

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Ronaldo Facco

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA
CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES NA FORMAÇÃO SANTA MARIA
(MEMBRO ALEMOA) NO BAIRRO CAMOBI E DISTRITO DE PAINS,
SANTA MARIA, RS**

Santa Maria, RS
2017

Ronaldo Facco

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA
CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES NA FORMAÇÃO SANTA MARIA (MEMBRO
ALEMOA) NO BAIRRO CAMOBI E DISTRITO DE PAINS, SANTA MARIA, RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo), Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Kumpfer Werlang

Santa Maria, RS
2017

Facco, Ronaldo
INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA
CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES NA FORMAÇÃO SANTA MARIA
(MEMBRO ALEMOA) NO BAIRRO CAMOBI E DISTRITO DE PAINS,
SANTA MARIA, RS / Ronaldo Facco.- 2017.
86 p.; 30 cm

Orientador: Mauro Kumpfer Werlang
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2017

1. Geomorfologia 2. Pedologia 3. Vertente 4.
Parâmetros físico-hídricos do solo 5. Conformação do perfil
de topossequência de vertentes I. Kumpfer Werlang, Mauro
II. Título.

Ronaldo Facco

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA
CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES NA FORMAÇÃO SANTA MARIA (MEMBRO
ALEMOA) NO BAIRRO CAMOBI E DISTRITO DE PAINS, SANTA MARIA, RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo), Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

Aprovado em 13 de janeiro de 2017

Mauro Kumpfer Werlang, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Andréa Valli Nummer, Dra. (UFSM)
(Membro Examinador)

Elsbeth Léia Spode Becker, Dra. (UNIFRA)
(Membro Examinador)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de crescimento pessoal, profissional e acadêmico, permitindo meu estudo em um dos melhores centros de excelência de ensino superior público deste país.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela educação acadêmica que foi transmitida a mim.

Ao Prof. Dr. Mauro Kumpfer Werlang, pela confiança e dedicação nesses dois anos de orientação e amizade.

Ao Rômulo Augusto Aragonês Aita, do Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências, pela ajuda e amizade ao longo da Pós-Graduação.

Ao meu pai Romeu Facco, que infelizmente faleceu durante minha graduação, sempre esteve me apoiando, à minha mãe Geni Martins Facco, que me apoiou e me apoia na minha vida até os dias atuais.

Ao meu irmão, à minha namorada e aos meus amigos que sempre estiveram me apoiando, agradeço a todos por estarem ao meu lado nessa etapa da minha vida.

A percepção do concreto que melhor se associa àquilo que tem massa e forma própria, não se aplica especificamente ao relevo. O relevo é algo concreto quanto às formas, mas abstrato enquanto matéria.

(Jurandyr Ross)

RESUMO

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES NA FORMAÇÃO SANTA MARIA (MEMBRO ALEMOA) NO BAIRRO CAMOBI E DISTRITO DE PAINS, SANTA MARIA, RS

AUTOR: Ronaldo Facco

ORIENTADOR: Mauro Kumpfer Werlang

As vertentes juntamente com os interflúvios e os talwegues constituem os componentes fundamentais das unidades de relevo. A importância de se estudar a influência do solo na conformação das vertentes é defendida por Boulet, (1988 e 1992), o qual interpreta que a evolução do relevo se dá a partir das transformações (autodesenvolvimento) dos próprios solos, onde os fluxos hídricos desempenham papel fundamental. A problemática da presente pesquisa está assentada na observação da ocorrência de uma relativa padronização na forma do perfil das vertentes situadas na Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na Depressão Periférica Sul-rio-grandense, município de Santa Maria, no bairro Camobi e distrito de Pains. O objetivo da pesquisa é compreender a influência que os parâmetros físico-hídricos do solo (cobertura pedológica) exercem na conformação das vertentes da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na Depressão Periférica Sul-rio-grandense, no município de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul. Para realização da pesquisa, adotou-se o método hipotético-dedutivo, segundo (Lakatos, Marconi, 2001). De acordo com os objetivos do trabalho, adotou-se também como base teórico-metodológica a proposta de Boulet (1978), que trata da análise estrutural da cobertura pedológica. Conclui-se que as propriedades físico-hídricas do solo influenciam na conformação do perfil convexo-côncavo das vertentes pesquisadas

Palavras-chave: Vertente. Cobertura Pedológica. Propriedades Físico-hídricas.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SOIL PHYSICAL HIDRIC PARAMETERS IN THE HILLSLOPE CONFORMATION IN SANTA MARIA FORMATION (ALEMOA MEMBER) IN CAMOBI AND IN PAINS DISTRICT, SANTA MARIA, RS

AUTHOR: Ronaldo Facco
ADVISOR: Mauro Kumpfer Werlang

The hillslopes, interfluves, thalwegs are part of the fundamental components of the relief units. The importance of studying the influence of soil in the hillslope conformation is supported by Boulet, (1988 and 1992), when he understands that the relief evolution happens through the transformations (self development) of the soils where the hidric flows have a fundamental role. The issue studied in this research is based in the observation of the occurrence of some relative padronization in the profile shapes of the hillslopes located on Santa Maria Formation (Alemoa Member), in the Peripheral Sul-rio-grandense Depression, Santa Maria city, in Camobi neighborhood and also in Pains district. This research is aimed to comprehend the influence of the physical hidric parameters of the soil (pedological cover) in the hillslopes comformation of Santa Maria Formation (Alemoa Member), in the Peripheral Sul-rio-grandense Depression, in Santa Maria city, in the central area of Rio Grande do Sul state. In order to carry out this survey, the hypothetical-deductive method was adopted, according to (Lakatos, Marconi, 2001). It was also adopted as a theoretical methodological basis, the Boulet (1978) theory, which considers the structural analysis of the pedological cover. It is concluded that the physical hidric properties of the soil influences the conformation of the convex-concave profile of the studied hillslopes.

Keywords: hillslope, pedological cover, physical and hidric properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico.....	23
Figura 2 – Esquema ilustrativo de sistema de processo-resposta.	23
Figura 3 – Localização das cinco vertentes selecionadas na Formação Santa Maria (Membro Alemoa), no bairro Camobi e distrito de Pains, Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul.	42
Figura 4 – Sistema processo-resposta ilustrando a concepção metodológica abordada no estudo.	45
Figura 5 – Aspecto da área da vertente 1, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	51
Figura 6 – Vertente 1: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.	52
Figura 7 – Topossequência da vertente 1, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	55
Figura 8 – Aspecto da área da vertente modal 2, selecionada como representativa das vertente situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	56
Figura 9 – Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil do solo.	57
Figura 10 – Topossequência da vertente 2, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	60
Figura 11 – Aspecto da área da vertente 3, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	61
Figura 12 – Vertente 3: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.	62
Figura 13 Aspecto do processo de exfiltração, que ocorre no terço médio inferior da vertente modal 3, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, Santa Maria, RS.	65
Figura 14 – Aspecto da área da vertente modal 4, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	67
Figura 15 – Vertente 4: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.	67
Figura 16 – Topossequência da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	70
Figura 17 – Aspecto da área da vertente modal 5, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	72

Figura 18 – Vertente 5: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.	72
Figura 19 – Topossequência da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	54
Tabela 2 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	54
Tabela 3 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 2, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	59
Tabela 4 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 2 selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	59
Tabela 5 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	64
Tabela 6 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	64
Tabela 7 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	69
Tabela 8 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	70
Tabela 9 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).....	74
Tabela 10 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	53
Quadro 2 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 2, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi , município de Santa Maria, RS.	58
Quadro 3 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	63
Quadro 4 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	68
Quadro 5 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	CONCEITOS DE VERTENTE E SOLO	16
3.2	A VERTENTE COMO SUBSISTEMA	22
3.3	O SOLO COMO CONDICIONADOR DA CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES	25
3.4	O PAPEL DA PEDOGÊNESE E DA MORFOGÊNESE NA EVOLUÇÃO DAS VERTENTES	27
3.5	PROCESSOS PEDOGENÉTICOS	33
3.6	PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO	35
4	METODOLOGIA	42
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
4.2	ORIENTAÇÃO TEÓRICA METODOLÓGICA	44
4.3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS	45
4.3.1	Seleção das vertentes e elaboração das toposequências	46
4.3.2	Descrição dos perfis de solo	47
4.3.3	Ensaio de laboratório	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 1	51
5.2	RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 2	56
5.3	RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 3	61
5.4	RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 4	66
5.5	RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 5	71
5.6	AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS NA CONFORMAÇÃO DO PERFIL DAS VERTENTES SELECIONADAS	76
6	CONCLUSÃO	78
7	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

As vertentes, juntamente com os interflúvios e os talvegues, constituem os componentes fundamentais das unidades de relevo. Nesse sentido, seu estudo é de fundamental importância para a compreensão dos processos envolvidos na evolução do relevo. Corroborando com essa colocação, Tricart (1957) destaca ser a vertente o elemento principal do relevo na maior parte das regiões, evidenciando, portanto, a forma de relevo mais significativa para o homem. Diversas são as áreas interessadas no conhecimento acerca da evolução das vertentes, pois são elas que comandam, pela ação morfogenética, por exemplo, a perenidade dos cursos d'água, a estabilidade de encostas, a perda e o aporte de sedimentos, entre outros mecanismos exógenos, desencadeados a partir dos agentes da dinâmica externa.

Entre outros autores que evidenciam a importância do estudo das vertentes está Cruz (1982), que observa a evolução atual das vertentes como relevante para o entendimento espaço-temporal dos mecanismos morfodinâmicos mais atuais. Ele entende que as vertentes constituem o centro dos estudos geomorfológicos e são fundamentais para a compreensão das paisagens geográficas.

Para melhor compreender a dinâmica evolutiva das vertentes, destacam-se as características da cobertura pedológica. Nesse sentido, a importância de estudar a influência do solo na conformação das vertentes é defendida por Boulet (1988, 1992), que interpreta a evolução do relevo a partir das transformações (autodesenvolvimento) dos próprios solos, onde os fluxos hídricos desempenham papel fundamental. Birkeland (1990) ressalta que o estudo sobre a relação solo/relevo também objetiva a integração da geomorfologia com a estratigrafia e a hidrologia.

As vertentes são esculpidas pela ação da dinâmica externa e modificam-se como resposta aos processos morfoclimáticos aos quais estão submetidas. A forma do perfil das vertentes está relacionada ao substrato litológico e à composição da cobertura pedológica, influenciando as propriedades físico-hídricas do solo onde estão assentadas as vertentes. Em consideração a isso, propõe-se estudá-las assentadas sobre Argissolos com o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

Partindo do pressuposto de que a vertente é um componente fundamental das unidades de relevo, seu estudo se apresenta fundamental para a compreensão do relevo.

A problemática da presente pesquisa está assentada na observação da ocorrência de uma relativa padronização na forma do perfil das vertentes situadas na Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na Depressão Periférica Sul-riograndense, no bairro Camobi e no distrito de Pains do município de Santa Maria. Essa tendência de semelhança na forma do perfil das vertentes tem como característica formas convexas no terço superior e côncavas no terço inferior das vertentes. Pressupõe-se que essa forma do perfil das vertentes está sendo controlada pelos parâmetros físico-hídricos do solo em uma relação de causa e efeito, em que os parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica condicionam a forma do perfil nessas vertentes.

A justificativa para estudar a influência dos parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica na conformação do perfil das vertentes situadas na Formação Santa Maria (Membro Alemoa) está na cobertura pedológica que, como resultado da intemperização do substrato litológico num determinado clima e tempo, adquire propriedades herdadas dos processos de formação, e isso influencia a evolução da forma das vertentes. Nesse sentido, consideram-se os pressupostos de que os parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica influenciam a forma do perfil das vertentes, e de que a conformação das vertentes situadas sobre a Formação Santa Maria (Membro Alemoa) é influenciada pelos parâmetros físico-hídricos do solo, sobre os quais essas vertentes estão assentadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Compreender a influência que os parâmetros físico-hídricos do solo (cobertura pedológica) exercem na conformação das vertentes da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na Depressão Periférica Sul-rio-grandense, no município de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a forma do perfil convexo-côncavo como padrão das vertentes da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) na região do bairro Camobi e do distrito de Pains;

- Descrever os horizontes diagnósticos de perfis de solo em topossequências de vertentes identificadas com a forma do perfil convexo-côncavo na Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na região do bairro Camobi e do distrito de Pains;

- Coletar amostras deformadas e indeformadas em cada horizonte diagnóstico dos perfis descritos e determinar, em laboratório, os parâmetros físico-hídricos: distribuição do tamanho de partículas, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, diâmetro dos poros em diferentes tensões (10cm, 30cm e 60 cm), densidade aparente, densidade de partículas e condutividade hidráulica saturada;

- Demonstrar a organização dos horizontes diagnósticos, investigar a dinâmica físico-hídrica do solo em topossequências de vertentes e analisar a influência dos parâmetros físico-hídricos do solo na conformação da forma do perfil em vertentes sobre o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), na região do bairro Camobi e do distrito de Pains.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITOS DE VERTENTE E SOLO

O estudo da vertente, enquanto componente do relevo, assume importância acadêmico-institucional a partir da década de 50 do século passado, com o trabalho de Tricart (1957), que afirma ser a vertente o elemento predominante do relevo. Sendo assim é ela que predomina nas formas da superfície terrestre na maior parte das regiões, apresentando-se, portanto, como forma de relevo mais importante para o homem.

As vertentes, juntamente com os interflúvios e os talwegues, são reconhecidas como componentes fundamentais das unidades de relevo, no entanto, quando se refere à concepção de paisagem surgem questões de como e de que maneira ela se processa, qual o desenvolvimento das formas de relevo, quais as condições iniciais e até em que fase se processa a evolução. Convergindo nesse raciocínio, torna-se, portanto, evidente a importância do conhecimento relativo à morfogênese das vertentes a partir do controle exercido pela cobertura pedológica.

O conceito de vertente é essencialmente dinâmico, uma vez que procura delimitar um espaço de relações processuais de natureza geomorfológica, incorporando os mais diferentes tipos de variáveis. Cruz (1982), observando a importância do estudo geomorfológico da evolução atual das vertentes, demonstrou que o entendimento espaço-temporal dos mecanismos morfodinâmicos atuais e passados levam ao cerne do estudo geomorfológico por excelência, ajudando o entendimento e evolução das paisagens geográficas.

O conceito de vertente foi consagrado por Dylik (1968), sendo genericamente entendida como toda superfície terrestre inclinada, muito comprida ou distintamente limitada, condicionada às leis gerais da gravidade.

Dylik (1968), ao tratar dos elementos da definição de uma vertente, observa que são os processos morfogenéticos que determinam a natureza da vertente, e que estes diferem dos demais. Dylik 1968, considera que a vertente, no sentido morfogenético, corresponde à parte das formas do terreno que são modeladas pelos processos de denudação *stricto sensu*, ou seja, pelos movimentos de massa e pelo escoamento, tanto no presente como no passado, Como exemplo, nas regiões intertropicais, os processos morfogenéticos evidenciados em uma vertente *stricto*

sensu, encontram-se caracterizados principalmente pelas diferentes formas de fluxo, de superfície e subsuperfície, bem como pelos movimentos de massa, diferindo, portanto, dos processos fluviais que integram o conceito de vertente *lato sensu*.

A vertente se caracteriza como a mais básica de todas as formas de relevo, razão pela qual assume importância fundamental para os geógrafos físicos. Essa importância pode ser justificada sob dois ângulos de abordagem: um, por permitir o entendimento do processo evolutivo do relevo em diferentes circunstâncias, o que leva à possibilidade de reconstituição do modelado como um todo (conceito de geomorfologia “integral” de Hamelim, 1964), e outro por sintetizar as diferentes formas do relevo tratadas pela geomorfologia, encontrando-se diretamente alterada pelo homem e suas atividades (conceito de geomorfologia “funcional” do referido autor).

Referente à evolução na compreensão da organização do solo e as metodologias para seu estudo datam de 1930. É nessa década que Milne apresenta o conceito de catena e introduz a concepção de lateralidade do solo, onde os perfis verticais de solo sucedem-se numa vertente, ligados como que em cadeia, sendo que os principais fatores responsáveis pelas sucessões de solos numa encosta seriam os processos erosivos, comandados pela topografia. Na década de 60 do século XX, ocorreu outro importante avanço: a introdução da noção de tridimensionalidade, onde cada unidade representada por horizontes verticalmente dispostos ocuparia um determinado volume no espaço. Entretanto, mantém-se a concepção de que o espaço pedológico seria constituído pela justaposição de perfis verticais de solo (QUEIROZ NETO, 1988). Na década seguinte, foram realizados importantes trabalhos, os quais passaram a introduzir uma nova metodologia de análise através da concepção de cobertura pedológica (QUEIROZ NETO, 1988, 2000). Assim, trabalhos como os de Boulet (1974) e Chauvel (1977) demonstraram que o estudo de topossequências ao longo de encostas realizando análises bidimensionais das coberturas pedológicas, não mais tendo o solo como um indivíduo em perfis verticais, mas sim como um *continuum* recobrimdo toda a extensão das encostas.

Ainda na década de 70 do século XX Boulet (1978) propõem o estudo e a representação cartográfica tridimensionais da cobertura pedológica, assim Queiroz Neto (1988), estudando os processos biogeodinâmicos, o sentido e a evolução da pedogênese; reconstituiu os diferentes mecanismos responsáveis pelas

diferenciações pedológicas, bem como suas sucessões ao longo do tempo; demonstrando o comportamento e o funcionamento atual da cobertura pedológica de uma dada área.

A partir das pesquisas realizadas pelos pedólogos franceses, pode-se perceber que a cobertura pedológica é entendida como um sistema estrutural complexo que apresenta transformações progressivas das organizações, tanto vertical quanto lateralmente no sentido da vertente. Desta forma está intimamente relacionada com os outros elementos da paisagem, especialmente o relevo, empregada no final da década de 70 do século XX, com o intuito de identificar diferentes sucessões de perfis de solos ao longo de encostas, compreender a gênese e evolução dos solos e das paisagens e ainda “explicar a distribuição dos solos como consequência de processos pedogenéticos e morfogenéticos complexos” (QUEIROZ NETO, 1988, p. 416).

Segundo Santos (2000), estudando a pedogênese, o referido autor tem trabalhado fundamentalmente com o perfil pedológico, sendo este entendido como uma seção vertical do solo que partindo da superfície aprofunda-se até onde alcança a ação do intemperismo, expondo, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente, denominadas horizontes. Tal disposição resultaria das variações das características morfológicas e propriedades dos solos, oriundas das transferências (translocações) e transformações verticais existentes ao longo do perfil (SANTOS, 2000, p.26).

Para Boulaine (1978), o solo é um corpo que se comporta como um “contínuo” que não se apresenta apenas sob a forma de perfil vertical. A concepção do perfil de solo com horizontes superpostos foi em parte superada por Milne (1935). Este autor foi o primeiro a mostrar, a partir da noção de catena, que a distribuição ordenada dos solos na paisagem estaria relacionada diretamente à topografia.

Delvigne (1964) demonstrou que os mecanismos de perda, transferências e acumulações de materiais poderiam ocorrer lateralmente, do topo à base das vertentes, sobre um mesmo material rochoso de origem.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o solo é considerado como a coleção de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar plantas. Essa tênue camada é composta por partículas de rochas em diferentes estádios de desagregação, conteúdo de água e

de substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição.

A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 1999, p.56), define solo como: um conjunto de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza.

