

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CARLA LISIANE WEBBER**

**CARACTERÍSTICAS E MORFOLOGIA DE CROSTAS BIOLÓGICAS  
DE SOLO EM AREAIS DO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

**Porto Alegre – RS**

**2016**

**CARLA LISIANE WEBBER**

**CARACTERÍSTICAS E MORFOLOGIAS DE CROSTAS BIOLÓGICAS  
DE SOLO EM AREAIS DO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Geografia, da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul como requisito  
parcial para a obtenção do título de Mestre em  
Geografia.

**Orientador: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer**  
**Coorientadora: Dra. Vera Regina Werner**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Roberto Verдум**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (PPGEA/UFRGS)

**Prof. Dr. Laurindo Antônio Guasselli**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (PPGEA/UFRGS)

**Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPG-Solos/UFRGS)

**Porto Alegre – RS**

**2016**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar luz e força para cumprir mais essa jornada. A minha família, minha base, pela compreensão e suporte nos momentos necessários. Aos meus amigos que são a família que escolhi para compartilhar os momentos bons e ruins dessa vida e que me dão todo o apoio para que eu nunca me acovarde diante das dificuldades.

Ao meu orientador, professor Dr. Ulisses Franz Bremer - UFRGS, pela sua orientação, paciência infinita e muita confiança depositada, pois, sem esta não haveria terminado essa etapa de trabalho. Muito Obrigada.

À minha Coorientadora, Dra. Vera Regina Werner – Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica - MCN-FZBRS, que me acolheu de braços abertos. Por sua orientação, confiança, paciência, compreensão e pela sua capacidade especial de saber transmitir conhecimento. Além da amizade e bons momentos de risadas com café e doces deliciosos, que foram fundamentais para que este trabalho se finalizasse. Meu muito Obrigado.

À Fundação Zoobotânica e aos colegas do laboratório de Ficologia MCN-FZBRS, pelo suporte para com o trabalho, pela confiança e carinho e pelas amizades com boas risadas e trabalho árduo, onde cresci muito como pesquisadora. Aos profissionais Manoel Nunes e Nilson Bitencurt pelo apoio técnico na confecção de materiais.

Ao Técnico em geologia Gilberto Silveira dos Santos e ao centro de estudos costeiros – CECO pelo auxílio técnico com as análises de sedimentologia.

À Dra. Mariéllen Dornelles Martins pela dedicação e por estar sempre disponível para me auxiliar em todas as minhas dúvidas de taxonomia em cianobactérias. À Dra Suzana Maria de A. M. Mazzitelli pela colaboração e auxílio nas análises de Líquens e suas bibliografias e à Dra. Juçara Bordin que gentilmente auxiliou nas análises de briófitas e auxiliou também com esta bibliografia. Ao professor Dr. Luis Henrique Zanini Branco que, mesmo não me conhecendo pessoalmente, sempre se mostrou solícito me ajudando nessa jornada que foi de conhecer as Crostas Biológicas no Brasil.

Ao professor Roberto Verdum e toda a equipe do grupo de pesquisa Arenização/desertificação do RS, que me auxiliaram brilhantemente nas coletas das amostras e me acolheram em seu campo.

Aos amigos Omaira Arango, Mariéllen Martins, Douglas Marques e Wagner Guimarães pela paciência e correções do trabalho. Ao amigo Jean Carlo Gessi Caneppele, pelos auxílios com as confecções dos mapas.

A CAPES e o programa de pós graduação pelo suporte e bolsa de sustento.

E a todos os amigos e companheiros de jornada não citados nominalmente, mas que contribuíram de uma forma ou outra e foram importantes para a concretização deste trabalho.

# EPÍGRAFE

*Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos”. (Albert Einstein)*

## RESUMO

O presente estudo propõe-se em investigar os componentes das crostas biológicas de solo (CBS) visando compreender o comportamento e as inter-relações das CBS em areais do Estado do Rio Grande do Sul (RS), no extremo meridional do Brasil. Pode ser entendido como uma análise exploratória de CBS existentes em nos areais do bioma Pampa, no sudoeste do RS, através de levantamento florístico e de características do solo. A pesquisa visa contribuir para estudos sobre o papel desse componente biótico na pedogênese e estabilidade da superfície de solos em áreas com processos de arenização. As amostras foram coletadas em maio de 2014 e 2015 em três locais, sendo duas por sítio, nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis. O sítio analisado em Alegrete se constitui de um areal recoberto por plantio de eucalipto, já os sítios em São Francisco de Assis se caracterizam por areais que sofrem processos de ravinamento, um sem interferência humana e o outro com ravina estabilizada artificialmente. As costas biológicas foram coletadas com placa de Petri invertida para garantir uma profundidade máxima de 2 cm e o mesmo volume para todas as amostras. A subsuperfície do solo também foi amostrada para análises texturais e químicas. A análise do material biológico foi realizada em estereoscópio e microscópio óptico (400-1.000x) onde verificou-se que a composição florística é constituída por 13 táxons de cianobactérias destacando-se espécies filamentosas, 2 táxons de líquens e um táxon de briófitas. Os resultados mostram que a sequência de sucessão se mostrou desde estágios primários – com manchas de cianobactérias – a táxons mais evoluídos com musgos de grande espessura. Foram observadas diferentes morfologias para as CBS, seguindo os padrões taxonômicos suave, rugoso, pinacular e ondulado. As amostras de solo sub-superficiais, confirmaram a textura arenosa e baixa fertilidade dos Neossolos Quartzarênicos Órticos nos sítios de estudo. Uma conclusão geral a partir dos estudos prévios, dos materiais analisados e das observações em campo corrobora afirmações de pesquisas que alertam para a elevada suscetibilidade dos solos destes locais do Rio Grande do Sul a processos erosivos hídricos e eólicos.

**Palavras Chave:** crostas biológicas de solo, biodiversidade, solos arenosos, Pampa, cianobactérias, musgos, líquens.

## ABSTRACT

This study aims to investigate the biological soil crusts (BSC) components in order to understand the behaviour and the interrelations of BSC in some *areas* (sand deposits with no vegetation cover) of Rio Grande do Sul (RS), the southernmost Brazilian State. It can be understood as an exploratory analysis of existing BSC in Pampa geographic sites in southwestern RS through floristic survey and soil characteristics. The research aims to contribute to studies on the role of the biotic component in pedogenesis and stability of the soil surface in sites under sandification processes. The samples were collected in May 2014 and 2015 in three locations, two per site, in Alegrete and São Francisco de Assis. The analysed site in Alegrete constitutes a sandy terrain covered with eucalyptus plantation (29°42'35.48"S and 55°25'13.47"W), while the sites in São Francisco de Assis are characterized by sands that suffer processes of ravine, one without human intervention (29°30'54.98"S and 55°07'23.07"W) and the other with artificially stabilised ravine (29°23'58.85"S and 55°13'37.60"W). The biological crusts were collected with inverted Petri dish to ensure a maximum depth of 2 cm and the same volume for all samples. The soil subsurface was also sampled for textural and chemical analysis. The analysis of biological material was carried out in the stereoscope and optical microscope (400-1000x) where it was found that the floristic composition consists of 13 taxa of cyanobacteria highlighting filamentous species, 2 taxa of lichens and 1 taxon of bryophytes. The sequence of succession showed from early stages - with spots of cyanobacteria – to most advanced taxa with thick mosses. Different morphologies were observed for BSC, following the taxonomic patterns smooth, rough, pinacular and wavy. The subsurface soil samples confirmed the sandy texture and low fertility of the Psamments in the study sites. A general conclusion from previous studies of the analysed materials and field observations corroborates research statements that warn of the high susceptibility of soils from these sites in Rio Grande do Sul to water and wind erosion, so this study recommends adoption of maximum care of soil conservation for whatever the intended use of the studied areas.

**Key words:** biological soil crusts, biodiversity, sandy soils, Pampa, cyanobacteria, mosses, lichens.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Bloco esquemático em diagrama, de uma CBS com seus agentes típicos. Espessura da camada é de cerca de 3 mm de profundidade.	22
Figura 2.2 - Sequência de colonização dos microrganismos das CBS sobre solo exposto após perturbação.	24
Figura 2.3 - Cianobactérias filamentosas do gênero <i>Microcoleus</i> com sua bainha gelatinosa transparente e vários tricomas por bainha. Este gênero é expressivo em estudos de crosta.	27
Figura 2.4 - Alga verde filamentosa gênero <i>Zygonium</i> .	29
Figura 2.5 - A) Filamentos de micobionte ( <i>Parmotrema</i> ) envolvendo células do fotobionte ( <i>Trebouxia</i> ), visto ao microscópio. B) Fungo e Alga na visão do mutualismo.	31
Figura 2.6 - Estrutura de uma briófito.	35
Figura 2.7 - Musgos gametófitos com esporófitos epifitando tronco de árvore.	35
Figura 2.8 - Exemplos de quatro tipos morfológicos de CBS, de acordo com a evapotranspiração potencial.	37
Figura 2.9 - Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período seco.	39
Figura 2.10 - Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período úmido.	39
Figura 2.11 - Distribuição florística das crostas biológicas de solo (CBS) no Planeta.	40
Figura 2.12 - Similaridade florística de CBS baseada em gêneros de acordo com o coeficiente de Sorensen em números absolutos.	43
Figura 2.13 - Atividade da Nitrogenase em 4 diferentes tipos de crostas biológicas de solo no Deserto de Nevada	50
Figura 2.14 - Área de ocorrência de areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul/Brasil.	54
Figura 2.15 - Mapa geológico da área de estudo .	55
Figura 2.16 - Mapeamento geomorfológico da primeira área de estudo: Alegrete.	60
Figura 2.17 - Areal sobre feição de coxilha. Rocha aflorada e areal.	61
Figura 2.18 - Feição da área mostrando a interface entre de terraço fluvial e depósitos de rampa .	61
Figura 2.19 - Mapeamento geomorfológico da segunda área de estudo: Vila Kramer. .	62
Figura 2.20 - Feição mostrando formação residual tabular de topo e ravina de depósitos de rampa.	63
Figura 2.21 - Mapeamento geomorfológico da terceira área de estudo: Cerro da Esquina. .	64
Figura 2.22 - Croqui representativo da tipologia dos areais. a) areais em rampa e b) areais em colinas.	69



Figura 3.1- Fluxograma da metodologia.	72
Figura 3.2 - Mapa de localização das áreas de coleta das amostras.	75
Figura 3.3 - Coleta de amostra utilizando placa de Petri invertida.	76
Figura 3.4 - Amostras coletadas na área de estudo.	77
Figura 4.1 - a) <i>Aphanotece</i> sp.; b) <i>Schizothrix</i> sp.; c) <i>Phorphyrosiphon notarisii</i> ; d) <i>Symplocastrum</i> sp.; e) <i>Lyngbya</i> sp.; f) <i>Microcoleus</i> sp.; g) <i>Gloeothece</i> sp; h) <i>Scytonema</i> sp.; i) <i>Calothrix</i> sp.; j) <i>Stigonema</i> sp.; k) parte de uma <i>Stigonema</i> sp.; l) <i>Hapalosiphon</i> sp. Fotos com aumento de 40 e 100 vezes.	88
Figura 4.2 - a) Amostra coletada com manchas verdes escuras de <i>Stigonema</i> sp. Areal Cerro da Esquina b) Amostra com predominância de manchas pretas e líquens do Areal Dona Irene. c) Cianobactérias <i>Stigonema</i> sp agregadas a partículas de solos. d) <i>Microcoleus</i> sp. agregados a partículas de solos.	89
Figura 4.3 – A) <i>Cladonias</i> dispostas por toda a foto. B) <i>Rhizocarpon</i> dispostos em pequenas manchas.	91
Figura 4.4 – Amostra coleta recoberta com musgo gênero <i>Campylopus</i> .	93
Figura 4.5 – Manchas de cianobactérias com predomínio do gênero <i>Stigonema</i> .	94
Figura 4.6 – Crostas do Areal Deserto de São João, em seu estágio de sucessão inicial musgo.	94
Figura 4.7 – Crostas com sequência de sucessão Musgos/liquens com predominante musgos em degraus nas encostas.	95
Figura 4.8 – Crostas iniciais de cianobactérias em uma borda de ravina.	96
4.9 Manchas de crostas de cianobactéria em topo de ravina	96
Figura 4.10 – A) Topo de ravina com crosta musgo B) Vertente de ravina com crosta predominante crostas de cianobactéria em topo de ravina.	97
Figura 4.11 – Crostas aflorantes no areal São João	99
Figura 4.12 – Crostas Pinaculares do areal São João	100
Figura 4.13 – Crostas Onduladas do areal Vila Kramer.	100
Figura 4.14 – Crostas pinaculares do areal Vila Kramer	101
Figura 4.15 – Crostas de morfologia ondulada do areal Cerro da Esquina	101
Figura 4.16 – Histograma de distribuição granulométrica segundo a classificação de Wentworth.	106
Figura 4.17 – Classificação de frequência simples.	106
Figura 4.18 – Classificação de Arredondamento fração 0.250 mm.	108
Figura 4.19 – Classificação de Arredondamento fração 0.125 mm.	108
Figura 4.20 – Classificação de esfericidade do grão fração 0.250 mm.	109
Figura 4.21 – Classificação de esfericidade do grão fração 0.250 mm.	110
Figura 4.22 – Classificação da textura no ponto Cerro da Esquina.	111
Figura 4.23 – Classificação da textura no ponto Vila Kramer.	111

Figura 4.24- Difratoograma mostrando os minerais identificados na amostra Cerro da Esquina.	114
Figura 4.25 - Difratoograma mostrando os minerais identificados na amostra Vila Kramer.	115
Figura 4.26 - Comparativo dos índice de Carbono Orgânico.	123
Figura 4.27 - Comparativo dos índice de Nitrogênio TKN.	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Informações preliminares sobre as áreas de coleta de amostra. ....	733
Tabela 2 - Escala de Wentworth (1922) para Granulometria.....	822
Tabela 3 - Graus de esfericidade Rittenhouse (1943) .....	833
Tabela 4 - Graus de arredondamento Krumbein (1936).....	844
Tabela 5 - Sinopse de resultados obtidos de cianobactérias.....	87
Tabela 6 - Tabela de similaridades florísticas de cianobactérias .....	1022
Tabela 7 - Tabela comparativa entre gêneros de cianobactérias dos Areais e gêneros de cianobactérias dos demais estudos catalogados por Belnap <i>et al.</i> , (2001). Material adaptado de Belnap <i>et al.</i> , (2001). Os gêneros em amarelo são os mais comuns encontrados entre as áreas no mundo todo e os gêneros em laranja são encontrados nas áreas de areais mas não são citados na literatura para CBS.....	1044
Tabela 8 - Atributos físicos, químicos das amostras de solo com e sem crosta. ....	1179
Tabela 9 - Atributos químicos de carbono e nitrogênio das amostras de solo com e sem crosta.....	1222

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição florística citada para a América do Sul por Belnap <i>et al.</i> (2003).....	41
Quadro 2- Sinopse de resultados obtidos para Líquens. ....	90
Quadro 3 - Sinopse de resultados obtidos para musgos .....	93
Quadro 4- Nova tabela de classificação de Crostas biológicas de solos. ....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS

Al - Alumínio  
ATP - Trifosfato de Adenosina  
B - Boro  
C - Carbono  
Ca - Cálcio  
CBS - Crostas biológicas de solo  
Cfa - Subtropical úmido  
COT - Carbono orgânico total  
CTC - Capacidade de troca de cátions  
DRX - Difratometria de raio X  
ETP - Gradiente potencial de evapotranspiração  
Ib - Clima Subtropical  
IGEO-UFRGS - Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos  
K - Potássio  
MCN-FZB - Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.  
Mg - Magnésio  
Mn - Manganésio  
Mo - Molibdênio  
MOS - Matéria orgânica do solo  
N - Nitrogênio  
Na - Sódio  
P - Fósforo  
ROLAS - Rede Oficial de Laboratórios de análise de Solos do RS  
S - Enxofre  
UNESP - Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
UV - Radiação ultravioleta  
Zn - Zinco

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	HIPÓTESE.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS .....	17
1.3.1.	Objetivo Geral: .....	19
1.3.2.	Objetivos Específicos:.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	Crostas biológicas de solo .....	21
2.2.	Componentes morfológicos das crostas biológicas de solo.....	23
2.2.1.	<b>Cianobactérias</b> .....	25
2.2.3.	<b>Fungos livres</b> .....	30
2.2.4.	<b>Microliquens ou liquens</b> .....	31
2.2.5.	<b>Briófitas (musgos)</b> .....	33
2.3.	Classificação das crostas biológicas de solo .....	35
2.4.	Comparação biogeográfica das crostas biológicas de solo .....	40
2.4.1.	<b>Afinidades florísticas</b> .....	42
2.5.	Aspectos geográficos determinantes na estrutura e distribuição das crostas biológicas de solo .....	44
2.6.	Matéria orgânica do solo .....	46
2.7.	Crostas biológicas de solo e suas influências no solo .....	47
2.7.1.	<b>Influência no Carbono e na fixação do Nitrogênio</b> .....	48
2.7.2.	<b>Influência no albedo e temperatura</b> .....	51
2.7.3.	<b>Influência no pH</b> .....	51
2.7.4.	<b>Influência na água no escoamento superficial</b> .....	52
2.8	Conhecendo a área de estudo .....	53
2.8.1.	O substrato geológico.....	53
2.8.2.	O substrato geomorfológico.....	58
2.8.2.1.	Pontos de estudo.....	58
2.8.3.	O substrato pedológico .....	65
2.8.4.	As formações vegetais e uso e ocupação .....	66
2.8.5.	Potencial climático .....	67
2.8.6.	Processos ambientais .....	68
2.8.7.	Distúrbios ambientais.....	70

3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	72
3.1.	Saídas a campo .....	73
3.2.	Coleta dos testemunhos de crostas .....	76
3.3.	Procedimentos metodológicos para análise das crostas .....	77
3.4.	Coleta das amostras de solo.....	80
3.5.	Construção dos resultados análise local .....	81
3.5. 2.	Procedimento metodológico: análise textural .....	81
3.5.3.	Procedimento metodológico análise de argilas .....	84
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
4.1.	Composição florística .....	87
4.1.1	Cianobactérias.....	87
4.1.2	Líquens .....	90
4.1.3	Musgos .....	92
4.2.	Sequência de sucessão.....	94
4.3.	Classificação morfológica das crostas biológicas de solo.....	98
4.4.	Comparação biogeográfica de crostas biológicas de solo.....	102
4.5.	Análises físicas do solo .....	105
4.6.	Mineralogia do solo.....	112
4.7.	Análises químicas .....	115
4.7.1	pH .....	115
4.7.2.	Matéria orgânica do solo.....	116
4.7.3	Macro elementos do solo.....	119
4.8	Análises de Nitrogênio e Carbono.....	120
4.9	Influências das Crostas Biológicas no Solo .....	124
5.	CONCLUSÕES.....	125
	REFERÊNCIAS.....	127

## 1 INTRODUÇÃO

As comunidades de microrganismos sobre o solo vêm sendo estudadas no mundo por muitos grupos de pesquisa nos últimos 100 anos. Estes estudos perpetuam por várias áreas do conhecimento e vêm aumentando consideravelmente ano após ano. No Brasil este tema é estudado de forma bastante diversa servindo como auxiliar em estudos de arqueologia (PINHEIRO *et al.*, 2010), relação sobre impermeabilidade de solo (ROSA, 2012) e intemperismo biogeoquímico (TRINDADE, 2012).

