. **Pedogênese em clima semi-árido**: estudo de uma topossequência no município de Valente – Bahia, Brasil. In: O sisal baiano: entre natureza e sociedade, 2000.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory Staff. USDA Handbook, n° 60, 1954.

SANTIAGO, M. M. F. **Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará.** Tese de Doutorado. USP: São Paulo, 1984.

SANTOS, J.P; AZEVEDO, S.G. de; MISTRETA, G.M. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte.** São Paulo: IPT, Comunicado Técnico, 1984.

SILVA JR. L.G.A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. **Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro.** In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol 3, n. 1, p. 11-17. UFPB: Campina Grande, 1999.

SILVA, F.C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** EMBRAPA: Brasília, 1999.

SUASSUNA, J. **A pequena e média açudagem no semi-árido nordestino: uso da água na produção de alimentos.** Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html> > Acesso em 10 ago. 2003 .

SUASSUNA, J. **O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no nordeste brasileiro,** In Seminário Brasileiro “Impactos Ambientais Associados a Utilização de Águas Dessalinizadas no Semi-árido”/Ministério do Meio Ambiente – Fortaleza, 1996.

SUASSUNA, J.; AUDRY, P. **Estudo da salinidade das águas de irrigação das propriedades do GAT e sua evolução sazonal (1988-1989),** CNPq. Recife, 1992.

SZABOLCS, I. **Salt-affected soil.** Flórida: Library of congress, 1989.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997.

TUCCI, E.M. e BELTRAME, L.F.S. **Evaporação e evapotranspiração In Hidrologia: ciência e aplicação.** Organizado por E.M.Tucci. 2 ed. Porto Alegre/RS: Ed. da Universidade-UFRGS: ABRH, 2000.

VIANELO, R.L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, UFV, impr. UNIV., 1991.

WERLANG. L. M.; GUERRA, H. O. C.; LEÃO, A. P. **Caracterização hídrica de uma topossequência do semi-árido da Paraíba.** VI Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste. Maceió, 2002.