Segundo Azevedo e Dalmolin (2004), o solo é entendido como um sistema composto por matéria no estado sólido, líquido e gasoso, chamadas fases. A fase gasosa do solo, ou atmosfera do solo, é diferente da atmosfera terrestre possuindo maior concentração de gás carbônico (até 40 vezes mais), devido à respiração dos microorganismos e das raízes, e menos oxigênio.

Azevedo e Dalmolin salientam ainda que:

A fase líquida do solo representa um reservatório de água e nutrientes nela dissolvidos que podem ser utilizados pelas plantas e pelos organismos que vivem no solo, e também é meio de reações químicas. A fase sólida do solo pode ser classificada quanto à sua natureza, isto é, pode ser mineral ou orgânica, e quanto ao tamanho às partículas. Na maioria dos solos, as partículas minerais (vindas diretamente das rochas) predominam sobre as partículas orgânicas (resultado da transformação de restos vegetais e animais). A fase sólida é constituída por partículas minerais e orgânicas. Estas partículas possuem vários tamanhos. A distribuição do tamanho de partículas do solo é quanto da massa seca do solo se encontra em cada intervalo de tamanho (AZEVEDO e DALMOLIN, 2004, p.12).

Os fatores de formação do solo incluem também as forças físicas que resultam na desintegração dos minerais das rochas. As reações químicas que alteram a composição das rochas e dos minerais, e as ações biológicas que resultam em uma intensificação das forças físicas e químicas. Há centenas de tipos de rochas e minerais com diferentes composições químicas, diferentes graus de resistência ao intemperismo e diferentes propriedades físicas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Bertoni e Lombardi Neto (1985, p.37) salientam que a formação do solo é o resultado da ação de diferentes fatores tais como: o material original, o clima, a atividade biológica dos organismos vivos, a topografia e o tempo. O material original

tem uma influencia passiva nessa formação. O clima, representado pela chuva e temperatura, influi principalmente na distribuição variada dos elementos solúveis e na velocidade das reações químicas. A principal ação dos microorganismos no solo é decompor-lhe os restos vegetais. A topografia influi pelo movimento transversal e lateral da água. A formação de um solo depende, naturalmente, do espaço de tempo em que atuam os diferentes fatores.

Outro aspecto importante a ser considerado é a característica comum de todos os solos de desenvolver diferentes camadas aproximadamente horizontais denominadas horizontes. É preciso salientar que uma seção vertical do solo, exposto, é denominada perfil, sendo que o perfil do solo exprime a ação conjunta dos vários fatores e a sequência de horizontes, caracteriza o solo e determina-lhe suas principais características físicas.

Os sistemas pedológicos (sistemas de solos) – correspondem a sucessões verticais e laterais de horizontes de solos dispostos em *continuum* do topo dos interflúvios aos fundos de vale, perpendicularmente aos canais de drenagem, sobretudo de 1ª ordem, que permitem o reconhecimento dos tipos de solos, de suas reações genético-evolutivas e espaciais entre si e com a topografia e o substrato (BOULET, 1988; QUEIROZ NETO, 1988).

Assim, a técnica da análise estrutural proposta por Boulet (1982a, 1982b *apud* QUEIROZ NETO, 1988) considera a geometria lateral e vertical de cada horizonte do solo. Esta técnica tende a auxiliar, cada vez mais, no diagnóstico de problemas de degradação dos solos por erosão, na compreensão da relação entre pedogênese e evolução do relevo e também na avaliação do comportamento e funcionamento hídrico do solo.

Com avanços que permitiram superar algumas dificuldades propostas inicialmente pelo conceito de catena de Milne (1935), que via as sucessões de solos ao longo das encostas como uma simples justaposição de perfis verticais. Esta visão reducionista foi substituída por uma abordagem e/ou pela percepção do solo como um meio contínuo, cujas diferenciações são devidas ao movimento interno das soluções.

O desenvolvimento em diferentes camadas aproximadamente horizontais é uma característica comum de todos os solos. A exposição vertical destes horizontes é denominada de perfil do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). A sequência de horizontes ou camadas estratificadas durante o processo de formação dos solos

é denominada de perfil do solo (AFUBRA, 1999).

O perfil do solo que compreende um conjunto de todos os horizontes ou camadas, “acrescidos do material mineral subjacente pouco ou nada transformado e do manto superficial de resíduos orgânicos que influenciam a gênese e comportamento do solo” normalmente é analisado numa secção vertical (LEMOS; SANTOS, 2002).

No desenvolvimento da caracterização morfológica do perfil do solo é utilizada uma nomenclatura especial utilizando letras e índices numéricos onde as letras maiúsculas designam os horizontes principais e os números opostos às letras caracterizando suas subdivisões (VIEIRA, 1983). Esses símbolos (letras e números) informam a relação genética que existe entre os horizontes no conjunto do perfil (AFUBRA, 1999).

Segundo Afubra (1999), as seções paralelas à superfície do terreno denominadas perfil do solo quando individualizadas por atributos das ações dos processos pedogenéticos, denominam-se horizontes. As seções são denominadas camadas quando são pouco ou nada influenciadas pelos processos pedogenéticos.

Os horizontes do solo representam o resultado da interação de diversos fatores que concorrem para a formação do solo, refletindo desta forma, no histórico de sua evolução (VIEIRA, L. S; VIEIRA, M. de N. F. 1983).

Outro fator importante que interfere nas características do solo é descrita por Leinz e Amaral (2003), é o clima, que traz uma grande consequência nas características do solo. Assim, o intemperismo é mais rápido e a lavagem dos solos mais drástica nos climas quentes e úmidos. Nos climas frios, o intemperismo é mais lento e o teor de matéria orgânica é em geral mais alto porque durante o inverno, a decomposição da matéria orgânica é reduzida. A quantidade de precipitação meteórica em clima seco determina a profundidade em que normalmente a umidade penetra no solo; a profundidade de penetração da umidade pode limitar a profundidade de penetração das raízes e a acumulação da matéria orgânica.

Aspecto importante a ser considerado para entender a localização dos solos na paisagem é enfatizado por Bigarella (2003), onde a topografia do terreno também é um dos principais elementos que contribui para diferenciar as características do solo, deve ser considerado nos planejamentos ambientais. Todavia o mesmo autor observa que terras planas são em geral pobremente drenadas, quase não há escoamento de enxurrada, e a infiltração pode ser tão lenta que o cultivo de plantas

com sucesso é problemático. Em terrenos de topografia ondulada ou montanhosa, a enxurrada que se forma escorre com velocidade, ocasionando a erosão e chegando, muitas vezes, a formar grotas, prejudicando a terras agrícolas.

A topossequência é interpretada por Bocquier (1973), como uma sucessão de diversos tipos de solos distribuídos de maneira regular e ordenados na paisagem de acordo com a topografia sobre o mesmo material de origem.

Para Alves e Ribeiro (1995), as topossequências têm sido bastante utilizadas para o entendimento da pedogênese e do comportamento dos solos, sobretudo por permitir o estabelecimento de correlações entre atributos dos solos e das superfícies.

Diferentes métodos têm sido desenvolvidos a partir dos estudos realizados por Bocquier (1973) para o estudo dos perfis do solo em uma vertente, permitindo além, de identificar às relações que ocorrem nos horizontes do solo à compreensão da dinâmica físico-hídrica nestes solos (CASTRO *et al.*, 2003).

O estudo de topossequência de solos, especificamente, sua caracterização, apesar de fornecer apenas uma visão bidimensional do arranjo dos horizontes dos solos de uma vertente, pode também fornecer parâmetros para a compreensão do funcionamento e organização pedológica ao longo de um perfil topográfico (ROCHA; CERRI, 1994).

Sendo assim os autores citados anteriormente, contribuem enormemente na busca da compreensão da influência dos parâmetros físico-hídricos do solo (cobertura pedológica) na conformação das vertentes de perfis convexo-côncavas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

3.2 A VERTENTE COMO SUBSISTEMA

A vertente pode ser encarada como um subsistema do sistema geomorfológico, onde a sua forma interage mutuamente com os processos. Entretanto, o que interfere nessa interação são os sistemas que os antecedem e controlam a dinâmica de matéria e energia. Esses sistemas segundo Christofolletti (1980) são quatro:

A) o sistema climático que, através do calor, da umidade e dos movimentos atmosféricos, sustenta e mantém o dinamismo dos processos.

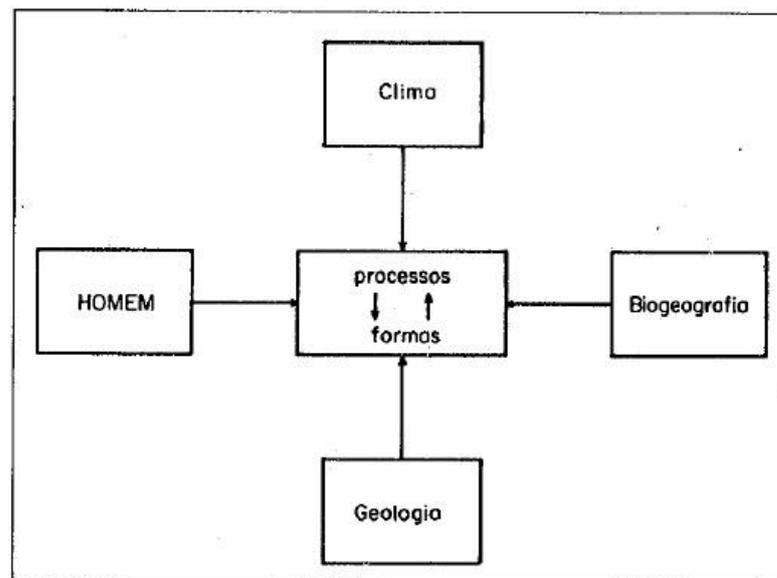
B) o sistema biogeográfico que, representado pela cobertura vegetal e pela vida animal que lhe são inerentes, e de acordo com suas características, atua como fator de diferenciação na modalidade e intensidade dos processos, assim como fornecendo e retirando matéria.

C) o sistema geológico que, através da disposição e variação litológica, é o principal fornecedor do material, constituindo o fator passivo o qual atuam os processos.

D) o sistema antrópico, representado pela ação humana, é o fator responsável por mudanças na distribuição da matéria e energia dentro dos sistemas, e modifica o equilíbrio dos mesmos.

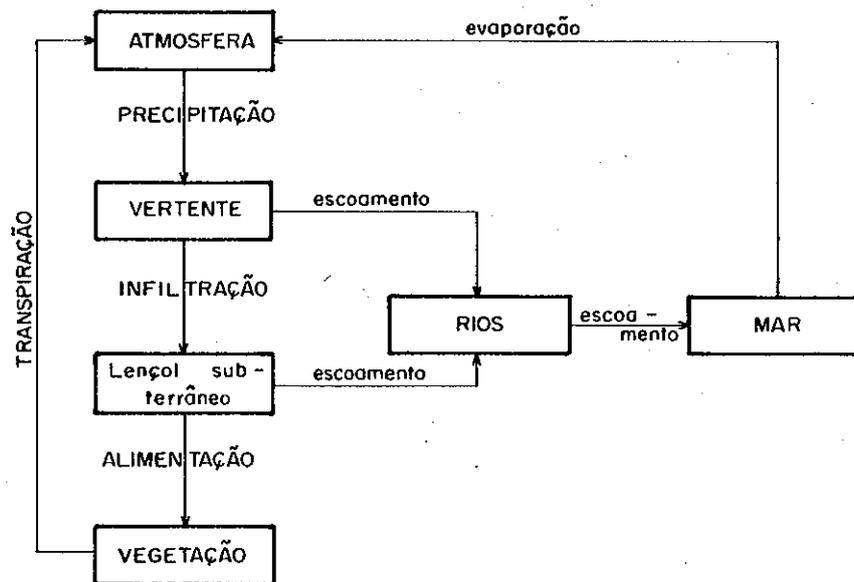
Para corroborar com essa abordagem, pode-se ainda incluir a vertente como um sistema de processos-respostas, que segundo Christofolletti (1980), são formados pela combinação de sistemas geomorfológicos e sistemas em sequência. Os sistemas em sequência indicam o processo, enquanto o morfológico representa a forma. A figura 1 ilustra os sistemas antecedentes controladores e, a figura 2, um sistema em sequência.

Figura 1 – Sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico.



Fonte: Christofolletti (1980, p.11).

Figura 2 – Esquema ilustrativo de sistema de processo-resposta.



Fonte: Christofolletti (1980, p.4).

O sistema geomorfológico pode ser analisado a partir do estudo das formas das vertentes. Segundo Gregory (1992), a vertente é considerada um sistema-processo-resposta, resultante da inter-relação entre as formas, os materiais e os processos que configuram seus elementos. Comporta-se como um sistema em cascata, pois é nela que ocorrem as transferências de energias e de matérias, comandadas principalmente pelas forças gravitacionais, hidráulicas e químicas.

O fluxo de matéria e energia pelo sistema vertente, faz com que a transferência de água, sedimentos e elementos químicos ocorram por meio dos vários fluxos superficial e subsuperficial, que variam no tempo e no espaço, ao longo do mesmo, podendo resultar em diferenciações e descontinuidades de processos, tanto em termos das formas das vertentes como de diferentes tipos de solos dispostos em cada segmento topográfico.

A configuração da paisagem depende dos elementos, relações, atributos, entradas (*inputs*) e saídas do sistema (*output*) considerando uma análise espaço-temporal (MORIN, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1979). Para Bertalanffy (1976), a teoria geral dos sistemas tem por fim identificar as propriedades, princípios e leis características dos sistemas em geral, independentemente do tipo de cada um, da natureza de seus elementos componentes e das relações ou forças entre eles. Um sistema se define como um complexo de elementos em interação de natureza ordenada (não fortuita). Tratando das características formais das entidades

denominadas sistemas, a teoria geral é interdisciplinar, isto é, pode ser usada para fenômenos investigados nos diversos ramos tradicionais da pesquisa científica.

Conforme Bigarella e outros (1965), a análise da morfologia das vertentes consiste em um importante instrumento de reconhecimento da sequência de eventos operantes no desenvolvimento da paisagem, pois é através dos estudos das diversas formas e de seus depósitos correspondentes que se pode concluir quais as condições ambientais que prevalecem durante esta análise e, ainda, sobre os processos atuantes no desenvolvimento da paisagem.

Portanto, considerando a vertente como um subsistema do sistema relevo e da relação causa e efeito existente entre solo e vertente, compreende-se que as características do solo interferem na forma da mesma.

3.3 O SOLO COMO CONDICIONADOR DA CONFORMAÇÃO DAS VERTENTES

O solo pode ser o principal condicionador da conformação das vertentes, o que só é possível a partir de certa maturidade do solo, no momento em que os processos pedogenéticos são caracterizados e os mesmos influenciam nas propriedades físico-hídricas dos horizontes diagnósticos. A consequência desse condicionamento exercido pelo solo na forma das vertentes, é a intensidade do fluxo de água e sedimentos no perfil do solo, contribuindo assim na movimentação dos mesmos, tanto lateralmente quanto horizontalmente, o qual irá influenciar na forma da vertente.

Assim, conforme TOLEDO e outros (2008, p.141), é possível concluir que os solos primeiramente se formam e depois passam por processos de mudanças, ou seja, a partir dessas mudanças os horizontes diagnósticos adquirem características que os fazem distinguir-se no perfil de solo.

De acordo com Queiroz Neto (2002), para a compreensão das relações entre os solos e as formas de relevo é necessário superar algumas ideias preconcebidas no que diz respeito a haver uma oposição entre os processos de pedogênese (alteração das rochas, formação dos solos) e de morfogênese (erosão e esculturação das formas de relevo), pois ambos podem ocorrer simultaneamente. Não ocorrendo uma oposição entre os processos, significa que é possível que a

conformação das vertentes esteja sendo mantida pelas características físico-hídricas dos horizontes diagnósticos do solo.

Para compreender as relações existentes entre solos e as formas de relevo, Tricart (1965) ressalta que no geral, a pedogênese é um dos elementos da morfogênese, já que ela é capaz de modificar os mecanismos fundamentais da morfogênese. De modo contributivo, Pellerin e Queiroz Neto (1992) destacam que a pedogênese é o motor da evolução do relevo, podendo inclusive direcioná-la. Portanto, modificando a sua forma intensificando ou retardando os processos.

Posteriormente, com a evolução das ciências do solo (Pedologia) e do relevo (Geomorfologia), havendo um maior intercâmbio entre as duas, o solo deixou de ser entendido como um caráter secundário nos processos de formação e evolução das superfícies geomórficas. De acordo com alguns estudos, a pedogênese passou a ser considerado um fator intrínseco à morfogênese. “A pedogênese, ao menos em seus resultados globais, é, portanto, um dos elementos da morfogênese. Ela modifica as características superficiais da litosfera e deste modo, influencia os mecanismos fundamentais da morfogênese” (TRICART, 1968, p. 6).

É preciso ter em conta que não há necessariamente antagonismo entre pedogênese e morfogênese, os dois processos atuando, conjuntamente no estabelecimento do modelado. A continuidade dos horizontes do topo à base das colinas, mesmo com transformações laterais, indica o desencadeamento de processos solidários e simultâneos que prosseguem até agora; isso envolve também a ideia de convergência e de manutenção da funcionalidade. O paralelismo das organizações pedológicas com a forma da vertente é um indicador desse fato. É interessante perceber que se o relevo constituiu importante fator de formação dos solos, os resultados das pesquisas mostram que o solo é um importante fator de formação do relevo (QUEIROZ NETO, 2010).

Da combinação dos fatores de formação dos solos, dos processos de intemperismo e da pedogênese, resultam os diferentes tipos de solos existentes no meio ambiente. A partir dessa combinação os solos passam de coadjuvante para protagonista da evolução das vertentes, interferindo diretamente na morfogênese das mesmas.

3.4 O PAPEL DA PEDOGÊNESE E DA MORFOGÊNESE NA EVOLUÇÃO DAS VERTENTES

Estudos relacionados à pedogênese e à morfogênese foram realizados por vários pesquisadores, dentre eles destaca-se Tricart (1968), Pellerin e Queiroz Neto (1992) e Calegari (2000), trabalhos esses, realizados no Brasil sobre a interação entre a evolução da cobertura pedológica e do relevo.

Outros autores também relacionaram evolução do solo à geomorfologia, entre eles Lepsch (1977a, 1977b), Ab'Saber (1962) com as *stone lines*, Bigarella e outros (1965a, 1965b), que além de cascalheiras (*stone lines*), acrescentam os horizontes escurecidos (paleossolos) recobertos por colúvios. A maior parte dos trabalhos eram realizados a partir de perfis isolados. Somente a partir da análise estrutural da cobertura pedológica e o estudo das transformações laterais do solo é que se consegue compreender com melhor clareza a relação entre geomorfogênese e pedogênese. Sendo assim, Queiroz Neto (2000), apresentou uma discussão a respeito da relação solo relevo. De acordo com a visão tradicional entre solo e relevo, o solo teria apenas um papel secundário, sendo a parte superficial de um sistema complexo, controlado grandemente pela estratigrafia, geomorfologia e hidrologia. Salienta Queiroz Neto (2000) que a partir da teoria de Erhart sobre Biostasia e Resistasia, tenta-se estabelecer cronossequências entre as superfícies de erosão e a idade dos solos. Destaca que “Essa ideia passa a ser aplicada, sobretudo nas regiões tropicais, para explicar e interpretar diferenciações pedológicas em superfícies geomorfológicas diversas, inclusive resultantes de oscilações climáticas quaternárias, e até mesmo terciárias, quando se tratava de velhas superfícies de erosão preservadas”.