Essas comunidades complexas de microrganismos denominadas de crostas biológicas de solo (CBS) são comumente encontradas em solos nos mais diversos ecossistemas, principalmente em regiões áridas e semiáridas onde a vegetação é esparsa com solo descoberto entre as vegetações de maior porte.

Estudos sobre a compreensão das CBS perpassam algumas áreas do conhecimento. Partindo da identificação dos organismos pioneiros (BOOTH, 1941; WEBER *et al.*, 2008), taxonomia (JEFFREY, 1985; WHITTON & POTTS, 2000), papel funcional das associações com o ambiente (BÜDEL, 2001; BELNAP *et al.*, 2003), papel ecológico (BOWKER, 2010), contribuições em ecossistemas degradados (VESTE, 2005), até a necessidade de criação de áreas de preservação ambiental internacionais para o estudo destas comunidades em ambientes desérticos, como em Utah, Estados Unidos da América (BELNAP, 1995) ou para áreas de preservação de biodiversidade de espécies de crostas, na Europa, (BÜDEL *et al.*, 2014).

As CBS, estruturalmente, são ásperas, irregulares e com cobertura de baixa estatura (1 a 10 cm de altura) onde os líquens, musgos, fungos e cianobactérias filamentosas formam uma matriz que se agrega às partículas do solo (BELNAP, 1995).

As CBS desempenham um papel importante no sistema funcional dos solos: aceleram o processo de formação dos mesmos, modificam o sistema de infiltração e de ciclagem dos nutrientes, proporcionam maior estabilidade do solo, reduzindo o seu potencial de erosão por vento e água, ampliando a estabilidade e a capacidade de germinação de plantas vasculares. (ELDRIDGE & GREENE, 1994).

Cianobactérias, algas, fungos, musgos e líquens são considerados microrganismos pioneiros e portanto, os primeiros organismos que colonizam o substrato, sendo estes

microrganismos formadores de crostas biológicas e, posteriormente, podendo ser recobertos por plantas vasculares. Globalmente, esta associação de biota ao solo tem muitas similaridades entre espécies, composição, estrutura e função, especialmente entre continentes que possuíam áreas conectadas em períodos passados páleo-continentais. Então, crostas são encontradas em áreas de ocorrência de estepes, savanas e desertos em ambos os hemisférios Norte e Sul.

Os estudos dessas comunidades frequentemente ocorrem em ecossistemas de terras áridas, com alta incidência de calor sobre a superfície, com solos pobres em nutrientes e com vegetações adaptadas ao clima árido. Essas comunidades de CBS podem ser encontradas em todas as latitudes do planeta desde os desertos gelados na Antártica (GREEN & BROADY, 2003) aos desertos quentes (VESTE, 2001; BÜDEL, 2003), encontradas inclusive na América Latina no Charco argentino (BÜDEL, 2003) devido as suas capacidades adaptativas.

No Brasil estima-se a possibilidade de existência dessas comunidades em três biomas: Caatinga, no Nordeste; Cerrado, no Centro-Oeste e Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul. Tendo sido estudado, até agora, apenas o Cerrado (Prof. Dr. Luiz Henrique Zanini Branco – UNESP, sem publicação até o momento) a partir da perspectiva biológica e molecular de assembléia de cianobactérias e algas verdes.

Procurando assemelhar características dos locais de ocorrência de crostas na literatura internacional, com o Pampa, bem como seus índices climatológicos, amplitude térmica e disponibilidade hídrica, considerou-se pertinente realizar um estudo sobre CBS em áreas de areais no sudoeste do Rio Grande do Sul.

Além disso, a área de estudo foi denominada de “desértica” popularmente durante muitos anos. Contudo, Ab’Saber (1971) explica que a existência da vegetação de campos nessa região ocorre pela evolução paleoclimática da área, que no Cretáceo Inferior comportou grandes desertos no país (*Deserto de Botucatu*); daí para frente, porém, houve uma sensível atenuação da aridez, posto que a maior parte do país tenha comportado climas quentes semiáridos e subúmidos, e, segundo Ab’Saber (1971) isto foi possível de deduzir devido aos tipos de sedimentos cretáceos e as suas microestruturas (uma geografia de grandes lagos rasos, situados em depressões detríticas interiores, envolvidos por terrenos semidesérticos de extensão subcontinental).

Assim, Suertegaray (1998) contrapõe a questão deserto/desertificação do ponto de vista climático, pois, embora a vegetação seja de campos, as condições pluviométricas são de

elevada umidade (com normais pluviométricas superiores a 1400 mm), não sendo áreas com tendência a ressecamento e sim de manchas de areia em meio ao campo através de um processo de erosão do solo, que Suertegaray (1987) denominou de Arenização.

“Por Arenização compreende-se um processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados, que acarreta nessas áreas uma dificuldade de fixação de cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação da água e dos ventos” (SUERTEGARAY, 1987).

Portanto, o comportamento natural das coberturas vegetais associadas a um uso inadequado do solo acaba por ampliar e intensificar os processos erosivos. Dentre estes exemplos de áreas frágeis e de uso descontrolado estão os areais do RS. Ambientes naturais que acabam por se ampliar e modificar de acordo com o processo de uso e ocupação inapropriado. Neste contexto, muitos trabalhos trazem as CBS como importante agente de controle na estabilização de solo, especialmente os que se encontram em condições de vegetação esparsa ou ausentes de plantas superiores, assim agem como agente de auxílio contra a desertificação, pois estes microrganismos tem potencial de restauração e reabilitação do meio ambiente (BELNAP 2001; BATES *et al.*, 2010; BOWKER *et al.*, 2010; BOOTH, 1941; VESTE, 2005).

O tema é atual e seus principais estudos pelo mundo se direcionam ao comportamento de alguns componentes morfológicos das crostas como as cianobactérias que fixam macro nutrientes importantes para o solo: carbono e nitrogênio, o que altera o comportamento químico dos solos. Outros estudos contribuem para a sua compreensão em processos hidrológicos (BELNAP *et al.*, 2003). E, mais recentemente, vem sendo explorado o potencial das crostas por inoculação para fertilização de campos de arroz (WATANABE *et al.*, 1978; PAINTER, 1993; ABD-ALLA *et al.*, 1994 ) ou estabilização artificial de dunas e recuperação de áreas degradadas (VAN DEN ACKER *et al.*, 1985; DANIN *et al.*, 1991; LI *et al.*, 2002) por inoculação e cultivo de cianobactérias.

Sendo as CBS agentes de cobertura, agregação de solo e suporte para outras espécies sucessoras, a sua existência em ambientes com dificuldade de fixação da vegetação faz-se extremamente importante. Desta forma, considera-se a área de estudo pertinente não apenas



para um estudo de catalogação de espécies, mas como um cenário promissor para um estudo continuado das associações de crostas como elemento auxiliar na recuperação das áreas de degradação por erosão. Portanto, aplicar e reconhecer novas técnicas para controle de erosão se faz cada vez mais imprescindível.

Com isso, há necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a dinâmica das crostas biológicas e sua inter-relação com o substrato e o sistema solo, ampliando assim a compreensão da contribuição destes devido sua importância ecológica e geográfica. Por fim, novas descobertas sobre estes organismos são de grande relevância, promovendo um conhecimento científico riquíssimo que ainda está incipiente no Brasil.

## **1.1 HIPÓTESE**

A região sudoeste do RS apresenta condições climáticas de tempos passados de climas mais secos e frios para a ocorrência de CBS, especialmente quando se observa as principais áreas de crostas estudadas no hemisfério Sul e suas semelhanças quanto ao tipo de substrato, gêneros e condições climáticas passadas tanto na África quanto na Austrália.

## **1.2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS**

Os estudos de CBS no Brasil são pouco explorados, podendo ser descrito, até o momento apenas um trabalho realizado no bioma Cerrado, nos Parques Nacionais da Serra da Canastra e Serra do Cipó em Minas Gerais. Sendo este o primeiro trabalho para o pampa gaúcho, atribui-se assim para este estudo um caráter inédito.

Crostas biológicas são consideradas um fator-chave na proteção de ecossistemas áridos e semiáridos e, portanto, no combate à desertificação contendo remobilização dos sedimentos em dunas de areia (VEST, 2001). Estes microrganismos biológicos também são reconhecidos como os primeiros colonizadores após distúrbios e perturbações ambientais. Sendo assim, numa primeira fase, o solo é recoberto por cianobactérias e algas verdes, seguidos, posteriormente, de líquens e musgos (VEST, 2005), atuando como agentes de proteção para o solo e constituidores de solo, devido à capacidade de fixação biológica de nitrogênio (N), a partir de cianobactérias livres ou cianobactérias em líquens que são um

importante caminho de entrada de nutrientes em ecossistemas frágeis e com substrato limitado (RUSSOW *et al.* 2005; VELUCI *et al.*, 2006).

Portanto, cada tipo de crosta influencia de forma peculiar com a estabilidade, infiltração e escoamento de águas e nutrição do solo. Conseqüentemente, esta pesquisa visa contribuir para ampliar o conhecimento das CBS no Brasil.

Apesar de existirem outros trabalhos sobre crostas Biológicas no Brasil como: Trindade (2000), Trindade *et al.* (2001), Pinheiro *et al.* (2010) e Rosa (2012) os trabalhos possuem ênfase de estudo muito diferentes das propostas nesse trabalho e que procuram dialogar com as formas de estudo de crostas biológicas apresentados por trabalhos do mundo todo. Fazendo deste um trabalho de grande contribuição para o Brasil.

Segundo Silva (2008), nos Areais do sudoeste do Rio Grande do Sul encontramos uma janela temporal para o passado, pois a evidência de substratos da paisagem dos areais e os organismos vivos que a compõem, testemunham condições ambientais singulares não sustentadas pelos dados climáticos atuais.

Desta forma, se usarmos como ecossistema testemunho, podemos ter vestígios de adaptações estruturais e fisiológicas da vida diante das imposições ambientais impostas em tempos passados. Desta forma plantas como cactáceas e animais como gafanhoto dos areais ainda são encontrados no mundo atual e em um ambiente aparentemente úmido.

Assim, as CBS compõem mais um elemento de climas mais secos que encontram-se nos areais, pois como já foi dito, estas são principalmente estudadas em locais de clima árido a semi árido, diferentemente do clima nos areais.

Os areais se abrem como uma janela do passado, que nos trazem as CBS que devem estar presentes neste ambiente há muito tempo, evoluindo e contribuindo para com a vegetação superior, que pode ser vista em alguns locais misturada a estas.

Talvez pudessem ter encontrado crostas em outros locais como os campos de cima da serra, entretanto, em nenhum outro lugar estas crostas fariam tanta diferença, seriam tão importantes para o aporte de nutrientes, estabilizadores de cobertura pedo-sedimentar e elemento indicador de evolução biogeográfica.

### **1.3.1. Objetivo Geral:**

No presente estudo propõe-se a investigar a morfologia e as inter-relações das CBS nos Areais do Rio Grande do Sul, especificamente na área de ocorrência dos areais a partir de três áreas de sondagem nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis.

### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- (i) Compreender a diversidade de microrganismos existentes nas crostas em areais;
- (ii) Verificar a relação entre as CBS e os solos onde ocorrem, a partir de análises laboratoriais dos testemunhos de sondagem de crostas, bem como dos testemunhos de solo coletados recobertos por crostas e sem cobertura;
- (iii) Comparar as amostras de CBS a fim de singularizar suas morfologias quanto a aparência, cor, espessura das crostas, associação de microrganismos e peculiaridades químicas e estruturais.
- (iv) Verificar relações entre os dados encontrados e as afinidades florísticas descritas por outros trabalhos sobre crostas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desde a criação da Agenda 21<sup>1</sup> (UNEP, 1992) problemas e medidas de cuidados com o meio ambiente vêm sendo debatidos pela comunidade científica internacional. Desta forma a luta contra a degradação do solo, proteção à biodiversidade e proteção a ambientes frágeis que sofrem com processo de desertificação somente cresce.

A degradação de solos hoje não é apenas considerada um problema em ecossistemas sob condições áridas, mas sim um desequilíbrio que ocorre em todas as áreas do planeta, pois o desmatamento, seguido do manejo irregular agrícola são os primeiros passos para o início da degradação de um ambiente terrestre. Quando a vegetação é removida, o solo torna-se mais exposto, desprotegido, pois é torrado pelo sol e amplia seu potencial de erosão pelo vento e chuva, o que provoca ruptura da zona de contato e inícios de processos de ravinamento

Certos processos ambientais, como lixiviação, erosão, movimentos de massa e cheias, podem ocorrer com ou sem a intervenção humana. Dessa forma, ao se caracterizar processos físicos, como degradação ambiental, devem-se levar em consideração critérios sociais que relacionam a terra como potencial de diversos tipos de uso (GUERRA & CUNHA, 1996).

Sabe-se que os agentes erosivos mais competentes em transportar partículas de solo são o vento e a água. Estes, relacionados com uma topografia favorável, permitem em uma fase inicial a formação de ravinas e voçorocas que nos areais, segundo Suertegaray (2008), é seguida por erosão lateral e regressiva gerando um processo de arenização que corresponde ao processo de formação dos areais.

Sendo a cobertura vegetal um dos principais mecanismos de controle contra esses agentes erosivos e o processo de arenização um agente que acarreta na dificuldade na fixação da vegetação, recai nesses ambientes sobre as espécies vegetais com possibilidade de desenvolver material orgânico a responsabilidade de restaurar e manter o pouco sistema vegetal existente.

---

<sup>1</sup> A Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

## 2.1 Crostas biológicas de solo

As crostas de solos se formam nas camadas mais superficiais do solo e podem ser diferenciadas pela sua morfologia e estrutura interna e externa, o que altera completamente o seu comportamento perante fatores como erosão, escoamento superficial, capacidade de infiltração no solo e ciclagem de nutrientes. Sendo assim, existem dois tipos de crostas nos solos: as crostas físicas e as crostas biológicas (BELNAP *et al.*, 2003).

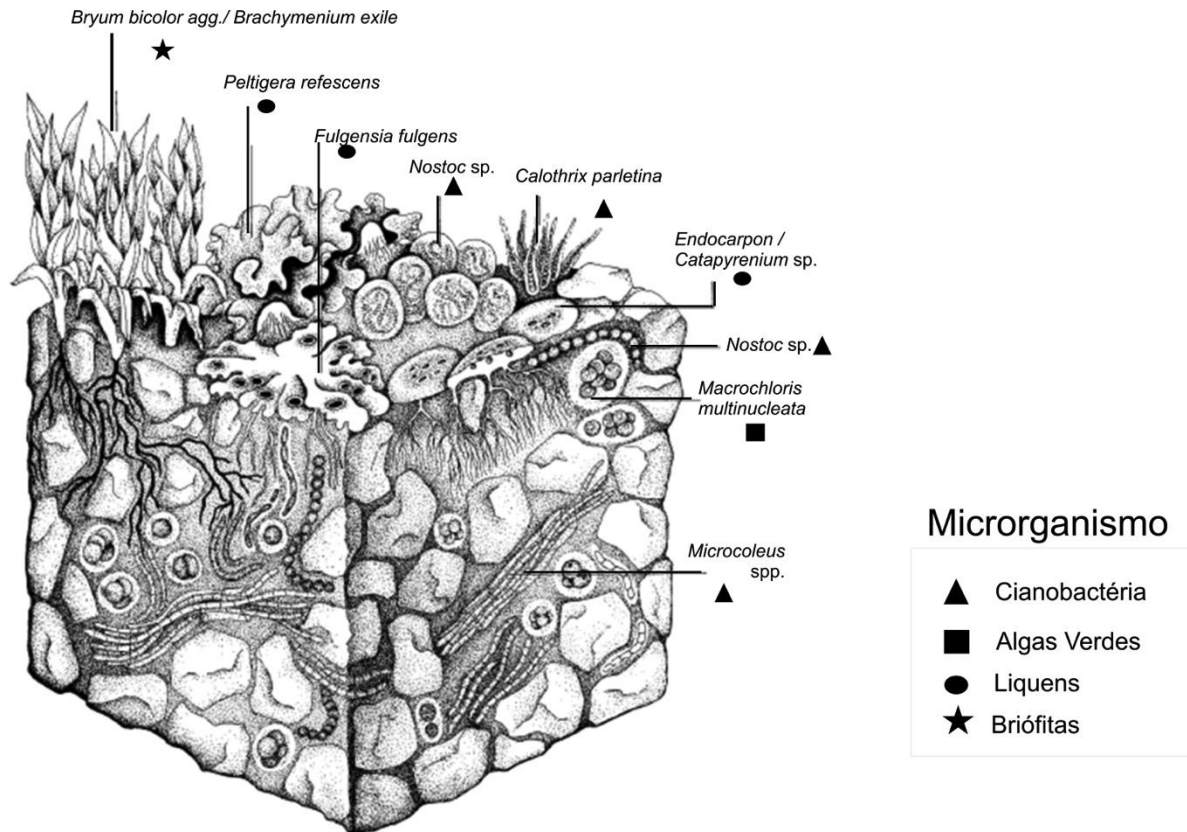
Crostas físicas são consideradas transitórias e podem variar em espessura possuindo menos de um milímetro até alguns centímetros. Tem uma estrutura diferenciada do material do pacote do solo, imediatamente abaixo de sua formação e é uma das principais estruturas de solo existentes em muitas regiões áridas. As propriedades das crostas físicas estão relacionadas a sua capacidade de desenvolvimento, que têm sido estudadas há anos.

As crostas físicas são consideradas crostas impactantes ao solo, devido ao selamento que geram na camada superficial, o que provoca maior escoamento superficial. As quatro principais causas de formação das crostas físicas de solo são: efeito “splash”, causado pelo impacto de gotas de chuva; forças de compressão como o pisoteio de animais e/ou tráfego de veículos; processos de evaporação (formando crostas químicas); bolhas de gás presas (formando crostas vesiculares). Assim, crostas físicas podem ser formadas a partir de um desses fatores ou em quaisquer combinações destes (BELNAP *et al.* 2001).

As Crostas biológicas, ao contrário das crostas físicas, possuem efeitos benéficos ao solo, devido as suas inúmeras capacidades de controle a erosão e reestruturação de nutrientes. Portanto, as partículas de solos são agregadas devido à atividade da biota e o resultado é uma massa viva, uniforme e coesa que recobre a superfície do solo.

CBS são o resultado de uma associação íntima entre as partículas do solo e cianobactérias, algas, micro fungos, líquens e briófitas (em diferentes proporções), como um organismo vivo imediatamente na superfície do solo ou entre os primeiros milímetros de solo (BELNAP *et al.* 2003). Sendo as partículas de solo agregadas, através da presença e atividade desta biota viva, o que resulta numa cobertura vegetal ativa, viva sobre a superfície do solo que cresce como uma camada orgânica coesa.

Um bloco diagrama esquemático de crosta biológica do solo com colonizadores típicos é apresentado na Figura 2.1. Embora os organismos não estejam representados em uma escala real, considera-se a espessura da camada de cerca de três centímetros de profundidade.



**Figura 2.1** - Bloco esquemático em diagrama, de uma CBS com seus agentes típicos. Espessura da camada é de cerca de 3 mm de profundidade. *Fonte:* (Adaptado de BELNAP, *et al.*, 2003).

Estruturalmente, as crostas biológicas são ásperas como um tapete ou pele de baixa estatura entre (1-10 cm de altura) e cobertura irregular na parte mais exposta e, onde encontramos os organismos de superfície como: líquens e musgos enquanto na sub-superfície estão os filamentos de fungos, algas verdes e cianobactérias que formam uma matriz que une as partículas de solo modificando sua coesão (BELNAP *et al.*, 2003). Horizontalmente, as CBS ocupam as zonas pobres em nutrientes, entre moitas de vegetações e muitos outros tipos de vegetações de ambiente árido e semiárido.

As CBS melhoram a qualidade de agregação das partículas do solo, pois, contribuem para a formação de matéria orgânica, e as atividades desta biota que é a parte mais importante

do pacote de solo por ser a camada onde se conservam os nutrientes essenciais para a nutrição das plantas, reduzem a erosão por ventos e escoamento superficial devido à capacidade de alterar o equilíbrio das infiltrações das águas. Portanto, as crostas biológicas são capazes de estabilizar o solo contra erosões, o que aumenta a estabilidade da paisagem, especialmente quando essas se encontram associadas a coberturas de plantas vasculares. (BELNAP, 2001).

As CBS, apenas recentemente, foram reconhecidas como tendo uma influência importante sobre ecossistemas terrestres continentais, apesar de estudos sobre comunidades de superfície de solo terem iniciado na década de 50 do século XX. Atualmente, como a importância dessas crostas no funcionamento do ecossistema tornou-se aparente, os esforços de pesquisa têm se intensificado, havendo mais de 3000 publicações até agora disponíveis sobre a biologia, ecologia e ecofisiologia das crostas de solo, bem como sobre suas comunidades, seus componentes e seus aspectos aplicados tais como: níveis na paisagem, hidrologia e gestão (BELNAP *et al.* 2003).

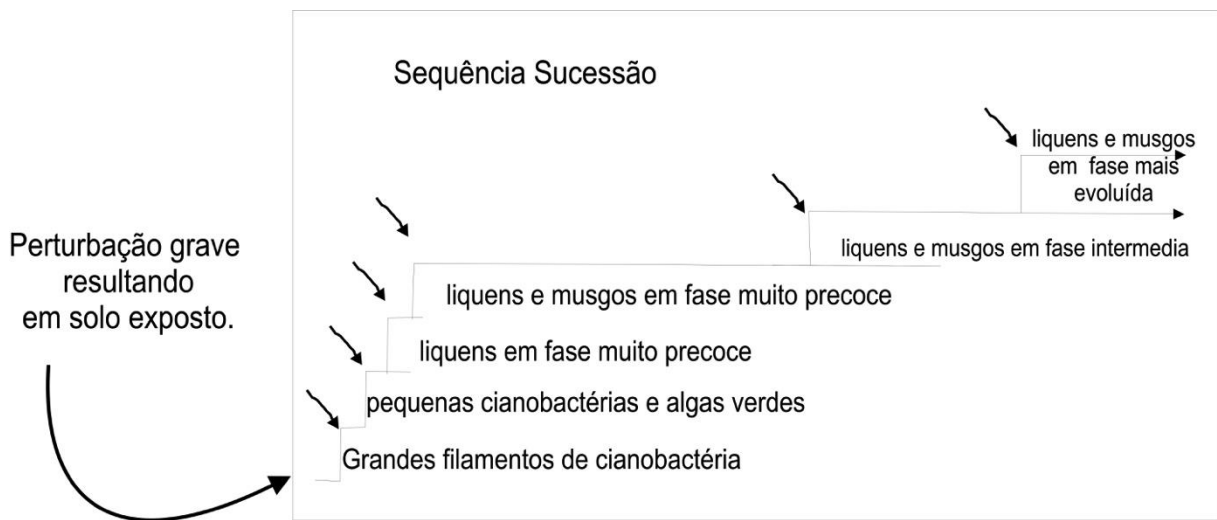
## **2.2. Componentes morfológicos das crostas biológicas de solo**

A aparência, biomassa e composição de espécies de CBS variam amplamente entre os regimes climáticos. Essas diferenças internas ou externas estruturais resultam da existência de crostas distintas, que diferem especialmente por causa dos processos ecológicos e hidrológicos, o que resulta na imensa diversidade de tipos de crostas (BELNAP *et al.* 2001).

CBS são normalmente compostas por organismos não necessariamente inter-relacionáveis, que recobrem juntos uma determinada porção do solo, formando um arranjo composto de macro e micro componentes. Portanto essa associação íntima ocorre entre as partículas do solo, cianobactérias, algas, microfungos, líquens e briófitas que vivem nos primeiros milímetros ou imediatamente em cima do solo podendo ser composta por todos os componentes ou apenas alguns, em diferentes proporções, o que dependerá do estágio de evolução da crosta biológica e das influências recebidas especialmente do local onde se encontra pela sua topografia, climatologia, e tipo de solo.

CBS são compostas por organismos de fase inicial de sucessão, ou seja, organismos pioneiros. Em estudos de perturbação e recuperação de áreas de CBS, Belnap *et al.* (2003) conseguiram mapear a sequência de aparecimento das espécies (Figura 2.2).

Desta forma, largos filamentos de cianobactéria como o *Microcoleus* sp. são os primeiros organismos fotossintéticos a aparecer, especialmente em solos arenosos instáveis (BELNAP, 1995). Isto ocorre provavelmente devido a sua mobilidade por toda a superfície do solo (SCHILICHTING, 1975). Outros organismos que aparecem no primeiro estágio são as algas verdes, mas, geralmente, sequencialmente às cianobactérias. Em solos levemente ácidos podem ocorrer primeiramente algas verdes, contudo este se faz raro (JOHANSEN, 1993).



**Figura 2.2 - Sequência de colonização dos microrganismos das CBS sobre solo exposto após perturbação.**  
 Fonte: (adaptado de BELNAP *et al.* 2003).

Líquens e musgos requerem solos estáveis para crescerem e podem ocorrer sobre crostas físicas ou sobre colonização de largos filamentos de cianobactérias (BELNAP *et al.* 2001). Uma vez o solo estabilizado, líquens gelatinosos fixadores de nitrogênio, cianolíquens (*Collema* sp.) são os primeiros a surgir sobre as áreas perturbadas seguidos por sucessões de ficolíquens e musgos (BELNAP, 1995). As colonizações iniciais de líquens frequentemente dispersam tecidos contendo organismos fotobionte, ou seja, ficolíquens ou cianolíquens (BELNAP *et al.* 2001).

Considerando os organismos e seus consecutivos estágios de sucessão, esta sessão pretende discutir as particularidades de cada microrganismo encontrado nas associações de crostas biológicas.



### 2.2.1. Cianobactérias

As cianobactérias segundo Büdel, (2005) fornecem grande parte da biomassa nas crostas, sendo responsáveis pela estabilidade, e dentre os microrganismos são os mais amplamente distribuídos. Estes microrganismos são procariotos (ausência de plastos e núcleo verdadeiro), com divisão celular centrípeta, reprodução assexuada e ausência de elementos móveis. Possuem clorofilas a, b ou d, sendo, portanto, fotossintetizantes, ficobilinas, xantofilas e caroteno. Apresentam estrutura fina e composição química de aparelho fotossintético (PARRA & BICUDO, 1995).

As cianobactérias são uma das formas mais antigas de vida conhecidas deste planeta, devido a sua plasticidade ecológica, são encontradas em todas as latitudes do planeta Terra.

Os registros fósseis, conhecidos como estromatólitos, que são depósitos organo sedimentares gerados da precipitação ou ligação de sedimentos como resultado do crescimento vertical ou da atividade metabólica desses organismos remontam o surgimento do grupo no Pré-Cambriano, sendo encontrados em rochas sedimentares com registro geológico contínuo por 2,7 bilhões de anos (Whitton & Potts, 2000).

As cianobactérias são também denominadas algas azuis ou verde azuladas devido a sua pigmentação azul (ficocianina); sua substância de reserva, o amido das cianofíceas, que é semelhante ao glicogênio. Esses organismos encontram-se presentes em todos os meios: dulcícolas (geleiras, lagos e rios), marinhos (oceanos e salinos) e ambientes terrestres (solo, rocha e casca de árvores). Podem ocorrer igualmente em ambientes extremos como desertos quentes e frios que incluem as regiões polares, sendo responsáveis por parte essencial da produção primária dos ecossistemas onde estão inseridas (WHITTON & POTTS, 2000).

Quando encontradas sobre o solo, estes organismos são classificados como edáficos e, segundo Granhall (1975), os fatores que possibilitam as cianobactérias ocuparem esses habitats são: umidade, pH, minerais e radiação solar.

Suas principais características são a fotossíntese e a capacidade de fixar nitrogênio, pois somente certas cianobactérias e algumas bactérias são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. Contudo, somente as cianobactérias heterocitadas (com heterócitos) são capazes de produzir a nitrogenase e liberar substâncias como nitrato para a absorção das raízes das plantas (GAMA, 2012).

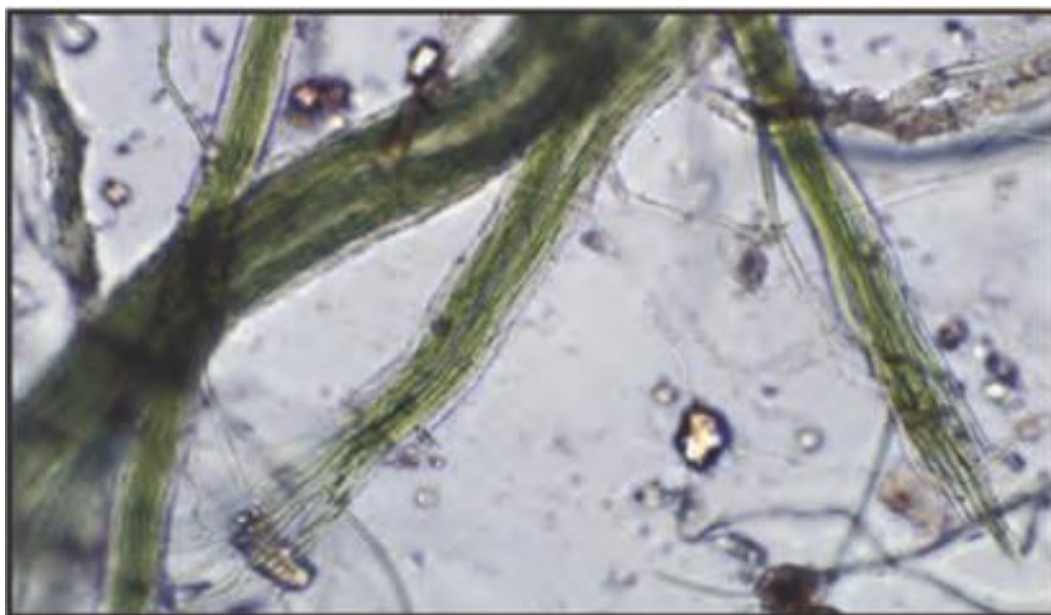
Sua capacidade adaptativa foi a razão do sucesso evolutivo sendo tolerantes a altas temperaturas, a alta radiação solar (ultra-violeta B e C), dessecação (tolerância a períodos sem chuva) e tolerante a altas concentrações de gases sulfídricos (WHITTON & POTTS, 2000).

Embora a umidade seja um fator essencial à vida desses organismos, segundo Belnap (2006), a tolerância à desidratação e estresse hídrico é uma característica comum a todos os grupos de cianobactérias. Sendo assim os organismos de maior tolerância em ambientes secos a desérticos possuem a habilidade de diminuir o metabolismo durante prolongados períodos de secas, e assim sobreviverem até a quase completa desidratação por não conseguirem manter reservas de água em seu sistema (WHITTON & POTTS, 2000).

Dentre os caracteres morfológicos para distinção dos táxons de cianobactérias destacam-se: tipo de talo (unicelulares, coloniais ou filamentosos – homocitados ou heterocitados), forma e dimensões das células, planos de divisões celulares, presença e o tipo de bainha ou envelope mucilaginoso, conteúdo celular, ausência ou presença de ramificações falsas ou verdadeiras.

Estes organismos, em particular as espécies de grandes filamentos (Figura 2.3), tais como as do gênero *Microcoleus* fornecem o material principal para a composição das CBS. Neste gênero, muitos tricomas são paralelamente agrupados e envoltos por uma bainha mucilaginosa. Estes feixes de filamentos, através das camadas mais superiores do solo, formam uma estrutura do tipo rede que se liga em conjunto às partículas do solo. Esta forma de agregação do solo cria caminhos para a infiltração de água e superfícies para as transformações de nutrientes, além de aumentar a resistência do solo à erosão eólica e hídrica (ROSENRETER *et al.* 2007).

Essa capacidade de aglutinar partículas do solo é interdependente da presença de filamentos vivos. Camadas de bainhas mucilaginosas abandonadas, construídas ao longo de grandes períodos de tempo ainda podem ser encontradas agarradas tenazmente a partículas do solo em profundidades superiores a 15 cm, propiciando assim, coesão e estabilidade em solos arenosos soltos, mesmo que em profundidade (WHITTON & POTTS, 2000).



**Figura 2.3** - Cianobactérias filamentosas do gênero *Microcoleus* com sua bainha gelatinosa transparente e vários tricomas por bainha. Este gênero é expressivo em estudos de crosta. Fonte: (ROSENTERER *et al.*, 2007).

Outro gênero comum é *Nostoc*, ocorrendo em quase todas as crostas de solo expostos em zonas áridas estendendo-se para climas mais tropicais, enquanto que em climas frios o gênero é restrito a crostas de solo. As cianobactérias filamentosas mais frequentes em crostas de solo são as que apresentam ramificações falsas, tais como *Scytonema* e *Ruvularia*, sendo caracterizada pela bainha cor amarelo brilhante para a proteção da radiação ultravioleta (UV). As espécies de ambos os gêneros formam pequenas colônias emergentes na parte superior do solo e são visíveis com uma lente de mão como pequeno manchas marrons ou pretas quando hidratadas. Representantes do gênero *Schizothrix*, juntamente com as filamentosas homocitadas são os principais constituintes em termos de biomassa e formação de crostas em savanas úmidas (BÜDEL, 2005).

Entre as cianobactérias unicelulares, os gêneros *Gloeocapsa*, *Gloeotheca* e *Chroococcusoccur* frequentemente ocorrem em crostas edáficas, enquanto os gêneros *Chroococcidiopsis* e *Pleurocapsa* dominam as crostas de substratos rochosos (BÜDEL, 2005).

### 2.2.2. Algas

Segundo Bicudo & Menezes (2006), entende-se por alga os talófitos cujas estruturas de reprodução jamais são envoltos por um conjunto ou tecido constituído de células estéreis. A principal via de produção de matéria orgânica pelas algas é a fotossíntese. Outras são capazes de crescer normalmente no escuro, desde que lhes sejam fornecidas substâncias químicas de alto teor energético e facilmente metabolizáveis (quimiossíntese), como os carboidratos, ácidos graxos e acetatos. Outra característica importante do metabolismo das algas é sua notável flexibilidade tanto na variedade de substratos que podem ser assimilados, quanto na variação das porcentagens dos vários produtos do metabolismo acumulados no interior das algas. Finalmente, as algas ocorrem numa enorme variedade de ambientes situados praticamente em todas as latitudes e altitudes do globo (BICUDO & MENEZES, 2006)

A divisão ou filo *Chlorophyta* compreende o maior grupo de algas com maior diversidade de tipos morfológicos, formas de reprodução e habitats. São conhecidos cerca de 550 gêneros com aproximadamente 17 mil espécies. Os pigmentos fotossintetizantes encontrados nas algas verdes são: clorofilas a e b;  $\beta$ -caroteno, Luteína, Zeaxantina, Violaxantina, Sifonoxantina e Sifoneína. O principal material de reserva é o amido, semelhante ao das plantas superiores, composto de amilose e amilopectina (GUERRA *et al.* 2011).

São organismos eucariontes (os procariontes também apresentam núcleo verdadeiro, porém não é envolto por uma membrana): e possuem grande quantidade de carotenoides que funcionam como proteção contra os comprimentos de radiação prejudiciais (RAVEN *et al.* 2007).

Encontradas em uma ampla variedade de habitats na sua maioria aquáticos (água doce ou marinha), uns poucos gêneros são subaéreos (*Trentepohlia*), mas também podem ser encontrados em troncos de árvores, solos e associações simbióticas com os fungos formando os líquens (RAVEN *et al.*, 2007). Várias algas verdes são reconhecidas pelo tipo celular, estrutura das células reprodutivas e características moleculares específicas. Os três maiores grupos de algas verdes são: *Chlorophyceae*, *Ulvophyceae*, *Charophyceae*.