Queiroz Neto (2000) afirma que inicialmente, os trabalhos sobre solos para a Geomorfologia teriam pelo menos um dos seguintes objetivos: demarcar e auxiliar na estimativa da idade cronológica dos depósitos superficiais e/ou correlativos (cronossequência); utilizar os solos como indicadores da maior ou menor estabilidade das paisagens; identificar nos solos propriedades indicadoras de mudanças climáticas; ou relacionar o desenvolvimento dos solos à infiltração e escoamento da água da chuva. Destaca ainda que esses princípios embasaram várias interpretações da evolução das paisagens brasileiras, onde o solo não era

somente um integrante, mas também, um indicador de processos e mecanismos de evolução.

Com a evolução das ciências do solo (Pedologia) e do relevo (Geomorfologia), havendo um maior intercâmbio entre as duas, o solo deixou de ser entendido como um caráter secundário nos processos de formação e evolução das superfícies geomórficas. De acordo com alguns estudos, a pedogênese passou a ser considerada um fator intrínscio à morfogênese. “A pedogênese, ao menos em seus resultados globais, é, portanto um dos elementos da morfogênese. Ela modifica as características superficiais da litosfera e deste modo, influencia os mecanismos fundamentais da morfogênese” observa Tricart (1968, p. 6).

Os processos de pedogênese ou de formação dos solos a partir dos detritos do intemperismo sofrem interferências tanto da atmosfera como dos seres vivos (animais ou plantas). Essa intervenção é responsável pela formação da matéria orgânica que origina os processos bioquímicos mais complexos, considerados fundamentais na formação dos solos (POPP, 2010).

O solo sendo resultado da ação conjunta dos agentes intempéricos sobre os restos minerais depositados e enriquecidos de detritos orgânicos. A sua formação tem início no momento em que as rochas entram em contato com o meio ambiente e começam a sofrer transformações. Com a intensidade que é função do meio, a rocha e seus minerais são submetidos a ação dos agentes do intemperismo, em que os fragmentos providos de tais rochas vão ficando cada vez menores e se acumulando nas encostas, baixadas ou mesmo sobre o próprio material de origem (LEPSCH, 2011). Dessa maneira, é sobre este material geológico que se desenvolve o solo, resultante da ação de forças pedogenéticas. O que deve ser ressaltado é que, para a ciência do solo, a importância do intemperismo decorre não apenas de sua ação destruidora, mas principalmente de sua ação criadora, formadora do solo.

Derruau (1968) destaca que a morfogênese por sua vez compreende o conjunto de processos que originam as formas do relevo. Pode-se, desta maneira, contrapor morfogênese a pedogênese, pois, em locais onde os processos morfogenéticos atuam mais intensamente, a pedogênese é inibida ou retardada como, por exemplo, nas regiões semiáridas.

O relevo atua como agente controlador da pedogênese, ao regular a velocidade e a direção do escoamento das águas da chuva. Apesar de não atuar

diretamente, ele pode definir menores ou maiores graus de desenvolvimento do perfil de solo. De modo geral, relevos acidentados facilitam a erosão em detrimento da pedogênese, favorecendo então a formação de um solo menos desenvolvido, que guarda relação estreita com o material originário. Em relevos suaves e planos, a boa infiltração e a boa drenagem favorecem tanto a alteração dos minerais como a remoção dos produtos solubilizados, levando a taxas elevadas de pedogênese e, conseqüentemente, gerando solos mais profundos e intemperizados (LEPSCH, 2011).

Toledo e outros (2008) salientam que enquanto o processo de intemperismo envolve, sobretudo, mudanças químicas e mineralógicas, a pedogênese envolve, basicamente, uma reorganização estrutural do material já intemperizado, com grande participação dos organismos e das substâncias por eles geradas.

Assim, é possível concluir que os solos primeiro se formam e depois passam por processos de mudanças (TOLEDO *et al.*, 2008). Portanto, da combinação dos fatores de formação dos solos, aliada aos diversos processos de intemperismo e da pedogênese, resultam os diferentes tipos de solos existentes na paisagem.

Queiroz Neto (2000) ao referir-se a respeito da gênese e evolução dos solos e da relação existente entre as transformações laterais do solo e a forma das vertentes deixa claro que pedogênese e morfogênese podem atuar contemporânea e solidariamente. Destaca que:

1- A circulação interna da água é responsável por ações geoquímicas que redistribuem ou eliminam elementos das vertentes, provocando modificações na forma e gerando novas feições, antecedendo ou acelerando processos erosivos superficiais. Dessa maneira, a evolução do relevo não resulta da sucessão de processos paleoclimáticos ou de oposição entre pedogênese e morfogênese (respectivamente climas mais úmidos e mais secos): pedogênese e morfogênese podem atuar contemporânea e solidariamente.

2- Precisa ser revista a questão da origem dos Latossolos a partir de materiais detríticos lateríticos retrabalhados: as pesquisas empregando o procedimento da análise estrutural da cobertura pedológica mostram que, modo geral, não há discordância entre esses solos e os substratos geológicos sotopostos, ao contrário do que pensava-se anteriormente. Além disso, a presença de linhas de seixos em profundidade, acompanhando ou não a topografia, não pode ser

interpretada simplesmente como paleopavimento desértico, testemunho de climas mais áridos, pois pode ser resultado da ação selecionadora da mesofauna do solo.

3- Em relação ao relevo, as coberturas pedológicas latossólicas microagregadas não podem ser interpretadas como correlativas de superfícies de erosão terciárias ou antigas, pois elas não ocorrem preferencialmente nas posições cimeiras dos relevos. a) Elas podem ser encontradas recobrimdo de modo quase contínuo as colinas que IPT (1981) denominou colinas amplas, com vertentes de menor declividade, passando próximo ao sopé, a solos hidromórficos: são coberturas pedológicas ditas em equilíbrio dinâmico. b) Recobrimdo topos de colinas menores, com vertentes mais curtas e mais declivosas, onde aparecem diferenciações pedológicas sob a forma de horizontes superpostos, o lixiviado sobre o B textural com estrutura subangular poliédrica, por cima da organização microagregada latossólica basal, está em continuidade à da parte cimeira. Compõem coberturas pedológicas com sistemas de transformação lateral: os horizontes transformados são paralelos à topografia atual, indicando contemporaneidade de suas evoluções.

4- É preciso também lembrar que a microagregação característica dos latossolos pode ter origem geoquímica/estrutural ou biológica; suas origens, além disso, apontam para processos contínuos no tempo e no espaço, e não a condições paleoclimáticas diversas.

5- As diferenciações laterais das coberturas pedológicas também são indicadoras de circulação diferenciada de soluções, que mobilizam, transportam e redistribuem elementos: é provável que essa situação tenha sido causada, inicialmente, por desequilíbrios hídricos (mudança climática?, tectônica?, mudança do nível de base?). Nem sempre é possível, por enquanto, situar esses processos no tempo, entre outras coisas, porque uma vez instalados, os sistemas de transformação prosseguem remontantemente nas encostas por autodesenvolvimento.

6- A presença de corpos ferruginosos, couraças ou material concrecionário, representariam uma etapa no caminho da alteração das rochas para a formação dos solos, que ocorreria também continuamente por autodesenvolvimento, não se referindo assim a paleo-processos nem à eventual antiguidade de solos e materiais.

7- A análise estrutural da cobertura pedológica não só está abrindo novos caminhos para o estudo da pedogênese, como também aparece como um

instrumento de grande relevância para o estudo da gênese e evolução das formas e feições dos relevos.

Muitos autores buscam compreender a evolução das vertentes a partir de várias hipóteses tendo como base as transformações laterais da cobertura pedológica, elas podem ter sido provocadas por mudanças climáticas, alternância entre climas secos e úmidos, e ainda chamam a atenção para a atuação solidária entre geomorfogênese e pedogênese descrita por Queiroz Neto (2000).

De acordo com Boulet (1992), a análise dos sistemas de transformação mostra que existem frequentemente redistribuições internas de matéria ao longo da vertente que podem ter um papel essencial na evolução do relevo. Nesse artigo o autor cita dois exemplos opostos a respeito da interação geomorfogênese e pedogênese. O primeiro exemplo mostra o papel principal dos processos superficiais sobre a diferenciação lateral da cobertura pedológica e o segundo, demonstra que a evolução do relevo depende essencialmente dos processos geoquímicos e pedológicos.

Um dos exemplos citados por Boulet (1992) é de Manaus, onde a evolução do relevo dependeria essencialmente de processos geoquímicos e pedológicos, identificados inicialmente por Lucas e outros (1984) e estudados por Lucas (1989).

O relevo da região de Manaus apresenta extensos vales profundos com platôs recobertos por Latossolos Amarelos espessos e argilosos, com estrutura microagregada. Na base dos perfis ocorre a presença de níveis com nódulos gibbsíticos e ferruginosos, que representam transições entre a rocha sedimentar e o solo. Nesse processo há uma exportação importante de sílica. Nas superfícies inclinadas em direção aos vales encontra-se uma cobertura contínua, porém com diminuição progressiva do teor de argila na totalidade da cobertura pedológica até o aparecimento dos Podzois gigantes, com mais de 5 metros de espessura e menos de 2% de argila. Na parte superior dessa cobertura pedológica contínua, a caolinita é hidrolizada sob a ação da matéria orgânica, com exportação da sílica. O eventual excesso de alumínio forma nódulos gibbsíticos, que são também estabilizados pela ação complexante da matéria orgânica ácida.

Outro estudo realizado, que contribui nesse assunto foi o de Santos e Castro (2006) que realizaram estudos em uma topossequência composta pela sequência latossolo-argissolo-gleissolo no platô de Bauru, oeste do estado de São Paulo, apoiados em análises morfológicas, micromorfológicas e físico-hídricas, verificaram

duas frentes de transformação. Uma entre o terço superior e médio num rompimento côncavo da vertente na transição Bw-Bt, comandada pelo processo de e-iluviação onde estaria o início do horizonte Bt. Outra na baixa vertente condicionada a processos de hidromorfia estaria à frente responsável pela destruição do horizonte Bt com o surgimento das bandas onduladas (ou lamelas), conectadas ou não ao Bt, concordantes com o relevo. Os autores salientam que o processo é e-iluvial, onde a eluviação é o motor e a iluviação um mecanismo coadjuvante e temporário que não recupera a perda da argila e do óxido de ferro. Nesse setor o processo de eluviação ganha energia. Com o aumento da declividade as bandas desaparecem rebaixando ligeiramente a vertente, ao mesmo tempo em que o horizonte E se espessa para jusante e remonta cada vez mais na vertente, num processo de reequilíbrio.

Outros autores conseguiram estabelecer relações entre os sistemas pedológicos com a forma de relevo. Nos trabalhos de Pellerin e Queiroz Neto (1992a, 1992b), os autores constataram que: as coberturas latossólicas derivadas da alteração das formações geológicas regionais recobrem a totalidade das vertentes, passando somente na sua parte final para solos hidromórficos; representam ao mesmo tempo uma pedogênese inicial, precedente, e uma pedogênese ainda atuante. Os solos com horizonte B textural representam uma transformação dessa pedogênese latossólica, portanto posterior, porém contemporânea à evolução do modelado das vertentes: a disposição dos horizontes argílicos mostra que a transformação da estrutura microagregada em estrutura poliédrica e a formação dos horizontes lixiviados superficiais acompanham a forma das encostas, indicando que a pedogênese e a morfogênese são contemporâneas. Pellerin e Queiroz Neto (1992a, 1992b), mostram ainda que processos erosivos penecontemporâneos da instalação dos sistemas pedológicos de transformação lateral, também são responsáveis pela modelagem das vertentes, provocando o preenchimento do fundo dos vales com sedimentos: há um balanço equilibrado entre erosão superficial e as transformações pedológicas que resultam no aprofundamento dos horizontes lixiviados (QUEIROZ NETO, 2000). Desta maneira, a forma das vertentes da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), podem estar sendo mantidas pelos parâmetros físico-hídricos do solo, diminuindo a ação dos processos morfogenéticos.

3.5 PROCESSOS PEDOGENÉTICOS

No decorrer da história da ciência do solo este elemento da natureza foi sendo compreendido como um corpo natural, possuidor de comprimento, largura e profundidade, e que constitui a camada externa da litosfera em contato com a atmosfera. Também foi identificado como um material originado de uma rocha e que pela ação de fatores climáticos e biológicos apresentam características e propriedades que os diferenciam. Segundo Lepsch (2002), ainda vale destacar que o processo de adição, perda, transporte e transformação de matéria atribuem para a definição das características particulares de cada tipo de solo. Os processos pedogenéticos de adição, remoção, translocação e transformações de caráter físico, químico e biológico que originam o solum e seus respectivos horizontes, com variações em um mesmo tipo de material de origem, são decorrentes de fatores ambientais. Os fatores ambientais, isolados e/ou combinados, são resultantes da atuação dos processos de pedogênese (laterização, podzolização, calcificação, gleização e salinização), decorrentes especialmente da ação diferenciada do clima (RUELLAN; DOSSO, 1993).

Estudar o solo, na perspectiva de Ruellan (1988), significa observar, medir, representar e interpretar as organizações morfológicas e, ainda, reconhecer e analisar os constituintes, bem como determinar e medir as propriedades desses constituintes e das estruturas que organizam a própria cobertura pedológica.

Os processos pedogenéticos são condicionados pela combinação dos fatores de formação do solo (material de origem, clima, seres vivos, relevo e tempo). Esses processos (adição, remoção, transformação e translocação) associados a processos pedogenéticos mais específicos (latolização, podzolização, gleização, laterização, salinização e sodificação) determinam diferentes características e propriedades morfológicas do solo como: quantidade de areia, silte e argila, cor, espessura, matéria orgânica. Como resposta a esses processos a uma organização específica dos horizontes para cada tipo de solo. Essa organização dos horizontes diagnósticos irá refletir nos diferentes perfis de vertentes e na dinâmica da mesma.

Segundo Resende e outros (2007), a atuação dos diferentes processos somadas as condições bioclimáticas, o material de origem e a ocupação em determinada posição na paisagem ao longo do tempo resulta em feições pedológicas peculiares que são expressas nos horizontes dos solos.

Destaca que, vários processos pedogenéticos são responsáveis pela formação do solo: a podzolização, latolização, calcificação, hidromorfismo e halomorfismo. Na podzolização o processo pedogenético consiste na translocação de materiais dos horizontes superiores acumulando-se nos horizontes inferiores, podendo ocorrer em condições hidromórficas quanto em drenagem livre. Na latolização ocorrem processos de remoção acentuada de sílica e de bases do perfil após a transformação dos minerais constituintes. Na calcificação o processo consiste na translocação (redistribuição) de CaCO_3 no perfil, provocando concentração em alguma parte do solo, ocorrendo onde a precipitação não é suficiente para remover do solo todos os carbonatos. No hidromorfismo o excesso de água condiciona uma decomposição lenta de matéria orgânica e a redução de Fe, enquanto no halomorfismo ocorre excesso de sais trazidos pela enxurrada ou lençóis freáticos. Dentre os fatores que condicionam o desenvolvimento dos sistemas pedológicos, têm-se o relevo, a rocha, a cobertura vegetal e o clima. Para Oliveira (2005), enquanto o relevo é fundamental para definir a drenagem do perfil e a percolação superficial, a rocha define a composição mineralógica, a vegetação estabelece o teor de matéria orgânica no solo e o clima delimita a umidade e a temperatura, consideradas essenciais no intemperismo.

Concomitante ao intemperismo alguns dos minerais menos resistentes vão se transformando em argilas. As águas que infiltram no terreno podem as translocar de uma parte mais superficial para outra mais profunda. Assim, o intemperismo físico, químico e biológico começa a formar uma série de camadas sobrepostas denominadas horizontes (LEPSCH, 2002).

Ruellan (1987), Millot (1993) e Queiroz Neto (2000) afirmam que na elaboração dos relevos, o papel dos mecanismos geoquímicos e pedogenéticos não se reduz à simples preparação de um material mais fácil de ser erodido. Há também aplanamento dos relevos pelas transformações mineralógicas, por subtrações geoquímicas e por modificações da circulação da água no interior e no topo dos solos, ratificando a cobertura pedológica como um agente de elaboração das formas de relevo.

Toledo e outros (2008) observa que enquanto o processo de intemperismo envolve, sobretudo, mudanças químicas e mineralógicas, a pedogênese envolve, basicamente, uma reorganização estrutural do material já intemperizado, com grande participação dos organismos e das substâncias por eles geradas.

Portanto, a combinação de diferentes climas, aliado aos diversos processos de intemperismo e de pedogênese, resultam os diferentes tipos de solos existentes na superfície terrestre. Conseqüentemente resultam em diversas formas de vertentes.

3.6 PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

Os parâmetros físico-hídricos do solo são importantes na evolução e manutenção do relevo, pois as características dos mesmos refletem as especificidades ambientais de cada lugar.

De acordo com Demattê e Marconi (1991), essas características variam na paisagem, e afetam o comportamento físico-hídrico nos diferentes solos. A textura, por exemplo, influencia em muitas propriedades químicas e físicas do solo como a capacidade de troca catiônica (CTC), retenção de água, erodibilidade do solo, infiltração de água, drenagem, entre outras.

Weyman (1973), Anderson e Burt (1978) e Hurley e Pantelis (1985) salientam que a água é o principal fator que influencia o desenvolvimento dos solos em muitos ambientes. O movimento da água pode ser refletido pela redistribuição de compostos solúveis. O fluxo lateral dentro do solo é mais significativo através das partes saturadas do perfil. O fluxo preferencial pode estar relacionado tanto com a variabilidade espacial, como com a estrutura do solo (considerando a condutividade hidráulica). Solos melhores estruturados contêm macroporos altamente permeáveis ou sistema de poros através da qual a água e solutos dissolvidos podem mover-se em velocidades mais altas do que na matriz porosa. O fluxo relacionado com a estrutura do solo tem sido largamente relatado em solos que possui atividade de minhocas, canais de raízes e fissuras inter-agregados (BOUMA, 1981; BEVEN, GERMAN, 1982; VERVOORT *et al.*, 1999). Outros tipos de fluxo preferencial têm sido associados às diferenças texturais mais do que às estruturais (VOGEL *et al.*, 2000). A textura do solo, segundo Bertoni e Lombardi (2005), refere-se a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas que compõem o solo. A textura é um atributo físico que interfere diretamente na infiltração de água no solo.

A movimentação da água ao longo das vertentes contribui para os processos geomórficos. Por exemplo, através do transporte de materiais de locais mais

elevados da paisagem para cotas inferiores como no caso de tálus, colúvio e deslizamento que ocorrem via fluxo superficial. Nos processos pedogenéticos, a água que infiltra no solo pode deslocar materiais coloidais (minerais e orgânicos) e constituintes químicos para outras regiões do perfil (eluviação horizontal e lateral), ou mesmo para fora do sistema solo (INDA JUNIOR, 1997).

A textura, estrutura e porosidade do solo são as características físicas que contribuem diretamente na circulação hídrica superficial e subsuperficial dentro do perfil do solo, ao longo de topossequência de vertente. Essa circulação determina a distribuição e transformação das partículas no interior do perfil de solo, colaborando assim para a organização dos horizontes pedológicos que irão influenciar a forma do perfil das vertentes.

Corroborando com o que foi referido, DORES (2003), destaca que a análise em campo de atributos do solo como a textura, estrutura, contribuem para a dedução do movimento da água no solo

A textura do solo que se refere à proporção das frações de areia, silte e argila encontrada no solo. Segundo Azevedo e Dalmolim (2004), O tamanho das partículas é um fator que influi na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão.

Brandão (2006) contribui dizendo que, a diferenciação da textura ou da estrutura nas camadas do perfil do solo pode influenciar no movimento da água no solo, ocasionando o retardamento da infiltração. Nesse sentido a textura do solo constitui-se numa das características físicas mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho, e a sua distribuição espacial, determinará em parte o comportamento hídrico do solo, influenciando na capacidade de retenção de água, na formação de crostas e selamento, na permeabilidade, na porosidade e na erosividade (KOOOREVAAR *et al.*, 1983; BALL *et al.*, 1997).

Importantes processos e reações químicas que ocorrem nos solos estão intimamente associados à textura. As principais reações físicas e químicas são verificadas na superfície das partículas, desta forma, o maior interesse está nas partículas de frações menores que possuem proporcionalmente uma superfície maior (BERTONI; LOMBARDI, 2005; MEURER, 2006).

Outra importante propriedade física do solo é a estrutura do solo que segundo o autor: refere-se à maneira pela qual as partículas primárias estão arranjas em unidades estruturais compostas (agregados), os quais associados darão origem aos

torrões, também denominados de unidades estruturais se comportando como partes individualizadas e que apresentam formas e tamanhos definidos (VIEIRA, L. S; VIEIRA, M. de N. F, 1983; LEMOS; SANTOS, 2002).

A estrutura do solo pode ser afetada pela textura, pela matéria orgânica, pela atividade biológica, esta característica do solo é que determina a maior ou menor facilidade de trabalhos das terras e permeabilidade à água, bem como, o desenvolvimento de plantas e a resistência aos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI, 2005; LIMA, 2008).

A estrutura é o fator que afeta a retenção de água no solo. Ela determina o arranjo das partículas e a distribuição dos tamanhos dos poros, cujo diâmetro controla a energia de retenção da água e, conseqüentemente, a sucção necessária para seu esvaziamento, que aumenta na medida em que diminui o tamanho do poro (CAMARGO; ALLEONI, 2009).

A estruturação das partículas no solo melhora a distribuição do tamanho dos poros alterando a proporção de poros grande e poros pequenos conduzindo para um aumento da porosidade total, contribuindo para a melhoria decisiva da aeração do solo, infiltração, percolação, melhorando o desenvolvimento radicular das plantas e promovendo um aumento na capacidade de armazenamento de água (LIMA, 2008).

Considera-se a densidade do solo como outro parâmetro físico-hídrico que colabora para identificar qual influência que as características do solo exercem sobre a conformação das vertentes convexa-côncavas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa). A densidade do solo é definida, segundo Azevedo e Dalmolin (2004), como o peso seco do solo em determinado volume. Leva em conta os poros do solo e é parâmetro utilizado para avaliar o impacto de modificações no ambiente sobre o solo. Portanto, a densidade do solo está relacionada com a estrutura, já que os poros do solo são espaços vazios dentro e entre os agregados. Nesse sentido, a degradação da estrutura do solo leva a um aumento da densidade do solo. Ainda segundo Azevedo e Dalmolin, frisa-se que há diferença entre a densidade do solo e a densidade de partículas do solo, sendo esta última caracterizada como:

A densidade da fase sólida do solo. Portanto, não leva em conta a porosidade do solo. A densidade de partículas depende apenas da composição do solo, que é uma propriedade bastante estável. As partículas minerais do solo levam muito tempo para se modificarem (milhares de anos) exceto em alguns casos especiais (minerais muito solúveis como carbonatos e sulfatos). Já as partículas orgânicas podem se alterar mais

rapidamente, em décadas ou séculos. Conceitualmente, a densidade de partículas (D_p) é a média ponderada das densidades das partículas do solo. Em geral, as partículas minerais do solo são constituídas de silicatos de alumínio e óxidos de ferro e alumínio (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004, p.32).

A densidade dos solos e do saprólito, expressa como a relação existente entre a massa de uma amostra seca e a soma dos volumes ocupados pelos poros e partículas, é outro fator controlador que deve ser levado em conta quando se tenta compreender os processos erosivos, pois se refere à maior ou menor compactação dos solos (CAPUTO, 1981; GUERRA; CUNHA, 1995).

A densidade do solo é definida segundo Azevedo e Dalmolim (2004) como o peso seco de um volume determinado do solo, portanto, leva em conta os poros do solo, sendo por isto, utilizada para avaliar o impacto de modificações no ambiente sobre o solo. A densidade do solo está relacionada com a estrutura, já que os poros do solo são espaços vazios dentro e entre os agregados. Portanto, a degradação da estrutura do solo leva a um aumento da densidade do solo.

A densidade de partículas é uma propriedade muito estável do solo. A menos que as condições ambientais mudem drasticamente, ou materiais sejam adicionados ou retirados do solo, ela deve manter-se com pequenas variações por décadas ou séculos (VARGAS, 1977).

Outra característica física do solo que contribuí diretamente na movimentação de água e sedimentos no interior do perfil do solo é a porosidade. Segundo Guerra (2005), a porosidade é compreendida como sendo o espaço do solo ocupado pela água e pelo ar. Entende-se por porosidade do solo o volume não ocupado pelos constituintes sólidos. Tal volume é ocupado pelo ar e pela água. A grande importância da porosidade está no fato de que é através dela que se dá a transferência de sólidos, líquidos e gases no interior do solo, bem como da atividade biológica (GUERRA, 2005).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a porosidade deve ser compreendida como a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço, ocupado pela massa de solo. O que se conclui é que o tamanho e a disposição dos espaços porosos têm influência direta na velocidade da infiltração da água nos solos e que esse movimento da água é realizado pelas forças de gravidade e capilaridade. A força de gravidade promove o movimento da água nos

grandes poros em solos saturados, enquanto a força de capilaridade ocorre nos solos não saturados (REICHARDT, 1990).

Ao analisar a porosidade de um solo no campo, devemos determiná-lo avaliando o tamanho e a quantidade dos poros. Os solos argilosos possuem maior porosidade total e uma grande quantidade de microporos, enquanto que solos arenosos apresentam, em geral, um grande volume de macroporos (VIEIRA, L. S; VIEIRA, M. de N. F, 1983; MEURER, 2006).

Os poros são classificados em macro e microporos em função do diâmetro. A circulação rápida da água no solo (da chuva ou de irrigação) refere-se à macroporosidade (gravidade) e nessa circulação, os poros ficam vazios logo após cessar a fonte de água, pois como os diâmetros dos poros são maiores a água não fica retida. Já aquela circulação mais lenta da água (capilaridade) e que retém a água no solo por um período maior de tempo é a microporosidade. A origem principal da macroporosidade é de origem estrutural, já a microporosidade pode ser de alteração estrutural e textural (VOLK, 2006).

O tamanho e arranjo natural do espaço poroso dependem do tamanho e organização das partículas sólidas (argila, silte e areia) que formam a sua estrutura. Entre as partículas maiores de diferentes diâmetros, como é o caso da fração areia (porosidade textural) ou entre os agregados (porosidade estrutural), predominam poros grandes, denominados macroporos e entre as partículas menores, como é o caso das frações argila e silte, predominam poros pequenos, denominados microporos. Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979). Kiehl (1979) classifica como macro e microporos os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos.

A porosidade tem papel extremamente importante no funcionamento do solo. Ela é responsável pela retenção de mais ou menos água no solo. Uma porosidade eficiente, sem impedimentos, permite maior quantidade de água infiltrando a grandes profundidades, propiciando uma reserva permanente para as nascentes e para os vegetais (VOLK, 2006).

Dentre as propriedades físico-hídricas do solo, a condutividade hidráulica de solo saturado é referida na literatura como uma propriedade de extrema importância

nos estudos sobre fluxos no solo. Pode ser definida como a velocidade com que a água se movimenta através do solo (EMBRAPA, 1997). Ela depende da fluidez da água, que é proporcional a sua viscosidade e densidade, e da macroporosidade do solo que, por sua vez, é função da textura e da estrutura (REICHARDT; TIMM, 2004).

A condutividade hidráulica é uma das propriedades do solo que melhor indicam as diferenças estruturais nas diversas camadas que constituem o perfil (CORSINI, 1974). Em um perfil do solo ela varia de horizonte para horizonte, e dentro de cada horizonte, varia em função da umidade. Conforme Reichardt (1990), a condutividade hidráulica (K) ocupa papel de destaque, pois reflete a capacidade do solo em conduzir água. Quanto maior for o valor de K, maior tende a ser a facilidade com que a água se movimenta no solo e o valor máximo de K ocorre quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}). Reichardt (1990) acrescenta que a condutividade hidráulica pode ser definida como o volume de água que atravessa por unidade de tempo uma determinada área do solo impulsionada por uma diferença de potencial. Isso permite concluir que a condutividade é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido, a água, é transportada através do meio poroso, o solo, e que depende tanto das propriedades do solo como das propriedades da água. Dentre as propriedades do solo, pode-se destacar a distribuição de tamanho e forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, ou seja, todas as propriedades que têm reflexo na geometria porosa do solo.

Para Reichardt (1990), o conhecimento da condutividade hidráulica é de fundamental importância para a determinação do fluxo de água nos solos e, do ponto de vista prático, para a elaboração de projetos de irrigação e drenagem, bem como para a quantificação da erosão e lixiviação de substâncias químicas. Na prática, como a água do solo se move relativamente devagar, é comum utilizar unidades de tempo para sua representação, por exemplo, cm/h ou mm/h. Assim, se um solo permite a passagem de 5 mm/h, significa que em 1 m² de solo fluíram 5 litros de água no período de 1 hora.

Cunha (2002) descreve que o comportamento da água nas coberturas pedológicas envolve relações e mecanismos complexos determinados de um lado pelas propriedades físicas da água e pelos fenômenos de interface água/partícula sólida e água/fase gasosa, responsáveis pela circulação e retenção de água e, de

outro lado, pelas propriedades físicas e mecânicas dos solos que controlam os movimentos e a distribuição e, portanto, o seu comportamento no interior do solo e ao longo da vertente.

Portanto as principais propriedades físicas do solo (textura, estrutura e porosidade) determinam a movimentação de água no perfil de solo, ocasionando numa maior ou menor condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica será o fator determinante na dinâmica da vertente, pois o deslocamento de água e sedimentos em subsuperfície contribuirá para a diferenciação das características dos horizontes diagnósticos. Sendo assim, a forma convexa-côncava do perfil das vertentes da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), podem estar sendo condicionadas pelos parâmetros físico-hídricos do solo (cobertura pedológica).

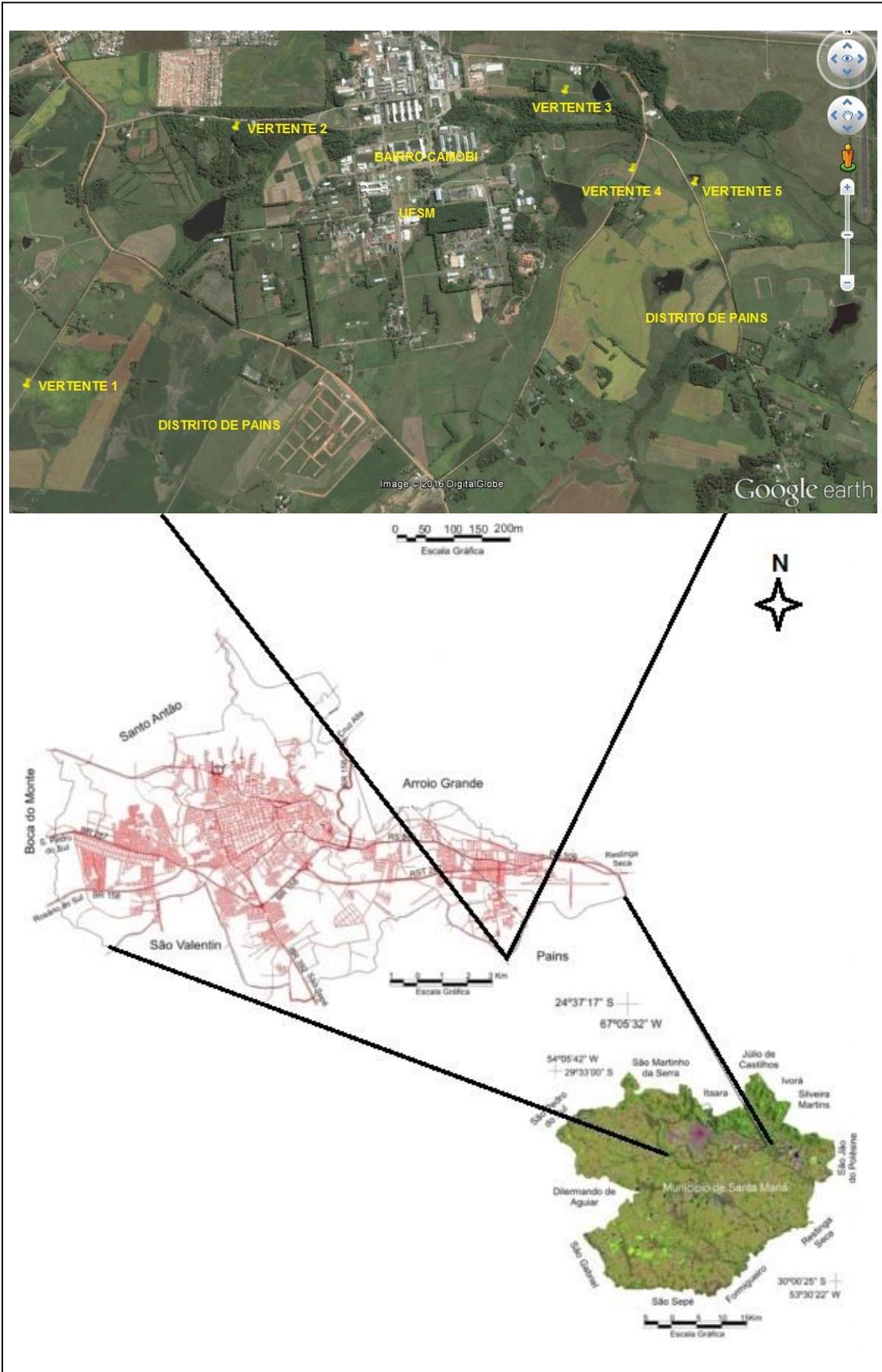
4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área base do estudo está situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, na Depressão Periférica Sul-rio-grandense (ROSS, 1996) próximo ao rebordo do Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná, município de Santa Maria. Abrange parte do bairro Camobi e do distrito de Pains no município de Santa Maria. Nas áreas onde os processos erosivos esculpiram colinas alongadas em rochas da era Mesozoica da Bacia do Paraná, aparecem solos medianamente profundos como argissolos. Nas áreas de terraços e planícies fluviais, onde a flutuação do lençol freático, associado a conformação da topografia, imprime maior influência sobre os processos pedogenéticos ocorrem gleissolos e planossolos. A área sofreu significativas alterações na cobertura original da vegetação. Parte da área está inserida no domínio vegetal dos campos com capões e matas galerias (VIEIRA, 1984). O uso do solo predominante na área de estudo é lavouras temporárias de trigo, milho, arroz, soja e pecuária de corte e de leite.

A figura 3 mostra a localização das cinco vertentes modais da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Figura 3 – Localização das cinco vertentes selecionadas na Formação Santa Maria (Membro Alemoa), no bairro Camobi e distrito de Pains, Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Google Earth (Adaptado) em 23/09/2016.

Bortoluzzi (1974) caracterizou a Formação Santa Maria. Nesse sentido, contribuindo para a caracterização da área de estudo:

A Formação Santa Maria compreende, na área de sua “seção tipo”, uma fácies inferior e outra superior. A primeira (Fácies Passo das Tropas) é constituída por cerca de 25m de arenitos grosseiros e conglomeráticos, contendo bolsões de conglomerados à base de clastos de argila siltosa vermelho, com restos da flora *Dicroidium*; o horizonte arenoso com siltitos e folhetos vermelhos, com fósseis vegetais, conchostráceos e restos de peixes. A superior (Fácies Alemoa) é composta por 50 a 55m de lamitos vermelhos, contendo concreções calcíferas e uma fauna reptiliana característica (BORTOLUZZI, 1974).

Sartori (2009) destaca que o Membro Alemoa, está representado por um lamito (silito argiloso) de cor vermelha, compacto, maciço. Este Membro estratigráfico da sequência superior da Formação Santa Maria, caracteriza-se por apresentar contato com o estrato inferior em transição gradual de camadas de um arenito rosa-avermelhado para um silito argiloso, vermelho e maciço. Observa-se a presença de caliche e concreções carbonáticas irregulares descritas como calcretes e lentes arenosas se intercalam em direção ao topo. Este silito argiloso constitui-se num importante aquíclode.

O clima da região de Santa Maria, com base na classificação de Köppen, enquadra-se como sendo mesotérmico brando Cfa. As precipitações são regulares durante todo o ano, não apresentando estação seca (AYOADE,1986).

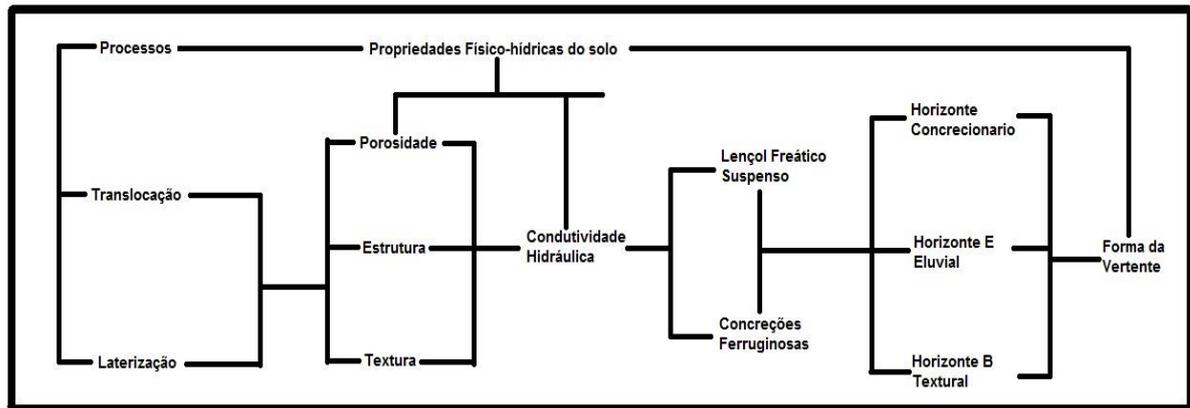
Sartori (2003), caracteriza o clima de Santa Maria, apresentando temperatura média no mês mais frio (julho) entre 10°C e 15°C e média das mínimas entre 6°C e 10°C, devido a atuação do Anticiclone Polar Atlântico. Já no verão as temperaturas médias no mês mais quente (janeiro) são superiores a 22°C, médias das máximas variando entre 28°C e 32°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18°C e 20°C. As precipitações são regulares durante todo o ano, com médias anuais que variam entre 1500 a 1600 mm/ano.

4.2 ORIENTAÇÃO TEÓRICA METODOLÓGICA

A abordagem teórica do trabalho está assentada na hipótese de que os parâmetros físico-hídricos do solo influenciam na conformação das vertentes,

constituindo-se importantes para avaliar os processos de evolução e manutenção da forma das mesmas. Sendo assim a orientação metodológica do trabalho baseia-se na abordagem sistêmica. A figura 4 demonstra um sistema de processo-resposta, constituindo a concepção metodológica abordada no estudo.