As algas verdes podem formar manchas macroscópicas esverdeadas na superfície do solo, visíveis a olho nu com auxílio de lupa. São organismos unicelulares ou filamentosos com parede celular celulósica, flagelos. Possuem cloroplastos que variam em número e

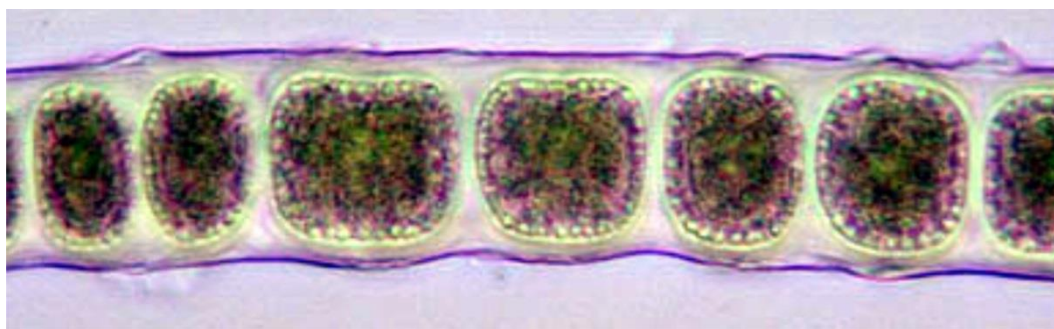
tamanho e podem ocupar toda a superfície da célula. Nos talos unicelulares a forma mais usual de reprodução é através da propagação vegetativa por divisão binária. Outra forma de aumento no número de indivíduos é pela fragmentação de talos filamentosos e coloniais. Nas colônias cenobiais ocorre a formação de autocolônias onde a colônia-mãe pode formar várias colônias-filhas com o mesmo número e disposição de indivíduos (GUERRA *et al.* 2011).

Crostas de solo dominadas ou formadas exclusivamente por algas verdes são raras. As algas verdes filamentosas ocorrem em muitas crostas de solo ou rocha tanto nas latitudes tropicais como nas latitudes boreais (BÜDEL, 2005).

Segundo Büdel (2005), até o momento, cerca de 70 gêneros de algas eucariotas foram identificados em crostas biológica pertencentes aos grupos das algas verdes e das diatomáceas (BÜDEL, 2001). As algas verdes ocorrem em um elevado número de CBS juntamente com as cianobactérias (BELNAP *et al.* 2001; BÜDEL 2001). Dentre as algas filamentosas, o gênero *Zygonium* (Figura 2.4), em regiões tropicais e boreal, ocorre significativamente em crostas dominadas por cianobactérias.

Até agora, nas regiões temperadas da Europa central, se conhece apenas crostas pioneiras formadas em solos que sofreram perturbação - *Fagus Forests* (BÜDEL, 2001) sendo mais tarde recobertas por camadas de musgos (*Polytrichum*) (BÜDEL, 2005).

Os gêneros mais comuns de algas eucariontes, segundo Büdel, (2005) são: *Bracteacoccus*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coccomyxa*, *Stichococcus* e *Klebsormidium*. As algas verdes unicelulares *Neochloris* ocorrem regularmente em crostas de solo nas savanas secas na África do Sul.



**Figura 2.4** - Alga verde filamentosa gênero *Zygonium*. Fonte: (<http://www.bioimages.org>).

### 2.2.3. Fungos livres

Os fungos, como as cianobactérias estão entre os organismos mais amplamente distribuídos na Terra. Possuem um reino próprio devido as suas células terem paredes celulares que contém quitina, semelhante às células animais. São organismos eucariontes, sendo abundantes em todo mundo e apresentam grande variedade de modos de vida: decompondo matérias mortas, críptos no solo ou vivendo como elemento simbiótico ou parasita (RAVEN *et al.* 2007).

Os fungos desempenham um papel essencial na decomposição da matéria orgânica quando liberam enzimas digestivas para fora de suas células e degradam outras moléculas. Assim, compõem o grupos dos organismos decompositores de grande importância ecológica, exercendo um papel fundamental no ciclo dos nutrientes (RAVEN *et al.* 2007).

Alguns fungos associam-se a raízes de plantas formando os micorrizos, que degradam os nutrientes do solo e repassam às plantas propiciando a estas melhora em seu crescimento. Em contrapartida as plantas concedem aos fungos açúcares e aminoácidos necessários a sua existência.

Dentre todos os microrganismos que compõe a associação de CBS, os fungos ainda permanecem pouco conhecidos. Isso ocorre principalmente porque estudos de flora fúngica em CBS só foram iniciados quase cinco décadas após sua descoberta em 1940 (FLETCHER & MARTIN, 1948 upud BATES, 2010). Somente recentemente métodos moleculares começaram a ser empregados para investigar a diversidade desses organismos. Assim com alguns estudos recentes (HAWKES, 2003; GREEN, 2008) foi possível iniciar e mapear os papéis funcionais dos fungos em CBS e em muitos tipos de crostas os tipos “free-living” de vida livre ainda não foram examinados em detalhe.

Estudos revelaram extensos e persistentes crescimentos de hifas que influenciam fortemente a agregação de partículas de solo e as propriedades de formação de crosta de solos provenientes de uma ampla gama de regiões áridas e ambientes semiáridos (BATES, 2010). Os fungos desempenham vários papéis importantes especialmente em ecossistemas áridos (BATES, 2010).

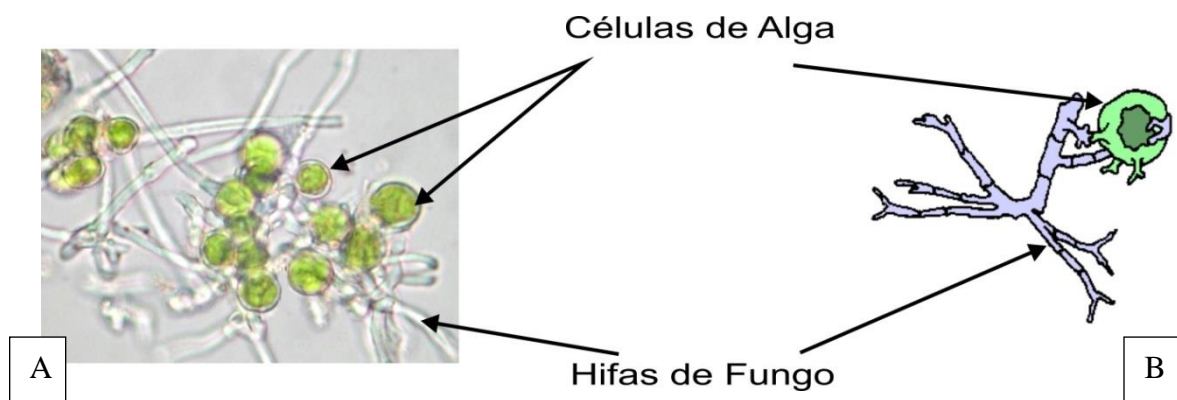
Embora as cianobactérias desempenhem um papel crítico no processo de agregação de solos (BELNAP & GARDNER, 1993; GARCIA-PICHEL *et al.* 2001), o micélio de fungos livres pode aumentar significativamente a estabilidade dos solos. Assim os fungos

filamentosos degradam a matéria orgânica e ajudam na agregação do solo. Alguns fungos como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Dematium*, *Gliocladium*, *Helminthosporium*, *Humicola* e *Metarhizium* produzem substâncias semelhantes às das substâncias húmicas, por isso podem ser importantes na manutenção de sua matéria orgânica. (HAWKSWORTH, 1991 apud BUSCOT, 2005).

#### 2.2.4. Microliquens ou liquens

Liquens são associações simbióticas mutualísticas entre um componente fúngico e uma população de algas unicelulares ou filamentosa ou de cianobactérias. Os componentes da simbiose liquênica recebem seus próprios nomes. As algas verdes e cianobactérias, por realizarem a fotossíntese, são chamadas de fotobiontes, enquanto os fungos constituem os micobiontes (SPILMANN & MARCELLI, 2006). Assim, pode-se dizer também que líquen é a união de um micobionte com um fotobionte (Figura 2.5).

Segundo Raven *et al.* (2007) 98% das espécies de fungos formadores de liquens pertencem ao filo *Ascomycota*, o restante ao filo *Basidiomycota*. Os liquens formam um grupo polifilético, uma vez que evidências recentes afirmam que eles evoluíram independentemente em, pelo menos, 5 eventos no passado.



**Figura 2.5 - A) Filamentos de micobionte (*Parmotrema*) envolvendo células do fotobionte (*Trebouxia*), visto ao microscópio. B) Fungo e Alga na visão do mutualismo. Fonte: (SPILMANN & MARCELLI, 2006).**

Embora a natureza dualista dos líquenes seja hoje amplamente reconhecida, o que é menos compreendido é a simbiose envolvendo três ou mais líquens parceiros (RAVEN *et al.*, 2007).

Os líquens são capazes de viver nos ambientes mais inóspitos da Terra e conseqüentemente estão amplamente distribuídos. Eles ocorrem em todas as latitudes do planeta desde os polos às florestas e desertos podendo ocupar substratos específicos tais como: solos nus, troncos de árvores, rochas, moirões de cerca a pinos castigados pelo vento (RAVEN *et al.* 2007).

Ambos Ficolíquens e Cianolíquens ocorrem em um arranjo de crescimento com grande variedade de formas, ou grupos morfológicos. Alguns talos de líquens podem cobrir quilômetros de terra. Em quase todos os líquens o fungo constitui maior parte do talo, sendo este que determina o formato do líquen. Existem dois tipos de talos: (i) as células fotobiontes que estão mais ou menos distribuídas por todo o talo, (ii) as células do fotobionte que formam uma camada distinta dentro do talo (Figura 6).

Os líquens são diferenciados pelas formas dos talos podendo ser (i) crostoso, que é achatado e adere firmemente ao substrato tendo o aspecto de uma crosta; (ii) folioso, que é semelhante a pequenas folhas; (iii) fruticoso, que é ereto frequentemente ramificado e arbustivo (RAVEN *et al.* 2007).

Assim os tipos de Líquens Crostoso ou folioso recobrem o solo com uma camada maior ou menor de talos. Sendo os gêneros *Squamulose* e *Placidium* os que têm talos divididos em escudo, placa ou escalam talos marginais, que são levantadas acima do substrato. Líquens fruticosos, que têm ramificações cilíndricas, são comuns em regiões mais frias. A maioria dos líquens encontrados em solos possuem camadas ou estratificação em talos. (ROSENTRETER, BOWKER, BELNAP, 2007), desta forma os líquens têm uma grande variedade de formas, cores e tamanhos, possuindo uma camada exterior composta por fungos (BELNAP, 2001).

As cores dos líquens variam do branco ao negro, passando por tonalidades vermelho, laranja, marrom, amarelo e verde. Se reproduzem normalmente por simples fragmentação, pela produção de propágulos pulverulentos denominados sorédios ou por pequenas projeções do talo conhecidas como isídios. Ambos atuam como unidades de dispersão e tem função de estabelecer os líquens em novos lugares. Os líquens desempenham um papel muito



importante no ecossistema, pois os micobiontes produzem grande número de metabólitos secundários chamados ácidos liquênicos, os quais muitas vezes, constituem 40% do peso seco do líquen. Esses metabólitos contribuem para o desgaste das rochas e formação de solos, tornando possível a sucessão posterior de plantas (RAVEN *et al.*, 2007).

Microlíquens ocorrem em CBS recobertos por vegetação zonal, ou também, frequentemente encontrados em conjunto a cianobactérias (ULLMANN & BÜDEL, 2001). Crostas dominadas por líquens são bem desenvolvidas em formações com estepes xerotérmico nos biomas temperados e mediterrânicos, além dos semi-áridos à desertos. Enquanto cerca de 70 gêneros de clorolíquens foram encontrados até agora, apenas cerca de 15 gêneros de cianolíquens foram relatados a partir de CBS .

### **2.2.5. Briófitas (musgos)**

Líquens e briófitas colonizam a superfície do solo após as cianobactérias. Ao contrário das cianobactérias, líquens e briófitas têm quase todo o seu tecido fotossintético formado acima da superfície do solo.

As Briófitas, com cerca de 15.000 espécies em mais de 1200 gêneros, são consideradas as primeiras plantas terrestres ainda com características primitivas verdes, autótrofas, herbáceas e caracterizadas pela falta de tecidos vasculares verdadeiros: xilema e floema (GUERRA *et al.*, 2011).

Esse grupo inclui os musgos, as hepáticas e os antóceros, constituindo o segundo maior grupo de plantas verdes terrestres. Embora tenham porte pequeno, formam uma surpreendente parte da vegetação tanto de climas temperados quanto tropicais, principalmente em regiões extremamente úmidas e são plantas essencialmente terrestres com uma maior diversidade de formas exibidas pelos gametófitos (GUERRA *et al.*, 2011).

Possuem aparência de folhas verdes e crescem em locais úmidos nas florestas temperadas e tropicais ou ao longo das margens dos cursos da água. Muitas vezes essas plantas formam extensos tapetes forrando os solos de florestas com cores verdes, marrons e avermelhadas. Os troncos e galhos podem ficar cobertos por esses tapetes. Entretanto muitas espécies são encontradas em habitats relativamente secos como desertos e várias espécies podem formar extensos tapetes verdes sobre as rochas. (RAVEN *et al.*, 2007).

As briófitas são plantas verdes com clorofilas a e b e carotenoides como pigmentos acessórios, amido como principal produto de reserva, parede celular de celulose e, algumas vezes, possuem uma cutícula fina. Assim contribuem significativamente para a diversidade vegetal e são importantes pela grande quantidade de carbono que armazenam desempenhando assim um papel importante no ciclo global do carbono (RAVEN *et al.*, 2007).

São as cápsulas de esporos que auxiliam na identificação de gêneros e espécies. Desta forma, os tapetes verdes de musgos somente são encontrados salientemente acima das folhas durante a primavera, época que se reproduzem por esporos em cápsulas. No entanto, em ambientes áridos, os musgos muitas vezes carecem de estruturas reprodutivas e se reproduzem assexuadamente por fragmentação simples ou especial. Portanto, em solos ácidos, os musgos são muitas vezes difíceis de identificar (BELNAP, 2001).

Os musgos são geralmente pequenos, seu esporófito possui cerca de 3 cm de altura e o gametófito em geral com menos de 10 cm de altura. Alguns musgos como a *Ephemeropsis* medem apenas poucos milímetros de altura. Excepcionalmente, os gametófitos de algumas formas eretas que crescem no centro dos tapetes podem exceder 20 cm, e formas aquáticas, prostradas ou pendentes chegam a alcançar 1 a 2 m de comprimento. O gametófito é a geração haploide e duradoura e consiste de uma fase juvenil geralmente filamentosa chamada protonema, e uma fase mais complexa, o gametófito, que produz os gametângios. Ambos são verdes e fotossintetizantes. O gametófito pode ser um talo laminar, achatado, foliáceo e multilobado ou em forma de fita estreita ou pode ser folhoso, com diferenciação em um eixo cilíndrico semelhante a um caule denominado caulídio de onde saem expansões laminares semelhantes às folhas denominadas filídios. Os gametófitos se fixam ao substrato através de filamentos aclorofilados denominados rizoides (GUERRA *et al.*, 2011).

O esporófito diploide, vive sempre preso ao gametófito e consiste de três partes: o rizoide - parte basal que penetra no tecido do gametófito e retira dele a água e os nutrientes; a haste – haste cilíndrica e não ramificada que conecta o pé à cápsula; a cápsula – único esporângio do esporófito, que possui formas e estruturas variadas (Figura 2.6 e 2.7). Sobre a cápsula, podemos encontrar a caliptra – uma fina camada de tecido haploide originada de parte da parede do arquegônio (GUERRA *et al.*, 2011).

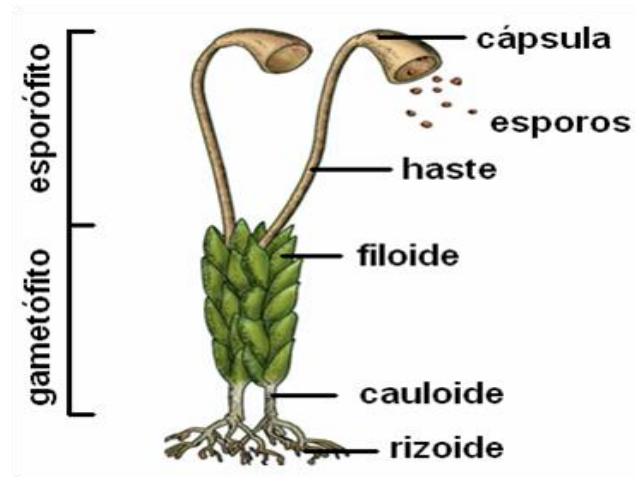


Figura 2.6- Estrutura de uma briófitas. Fonte: (ROSENTERTER *et al.*, 2007).



Figura 2.7 - Musgos gametófitos com esporófitos epifitando tronco de árvore. Fonte: (ROSENTERTER *et al.* 2007).

### 2.3. Classificação das crostas biológicas de solo

As CBS podem ser classificadas a partir de sua ampla variedade de tipos baseadas nas condições de habitat, composição taxonômica, aparência física e função. Entretanto a composição das crostas de solos, ainda não é uniformizada para uma larga escala florística, não havendo uma listagem taxonômica uniforme (BELNAP *et al.* 2003). Desta forma tem se seguido sugestões diversas de classificação de crostas (VEST, 1990) usando a forma de crescimento das espécies dominantes, tipo de solo e critérios para o seu desenvolvimento.

Eldridge & Greene (1994) identificaram três formas de crostas biológicas: Acima do solo (*hypermorphs*), no solo (*perimorphs*) e escondido abaixo do solo (*cryptograms*). Belnap *et al.* (2003) propõem, baseando-se nas definições mais recentes, uma classificação fundamentada nos tipos de topografia das crostas, o que pode facilitar uma comparação mundial de morfologias de crosta.

A classificação proposta por Belnap (2006) é baseada na morfologia/topografia externa das crostas, seus aspectos de fácil distinção visual, comportamento ecológico em muitos ecossistemas em áreas áridas ou semiáridas. Esta classificação também representa o potencial do gradiente potencial de evapotranspiração (ETP). Sendo reconhecidos quatro grupos de topografia: suave, rugoso, blocos pedunculados e ondulado (Figura 2.8).

Seguindo a classificação de Belnap (2006), crostas de topografia suave são encontradas em desertos quentes onde encontramos quase exclusivamente colônias subterrâneas: cianobactérias, algas e fungos. Incrustações químicas também são muito comuns nesse tipo de crosta. Nas outras três categorias geralmente, encontramos colônias: líquens e musgos adicionados a organismos subterrâneos autótrofos (algas e cianobactérias) e fungos.

Crostas de topografia rugosas possuem baixa superfície de rugosidade (< 2cm), geralmente dispersos em moitas de líquens e/ou musgos. Sob condições de umidade em regiões temperadas crostas rugosas também podem ser dominadas por camadas subterrâneas de algas, como *Zygonium*, o qual pode penetrar 4mm de profundidade abaixo do solo.

Crostas de topografia pinacular e onduladas recobrem apenas onde o solo congela no inverno. Pinaculares são dominadas por cianobactérias, mas locais podem ter 40% de cobertura por líquens e/ou musgos, podendo atingir até mais que 15 cm de altura. Topografia ondulada ocorre em locais onde o índice de pluviosidade é alto resultando pesada cobertura por líquens e/ou musgos com superfície com aproximadamente 5 cm de altura.

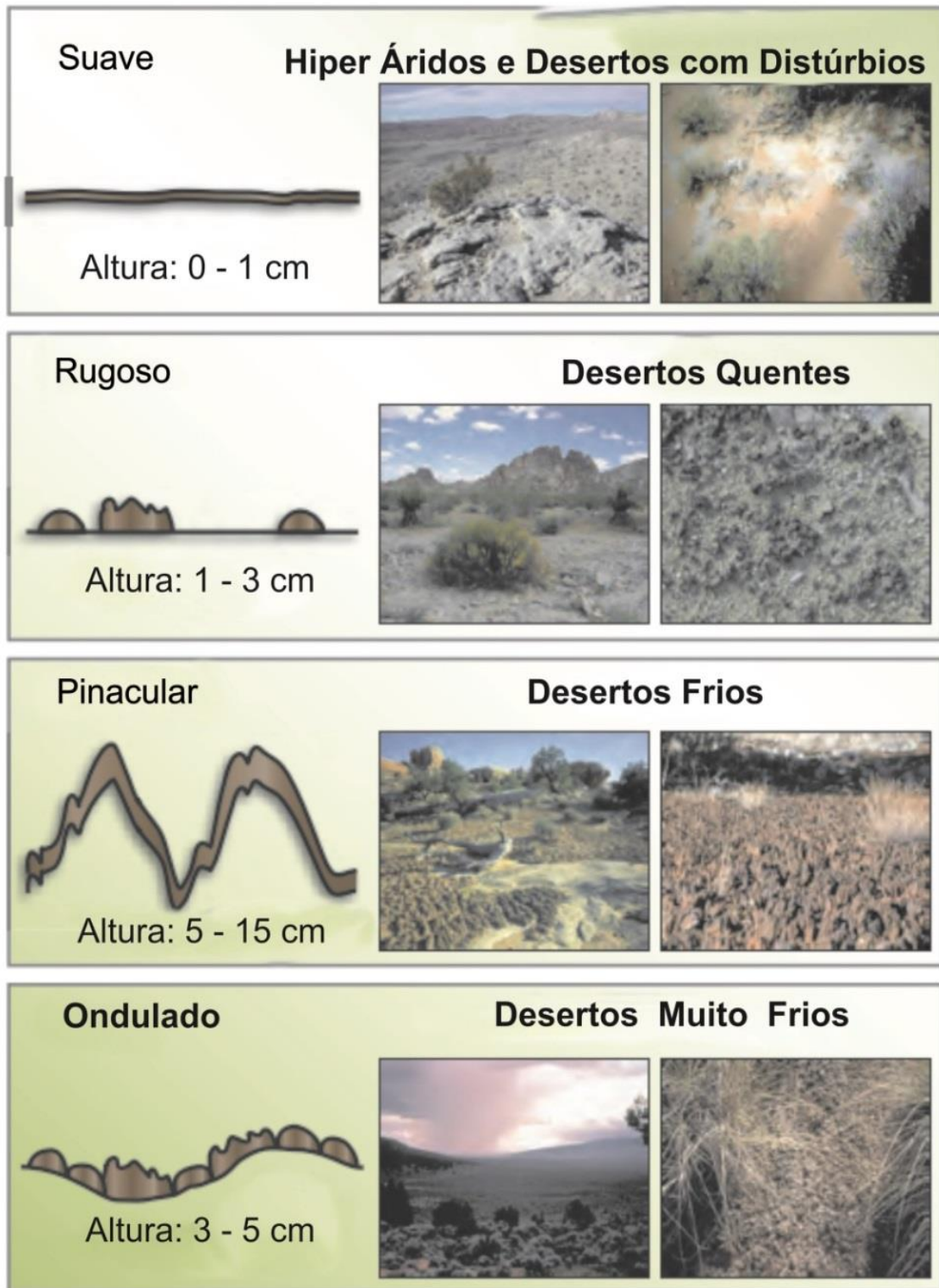


Figura 2.8 - Exemplos de quatro tipos morfológicos de CBS de acordo com a evapotranspiração potencial. Superfície suave em desertos hiper áridos como o deserto do Colorado que vem sofrendo recentemente com distúrbios. Superfície Rugosa em desertos áridos como o deserto de Mojave. Estrutura Pinacular em latitudes de desertos frios como o Platô Colorado. Em superfície ondulada onde se tem ocorrência de geada no inverno como no Great Basin Fonte: (ROSENTERER *et al.* 2007).

Outros fatores que influenciam a morfologia externa das CBS são a textura e as características químicas do solo, direcionando os efeitos sobre a evapotranspiração e componentes biológicos que definem a morfologia externa de uma crosta. Desta forma, crostas com espécies e clima similares em solo com textura fina são mais favorecidos que crostas com textura mais grosseira e/ou mais fina por concentrações de cianobactérias próximas a superfície, onde a luz é rapidamente limitada à profundidade (GARCIA-PICHEL & BELNAP, 1996).

Em solos com estrutura cristalina fraca (Derivados de calcita ou gipsita), materiais polissacarídeos podem se combinar com minerais dissolvidos quando os solos estão úmidos, sobrepondo camadas secas, formando assim bainhas compostas por parte orgânica e inorgânica (BELNAP & GARDNER, 1993). Solos com um alto teor carbonático são quase sempre apoiados por ampla cobertura de líquens e musgos. Apresentando desta forma uma superfície mais áspera que vai variando nas bordas (áreas adjacentes) com baixa concentração carbonática (BELNAP *et al.* 2003).

Solos com um alto conteúdo de argilas (bentonite) frequentemente originam uma superfície muito instável. Nos desertos, CBS nesses tipos de solos geralmente são formadas por filamentos de cianobactérias *Microcoleus* (BELNAP *et al.* 2003). Assim, como se pode observar, nesses tipos de solos as morfologias são controladas mais pelos aspectos físicos e químicas dos solos do que das contribuições biológicas.

O histórico de perturbações da área é um fator relevante, pois perturbações intensas resultam em solo exposto, que quando colonizados por longos filamentos de cianobactérias formam topografias suaves de crosta. Em regiões com frost-heaving muitas superfícies micro topográficas aparecem após o primeiro inverno, criando crostas rugosas (BELNAP, 1995).

Considerando a aparência morfológica das espécies, outro fator que deve ser respeitado é a sazonalidade devido à disponibilidade de umidade. Assim as Figuras 2.9 e 2.10 mostram o comportamento das CBS em diferentes momentos de disponibilidade de recursos hídricos em locais experimentais do *Australian National Botanic Gardens* e *Australian National Herbarium, Canberra* – Austrália. Na figura 10, as CBS encontram-se em período seco e na figura 11 após 30 min de precipitação. A literatura aponta ainda que as CBS contêm estruturas internas que vão de uma escala milimétrica a micrométrica, em que a formação dessas micro camadas horizontais podem estar relacionadas com a pedogênese inicial (FISCHER *et al.* 2010).





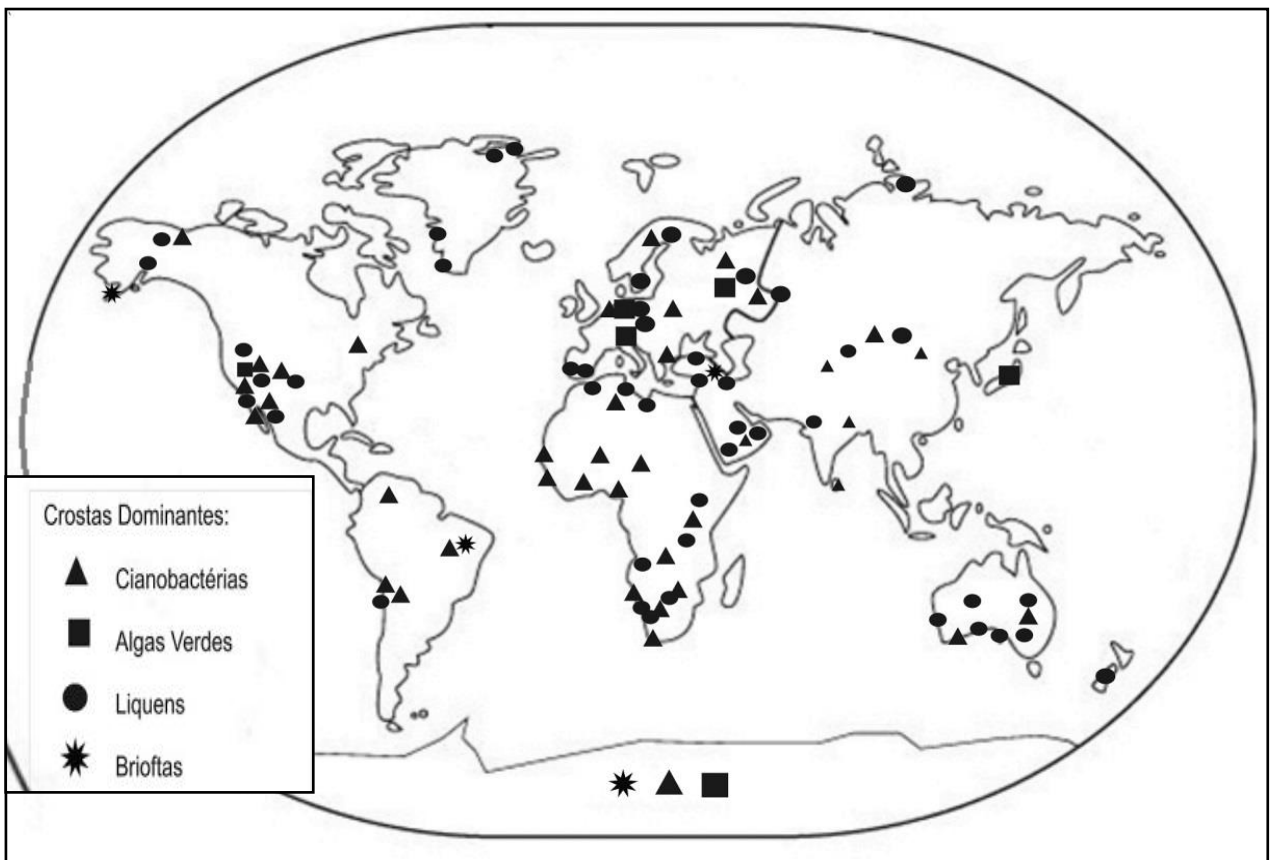
**Figura 2.9-** Site experimental de CBS com crostas transplantadas durante período seco. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: (<http://www.anbg.gov.au>).



**Figura 2.10 -** Site experimental de CBS com crostas transplantadas durante período úmido. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: (<http://www.anbg.gov.au>).

## 2.4. Comparação biogeográfica das crostas biológicas de solo

Belnap *et al.*, (2001) mostram a distribuição dos mapeamentos exploratórios sobre CBS disponíveis na literatura (Figura 2.11) relatados detalhadamente a composição ecológica de espécies em diferentes regiões geográficas. O mapeamento ressalta a presença de crostas biológicas de solo em todas as latitudes do planeta, ou seja, a influência dessa associação de microrganismos se faz presente em todas as latitudes do planeta e a espécie dominante que se destaca na crosta por percentual.



**Figura 2.11 - Distribuição florística das crostas biológicas de solo (CBS) no Planeta. Fonte: Adaptado de BELNAP *et al.* 2001.**

Desta forma a composição de crostas estão presentes em todos os biomas do mundo. Contudo, apesar de sua ampla ocorrência, comparar dados biogeográficos e ecológicos da biota dos microrganismos existentes nas CBS em uma base mundial de dados é quase impossível, porque a maioria dos dados coletados usam metodologias diferentes e diferentes sistemas taxonômicos, onde está focado o estudo em apenas um único organismo (algas, cianobactérias, líquen ou musgo) excluindo os outros (BELNAP *et al.* 2001).



A expressiva maioria dos estudos conhecidos sobre crostas biológicas concentram-se em áreas extremas de calor e/ou frio. Tal interesse da academia se faz compreensível devido à singularidade e importância ecológica das crostas nesses ambientes de vegetação escassa. Entretanto observa-se uma lacuna com falta de dados de CBS em florestas tropicais (BELNAP *et al.* 2001).

No total foram reportadas em uma base mundial reconhecidas 35 gêneros de cianobactérias, 68 gêneros de algas eucariontes, 13 gêneros de cianolíquens, 69 gêneros de ficolíquens e 62 gêneros de musgos e briófitas (figura 13).

Para a América do Sul foram reportadas 15 gêneros de cianobactérias, 3 gêneros de algas verdes, 5 gêneros de musgos, sendo os gêneros de líquens desconhecidos. Os estudos conhecidos sobre a América do Sul foram relatados no capítulo 3 de Belnap *et al.* (2001) os estudos foram: (i) Chaco argentino em estudos de crostas (DEHALPERIN *et al.* 1976); (ii) na Savana úmida venezuelana de composição de crostas de solo (SAN JOSÉ & BRAVO, 1991); (iii) estudos sobre flora de cianobactérias em solos na Mata Atlântica em São Paulo (SANT'ANNA & PAIVA AZEVEDO, 1995); e (iv) na caatinga brasileira através de um estudo de briófitas em áreas da Bahia (BASTOS *et al.* 1998).

Desta forma a composição florística citada para a América do Sul por Belnap *et al.* (2003) encontra-se na Quadro 1.

Quadro 1 - Composição florística citada para a América do Sul por Belnap *et al.* (2003).

<b>COMPONENTE MORFOMÉTRICO</b>	<b>GÊNEROS</b>		
<b>CIANOACTÉRIAS</b>	<i>Microcoleus</i> <i>Nostoc</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Anabaena</i>	<i>Phormidium</i> <i>Plectonema</i> <i>Porphyrosiphon</i> <i>Calothrix</i>	<i>Schizothrix</i> <i>Scytonema</i> <i>Tolypothrix</i> <i>Lyngbya</i> <i>Nodularia</i> <i>Stigonema</i> <i>Symploca</i>
<b>ALGAS</b>	<i>Zygonium</i>	<i>Cosmarium</i>	<i>Cylindrocystic</i>
<b>MUSGOS</b>	<i>Brachythecium</i>	<i>Reboulia</i>	<i>Fissidens</i>

Embora o mapa já tenha cerca de dez anos, os dados anexados para os estudos de CBS para a América Latina, em especial para o Brasil, são estudos de apenas um componente de crosta e não especificamente estudos de crostas. Atualmente no Brasil, os estudos de CBS foram iniciados no ano de 2013 pelo professor Dr. Luis Henrique Zanini Branco da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de São José do Rio Preto. Estes estudos estão sendo desenvolvidos em áreas do cerrado ocorrentes nos estados de São Paulo e Minas Gerais, onde foram encontradas CBS com composição predominante de cianobactérias e algas verdes.

#### 2.4.1. Afinidades florísticas

Devido à utilização de diferentes metodologias para o isolamento e identificação de microrganismos em crostas e os focos muito seletivo das análises, que geralmente se enfocam por um ou outro componente, especialmente em determinadas regiões geográficas, o estudo de afinidades florísticas de crostas mundiais se limita a comparações de semelhança entre as regiões geográficas ao nível de gênero nos táxons. Contudo Belnap *et al.* (2001) considera importante uma análise de forma cautelosa, visto que os dados estão em plena aquisição e podem mudar rapidamente com o aumento da informação sobre qualquer um dos grupos de organismos incluídos na análise.

Para que seja possível uma construção de similaridades entre crostas Belnap *et al.* (2001) utiliza o coeficiente de Sorensen (*Sorensen coeficiente-  $Q_s$* ), que é um índice de similaridade, o qual pondera composições de táxons florísticos entre duas amostras. Sendo calculado usando a seguinte fórmula:

$$Q_s(\%) = \frac{2C}{A + B} \cdot 100,$$

Onde: C = Número de gêneros comuns às duas parcelas ou regiões

A= Número de gêneros na amostra A ou região A

B = Número de gêneros na amostra B ou região B

Assim como pode ser visto pelos mapas de singularidade construídos por Büdel, (2001) Figura 2.12 comparando similaridade florísticas entre os continentes com dados disponíveis de crostas dominantes por: líquens, algas e cianobactérias e musgos e hepáticas.