Figura 4 – Sistema processo-resposta ilustrando a concepção metodológica abordada no estudo.



Fonte: Christofolletti, (1980) (Adaptado).

Para realização do trabalho, adotou-se o método hipotético-dedutivo, que segundo (Lakatos, Marconi, 2001, p.106), inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos, acerca da qual formulam-se hipóteses e, pelo processo de inferências dedutivas, testa-se a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese. De acordo com os objetivos do trabalho, adotou-se também como base teórico-metodológica a proposta de Boulet (1978), que trata da análise estrutural da cobertura pedológica. Busca-se assim, a compreensão da organização dos horizontes pedológicos bidimensionalmente em topossequências de vertentes, bem como as características dos mesmos, evidenciando a dinâmica da cobertura pedológica e a relação com os outros elementos da paisagem, dentre eles o substrato litológico e o clima.

4.3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS

Para atingir os objetivos propostos, assumiu-se como escala de observação os horizontes diagnósticos do solo, as topossequências de vertentes e a paisagem, seguindo-se os seguintes procedimentos (1) reconhecimento geral do

comportamento das vertentes existentes na Depressão Periférica Sul-rio-grandense, na Formação Santa Maria, no município de Santa Maria/RS; (2) seleção das topossequências a serem caracterizadas; (3) detalhamento da estrutura da cobertura pedológica das vertentes, através da identificação e caracterização de perfis de solos em trincheiras e de sondagens a trado e (4) determinação dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do solo nos perfis de solo, nas topossequências das vertentes da Formação Santa Maria. Seguindo esses princípios, Boulet e colaboradores (BOULET et al., 1982a, 1982b; RUELLAN et al., 1984; BOULET, 1988; QUEIROZ NETO, 1988) sistematizaram uma proposta de trabalho para estudos pedológicos de ultra detalhe com forte integração das relações pedologia-topografia-estratigrafia-hidrologia e a denominaram análise estrutural da cobertura pedológica.

Para a realização do procedimento da análise estrutural da cobertura pedológica alguns aspectos servem de embasamento de acordo com Boulet (1982a, 1982b):

1. O solo é um meio organizado e estruturado, constituindo uma cobertura contínua ao longo das vertentes;

2. As organizações pedológicas e suas estruturas apresentam, assim, três dimensões espaciais, donde seu caráter de tridimensionalidade é uma dimensão temporal. As características dessa organização e das estruturas devem estar presentes em todas as escalas de observação, desde a da paisagem, até amostra de microscópico;

3. Como decorrência, e independentemente das aplicações, o estudo dos solos deve basear-se no reconhecimento dessas organizações e estruturas pedológicas, em todas as escalas, nas características e propriedades, de seu funcionamento e de sua história.

Os parâmetros físico-hídricos do solo foram determinados a partir de amostras deformadas e indeformadas, que depois de coletadas foram destinadas para a realização dos ensaios em laboratório.

4.3.1 Seleção das vertentes e elaboração das topossequências

Foram selecionadas cinco vertentes consideradas modais e, representativas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), no bairro Camobi e distrito de Pains, Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul. Justifica-se esta seleção por elas possuírem padrão semelhante de perfil (convexo-côncavo) e localizarem-se sobre a mesma formação litológica e semelhança de solo. Após selecionadas as vertentes modais da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), pretendeu-se identificar com tradagens e aberturas de trincheiras os horizontes diagnósticos dos perfis de solo, que posteriormente, foram representados bidimensionalmente em topossequências de vertentes.

O traçado das topossequências foi determinado a partir da abertura das trincheiras no setor de ruptura topográfica no terço superior das vertentes e subsequentes pontos de amostragens (sondagens a trado) ao longo dos segmentos das vertentes. Em cada ponto amostrado foi determinado o ângulo do desnível topográfico com o auxílio de um clinômetro. Ainda, para a determinação do grau de declividade em cada segmento do perfil da vertente, foi considerada a distância entre esses pontos amostrados medidos com trena ponto a ponto. Todas as vertentes foram georreferenciadas com o uso de GPS. O desnível foi obtido aplicando-se a equação 1:

$$Tg^{\infty} = \frac{h}{d} \therefore h = d.Tg^{\infty} \quad (1)$$

Onde: Tg^{∞} = tangente do ângulo; h = desnível topográfico (altura) e d = distância entre as tradagens.

Com os dados relativos ao desnível entre a trincheira e cada ponto de amostragem por tradagem e conhecidas as distâncias entre esses pontos, foi identificando no perfil de solo a espessura de cada horizonte diagnóstico. Após esses procedimentos utilizou-se um programa de processamento de imagem, o Corel Draw X3, para construir a topossequência bem como a ilustração da organização dos horizontes diagnósticos representados em duas dimensões. A partir disso, visualizou-se os processos e a dinâmica das vertentes modais da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

4.3.2 Descrição dos perfis de solo

Os perfis de solos foram descritos conforme as características morfológicas dos horizontes diagnósticos. As características morfológicas visualizadas possibilitaram a identificação dos horizontes, seguindo o manual de descrição e coleta de solos no campo de (LEMOS; SANTOS, 1996). Após a descrição coletaram-se amostras deformadas e indeformadas de solo de cada horizonte diagnóstico. Foram coletadas amostras deformadas (foram coletadas, etiquetadas e armazenadas em sacos plásticos para serem conduzidas ao laboratório) com 500g, em cada um dos horizontes descritos, para a determinação do tamanho de partículas. Além destas, foram coletadas nos mesmos pontos de cada horizonte, amostras indeformadas (foram coletadas em anéis de ferro com volumes e peso conhecido) para a determinação da densidade de partícula (γ_s), densidade aparente (γ_d) e condutividade hidráulica saturada (K_{sat}). As amostras foram levadas para o laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria, para a realização dos ensaios referentes aos parâmetros físico-hídricos do solo.

4.3.3 Ensaios de laboratório

As coletas das amostras foram feitas sob condições atmosféricas de tempo seco e sem chuva, com o material apresentando condições de umidade que permitissem a coleta de amostras indeformadas. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria. A partir dos ensaios realizados, os parâmetros físico-hídricos determinados foram: distribuição do tamanho de partículas, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, diâmetro dos poros em diferentes tensões (10cm, 30cm e 60cm), densidade aparente (γ_d), densidade de partículas (γ_s) e condutividade hidráulica saturada (K_{sat}).

Para a determinação do tamanho de partículas da fração areia utilizou-se o processo por peneiramento e para as partículas da fração silte e argila, a sedimentação, conforme NBR 7181/84.

A densidade aparente do solo (γ_d) foi obtida pela equação:

$$\gamma_d = \frac{wS}{v} \quad (2)$$

onde: y_d = densidade aparente do solo, g cm^{-3} ; w_s = massa dos sólidos seca, g cm^{-3} e v = volume total da amostra, g cm^{-3} .

A densidade de partícula do solo (y_s) foi obtida pela equação:

$$y_s = \frac{w_s}{v} \quad (3)$$

onde: y_s = densidade de partículas do solo, g cm^{-3} ; w_s = massa das partículas, g cm^{-3} e v = volume das partículas, g cm^{-3} .

Após as amostras indeformadas serem submetidas a drenagem em mesa de tensão, conforme Kiehl (1979), procedeu-se a subsequente pesagem para se obter os valores, tanto de saturação quanto das três condições de drenagem. Mediante cálculos considerando peso seco, volume do anel, peso saturado e drenado obteve-se os resultados.

Os valores de porcentagem de saturação foram obtidos conforme a equação 4:

$$\% \text{ sat} = \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{seco}}}{\text{Vol.anel}} \times 100 \quad (4)$$

Os valores de microporosidade foram obtidos utilizando os valores máximos de drenagem gerados com, no caso, uma coluna de tensão de 60 cm aplicados a equação 5:

$$\text{micro} = \frac{P_{\text{dren 60}} - P_{\text{seco}}}{\text{Vol.anel}} \times 100 \quad (5)$$

A macroporosidade foi determinada pela equação 6:

$$\text{macro} = \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{dren 60}}}{\text{Vol.anel}} \times 100 \quad (6)$$

Para a determinação da condutividade hidráulica foram coletadas, em cada volume pedológico, amostras indeformadas utilizando-se um extrator do solo de Uhlend. No laboratório, as amostras foram preparadas e saturadas por um período de 24 horas e, após, submetidas ao ensaio onde, num permeâmetro, foram colocadas as amostras, coletado e medido o volume de água percolada sendo a vazão calculada pela equação 7:

$$K = Q \cdot \frac{L}{A} \cdot H \cdot T \quad (7)$$

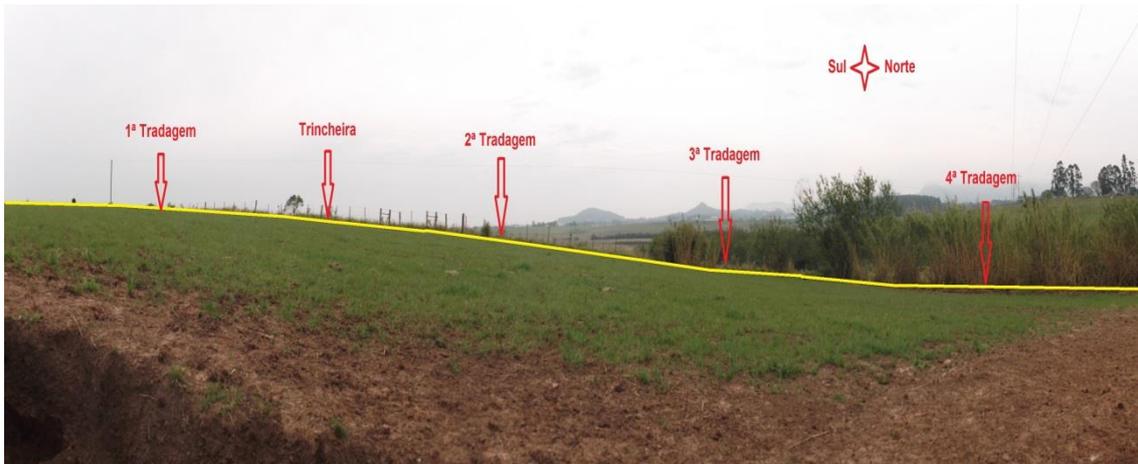
Onde: K=condutividade hidráulica em cm/h; Q=volume percolado; L=altura do bloco da amostra; H=altura do bloco da amostra e da coluna; A=área do cilindro; T=tempo de percolação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 1

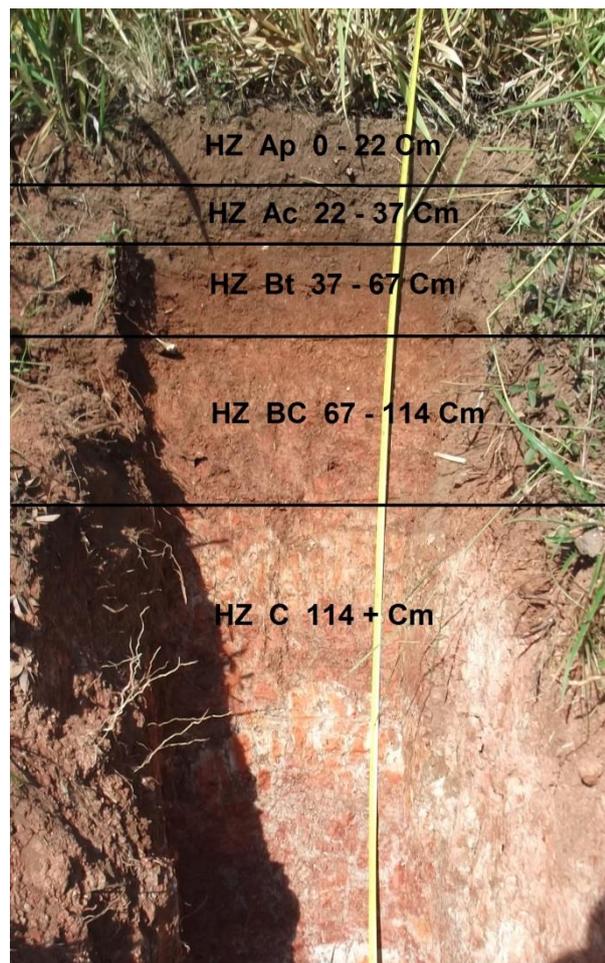
A vertente 1 selecionada para avaliação, que se apresenta como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), localiza-se entre as coordenadas geográficas: 29°43'54"S e 53°44'19"W. Situa-se na estrada para a colônia Pau a Pique, no distrito de Pains, próxima à área nova da Universidade Federal de Santa Maria. Na figura 5, que ilustra essa vertente, é possível observar que ela apresenta perfil convexo-côncavo e mede, do topo até a base, cerca de 140 metros de comprimento, com ângulo de aproximadamente 8°, orientado para norte. No terço superior (setor convexo), foi aberta uma trincheira e, ao longo do perfil, foram realizadas quatro tradagens. A partir do terço médio inferior, constata-se que o perfil torna-se côncavo. Da trincheira cavada, foram descritas as características morfológicas do perfil de solo e coletadas as amostras deformadas e indeformadas, que permitiram a realização dos ensaios em laboratório. A figura 6 ilustra o perfil de solo, e o quadro 1 traz a descrição morfológica desse perfil. Na tabela 1, apresentam-se os resultados obtidos para os ensaios relativos à distribuição do tamanho de partículas e, na tabela 2, os resultados referentes aos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos descritos no perfil de solo.

Figura 5 – Aspecto da área da vertente 1, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/04/2015.

Figura 6 – Vertente 1: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/04/2015.

Quadro 1 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.

Trincheira 1 vertente 1	Descrição morfológica
<p>DATA: 18/04/2015 LOCALIZAÇÃO: Latitude de 29°43'54"S e Longitude de 53°44'19" W. Estrada de Pains – Santa Maria, localidade de Pains. ALTITUDE: 105 m. FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Santa Maria (Membro Alemoa). MATERIAL ORIGINÁRIO: Lamitos e siltitos argilosos maciços. RELEVO LOCAL: Suave ondulado. RELEVO REGIONAL: Suave ondulado. EROSÃO: laminar ligeira. CLIMA: Cfa, mesotérmico brando na classificação de Köppen, Udic e Thermic. DRENAGEM: Bem drenado. VEGETAÇÃO: Campo Subtropical Subúmido . USO ATUAL: Lavoura temporária. DESCRITO E COLETADO POR: Ronaldo Facco.</p>	
<p>Horizonte Ap 0-22 cm; Vermelho muito escuro (5 YR 2,5/2, úmido); (7,5 YR 3/2, seco); franco arenosa; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e médios; muito friável quando úmida; ligeiramente dura quando seca; ligeiramente plástica quando molhada; transição plana; raízes muitas.</p>	
<p>Horizonte Ac 22-37 cm; Preto (5 YR 2,5/1, úmido); (7,5 YR ¾, seco); franco arenosa; pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; ligeiramente dura quando seca; transição plana; raízes comuns; presença de muitas concreções ferruginosas.</p>	
<p>Horizonte Bt 37-67 cm; Marrom escuro avermelhado (2,5 YR 3/4, úmido); (2,5 YR 3/6, seco); argilo siltosa; moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade moderada; poros comuns pequenos e médios; firme quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição plana; raízes comuns.</p>	
<p>Horizonte BC 67-114 cm; Marrom (7,5 YR 4/4, úmido); (2,5 YR ¾, seco); argila; forte, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade forte; poros comuns pequenos e médios; firme quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição plana; raízes poucas.</p>	
<p>Horizonte C 114 + cm; mosqueados; franco argilo siltosa; forte, pequena a média, blocos prismáticos; cerosidade forte; poros poucos, pequenos e médios; extremamente firme quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição plana; raízes raras.</p>	

Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/04/2015.

Tabela 1 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) g.kg ⁻¹					
	Profundidade (cm)	Cascalho (20-2mm)	Areia grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,20-0,05mm)	Silte (0,05,-0,002mm)	Argila (<0,002 mm)
Ap	0 – 22	232	169	161	436	234
Ac	22 – 37	700	238	110	346	310
Bt	37 – 67	–	251	38	275	661
BC	67 – 114	–	91	33	350	608
C	114 +	–	55	37	299	659

Fonte: Análise laboratorial.

Tabela 2 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 1, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

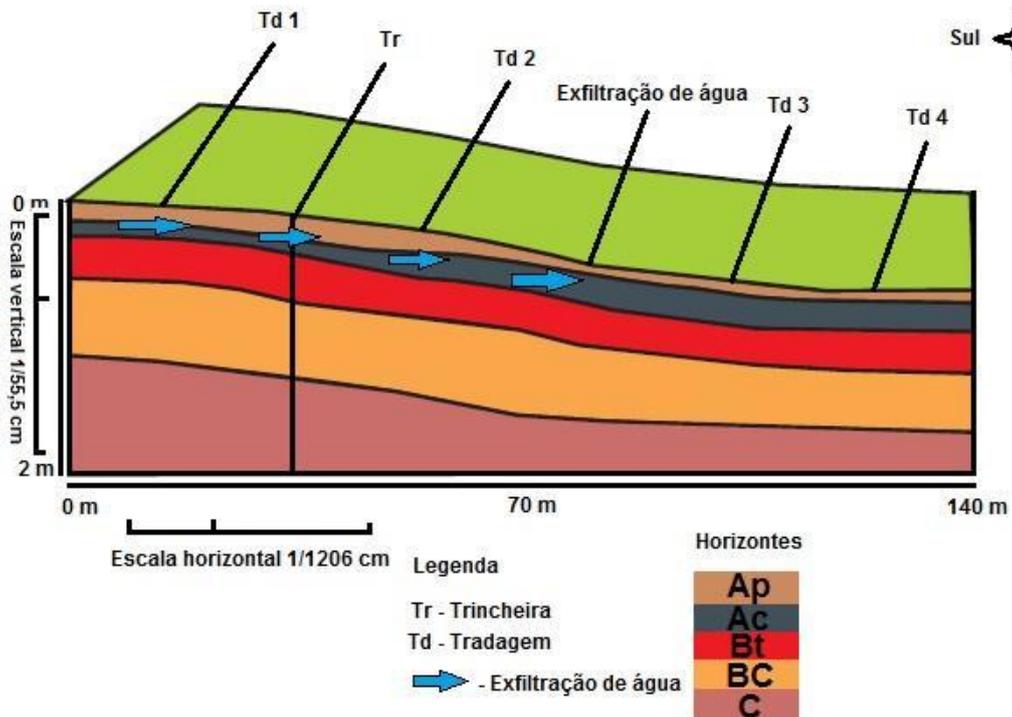
Horizontes Diagnósticos	% Sat	Micro	Macro	10 cm	30 cm	60 cm	γ_d	γ_s	Ksat (cm/h)
Ap	32,68	28,70	3,97	-	-	28,70	1,59	2,55	2,50
Ac	38,78	23,28	15,49	-	-	23,28	1,87	2,61	45,22
Bt	42,02	37,19	4,82	-	-	37,19	1,33	2,68	0,21
BC	41,93	36,21	5,71	-	-	36,21	1,50	2,61	1,95
C	43,38	40,67	2,71	-	-	40,67	1,40	2,66	1,98

Mesa de tensão (% Sat = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; 10 cm = tensão dos poros na altura de 10 cm; 30 cm = tensão dos poros na altura de 30 cm e 60 cm = tensão dos poros na altura de 60 cm); γ_d = densidade aparente; γ_s = densidade de partículas e Ksat= condutividade hidráulica saturada.

Fonte: Análise laboratorial.

Os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas (tabela 1) mostram um incremento de argila em profundidade no perfil, nota-se também que esse incremento deriva da translocação dos horizontes superficiais Ap e Ac para os horizontes subsuperficiais Bt, BC e C, contribuindo assim para uma menor condutividade hidráulica. Outro fator que contribui para o aumento na condutividade hidráulica dos horizontes superficiais Ap e Ac é a presença de grande quantidade de cascalhos (concreções ferruginosas). Essas características propiciam a formação de fluxo lateral de água sobre o horizonte subsuperficial Bt, gerando uma zona de exfiltração de água no terço médio da vertente (setor côncavo) e influenciando a conformação do perfil convexo-côncavo da vertente. A figura 7 busca ilustrar esse mecanismo.

Figura 7 – Topossequência da vertente 1, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

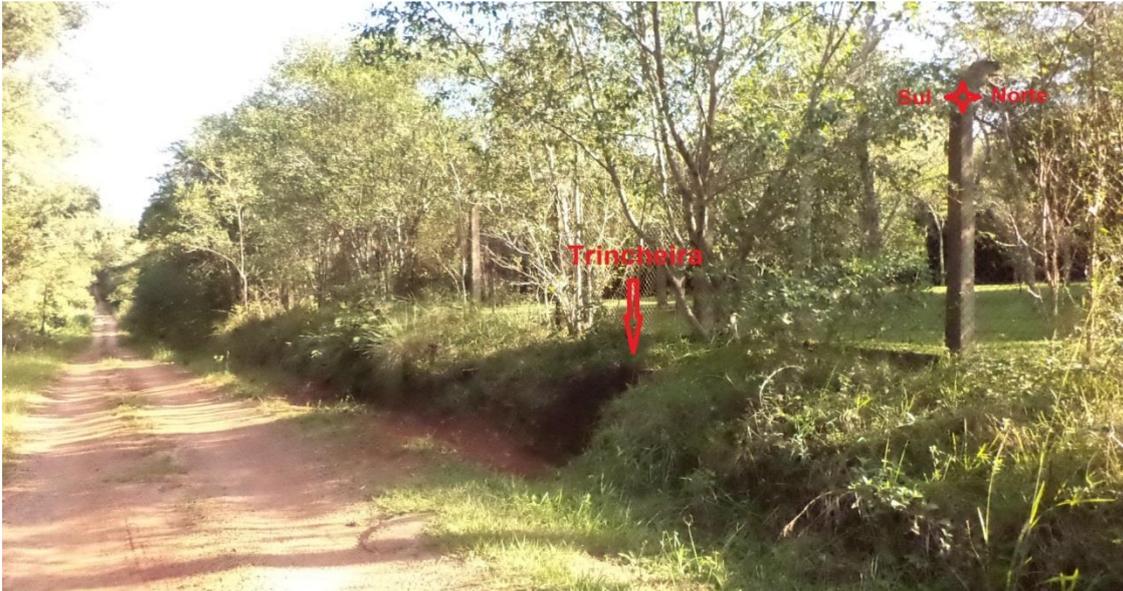
Observa-se, na figura da topossequência da vertente 1, que os horizontes apresentam-se mais ou menos homogêneos em relação à espessura ao longo da topossequência, indicando uma estabilidade entre pedogênese e morfogênese. Entretanto, nos horizontes superficiais Ap e Ac, onde a presença de concreções ferruginosas aparece em proporção significativa e gera uma camada endurecida, há

uma variação na espessura desses horizontes. Isso contribui significativamente para a manutenção da atual forma do perfil (convexo-côncavo) dessa vertente.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 2

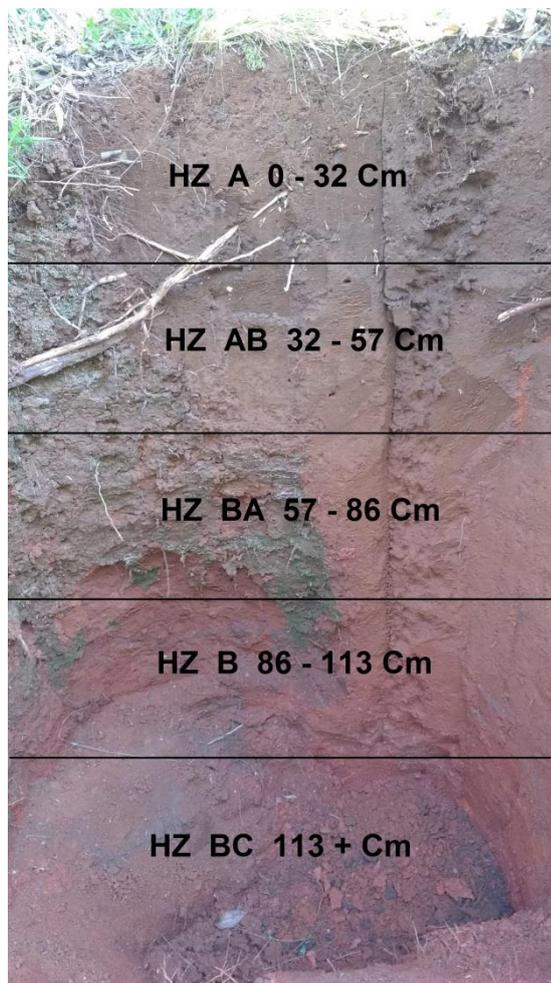
A vertente 2 selecionada para avaliação, que se apresenta como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), localiza-se entre as coordenadas geográficas: 29°43'01"S e 53°43'39"W. Situa-se em uma estrada próxima ao jardim botânico da Universidade Federal de Santa Maria. Na figura 8, que ilustra essa vertente, é possível observar que ela apresenta perfil convexo-côncavo e mede, do topo até a base, cerca de 110 metros de comprimento, com ângulo de aproximadamente 8°, orientado para norte. No terço superior (setor convexo), foi aberta uma trincheira e, ao longo do perfil, foram realizadas quatro tradagens. A partir do terço médio inferior, constata-se que o perfil torna-se côncavo. Da trincheira cavada, foram descritas as características morfológicas do perfil de solo e coletadas as amostras deformadas e indeformadas que, permitiram a realização dos ensaios em laboratório. A figura 9 ilustra o perfil de solo, e o quadro 2 traz a descrição morfológica desse perfil. Na tabela 3, encontram-se os resultados obtidos para os ensaios relativos à distribuição do tamanho de partículas e, na tabela 4, os resultados referentes aos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos descritos no perfil de solo.

Figura 8 – Aspecto da área da vertente modal 2, selecionada como representativa das vertente situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/04/2015.

Figura 9 – Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil do solo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 25/05/2015.

Quadro 2 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 2, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.

Trincheira 2: vertente 2	Descrição morfológica
<p>DATA: 25/05/2015 LOCALIZAÇÃO: Latitude de 29°43'01" S e Longitude de 53°43'39" W. Estrada próxima ao Jardim botânico do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ALTITUDE: 110 m FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Santa Maria (Membro Alemoa). MATERIAL ORIGINÁRIO: Lamitos e siltitos argilosos maciços. RELEVO LOCAL: Suave ondulado. RELEVO REGIONAL: Suave ondulado. EROÇÃO: laminar ligeira. CLIMA: Cfa, mesotérmico brando na classificação de Köppen, Udic e Thermic DRENAGEM: Bem drenado VEGETAÇÃO: Campo Subtropical Subúmido USO ATUAL: Florestamento do jardim botânico DESCRITO E COLETADO POR: Ronaldo Facco</p>	
<p>Horizonte A 0-32 cm; Bruno muito escuro (7.5 YR 2,5/3, úmido); bruno escuro (7.5 YR 3/4, seco); franca argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes abundantes.</p>	
<p>Horizonte AB 32-57 cm; Bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4, úmido); bruno forte (7.5 YR 4/6, seco); Argila; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns.</p>	
<p>Horizonte BA 57-86 cm; Vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); vermelho (2.5YR 4/6, seco); muito argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios fraca; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns.</p>	
<p>Horizonte B 86-113 cm; Vermelho (2,5 YR 4/8, úmido); vermelho (10R 4/8, seco); muito argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios fraca; cerosidade ausente; muitos poros pequenos e médios; friável, plástica e pegajosa; transição plana gradual; raízes poucas.</p>	
<p>Horizonte BC 113 + cm; Vermelho (10 R 4/8, úmido); vermelho (10 R 4/8, seco); muito argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios fraca; cerosidade ausente; poros comuns, pequenos e médios; friável, plástica e pegajosa; transição plana gradual; raízes raras.</p>	

Fonte: Trabalho de campo realizado em 25/05/2015.

Tabela 3 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 2, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) g.kg ⁻¹					
	Profundidade (cm)	Cascalho (20-2mm)	Areia grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,20-0,05mm)	Silte (0,05,-0,002mm)	Argila (<0,002 mm)
A	0 – 32	–	70	202	394	334
AB	32 – 57	–	53	151	314	482
BA	57 – 86	–	33	102	246	619
B	86 – 113	–	20	86	296	598
BC	113 +	–	9	27	154	810

Fonte: Análise laboratorial.

Tabela 4 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 2 selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	% Sat	Micro	Macro	10 cm	30 cm	60 cm	γ_d	γ_s	Ksat (cm/h)
A	17,71	21,41	6,55	-	22,86	21,41	1,89	2,53	0,22
AB	16,68	22,79	6,94	-	25,86	22,79	1,92	2,53	0,42
BA	17,30	27,49	5,09	-	26,50	27,49	1,93	2,65	0,42
B	17,52	27,33	4,50	-	27,86	27,33	1,99	2,58	0,48
BC	17,30	24,90	4,95	-	23,80	24,90	1,64	2,67	0,32

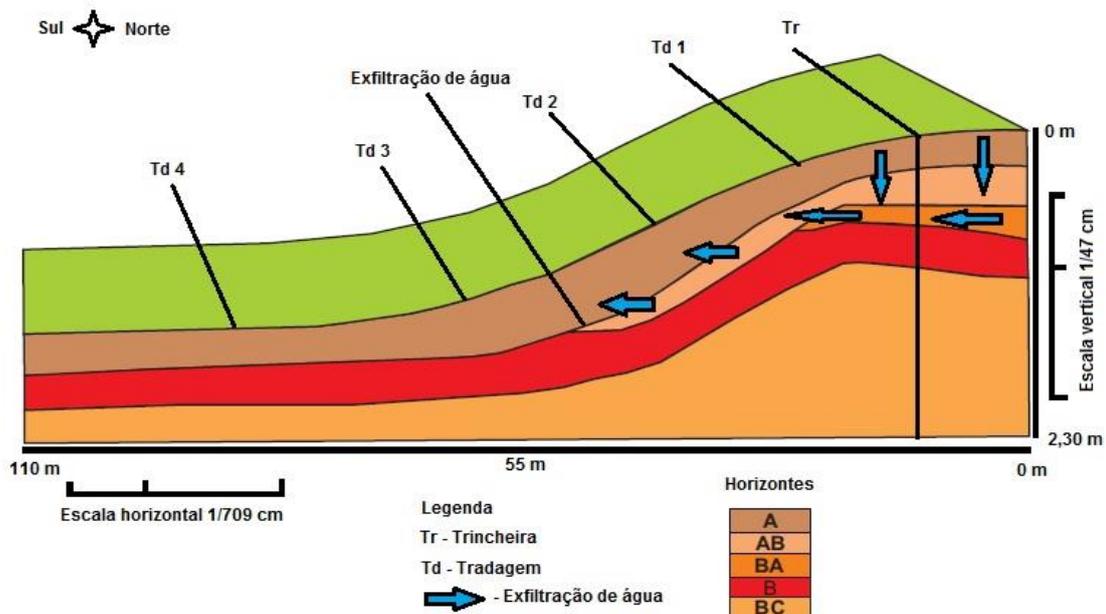
Mesa de tensão (% Sat = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; 10 cm = tensão dos poros na altura de 10 cm; 30 cm = tensão dos poros na altura de 30 cm e 60 cm = tensão dos poros na altura de 60 cm); γ_d = densidade aparente; γ_s = densidade de partículas e Ksat= condutividade hidráulica saturada.

Fonte: Análise laboratorial.

Os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas (tabela 3) mostram um incremento de argila em profundidade no perfil. Observa-se também que essa translocação de argila dos horizontes diagnósticos superficiais A e AB para

os horizontes subsuperficiais BA, B e BC não resulta em uma grande diferenciação nos valores da condutividade hidráulica (K_{sat}). Portanto, a textura dos horizontes permite uma melhor circulação da água nos horizontes superficiais por apresentarem uma grande quantidade de areia fina e silte. Já, nos horizontes subsuperficiais existe uma maior concentração de argila e isso promove a infiltração da água, que é direcionada para o terço médio da vertente por meio da ação da gravidade, onde o perfil torna-se então côncavo. Nesse sentido, o incremento de argila em profundidade no perfil do solo influi na condutividade hidráulica e, por consequência, na exfiltração que acontece no terço médio da vertente, promovendo uma concavidade nesse segmento. A figura 10 busca ilustrar esse mecanismo.

Figura 10 – Topossequência da vertente 2, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, as propriedades físico-hídricas do solo influenciam na conformação dessa vertente, situada sobre rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa). Essa interferência pode ser destacada principalmente a partir dos valores obtidos na análise granulométrica e condutividade hidráulica.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 3

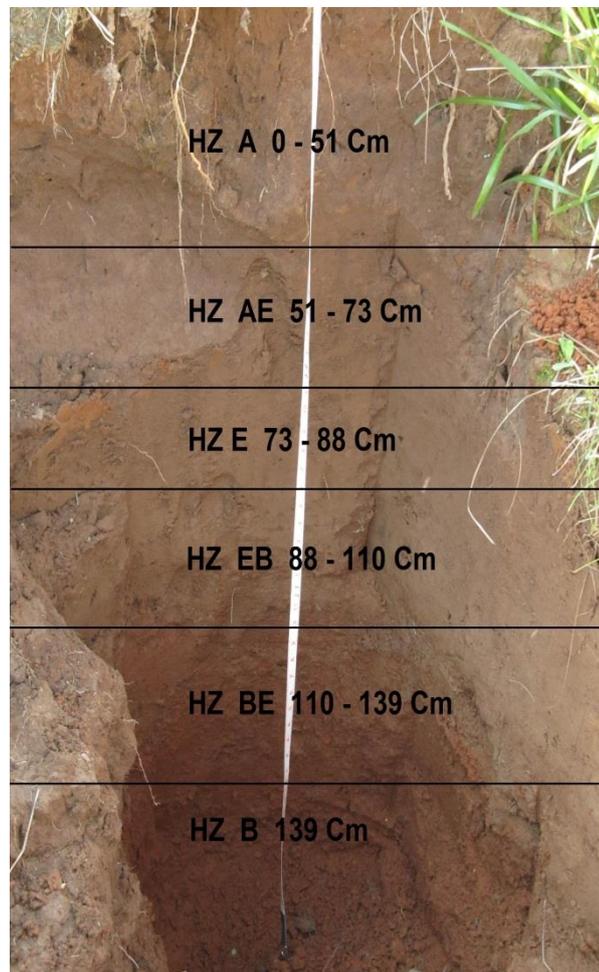
A vertente 3, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), está localizada entre as coordenadas geográficas: 29°42'53"S e 53°42'27"W. Situa-se na área experimental do Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria. Na figura 11, que ilustra essa vertente, é possível observar que ela apresenta perfil convexo-côncavo e mede, do topo até a base, cerca de 151 metros de comprimento, com ângulo de aproximadamente 8°, orientado para sul. No terço superior (setor convexo), foi aberta uma trincheira e, ao longo do perfil, foram realizadas quatro tradagens. A partir do terço médio inferior, observa-se que o perfil torna-se côncavo. Da trincheira cavada, foram descritas as características morfológicas do perfil de solo e coletadas as amostras deformadas e indeformadas, para a realização dos ensaios em laboratório. A figura 12 ilustra o perfil de solo, e o quadro 3 traz a descrição morfológica desse perfil. Na tabela 5, constam os resultados obtidos para os ensaios relativos à distribuição do tamanho de partículas e, na tabela 6, os resultados referentes aos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos descritos no perfil de solo.

Figura 11 – Aspecto da área da vertente 3, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/08/2015.

Figura 12 – Vertente 3: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/08/2015.

Quadro 3 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.

Trincheira 3 Vertente 3	Descrição morfológica
<p>DATA: 17/08/2015 LOCALIZAÇÃO: 29°42'53" de latitude sul e, 53°42'27" longitude oeste (área experimental do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria). ALTITUDE: 113 m. FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Santa Maria (Membro Alemoa). MATERIAL ORIGINÁRIO: Lamitos e siltitos argilosos maciços. RELEVO LOCAL: Suave ondulado. RELEVO REGIONAL: Suave ondulado. EROÇÃO: Laminar. CLIMA: Cfa da classificação de Köppen (mesotérmico brando). DRENAGEM: Bem drenado. VEGETAÇÃO: Campos com Capões e Matas Galerias. USO ATUAL: Lavoura temporária. DESCRITO E COLETADO POR: Ronaldo Facco</p>	
<p>Horizonte A: 0-51 cm; Preto (5 YR 2,5/1, úmido); Bruno-escuro (7,5 YR 3/2, seco); franco arenosa; friável, pequena a média, blocos angulares e subangulares; muitos poros pequenos e médios; cerosidade ausente; muito friável quando úmida; ligeiramente dura quando seca; ligeiramente plástica quando molhada; transição gradual; raízes muitas.</p>	
<p>Horizonte AE; 51-73 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5 YR 2,5/2, úmido); Bruno-escuro (7,5 YR ¾, seco); franco arenosa; friável; pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e médios; cerosidade ausente; friável quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; (continua) ligeiramente dura quando seca; transição gradual; raízes comuns.</p>	
<p>Horizonte E 73-88 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR ¾, úmido); Vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); franco arenosa; friável, blocos angulares e subangulares pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição gradual; raízes comuns.</p>	
<p>Horizonte EB 88-110 cm; Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR ¾, seco); franco argilo arenosa; friável, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição gradual; raízes poucas.</p>	
<p>Horizonte BE 110-139 cm; Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR ¾, seco); franco argilo; firme, pequena a</p>	

média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; firme quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição difusa; raízes raras.

Horizonte B 139 + cm; Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); argila; firme, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição difusa; raízes raras.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/08/2015.

Tabela 5 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	Profundida de (cm)	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) g.kg ⁻¹				
		Cascalh o (20- 2mm)	Areia grossa (2- 0,2mm)	Areia fina (0,20- 0,05mm)	Silte (0,05,- 0,002mm)	Argila (<0,002 mm)
A	0 – 51	0,5	154	421	315	106
AE	51 – 73	0,9	117	424	353	104
E	73 – 88	13,6	108	406	390	70
EB	88 – 110	25,4	86	350	394	135
BE	110 – 139	24,5	57	151	293	355
B	139 +	35	60	251	281	375

Fonte: Análise laboratorial.