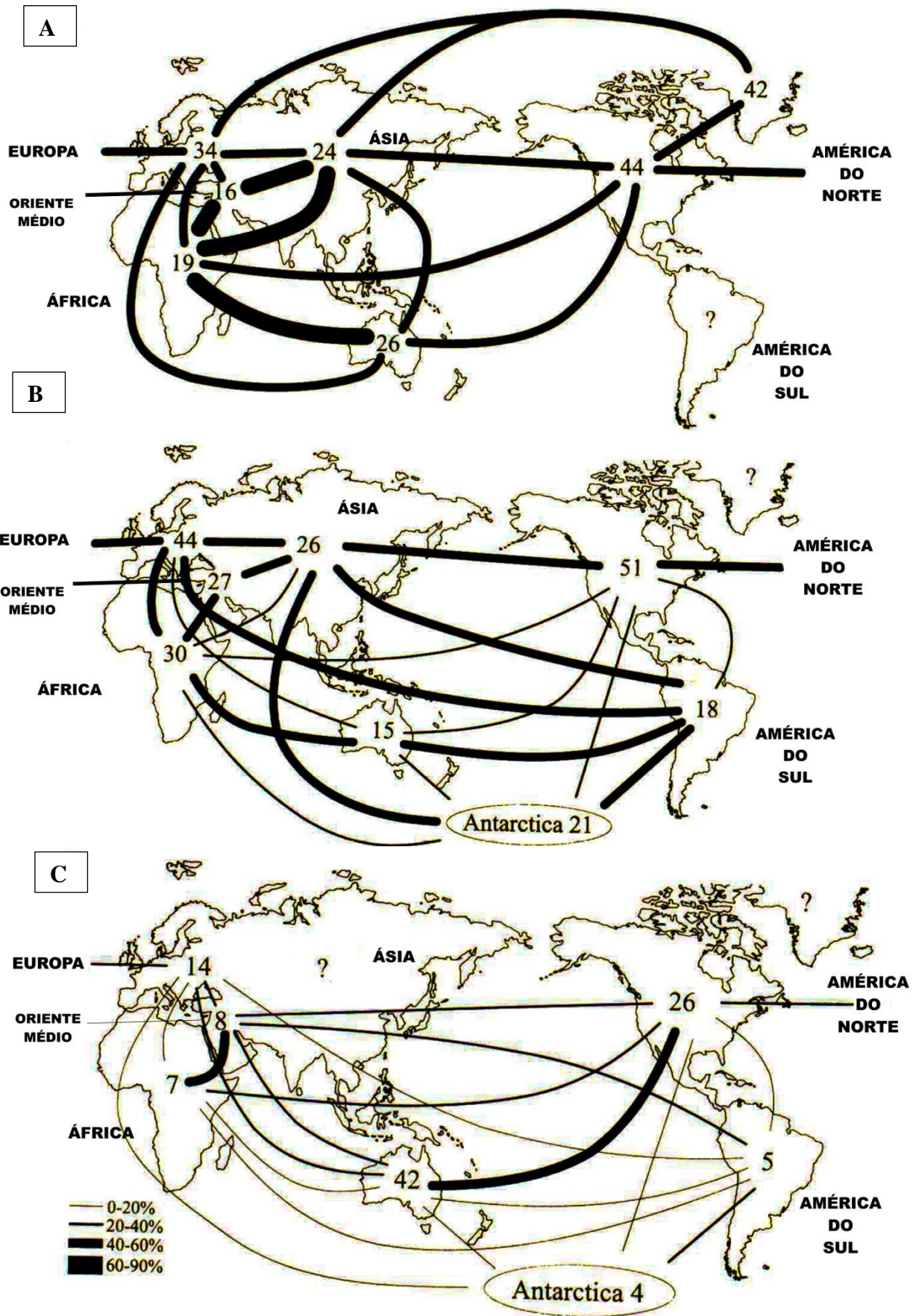


Figura 2.12 - Similaridade florística de CBS baseada em gêneros de acordo com o coeficiente de Sorensen em números absolutos. A – Líquens; B- Algas e cianobactérias e C -Musgos e briófitas. Fonte: Adaptado de BELNAP *et al.* 2003.

No estudo de Büdel (2001) foi encontrada a relação mais forte entre os gêneros de líquens da Ásia, Oriente Médio e África, mostrando uma relação de similaridade de 60-90%. Os gêneros de líquens da Austrália e da África mostraram uma relação semelhante. Os gêneros menos relacionáveis foram entre os da Austrália com Europa e América do Norte. Assim o estudo mostra que a forte relação entre Ásia, Oriente Médio e África pode ser devido à elevada proporção de terras áridas, a possibilidade de conexão por terra e a distância de dispersão relativamente curta. As similaridades entre Austrália e África podem estar relacionadas com tempos passados, quando os dois continentes encontravam-se conectados durante o Gondwana.

As conexões relatadas por Büdel (2003) para o grupo das algas mostram que existem mais gêneros de algas em comum da Austrália com a África e América do Sul do que em qualquer outra parte do mundo, apontando para relações pálio-biogeográficas. Contudo, segundo o autor, embora as CBS ocorram em muitos biomas no mundo são estruturas de simbiose de diferentes microrganismos, sendo muito limitado o conhecimento sobre as funções ecológicas e seu papel no ecossistema.

## **2.5. Aspectos geográficos determinantes na estrutura e distribuição das crostas biológicas de solo**

A composição e a estrutura das CBS variam de acordo com fatores como: substrato, clima e processo de sucessão. Estes fatores que controlam a distribuição e abundância das crostas variam de acordo com diferentes escalas geográficas, podendo mudar de metros a quilômetros dependendo das condições de precipitação, química do solo, textura do solo, topografia, cobertura vegetal e perturbações (ULLMANN & BÜDEL, 2001).

As propriedades químicas e físicas do solo, capacidade de infiltração e escoamento da precipitação, cobertura vegetal e micro variações do relevo são os mais importantes fatores que influenciam a variação florística das CBS em uma **escala local** (ELDRIDGE, 1999).

Assim, em escala local, observando estudos em áreas de climas áridos e semiáridos, podemos observar que a correlação com o tipo de solos é fundamental. Desta forma solos carbonáticos, contendo gipsita ou salinos podem definir quem será o componente dominante. Porém alguns fatores como a salinidade limitaram a coesão entre as crostas em desertos no sul da Tunísia. Assim em ambientes áridos os componentes químicos do solo Cálcio (Ca), Enxofre (S), Carbono (C) e Sódio (Na) são elementos fundamentais para traçar perfis de crosta.

Correlacionando os organismos com as características do solo se constrói o suporte para presença ou ausência de organismos, podendo-se definir os componente florístico em um transecto local por sua litologia (ULLMANN & BÜDEL, 2001).

Em escala regional a distribuição da biodiversidade e o potencial máximo de biomassa das CBS são determinados pela interação geológica e geomorfológica com fatores climáticos. Os fatores mais relevantes e determinantes são: elevação do relevo, composição do solo, temperatura, regimes de continentalidade e quantidade e padrões de precipitação incluindo orvalho e neblina (LANGE *et al.* 1992; EVANS & JOHANSEN, 1999; ULLMANN & BÜDEL, 2001).

Segundo Ullmann & Büdel 2001, ao longo do gradiente árido a precipitação e a continentalidade influenciam a composição das CBS em escala regional. Assim as mudanças das dominâncias das CBS de cianobactérias para dominância líquens foram observadas em transectos, na qual foram observados características como: (i) a distribuição das CBS dominadas por cianobactérias é mais afetada por fatores climatológicos; (ii) crostas ricas em líquens estão associadas a locais com ampla variedade de plantas vasculares e recobrem solos com menor efeito de evaporação; (iii) algumas espécies estão limitadas a solos não calcários não salinos ou substrato gipsita, incluindo dunas. Assim a escala e composição das CBS estão intimamente relacionadas com as características do substrato especialmente na relação de dominância de componentes bem como o ponto de evolução da CBS.

Pode-se dizer que em escala regional, a estrutura de cobertura do substrato encontra-se controlada pela climatologia que proporciona coberturas distintas: lisa, rugosa, blocos pinacular e ondulada, onde climas quentes a áridos proporcionam coberturas lisas e dominadas por cianobactérias, enquanto em climas úmidos a pluviosidade contribui para crostas dominadas e com maior diversidade de musgos e líquens com coberturas pinacular a ondulada (BELNAP & LANGE, 2001).

Já em uma escala local, a estrutura das CBS é fortemente influenciada pelas características do solo: solos com textura fina geralmente dão suporte maior a cobertura e diversidade de líquens e comunidades de musgos mais adjacentes sobre solos mais texturados. Já solos com maior teor de carbonato tendem a dar suporte maior a ficolíquens enquanto solos sem índices ou com menor teor de carbonato suportam a maior diversidade de líquens.

A posição topográfica também é muito importante, pois em metros ou centímetros a estrutura da crosta biológica é influenciada por fatores micro climatológicos, onde encontramos micro habitats. Assim crostas dominadas por musgos e líquens são encontradas em maior diversidade onde encontramos micro habitats que combinem umidade, luminosidade e temperatura favoráveis à fotossíntese. A química do solo também será fator importante para determinar a distribuição e sucessão entre os líquens e musgos nessa escala (BELNAP & LANGE, 2001).

## **2.6. Matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica juntamente com os componentes inorgânicos (fração mineral) do solo exerce um papel fundamental na química do solo. Ela é gerada a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração, fazendo assim parte de um equilíbrio do ciclo do carbono total da Terra (sistema terrestre, oceanos e atmosfera) e atualmente tem atraído grande interesse devido à perspectiva de utilizar o solo como reservatório do carbono liberado a atmosfera e que contribui para o aquecimento global (SILVA *et al.* 2000).

Na natureza, a matéria orgânica é produzida principalmente pelas plantas através da conversão do CO<sub>2</sub> atmosférico em compostos contendo carbono, durante o processo de fotossíntese. A matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todos os compostos que contém carbono orgânico no solo, incluindo organismos vivos e mortos, plantas e animais parcialmente decompostos que são produtos de substâncias orgânicas micro biologicamente ou quimicamente alteradas. (MEUER, 2004).

Através da absorção de raios solares, organismos vivos transformam a sua energia em ligações químicas e compostos orgânicos. A grande maioria dos solos tem um teor de matéria orgânica que varia entre 0.5 a 5.0% nos horizontes superficiais podendo alcançar teores maiores em solos orgânicos. As diferentes funções no solo é um dos principais papéis e

influência da matéria orgânica principalmente na maioria das fases do desenvolvimento vegetal (MEURER, 2004).

Assim, contribui substancialmente para melhorar as condições química, física e biológicas do solo: químicas em que a MOS tem efeito fundamental sobre a fertilidade do solo, servindo como fonte de nutrientes N, S e P a partir da mineralização dos resíduos, sendo então a fonte principal de N e cargas elétricas que contribuem para a capacidade de troca de cátions devido a capacidade de liberar e receber ions, o que regula a disponibilidade de vários nutrientes essenciais e atividade de elementos tóxicos ( $Al^{+3}$ ) em solos ácidos; físicas onde participam das ligações entre partículas individuais do solo, atuando como agentes cimentantes das unidades estruturais (agregados), o que afeta a aeração, permeabilidade e capacidade de retenção da água pelo solo. O que melhora a condição de infiltração da água, a troca de gases entre solo e atmosfera e o arraste de partículas pelo escoamento superficial aumentando a resistência contra a erosão; biológicas os compostos de carbono da MOS servem de fonte de energia e nutrientes para todos os organismos do solo, e portanto a atividade desses microrganismos esta diretamente relacionada com a disponibilidade de carbono no solo (SILVA *et al.* 2000).

Desta forma a MOS é um componente bastante sensível às condições ambientais e as mudanças de manejo agrícola, por isso deve ser levada em consideração na avaliação do potencial produtivo do solo e na escolha das práticas de manejo a serem aplicadas (SILVA *et al.* 2000).

## **2.7. Crostas biológicas de solo e suas influências no solo**

O solo tem algumas funções essenciais, tais como o fator de proteção, que é importante para o meio ambiente e são fundamentais para nossa sobrevivência como a produção de alimentos. A maioria das funções do solo são significativamente influenciadas pela quantidade e qualidade da MOS (Kandeler, 2001). As CBS tem a capacidade de melhorar a qualidade do solo através de alguns aspectos como a agregação de partículas, reduzindo erosão eólica e hídrica. Os fatores geofísicos são de relativa importância para as CBS, uma vez que contribuem para a composição de espécies e biomassa. Elas têm diferentes papéis ecológicos e o ecossistema pode produzir uma crosta coberta com alto, médio ou baixo nível de desenvolvimento. O solo, como já visto, tem papel influente na determinação das

distribuições dos organismos (ULLMANN & BÜDEL, 2003;. BOWKER *et al.* 2005) e fatores como elevação, declividade, orientação da vertente, comprimento de rampa, curvatura vertical e águas podem determinar a evolução do sistema de crosta.

CBS são encontrados em diversos ecossistemas, chegando a se desenvolver em desertos e regiões polares, ambientes agressivos que limitam o crescimento de plantas de táxons superiores. A cobertura de CBS nesses ecossistemas podem se aproximar de 100% entre espaços de plantas e provocar uma cobertura total que pode exceder a de plantas superiores (KLEINER & HARPER, 1972). Além da capacidade de cobertura, espécies de CBS podem conduzir a fotossíntese e a fixação do nitrogênio nos solos, o que conduz esses organismos às dinâmicas dos ciclos do carbono e nitrogênio nesses ecossistemas (EVANS & LANDE, 2001).

Ecossistemas áridos a semiáridos que possuem baixa cobertura vegetal por plantas vasculares, conseqüentemente, têm limitada produtividade de carbono e a presença de CBS nesses ecossistemas pode ser significativa. Entretanto, o conhecimento sobre produção de fotossíntese e trocas de CO<sub>2</sub> em CBS nos diferentes ecossistemas do mundo ainda é muito limitada. Com isso, muito do que se mensura está relacionado à extrapolações com cultivos experimentais dessa associação de microrganismos, ou das análises simples dos grupos de microrganismos devido à imensa complexidade dessas comunidades de crostas. Assim o monitoramento das crostas e compreensão de como essas associações se adapta a seus microclimas e seu desempenho metabólico é muito importante (BELNAP & LANGE, 2001).

### **2.7.1. Influência no Carbono e na fixação do Nitrogênio**

Atualmente, o papel do carbono orgânico no solo e no ciclo global do Carbono tem recebido crescente interesse, sobretudo porque esse fator é essencial para os organismos no solo, sua diversidade, nutrição de plantas, capacidade de retenção de água, estabilidade de agregados e controle de erosão (KANDELER *et al.* 2001). Mudanças na dinâmica do carbono em solos estão intimamente ligados por mudanças na atividade microbiana. Embora a importância dos microrganismos no solo seja bem conhecida para o ciclo global do Carbono, poucos pesquisadores tentaram combinar a química e microbiológica para o ciclo do Carbono (KANDELER *et al.* 2001).

Com exceção da água, o Nitrogênio é geralmente considerado o nutriente mais limitante para o crescimento das plantas no seu ambiente natural (FRANCO &



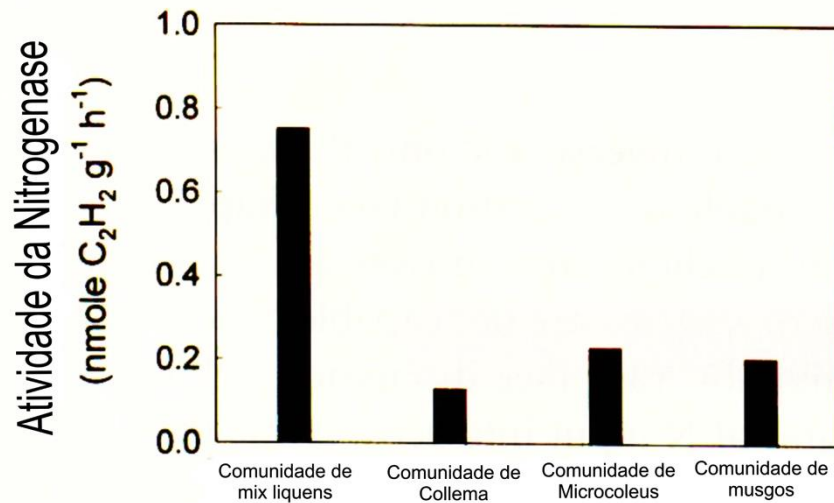
DÖBEREINER, 1994). Em adição ao Carbono e hidrogênio, o nitrogênio é o nutriente mais abundante em matéria viva, participando na composição de moléculas de ácidos nucleicos, proteínas e polissacáridos, entre outros. No entanto, apesar de ser necessário em quantidades significativas por seres vivos, na natureza este elemento é encontrado em abundância em um formato quimicamente muito estável, assim sua assimilação pela maioria dos seres vivos é limitada, exigindo a sua transformação em uma forma que facilite a assimilação combinada (KANDELER *et al.* 2001).

A composição das CBS é diversa, mas somente as cianobactérias e os cianoliquens tem a capacidade de fixar N. Entretanto a composição de CBS com algas verdes, ficoliquens e musgos são comuns em muitas regiões do mundo, mas esses organismos não são capazes de fixar o N de forma eficiente. Portanto, não é surpreendente que as estimativas de N em ecossistemas de CBS apresentem variação considerável (EVANS & JOHANSEN, 1999).

A fotossíntese está relacionada aos gradientes verticais de intensidade de luz que desempenham papel importante na distribuição vertical dos microrganismos fotossintéticos, tais como as cianobactérias sobre o solo. Algumas cianobactérias exibem traços fenotípicos adaptados à sombra. Esses organismos incluem níveis elevados de pigmentos fotossintéticos e uma ausência de compostos protetores solares. Essas espécies colonizam porções mais profundas na superfície do solo e se movem mais para a superfície em períodos de baixa exposição solar (*Microcoleus vaginatus*), (GARCIA-PICHEL & BELNAP, 1996). Em contraste, algumas cianobactérias têm a capacidade de sintetizar grandes quantidades de raios solares (*Nostoc*, *Scytonema*, *Chlorogloeopsis*, *Calothrix*) e podem sobreviver na superfície do solo (GARCIA-PICHEL & CASTENHOLZ, 1993).

Uma variável muitas vezes não contabilizada é a variação espacial na fixação de N devido à composição de espécies diferentes, como exemplo pode-se ver no Deserto de Nevada – EUA (EVANS & LANDE, 2001), no qual a nitrogenase do solo em ocorrência de CBS com misto de liquens é 400% mais eficiente se comparada a crosta dominante de cianobactéria *Microcoleus* ou crosta dominante de musgo, embora os diferentes tipos foram encontrados poucos metros uns dos outros Figura 2. 13

A Fixação do Nitrogênio depende da fotossíntese pela energia fornecida do Trifosfato de Adenosina (ATP), componentes doadores de carbono e de elétrons para energia. Conseqüentemente tanto a duração, quanto a taxa de fixação de N dependem das condições passadas e atuais que influenciam o equilíbrio dos átomos de carbono bem como a umidade, temperatura, intensidade da luminosidade (BELNAP, 2001).



**Figura 2.13 - Atividade da Nitrogenase em 4 diferentes tipos de crostas biológicas de solo no Deserto de Nevada. Cada comunidade foi nomeada pela característica do componente dominante. E cada barra representa cinco análises de testemunhos. Fonte: (adaptado de EVANS & LANDE, 2001).**

A fixação do Nitrogênio é geralmente medida com a incorporação  $^{15}\text{N}_2$  ou pelo ensaio de redução de acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). Com o  $^{15}\text{N}_2$  captado encontramos uma medida direta da fixação de Nitrogênio, cujo é o método mais confiável (BELNAP, 2001).

Crostas de cianolíquens são uma importante superfície de fixação de Carbono para as áreas escassas de vegetação (BELNAP, 1995), independente do teor de Carbono orgânico variável dos solos e biomassa microbiana, geralmente corresponde a cerca de 0,9-6% de carbono orgânico total com valor médio em torno de 2 - 3%. Isto indica uma relação relativamente próxima entre o carbono microbiano, carbono disponível e nitrogênio dos solos. O volume do Carbono da biomassa microbiana é relativamente alto e varia entre 0,2 e 3,9 a 1, com valores médios em cerca de 0,5 - 1,5 (KANDELER *et al.* 2005).

Todos os componentes das CBS secretam carbono extracelular em minutos ou em poucos dias após a aquisição do carbono. As cianobactérias, nessas secreções podem representar até 50% de carbono total fixado. Como resultado, a presença de CBS aumenta os polissacarídeos no solo e o total de carbono em até 300%, beneficiando micróbios heterotróficos que são muitas vezes limitados em Carbono.

Experimentos laboratoriais têm demonstrado que a ocorrência de N pode transloucar diretamente das CBS para as plantas vasculares, fungos e bactérias, e que plantas que crescem

em associação a CBS podem ter maiores concentrações de N que plantas em solos sem crostas (BELNAP, 1995; BELNAP & HARPER, 1995).

### **2.7.2. Influência no albedo e temperatura**

O albedo do solo é a quantificação da energia que é refletida pela superfície do solo, assim superfícies escuras absorvem mais energia e são mais quentes, enquanto as superfícies brilhantes refletem mais energia com um albedo mais elevado.

As crostas biológicas bem desenvolvidas são mais escuras e, portanto, absorvem mais radiação solar. A perturbação gera remoção de parte destes tipos de crostas, o que pode resultar um maior albedo, e conduzir a uma perturbação em diferentes escalas no metabolismo deste sistema. Temperaturas mais baixas do solo diminui a atividade das microbactérias, taxas de absorção de nutrientes de plantas, água e taxas de evaporação. Esses fatores podem atrasar o tempo de germinação de sementes e mudas, reduzir a aptidão das espécies e afetar na estrutura da comunidade vegetal (BELNAP, 1995; BELNAP, 2001).

### **2.7.3. Influência no pH**

Existem poucos dados disponíveis sobre o efeito de solução salina na fixação de nitrogênio, em solos áridos, que são principalmente alcalinos. Cianobactérias geralmente alteram a temperatura da superfície, o que pode afetar a disponibilidade de nutrientes e a estrutura da comunidade de organismos no deserto. O crescimento e fixação de nitrogênio por cianobactérias é maior em solos com pH 7 ou superior (BELNAP, 2003).

De acordo com Kiehl (1979), a alcalinidade ocorre quando a precipitação é baixa e os sais de cálcio, magnésio, potássio e carbonato de sódio acumular, saturando o complexo coloidal. Para Brandy (1989), o solo é algumas vezes referido como alcalino, ou, quando há carbonato de sódio, não sendo comum atingir pH 9 ou mesmo 10. Solos alcalinos são naturalmente característicos da maior parte das regiões áridas e semi-áridas. O solo com pH inferior a 5, pode ser deficiente de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), molibdênio (Mo), boro (B), ou pode ter toxicidade de alumínio (Al), manganésio (Mn), zinco (Zn) e outros metais pesados. No entanto, o teor de pH entre 8,0 e 8,5, indica a presença de carbonato de

cálcio e / ou magnésio livre e baixa disponibilidade de elementos P, Mn, Zn e Cu (cobre) (KIEHL, 1979).

O pH do solo e a química podem influenciar a composição das comunidades de crosta. Entre as crostas biológicas, as algas verdes são favorecidas em solo e área mais ácida, com efetiva precipitação superior. Em crostas com cianobactérias são favorecidas em áreas com solos alcalinos, alto teor de sal e menor efetivo de precipitação. Líquens crescem em todos os gradientes de pH, embora, a composição das espécies possa mudar (BELNAP, 2003).

Os líquens geralmente se desenvolvem mais lentamente do que os musgos, preferindo áreas mais estáveis com o mínimo de perturbação. O pH do solo também é implicado na distribuição com poucas espécies confinadas a solos com alto nível de cálcio extraível. O Desenvolvimento das crostas costuma ser maior em solos com maior condutividade elétrica, quando comparados com os solos nas proximidades, com baixa condutividade (BELNAP, 1995; BELNAP, 2003).

#### **2.7.4. Influência na água no escoamento superficial**

A água é um dos principais agentes de erosão do solo em áreas tropicais e subtropicais. A erosão do solo é um fenômeno complexo que envolve a desagregação e transporte de partículas do solo, armazenamento e escoamento de água pluvial e infiltração (ROMKENS *et al.*, 2001). A maioria das variáveis discutidas para controlar a dinâmica da produção de sedimentos e do fluxo contra a infiltração inclui fatores como o grau de textura, da agregação do solo, estrutura, local, presença de matações e crostas físicas (BELNAP, 2006).

CBS são agentes muito importantes neste contexto, pois elas podem alterar significativamente o comportamento de infiltração e escoamento da água. Entre os sistemas de crostas sabemos que crostas físicas são consideradas colaboradoras de escoamento superficial porque causam impermeabilização do solo; enquanto as crostas biológicas auxiliam na infiltração das águas e colaboram com o alargamento da camada orgânica do solo. (BELNAP 1995; BÜDEL 2001).

As taxas de infiltração são controladas pela interação do tempo e residência da água sobre uma superfície do solo e a capacidade de permeabilidade da superfície (BELNAP, 2006). Além disso, o efeito das CBS sobre as relações de água no solo é altamente dependente do local e do nível de desenvolvimento da crosta (por exemplo, cobertura e composição relativa de cianobactérias, líquen, musgo), regimes climáticos, a quantidade de rugosidade da superfície, tempo de perturbação destrutivo, textura do solo e estrutura do solo podem influenciar fortemente os ciclos hidrológicos em um determinado local (BELNAP, 2001).

## **2.8 Conhecendo a área de estudo**

No Brasil o único estado em que ocorre o Bioma Pampa é o Rio Grande do Sul, sendo a área de ocorrência do bioma de aproximadamente 178.000 km<sup>2</sup> (CRS/IBAMA, 2010) representando cerca de 60% da área total estadual. No Sudoeste do Rio Grande do Sul as áreas que apresentam areais estão mais precisamente entre as latitudes 29°00' S e 31°00' S e as longitudes 54°30' W e 58° 45' W, como representado na Figura 2.14. A partir do meridiano de 54° em direção oeste até a fronteira com a Argentina e o Uruguai. Sua extensão para o conjunto de municípios é de aproximadamente 3.600 ha, abrangendo os municípios de Alegrete, Cacequi, Itaquí, Maçambará, Manuel Viena, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda ( SUERTEGARAY *et al.*, 2001).

### **2.8.1. O substrato geológico**

O substrato geológico se faz de grande importância para este trabalho, uma vez que é sobre ele que atuam os mecanismos morfoclimáticos condicionados aos processos pedogenéticos e morfogenéticos (NUNES *et al.*, 2011). Em termos litológicos, essa área encontra-se inserida na Depressão periférica sob o domínio litológico das formações: Formação Serra Geral, Formação Botucatu, Formação Guará, Formação Sanga do Cabral e depósitos aluviais (Figura 2.15).

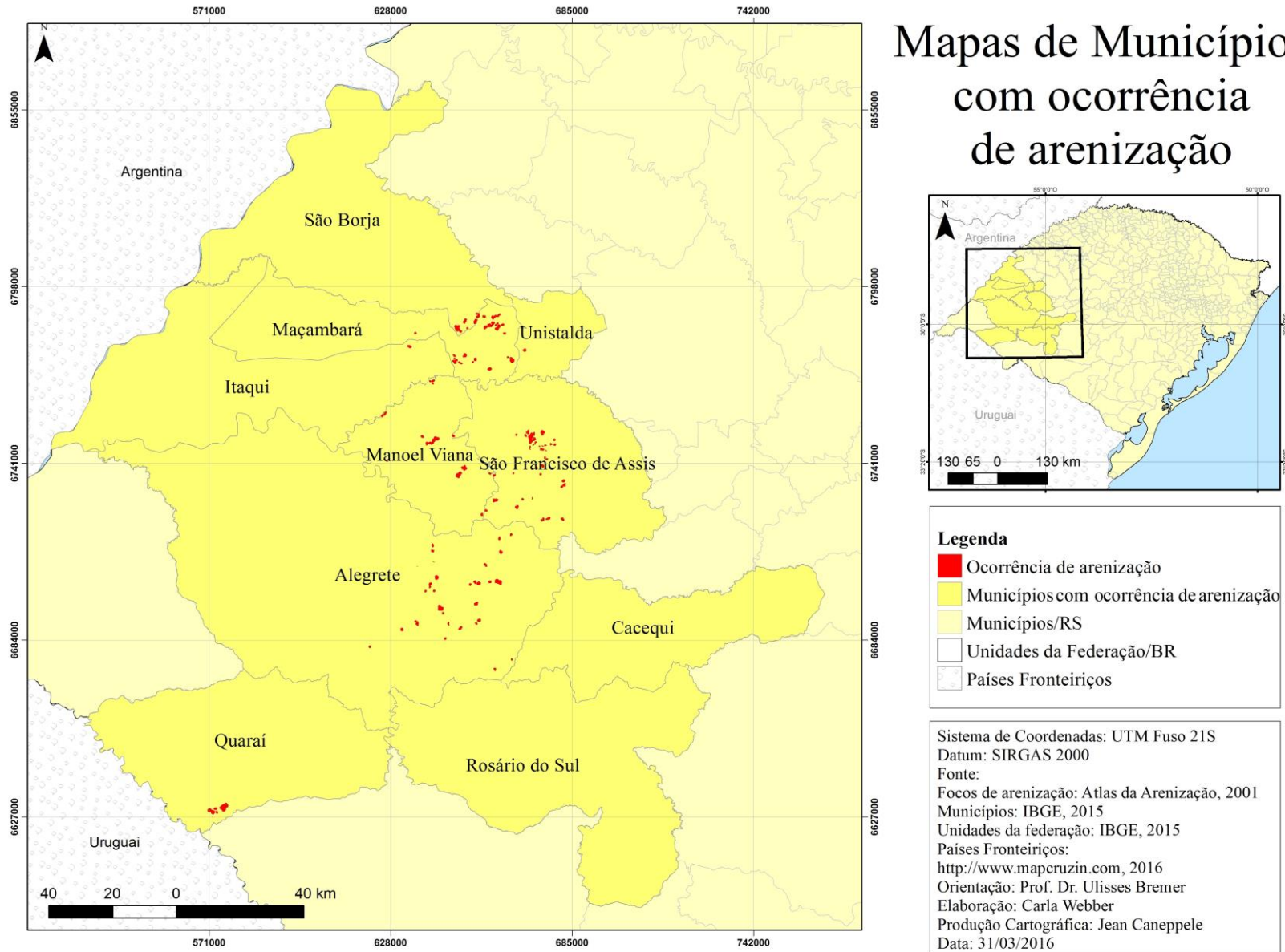


Figura 2.14 Área de ocorrência de areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul/Brasil. Fonte: (SUERTEGARAY et al., 2001)



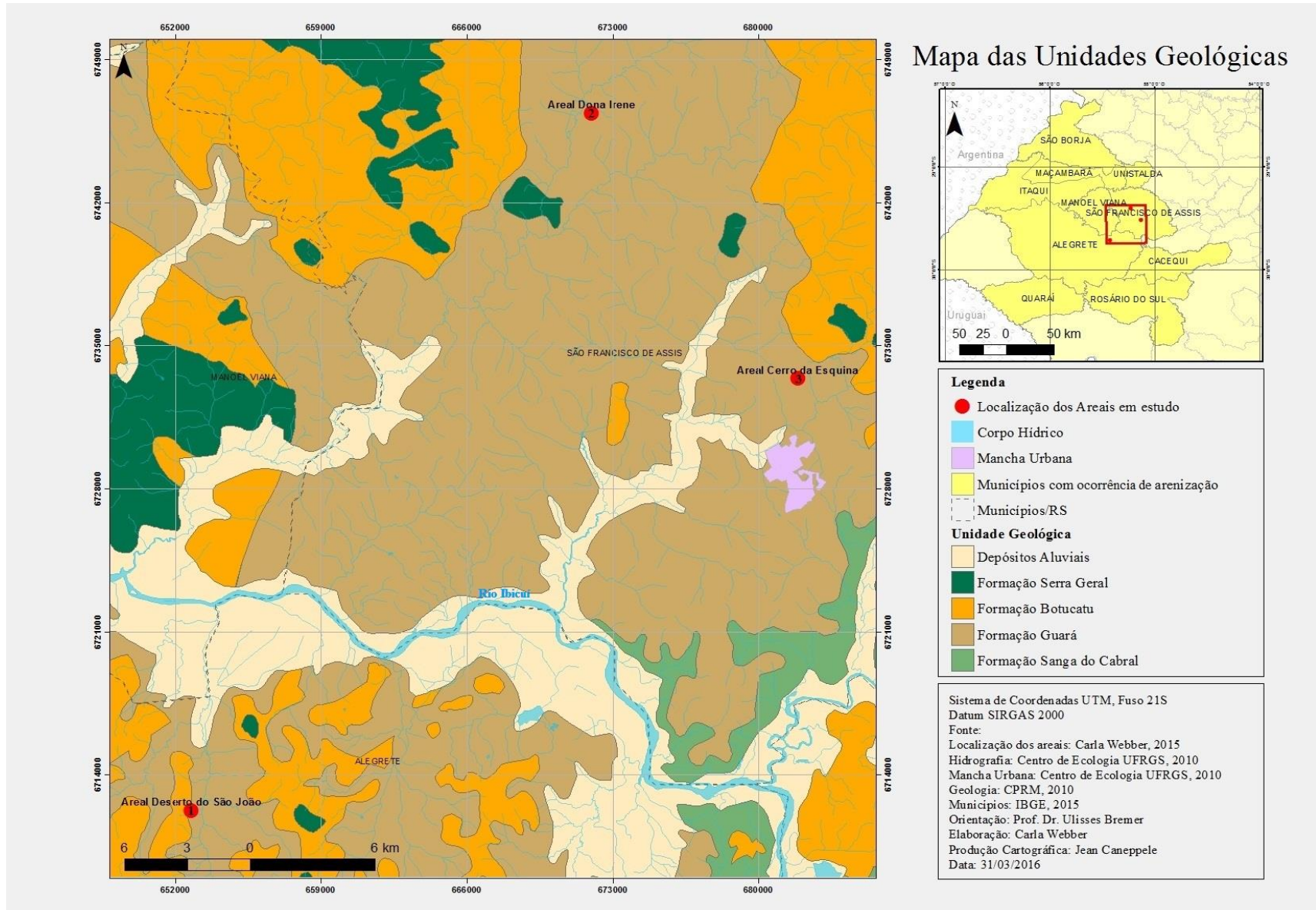


Figura 2.15 – Mapa geológico da área de estudo

A Formação Serra Geral é formada por rochas vulcânicas extrusivas sendo ocorrência de diferentes períodos geológicos, principalmente Paleozóico ao Terciário das bacias sedimentares brasileiras, especialmente da margem continental sul-sudeste por fissuras e pequenas intrusões, diques e sills. Regionalmente, no período Jurocretácio, ocorre o capeamento basáltico da bacia do Paraná, onde os derrames basálticos encontram-se em contato concordante e abrupto sobre os arenitos da Formação Botucatu, sendo comum nas formações mais basais da sequência vulcânica a presença de intertraps de arenito aos derrames de lavas e diques de rochas básicas diferenciados (MIZUSAKI *et al.*, 1992).

Sendo a formação Serra Geral a estrutura do reverso da Cuesta do Haedo ocorre em áreas de afloramentos da formação Botucatu (SUERTEGARAY, 1998). Peculiarmente as formações de substrato areníticos ocorrem como uma sequência de formações de depósitos areníticos de idades e procedências específicas, que somadas aos processos erosivos resultam em formas diferentes do relevo.

A formação Serra Geral é composta por derrames de basaltos, basalto andesitos, riolitos e riolitos, de filiação toleítica, no qual intercalam-se arenitos intertrápicos Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência

A formação Botucatu, data do Mesozoico sendo deposições eólicas do Jurássico ao Cretáceo, correspondendo aos extensos campos de dunas do páleo-deserto de Botucatu. Apresenta espessura bastante variada no Rio Grande do Sul, dada uma sequência de derrames de lava que conserva a duna previamente ativa, por vezes preservando sua morfologia e caracterizando o final da deposição da Formação Botucatu como contemporânea ao início do vulcanismo da Formação Serra Geral (SCHERER, 2000). A formação Botucatu (jurocretáceo) é constituída de arenitos feldspáticos finos e médios, foscas, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ ou cosets de estratificação cruzada de grande porte eólica típica e coloração rósea ou avermelhada. (SCHERER, 2000).

A formação Guará, restrita em sua ocorrência ao oeste do Rio Grande do Sul, assenta, estratigraficamente em discordância sobre a Formação Sanga do Cabral e encontra-se sotoposta à Formação Botucatu e, na ausência dessa, sob as vulcânicas da Serra Geral tem uma espessura que oscila entre os 60 e 100 m e distribui-se de maneira quase contínua dentro da área, datada do Jurássico superior (SCHERER & LAVINA, 2005). Os arenitos da Formação Guará, segundo Scherer & Lavina (2005), apresentam coloração bege a esbranquiçada e natureza fluvial com processos eólicos associados. Caracterizam-se pela granulometria grossa e média pouco selecionada, por vezes finas e com matriz argilosa;



evidenciam mineralogia quartzosa, com grãos subangulosos e com subordinação de feldspatos; e possuem estratificação cruzada-acanalada, plano-paralela e maciça. Ambiente continental desértico, com depósitos fluviais, eólicos e lacustres.

Suertegaray (1998), indaga a evolução da paisagem regional sudoeste do RS e identifica formações mais recentes assentadas sobre a formação Botucatu. Sendo assim, duas novas unidades de retrabalhamento sob o clima atual foram identificadas e diferenciadas como unidade A e unidade B.