Tabela 6 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 3, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	% Sat	Micro	Macro	10 cm	30 cm	60 cm	γ_d	γ_s	Ksat (cm/h)
A	37,00	28,52	8,48	34,98	31,83	28,52	1,54	2,61	24,19
AE	39,14	29,24	9,90	36,21	32,87	29,24	1,62	2,50	10,75
E	34,36	27,72	6,64	31,64	29,25	27,72	1,82	2,28	3,38
EB	41,38	32,65	8,73	38,16	34,13	32,65	1,50	2,59	32,31
BE	46,33	38,62	7,71	42,30	40,01	38,62	1,38	2,56	9,52
B	46,64	41,30	5,34	46,07	42,38	41,30	1,46	2,42	0,06

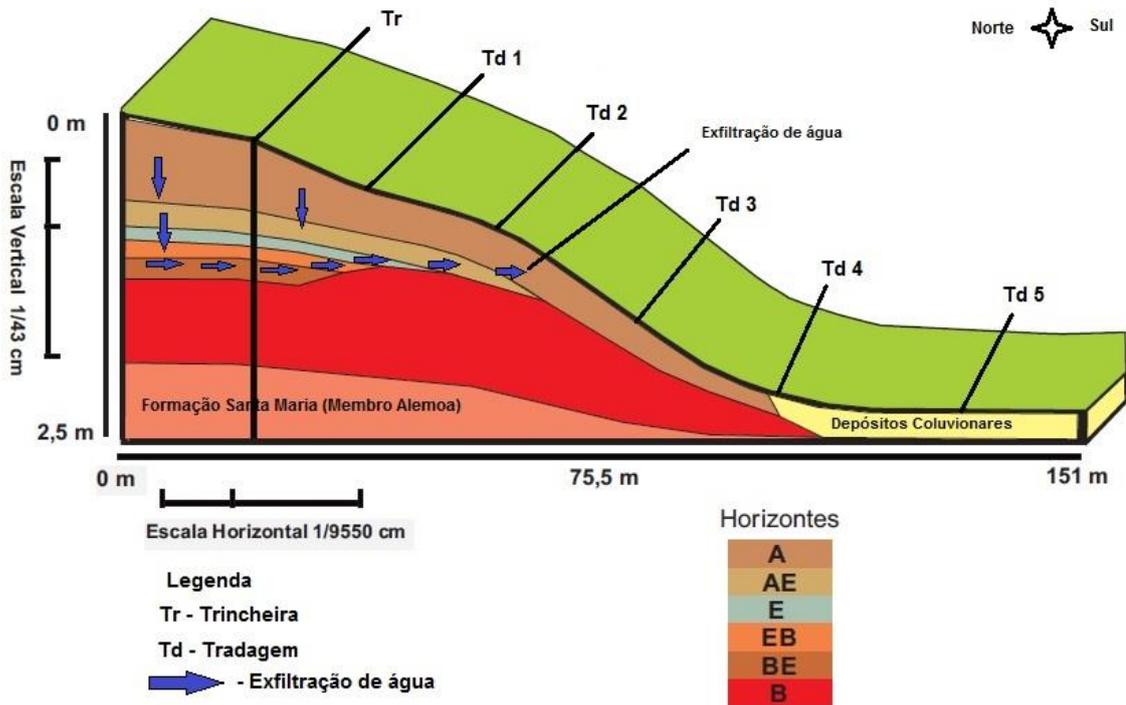
Mesa de tensão (% Sat = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; 10 cm = tensão dos poros na altura de 10 cm; 30 cm = tensão dos poros na altura de 30 cm e 60 cm = tensão dos poros na altura de 60 cm); γ_d = densidade aparente; γ_s = densidade de partículas e K_{sat} = condutividade hidráulica saturada.

Fonte: Análise laboratorial.

Os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas (tabela 5) mostram que há uma translocação de argila dos horizontes diagnósticos superficiais A, AE, E e EB para os horizontes subsuperficiais BE e B. Observa-se, na tabela 6, que os maiores valores de macroporosidade correspondem à maior condutividade hidráulica.

A concentração de argila nos horizontes subsuperficiais BE e B causa uma saturação em subsuperfície, junto ao horizonte B, e, a partir disso, promove a ocorrência de fluxo lateral da água infiltrada. Assim, motiva uma exfiltração, que acontece a partir do terço médio inferior desse vertente. Nesse segmento, o perfil torna-se côncavo. A figura 13 procura ilustrar esse processo.

Figura 13 Aspecto do processo de exfiltração, que ocorre no terço médio inferior da vertente modal 3, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

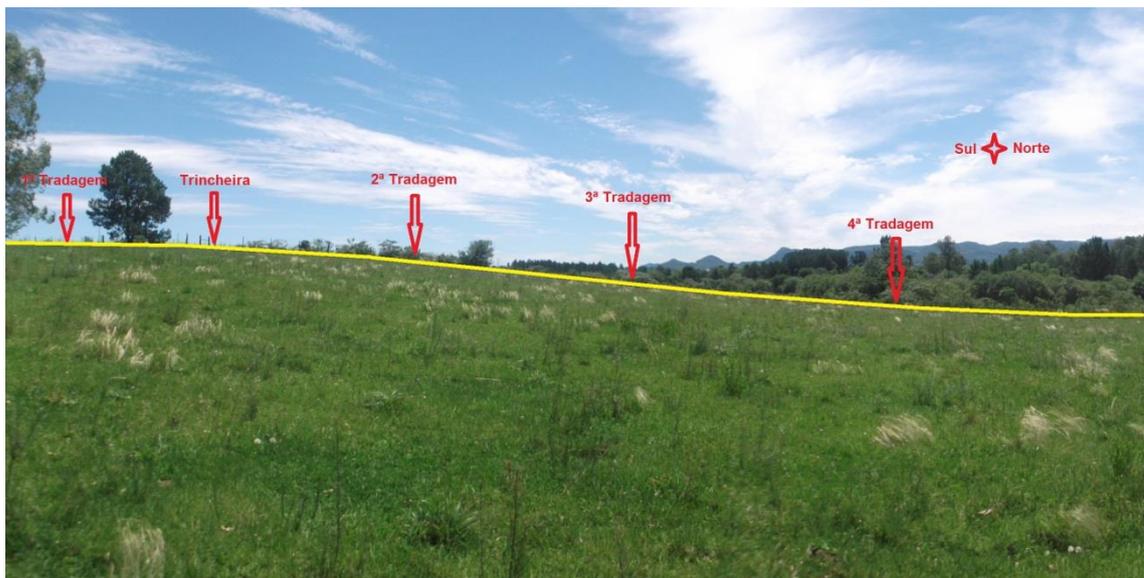
Também ocorre a presença de cascalhos (concreções ferruginosas) nos horizontes diagnósticos, que influem na circulação da água dentro do perfil de solo. Observa-se ainda que a exfiltração acontece a partir do terço médio inferior da vertente. Isso provavelmente está relacionado à presença dessas concreções, que mantêm o segmento convexo, e à exfiltração proporcionada pela maior condutividade hidráulica do horizonte EB no segmento côncavo. Portanto, as propriedades físico-hídricas do solo influenciam na conformação do perfil convexo-côncavo nessa vertente.

5.4 RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 4

A vertente 4 selecionada para avaliação, que se apresenta como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), localiza-se entre as coordenadas geográficas: 29°43'08"S e 53°42'09"W, a leste do campus da Universidade Federal de Santa Maria, em um afloramento rochoso, ao lado da estrada municipal Pedro Fernandes da Silveira. Na figura 14, que ilustra essa vertente, é possível observar que ela apresenta perfil convexo-

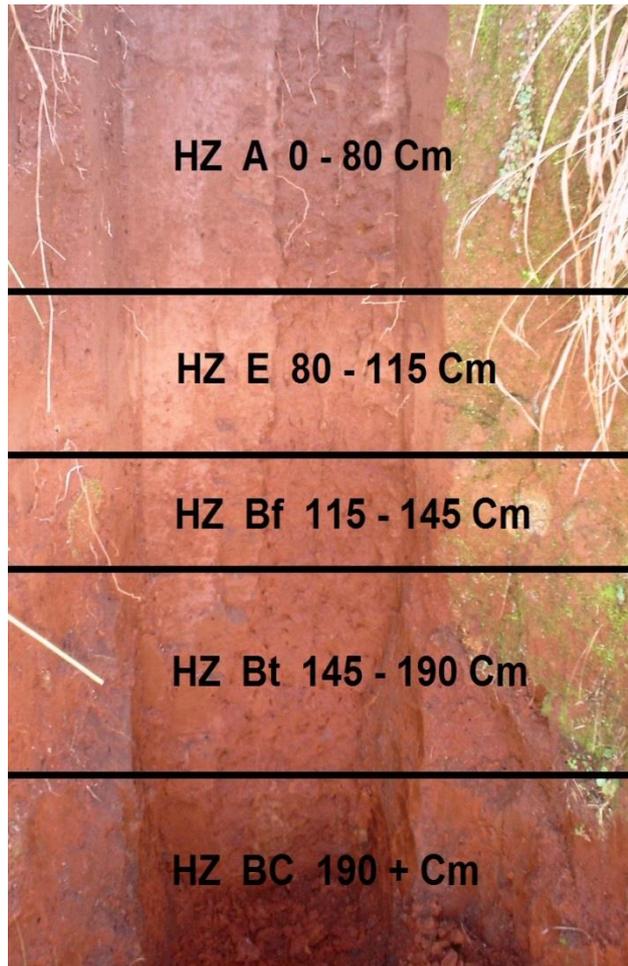
côncavo e mede, do topo até a base, cerca de 360 metros de comprimento, com ângulo de aproximadamente 8° , orientado para norte. No terço superior (setor convexo), foi aberta uma trincheira e, ao longo do perfil, foram realizadas quatro tradagens. A partir da trincheira cavada, foram descritas as características morfológicas do perfil de solo e coletadas as amostras deformadas e indeformadas, que serviram para a realização dos ensaios em laboratório. A figura 15 ilustra os horizontes diagnósticos no perfil de solo, e o quadro 4 traz a descrição morfológica dos horizontes diagnósticos desse perfil. Na tabela 7, apresentam-se os resultados obtidos para os ensaios relativos à distribuição do tamanho de partículas e, na tabela 8, os resultados referentes aos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos descritos no perfil de solo.

Figura 14 – Aspecto da área da vertente modal 4, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 05/09/2015.

Figura 15 – Vertente 4: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 05/09/2015.

Quadro 4 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.

Trincheira 4 vertente 4	Descrição morfológica
<p>DATA: 05/09/2015 LOCALIZAÇÃO: Latitude de 29°43'08" S e Longitude de 53°42'09" W. Estrada de Pains – Santa Maria, localidade de Pains. Afloramento lado direito da estrada, cerca de 200 metros após córrego que corta o Campus da UFSM. ALTITUDE: 105 m. FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Santa Maria (Membro Alemoa). MATERIAL ORIGINÁRIO: Arenitos grosseiros a médios. RELEVO LOCAL: Suave ondulado. RELEVO REGIONAL: Suave ondulado. EROSÃO: laminar ligeira. CLIMA: Cfa, mesotérmico brando na classificação de Köppen, Udic e Thermic. DRENAGEM: Bem drenado. VEGETAÇÃO: Campo Subtropical Subúmido .</p>	

USO ATUAL: Lavoura temporária.
DESCRITO E COLETADO POR: Ronaldo Facco.

Horizonte A 0-80 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 2,5/2, úmido); franco arenosa; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e médios; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes comuns.

Horizonte E 80-115 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); franco argilosa; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros muitos pequenos e médios; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes poucas.

Horizonte Bf 115-145 cm; bruno avermelhado (2,5 YR 4/3, úmido); argilosa; moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes poucas, presença moderada de concreções ferruginosas.

Horizonte Bt 145-190 cm; bruno avermelhado (2,5 YR 4/4, úmido); muito argilosa; moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes poucas.

Horizonte BC 190 + cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido); argilosa; moderada a forte, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns, pequenos e médios; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa; raízes raras.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 05/09/2015.

Tabela 7 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) g.kg ⁻¹				
		Cascalho (20- 2mm)	Areia grossa (2- 0,2mm)	Areia fina (0,20- 0,05mm)	Silte (0,05,- 0,002mm)	Argila (<0,002 mm)
A	0 – 80	–	243	327	266	163
E	80 – 115	–	187	343	329	140
Bf	115 – 145	483	140	257	249	356
Bt	145 – 190	–	120	214	192	471
BC	190 +	–	120	211	230	438

Fonte: Análise laboratorial.

Tabela 8 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

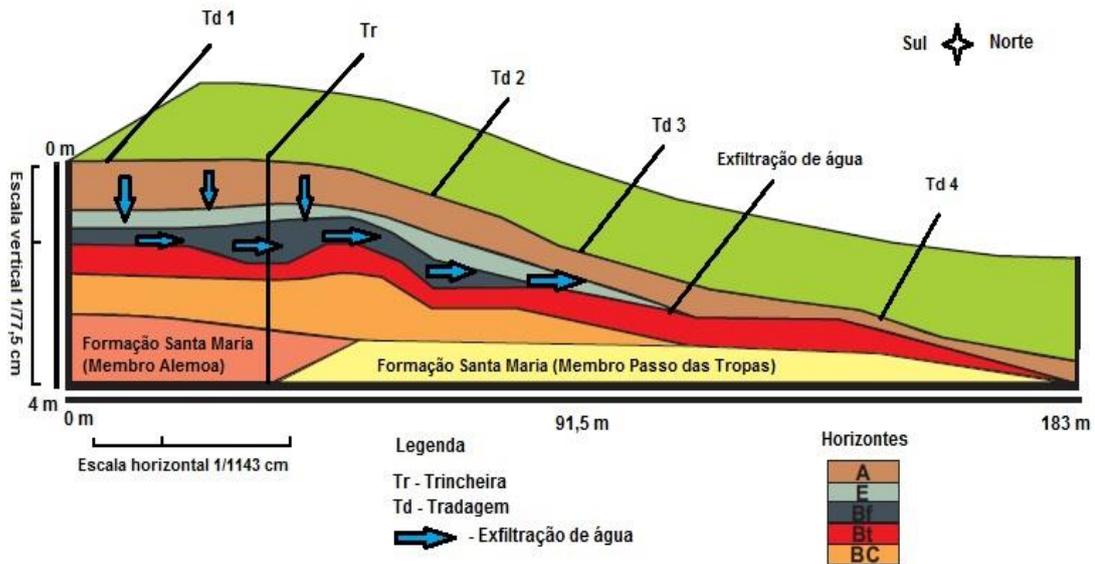
Horizontes Diagnósticos	% Sat	Micro	Macro	10 cm	30 cm	60 cm	γ_d	γ_s	Ksat (cm/h)
A	43,47	29,01	14,45	3,88	9,86	14,45	1,46	2,63	4,12
E	33,35	26,85	6,50	3,39	5,34	6,50	1,56	2,65	5,87
Bf	45,05	38,53	6,52	3,38	5,54	6,52	1,75	2,67	11,70
Bt	48,34	43,99	4,35	1,68	3,09	4,35	1,46	2,74	0,62
BC	49,67	42,62	7,05	3,27	5,74	7,05	1,56	2,69	1,68

Mesa de tensão (% Sat = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; 10 cm = tensão dos poros na altura de 10 cm; 30 cm = tensão dos poros na altura de 30 cm e 60 cm = tensão dos poros na altura de 60 cm); γ_d = densidade aparente; γ_s = densidade de partículas e Ksat= condutividade hidráulica saturada.

Fonte: Análise laboratorial.

Os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas (tabela 7) mostram há translocação de argila dos horizontes superficiais A, E e Bf para os horizontes subsuperficiais Bt e BC. Percebe-se que o mais argiloso dos horizontes (Bt), impede a infiltração de água, formando, acima dele, um fluxo lateral de água. Acima do horizonte Bt está o horizonte Bf, apresentando como principal característica a presença de cascalhos (concreções ferruginosas), que proporcionam maior condutividade hidráulica (tabela 8). Isso contribui para que ocorra o mecanismo de exfiltração de água no terço médio da vertente, tornando o segmento do perfil côncavo. A figura 16 ilustra esse processo.

Figura 16 – Topossequência da vertente 4, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença dos horizontes E e Bf, que se encontram apenas no terço superior e médio da vertente, influenciam a circulação hídrica e, por consequência, a evolução do perfil convexo-côncavo da vertente. A maior concavidade no segmento inferior da vertente possivelmente está relacionada ao mecanismo de exfiltração que acontece nesse segmento, conforme ilustrado na figura 16.

5.5 RESULTADOS OBTIDOS PARA A VERTENTE 5

A vertente 5 selecionada para avaliação, que se apresenta como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), localiza-se entre as coordenadas geográficas: 29°43'26"S e 53°41'25"W. Situa-se a leste do campus da Universidade Federal de Santa Maria, em um afloramento ao lado da estrada secundária que dá cesso ao interior do município de Santa Maria. Na figura 17, que ilustra essa vertente, é possível observar que ela apresenta perfil convexo-côncavo e mede, do topo até a base, cerca de 280 metros de comprimento, com ângulo de aproximadamente 8°, orientado para nordeste. No terço superior (setor convexo), foi aberta uma trincheira e, ao longo do perfil, foram realizadas quatro tradagens. A partir da trincheira cavada, foram descritas as características morfológicas do perfil do solo e coletadas amostras deformadas e indeformadas, para a realização dos ensaios em laboratório. A figura 18 ilustra o

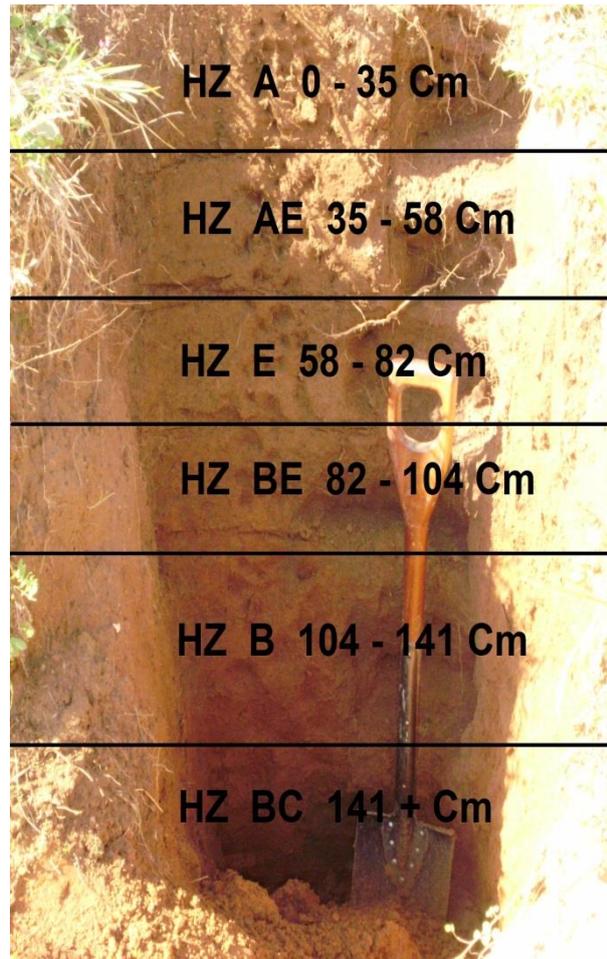
perfil de solo, e o quadro 5 traz a descrição morfológica desse perfil. Na tabela 9, encontram-se os resultados obtidos para os ensaios relativos à distribuição do tamanho de partículas e, na tabela 10, os resultados referentes aos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos descritos no perfil de solo.

Figura 17 – Aspecto da área da vertente modal 5, selecionada como representativa das vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/11/2015.

Figura 18 – Vertente 5: Aspecto da trincheira onde se visualizam os horizontes diagnósticos do perfil de solo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/11/2015.

Quadro 5 – Descrição morfológica do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico formado por rochas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) no distrito de Pains e no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS.

Trincheira 5 Vertente 5	Descrição morfológica
<p>DATA: 18/11/2015 LOCALIZAÇÃO: Latitude de 29°43' 26" S e Longitude de 53°41'25" W. Distrito de Pains, Santa Maria/RS. Altura 100m. FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Santa Maria (Membro Alemoa). MATERIAL ORIGINÁRIO Arenitos grosseiros a médios, róseo - avermelhados, feldspáticos, tornando-se conglomeráticos em direção à base, com grânulos e seixos de quartzo. RELEVO LOCAL: Suave ondulado. RELEVO REGIONAL: Suave ondulado. EROSIÃO: Laminar e em sulcos ocasionais. CLIMA: Cfa, mesotérmico brando na classificação de Köppen, Udic e Thermic DRENAGEM: Bem drenado VEGETAÇÃO: Campos com capões. Subtropical Subúmido USO ATUAL: Lavoura de Soja</p>	

DESCRITO E COLETADO POR: Ronaldo Facco

Horizonte A 0-42 cm; (5 YR 3,2/, úmido); franca argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns.

Horizonte AE 42-60 cm; (5 YR 3/4, úmido); Franco Argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns.

Horizonte E 60-80 cm; vermelho amarelado (5YR 4/4, úmido); Franco Argilo-Siltosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes comuns.

Horizonte BE 84-94 cm; (2,5 YR 3/6, úmido); argilosa; ligeiramente plástico ligeiramente pegajoso; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável; transição plana gradual; raízes raras.

Horizonte B 94-142 cm; vermelho (2,5R 4/6, úmido); argilosa; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns, pequenos a médios; friável, plástica e pegajosa; transição plana gradual; raízes raras. Horizonte

Horizonte BC 142+ cm; (2,5 YR 4/8, úmido); argilosa; ligeiramente plástico ligeiramente pegajoso; blocos angulares e subangulares de pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável; transição plana gradual; raízes ausentes.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 18/11/2015.

Tabela 9 – Distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Horizontes Diagnósticos	Profundidade (cm)	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) g.kg ⁻¹				
		Cascalho (20- 2mm)	Areia grossa (2- 0,2mm)	Areia fina (0,20- 0,05mm)	Silte (0,05,- 0,002mm)	Argila (<0,002 mm)
A	0 – 35	–	189	338	256	216
AE	35 – 58	–	135	366	300	197
E	58 – 82	–	171	331	306	190
BE	82 – 104	–	100	204	250	445
B	104 – 141	–	143	227	209	420
BC	141 +	–	132	241	230	396

Fonte: Análise laboratorial.

Tabela 10 – Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

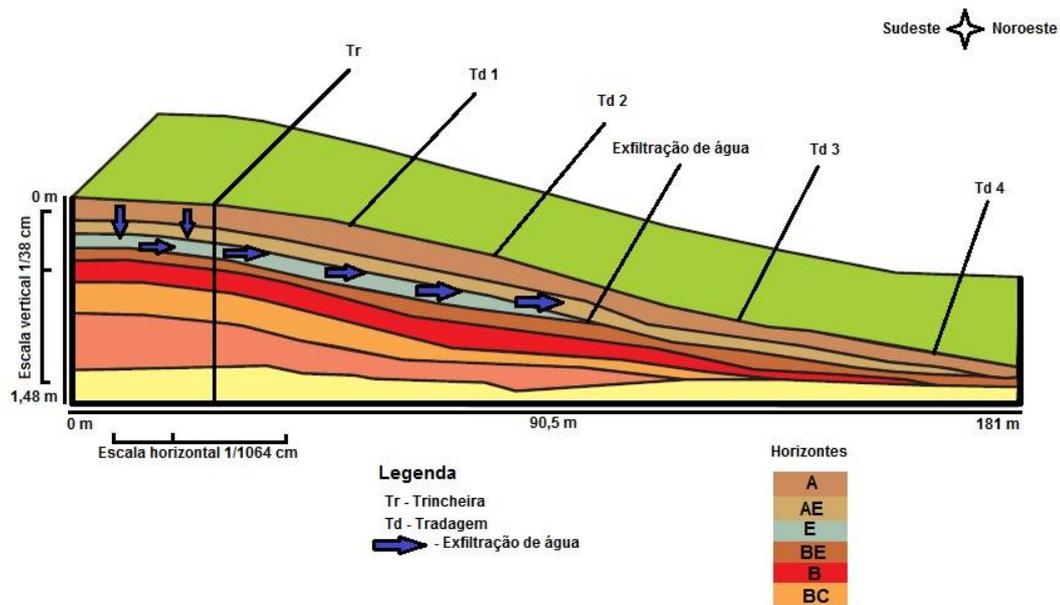
Horizontes Diagnósticos	% Sat	Micro	Macro	10 cm	30 cm	60 cm	γ_d	γ_s	Ksat (cm/h)
A	42,93	29,35	13,57	38,18	34,81	29,35	1,32	2,61	8,64
AE	44,34	29,41	14,93	39,74	35,81	29,41	1,50	2,61	11,36
E	37,32	29,01	8,30	35,02	32,82	29,01	1,51	2,66	5,46
BE	45,34	39,86	5,47	43,68	42,29	39,86	1,32	2,66	0,10
B	47,31	41,66	5,64	45,19	43,92	41,66	1,39	2,67	0,05
BC	46,90	41,60	5,30	45,00	43,73	41,60	1,40	2,61	2,11

Mesa de tensão (% Sat = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; 10 cm = tensão dos poros na altura de 10 cm; 30 cm = tensão dos poros na altura de 30 cm e 60 cm = tensão dos poros na altura de 60 cm); γ_d = densidade aparente; γ_s = densidade de partículas e Ksat= condutividade hidráulica saturada.

Fonte: Análise laboratorial.

Os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas (tabela 9) mostram relação com os resultados obtidos para os parâmetros físico-hídricos (tabela 10). Os horizontes diagnósticos superficiais A, AE e E apresentam maior quantidade de areia, de silte e de macroporos, responsáveis por uma maior condutividade hidráulica. Já os horizontes diagnósticos subsuperficiais BE, B e BC apresentam uma maior quantidade de argila e de macroporos, que resultam numa menor condutividade hidráulica. Essas características refletem o processo de translocação das argilas dos horizontes superficiais para os subsuperficiais. A figura 15 procura ilustrar o processo de exfiltração que ocorre no segmento médio inferior da vertente, a partir da interface do horizonte BE e B.

Figura 19 – Topossequência da vertente 5, selecionada como modal para o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que os horizontes subsuperficiais, controlam o fluxo lateral de água. Portanto, as características físico-hídricas influenciam no perfil convexo-côncavo dessa vertente.

5.6 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS NA CONFORMAÇÃO DO PERFIL DAS VERTENTES SELECIONADAS

Após a análise dos resultados obtidos para o tamanho de partículas e os parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos das cinco vertentes modais, selecionadas sobre o substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa), assevera-se que, apesar das vertentes situarem-se sobre o mesmo substrato litológico e estarem sujeitas ao mesmo clima e ao mesmo tempo de evolução, cada vertente exibiu suas particularidades, devido a microambientes de evolução. Entretanto, é possível comprovar que existe, na dinâmica evolutiva da forma do perfil das vertentes estudadas, influência dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do solo. Essa influência se manifesta na vertente após o processo de formação do solo, onde os horizontes adquirem características que os fazem interferir na dinâmica da vertente. Corroborando com isso está a afirmação de Toledo et al. (2008), que conclui que os solos primeiramente se formam e depois passam por processos de mudança.

As vertentes em estudo apresentaram características semelhantes, entre elas, a forma do perfil convexo-côncavo. Em relação aos processos pedogenéticos, pode-se inferir que, em comum às vertentes em estudo, está a translocação de argila dos horizontes diagnósticos superficiais para os horizontes diagnósticos subsuperficiais (podzolização). Esse mecanismo contribui para a formação de horizontes argilosos, com horizonte B textural menos impermeáveis, acarretando a formação de fluxos laterais de água em subsuperfície. Também se constatou ser comum entre as vertentes a presença de cascalhos formados por concreções ferruginosas. Em alguns casos, a presença dessas concreções formam horizontes concrecionários. Ao se situarem no terço superior da vertente, eles contribuem para a manutenção do segmento convexo presente nelas.

6 CONCLUSÃO

Considera-se que as vertentes são esculpidas pela ação da dinâmica externa e se modificam como resposta aos processos morfoclimáticos aos quais estão submetidas. Também se propõe que a forma do perfil das vertentes está relacionada ao substrato litológico e à composição da cobertura pedológica sofrendo influência das propriedades físico-hídricas do solo, onde estão assentadas as vertentes. A partir disso, pretendeu-se estudar vertentes assentadas sobre Argissolos com substrato litológico da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) na Depressão Periférica Sul-rio-grandense, no bairro Camobi e no distrito de Pains do município de Santa Maria. A problemática da pesquisa fundamentou-se na observação da ocorrência de uma relativa padronização na forma do perfil das vertentes que ocorrem na área. Essa tendência de semelhança na forma do perfil tem como característica formas convexas no terço superior e côncavas no terço médio e inferior das vertentes, e, dessas considerações, presumiu-se que a forma do perfil está sendo controlada pelos parâmetros físico-hídricos do solo.

Conclui-se, pois, que essas vertentes estão em evolução, e a morfogênese atual experimenta a influência das propriedades físico-hídricas do manto pedológico. O escoamento superficial e os fluxos hídricos em subsuperfície promovem a morfogênese e atribuem o predomínio de perfis com a forma convexa no terço superior e côncava no terço médio e inferior das vertentes estudadas, formando o perfil convexo-côncavo, frequentemente observado na área de estudo. Portanto, infere-se que as propriedades físico-hídricas do solo influenciam a conformação do perfil convexo-côncavo das vertentes pesquisadas.

7 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados no Brasil Oriental. **Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física**, Curitiba, a. 2, p.1-32, 1962.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo - determinação da distribuição do tamanho de partículas. Rio de Janeiro, 1984.
- AFUBRA. A floresta e o solo. **AFUBRA: Projeto Verde é Vida**, Santa Maria, v. 03, p. 33, 1999.
- ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. **The role of topography in controlling throughflow generation**. Inglaterra, p. 331-344, 1978.
- ALVES, A. J. O.; RIBEIRO, M. R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da mata seca de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, n. 19, 1995, Viçosa. **Resumos Expandidos...** Viçosa: UFV, 1995, p. 297-305.
- AZEVEDO, A. C. De; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 2004.
- BALL, B. C. et al. Soil structural quality compaction and land management. **European Journal Soil Science**. v. 48, p. 593-601, 1997.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria dos sistemas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1976.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.
- _____. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: Esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ovest**, Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.
- _____. **Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico**. São Paulo: IG-USP, Cadernos de Ciências da Terra, n. 13, 1971.
- BEVEN, K. J.; GERMAN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resour**, v. 18, p. 1311-1325, 1982.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; XAVIER DA SILVA, J. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 16 e 17, p. 85-116, 1965.

_____. et al. Estrutura e Origens das Paisagens Tropicais e Subtropicais. **UFSC**, Florianópolis, v.3, 2003.

BIRKELAND, P. W. Soil-geomorphic research – a selective overview. **Geomorphology**, v. 3, p. 207 – 224, 1990.

BOCQUIER, G. **Génèse et evolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation byogéodynamique**. Paris: Orstom, 1973. 350 p. (Mémoires ORSTOM, 62).

BOULAINÉ, J. **Projet de taxonomie pédologique**. Tome I. Grignon: Multicopie, 1978.

BOULET R. Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta: équilibre dynamique et bioclimats. **These Sciences (ORSTOM)**, Strasbourg, n. 85, 330 p., 1974.

_____. **Existence de systèmes à forte différenciation laterale em milieu ferralitique guyanais: un nouvel exemple de couverture pédologique en déséquilibre**. Science du Sol, 1978.

_____. et al. Analyse structurale et pédologie. I. - Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **ORSTOM**, Série Pédol., v. 19., p. 309-322, 1982a.

_____; HUBEL, F. X; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie em pédologie. II – Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **ORSTOM**, Série Pédol., v. 19., p. 323-339, 1982b.

_____. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Campinas, 1988. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988.

_____. Uma evolução recente da Pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. In: CONGRESSO ABEQUA, 3., Belo Horizonte, 1992. **Anais**. Belo Horizonte, 1992.

BOUMA, J. Soil morphology and preferential flow along macropores. **Agric. Water Manage**. v. 3, p. 235-250, 1981.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da Cobertura Pedológica e o Relevo no Alto Vale do Ribeirão Água do São Francisco - Nova Esperança-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CAMARGO, O. A de; ALLEONI, L.R. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/compSolo/C4/C4.htm>>. Acesso em: 01 de abril de 2009.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1981.

CASTRO, S. S. et al. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 3., p. 107-164, 2003.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale a saisons contrastées**. Paris: ORSTOM, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CORSINI, P. C. Modificações de características físico-hídricas em perfis de série Jaboticaal e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intensivo. **Científico**, Jaboticabal, v. 2, n. 2, p. 49-161, mar. 1974.

CRUZ, O. **Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba/São Paulo**. Tese (Livre Docência)–FFLCH-USP, São Paulo, 1982.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, E. S. B.(Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 337-379.

DELVIGNE, J. **Pédogénese en zone tropicale**. [S. l.]: ORSTOM, 1964. 177 p. (Mem, ORSTOM, n. 13).

DEMATTE, J. L. I.; MARCONI, A. A. Drenagem na mineralogia de solos desenvolvidos de diabásio em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.8, p. 1-8, 1991.

DERRUAU, M. **Les formes du relief terrestre: Notions de Géomorphologie**. 4. ed. Paris: Masson, 1986.

DORES, E. F. G. de C. et al. **Estudo da contaminação de biocidas no ambiente e seu monitoramento em águas superficiais, subterrâneas e pluviais em regiões cotonícolas do estado de Mato Grosso**. Relatório Final. Grupo de Estudos de Poluentes Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso. 2003.

DYLIK, J. Notion du versant en geomorphologie. **Bull. Acad. Pol. Sci.** Série des Sc. Geol. Geogr. v. 16, p. 125-132, 1968.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412 p.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. São Paulo: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

_____. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2005. p. 149-209.

HAMELIM, L. E. Géomorphologie. **Géographie globale-géographie totale**, Cahiers de Géographie de Québec, v. 8, p. 199 – 218, 1964.

HURLEY, D. G.; PANTELIS, G. Unsaturated and saturated flow through a thin porous layer on a hillslope. **Water Resources Research**, v. 21, p. 821-824, 1985.

INDA JUNIOR, A. V. **Conformação da paisagem, umidade e gênese de solos desenvolvidos sobre o Membro Alemão da formação Santa Maria**. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala:1:1.000.000.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações solo-planta**, São Paulo: Ceres, 1979.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. Elements of soil physics. **Developments in Soil Science**, Elsevier, Amsterdam, v. 13. 1983.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A.. **Fundamentos de metodologia científica**. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2001.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. 14. ed. São Paulo: Companhia da Editora Nacional, 2003.

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

_____. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

_____. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5. ed. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2005.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo, Brazil: I geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Sci.Soc. Am. J.**, v. 41, p. 104-109, 1977a.

_____. Soil landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo, Brazil: II Soil morphology, genesis and classification. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 41, p. 109-115, 1977b.

_____. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

_____. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, M. da G. **História do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. 2008. 461f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica)–Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G.; SCATOLINI, F. Transição latossolos- podzois sobre Formação Barreiras na região de Manaus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, p. 325-335, 1984.

_____. **Systemes pédologiques en Amazonie brésilienne. Équilibre, déséquilibre et transformations**. Université de Poitiers, Poitiers, 1989.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 281-295, 2006.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. **Soil Res.**, v. 4, p. 183-198, 1935.

MILLOT, G. Planation of Continents by Intertropical Weathering and Pedogenetic Processes. In: MELFI, J. A., CARVALHO, A. (Eds.) **Laterisation Processes**. São Paulo: IG-USP, p. 53- 63, 1983.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORIN, E. O. **Método: a natureza da natureza**. Lisboa: Publicações Europa-América, 1977.

OLIVEIRA, A. M. S.; SATO, S. E.; QUEIROZ, W. **Diagnóstico ambiental para o manejo sustentável do Núcleo Cabucu do Parque Estadual da Cantareira e áreas vizinhas do município de Guarulhos**. 2005. Relatório final (apresentado à FAPESP)–Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2005.

PELLERIN, J.; QUEIROZ NETO, J. P. Morfogênese e pedogênese no córrego da invernoada (Marília, SP). In: CONGRESSO ABEQUA, 32., 1992. **Anais...** Belo Horizonte, 1992a. p. 111-120.

_____. Relations entre la distribution des sols, les formes de relief et l'évolution géomorphologique du relief dans la haute vallée du rio do peixe (état de S. Paulo, Brésil). **Sci. Du Sol**, Paris, v. 30, a. 3, p. 133-147, 1992b.

POPP, J. H. **Geologia Geral**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988. Campinas. **Anais...** Campinas, 1988.

_____. Geomorfologia e pedologia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 1, n. 1, p. 59-67, 2000.

_____. Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2010.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

_____.; TIMM, L. C. **Solo planta e atmosfera – conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

RESENDE, M. et al. **Pedologia – Base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: UFLA, 2007.

RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGE, L. E.; CLARK F. E. **Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965,

ROCHA, G. C.; CERRI, C. C. Características e organização de uma topossequência de solos sobre rocha básica na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p.117-123, 1994.

ROSS, J. L. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 1996.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.; FRITSH, E. L'analyse structurale de la couverture pédologique. **Sciences of Soils**, v. 27, p. 319-334, 1984.

_____. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1987. p. 405-414.

_____. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1988, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1988.

_____.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Les Éditions Foucher, 1993.

SANTOS, L. J. C. **Pedogênese no topo do plato de Bauru – SP: o caso da bacia do córrego da Ponte Preta**. 2000. 183f. Tese (Doutorado em Geografia)–

DG/FFFLCH/USP, São Paulo, 2000.

_____.; CASTRO, S. S. Lamelas (Bandas Onduladas) em Argissolo Vermelho-Amarelo como Indicadores da Evolução do Relevo: o caso das colinas médias do Platô de Bauru (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, p. 43-64, 2006.

SARTORI, M. da G. B. A dinâmica do clima do RS: Indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre**, São Paulo, a 19, v. 1, n. 20, 2003.

SARTORI, P. L. Geologia e geomorfologia de Santa Maria. **Ciência e Natura**, n. 38, 2009.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília, 2006. Escala 1:750.000

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, p. 27-36, 1982.

SUGUIO, K. **Mudanças Ambientais da Terra**. São Paulo: Inst. Geológico, 2008.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

TRICART, J. **Mise au point – L'évolution des versants**. L'information géographique, 1957.

_____. **Le modele des regions chaudes, forets et savanes**. Paris: SEDES, 1965.

_____. **As relações entre a morfogênese e a pedogênese**. Notícia Geomorfologia, 1968.

VARGAS, M. **Mecânica dos solos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1977.

VIEIRA, L. S; VIEIRA, M. de N. F. **Manual de morfologia e classificação de solo**. São Paulo: CERES, 1983.

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul. Geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984.

VOGEL, T. et al. Modeling flow and transport in a two-dimensional dual-permeability system with spatially variable hydraulic properties. **Journal of hydrology**, v. 238, p. 78-89, 2000.

VOLK, L.B.S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. 2006. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

WEYMAN, D. R. Measurement of downslope flow of water in a soil. **Journal of Hydrology**. v. 20, p. 267-288, 1973.