“A unidade A formou-se durante uma fase climática úmida ocorrida no final do Pleistoceno, início do Holoceno, cujos indicadores são os depósitos fluviais encontrados sobre as formações areníticas mesozóicas (formação Botucatu). Apresenta uma coloração avermelhada, recobrando por vezes topos de colinas e fundos de vales” (SUERTEGARAY, 1998).

“A unidade B formou-se durante um período de clima seco durante o Holoceno, é caracterizada pela ocorrência de depósitos de arenito pouco consolidados, sendo identificada pela análise do mergulho das estratificações o que indicou um ambiente de deposição eólica. As diferentes alturas de 120 ou 180m somadas as formas semicirculares indicam depósitos dunários mais recentes que a unidade anterior (depósito fluvial)” (SUERTEGARAY, 1998).

Desta forma a região apresenta litologicamente a seguinte distribuição: A formação Serra Geral predominantemente basáltica na porção norte em altitudes superiores a 100 m e em sua porção sul ocorrendo a ruptura de contato e reaparecimento dos arenitos. Formações Botucatu e Guará ocupando áreas mais rebaixadas margeando as várzeas com cotas entre 100 e 120m e Formações A e B de idade Cenozóica-Pleistocênica recobrando o Botucatu sendo a unidade A constituída de depósitos fluviais com cotas altimétricas de 120 a 140m e a unidade B constituída de depósitos areníticos eólicos, que se encontra em cotas mais elevadas de 140 a 180m. Depósitos fluviais nas cotas inferiores a 100m (SUERTEGARAY, 1987).

A formação Sanga do Cabral (SOARES *et al.*, 2008) ocorre entre o sul-sudoeste e centro-sul da Bacia do Paraná, em que afloram cerca de 100 m de arenitos avermelhados,

quartzosos, de granulação fina a média, com grãos foscos e arredondados. Esses arenitos apresentam estratificação cruzada tangencial de médio porte indicando paleocorrentes predominante para sudeste.

## **2.8.2. O substrato geomorfológico**

O Rio Grande do Sul possui cinco unidades geomorfológicas sendo três unidades representadas na região sudoeste do RS. O Planalto meridional, a Depressão periférica e a Cuesta do Haedo (MOURA *et al.*, 2012) cuja área de relevo é de reduzida altimetria, onde as áreas mais elevadas estão em torno de 200 a 300 metros, possuindo como forma típica de relevo as coxilhas (SUERTEGARAY, 1987).

O substrato geomorfológico se faz de grande importância para este trabalho, uma vez que é sobre ele que atuam os mecanismos morfoclimáticos condicionados aos processos pedogenéticos e morfogenéticos (NUNES *et al.*, 2011).

### **2.8.2.1. Pontos de estudo**

Levando em consideração que as amostras foram coletadas a partir das feições de relevo, este trabalho considerou primordial detalhar as feições geomorfológicas das áreas em três mapas. Cada mapa apresenta uma área de coleta com sua feição em destaque.

A primeira área de estudo Alegrete (29°42'35''S / 55°25'13'' W) Figura 2.16 encontra-se sobre uma feição de rampa, com um topo a seu montante e uma coxilha no entorno.

Rampas, segundo Meis e Machado (1978) o domínio das rampas é apontado pelos valores relativamente elevados apresentados pelo gradiente longitudinal e transversal do fundo de vale e baixa encosta. Os sedimentos que colmatam estes vales de baixo número de ordem tendem a mostrar um progressivo aumento de diâmetro de grão e da seleção à medida que caminha a jusante. Sendo as rampas constituídas por três domínios: a rampa superior ou ambiente de erosão, rampa média ou seguimento de transição e rampa inferior ou ambiente de deposição.

Os topos desta área possuem baixa declividade (entre 0 e 3%) e são encontrados entre altimetrias que variam de 180 a 250 metros, nas áreas ao Norte do Ibicuí, enquanto nas áreas ao Sul, estão em cotas menores que variam de 140 a 200 metros. Os topos são constituídos de

arenitos silicificados da Formação Guará e Botucatu, material mais resistente que seu entorno friável (SCHIRMER, 2015). Os topos não apresentam ocorrência de areais ou focos de arenização.

A área de estudo apresenta uma feição geomorfológica de coxilha, (relevo com suaves ondulações) com um areal quase inexistente a recobrindo. Sendo possível observamos a rocha arenítica exposta e o areal remanescente a recobrindo (Figura 2.17).

Segundo Ab'Saber (1995), as coxilhas são “expressão de grande significação morfoclimática, pois, traduz os efeitos mamelonares dos processos subtropicais úmidos que, por último, agiram na fisionomia do relevo regional”.

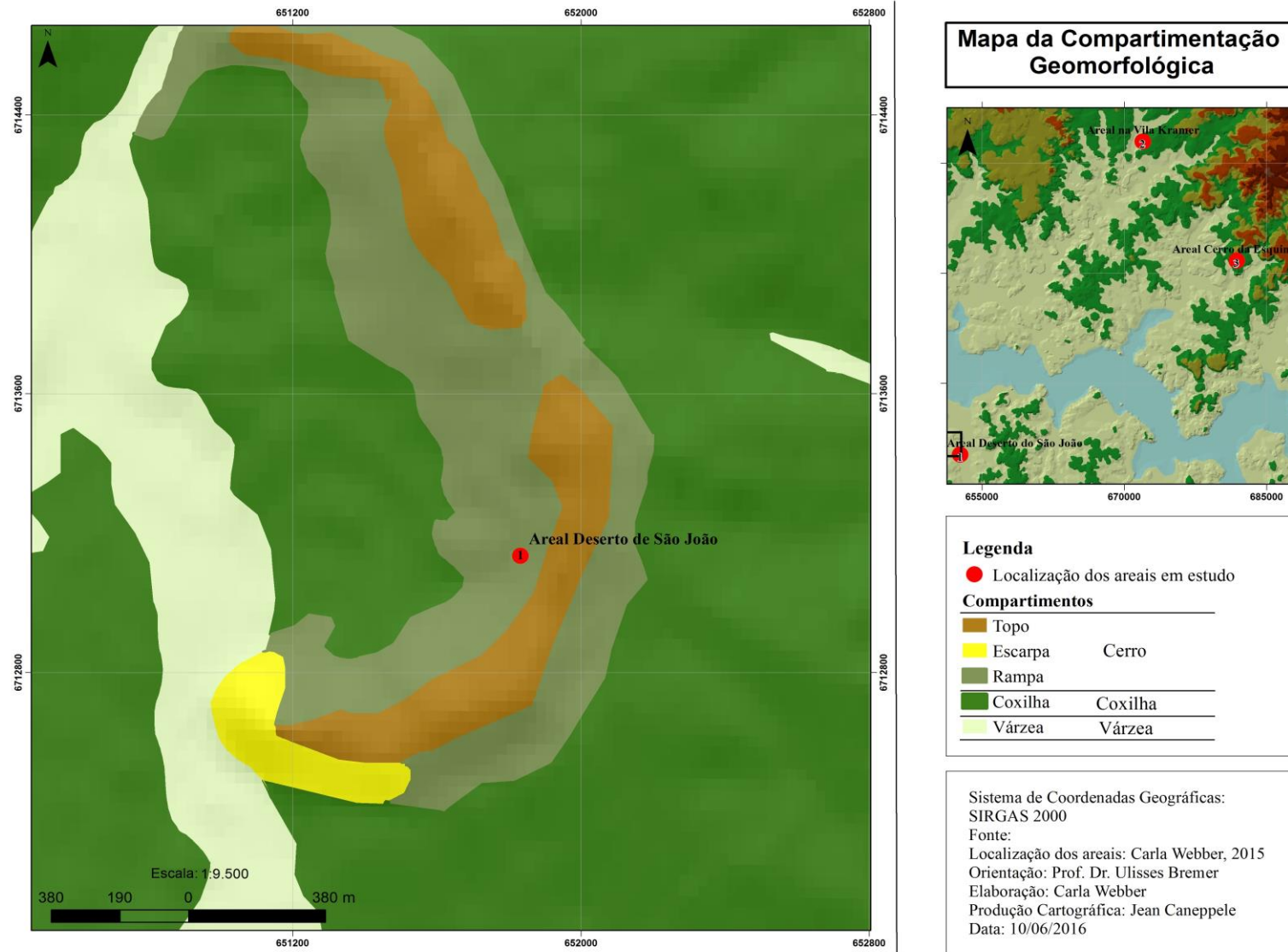
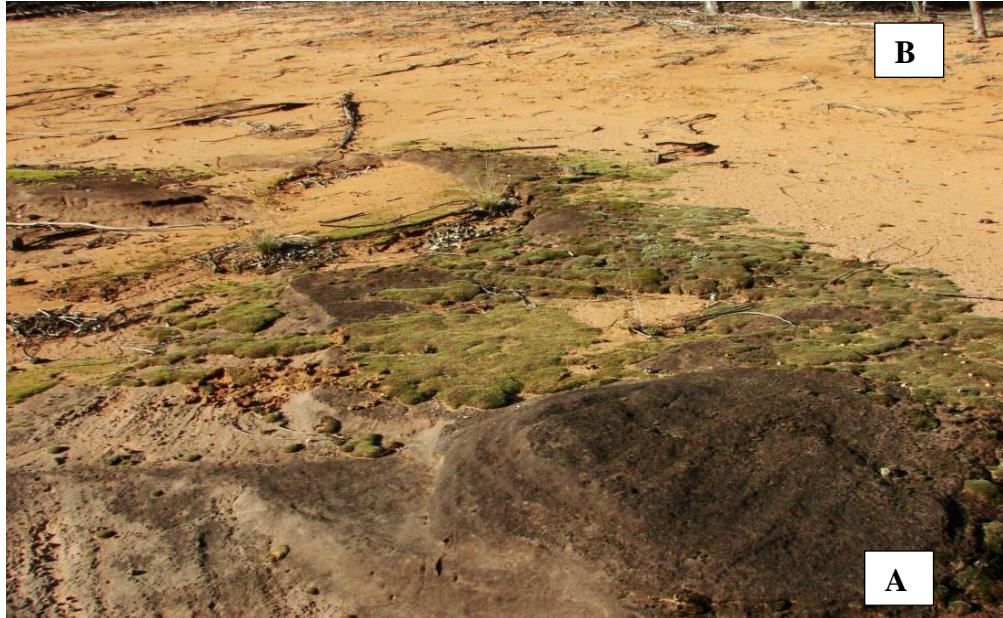
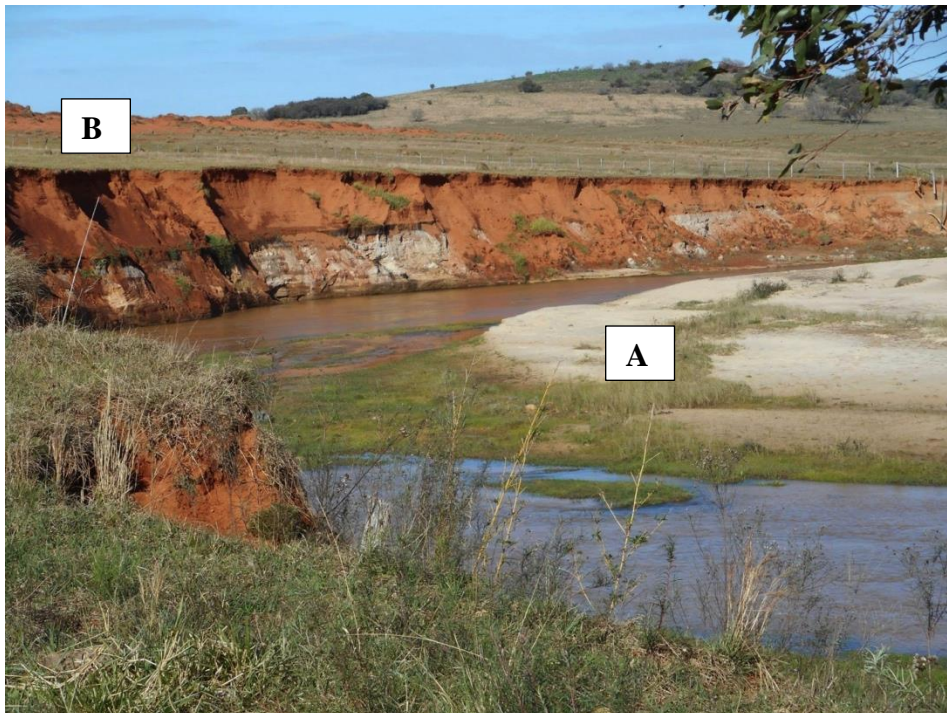


Figura 2.16– Mapeamento geomorfológico da primeira área de estudo: Alegrete.



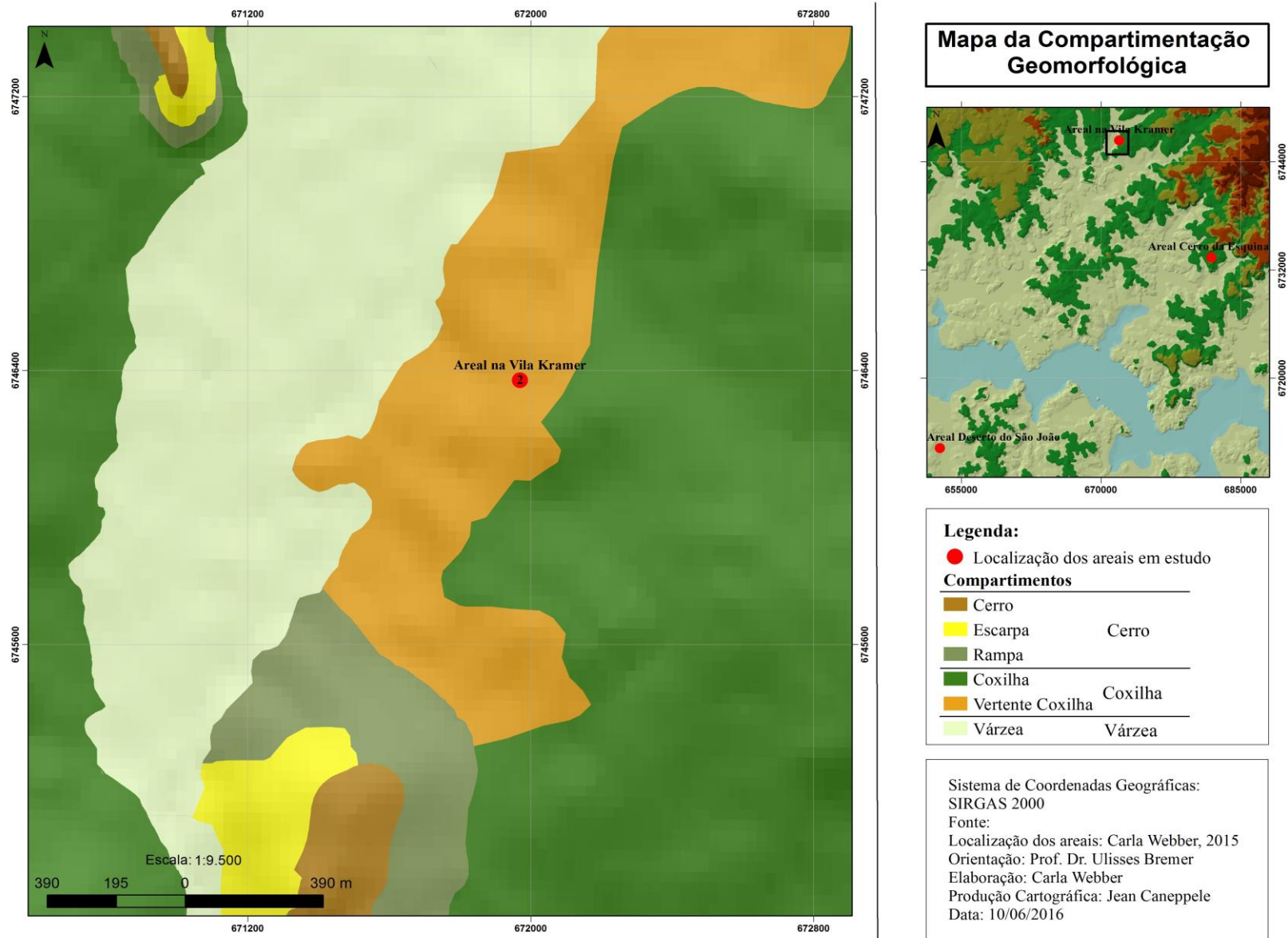
**Figura 2.17– Areal sobre feição de coxilha: A) Rocha aflorada e B) Areal.**

A segunda área de coleta encontra-se em São Francisco de Assis (área localizada na carta topográfica MI-2945/4 - DSG, 1978) em Vila Kramer, nas coordenadas 29°30'54" S / 55°07'23" W Figura 2.18 e 2.19 que foi escolhida por ser uma feição de interface entre terraços fluviais e depósitos de rampa. A área está localizada precisamente na vertente da coxilha e possui altitudes entre 80 e 100 metros ocorrendo depósitos recentes com solos areno-argilosos pouco desenvolvidos.



**Figura 2.18 – Feição da área mostrando a interface entre: A) Terraço fluvial e B) Depósitos de rampa**





**Figura 2.19– Mapeamento geomorfológico da segunda área de estudo: Vila Kramer.**

A terceira área de estudo Cerro da Esquina (Figuras 2.20. e 2.21), encontra-se em São Francisco de Assis no areal denominado Cerro da Esquina, 29°23'58" S/55°13'60" W, apresenta uma feição geomorfológica com processos de arenização. Encontra-se junto a uma formação residual tabular de topo silicificado com 222 metros de altura. A forma erosiva é composta por uma sequência de ravinas, que cortam a superfície em forma de rampa no modo adjacente e transversal ao contorno da escarpa arenítica, partindo do sentido NW-S (Vieira, 2011).

A Margem esquerda da ravina é a face mais ensolarada do cerro, enquanto a margem direita se localiza mais próxima a fase com maior sombreamento desta formação arenítica. O depósito de rampa recebe acúmulo de material como silte e argila.

Segundo IBGE (2009), as formas de topos tabulares delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, geralmente esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas denotando eventual controle estrutural. O caimento em Rampa de Colúvio ou Pedimento indica a direção da pendente topográfica de um plano suavemente inclinado, resultante dos processos de coluvionamento e/ou de pedimentação.



**Figura 2.20–** Feição mostrando formação residual tabular de topo e ravina de depósitos de rampa

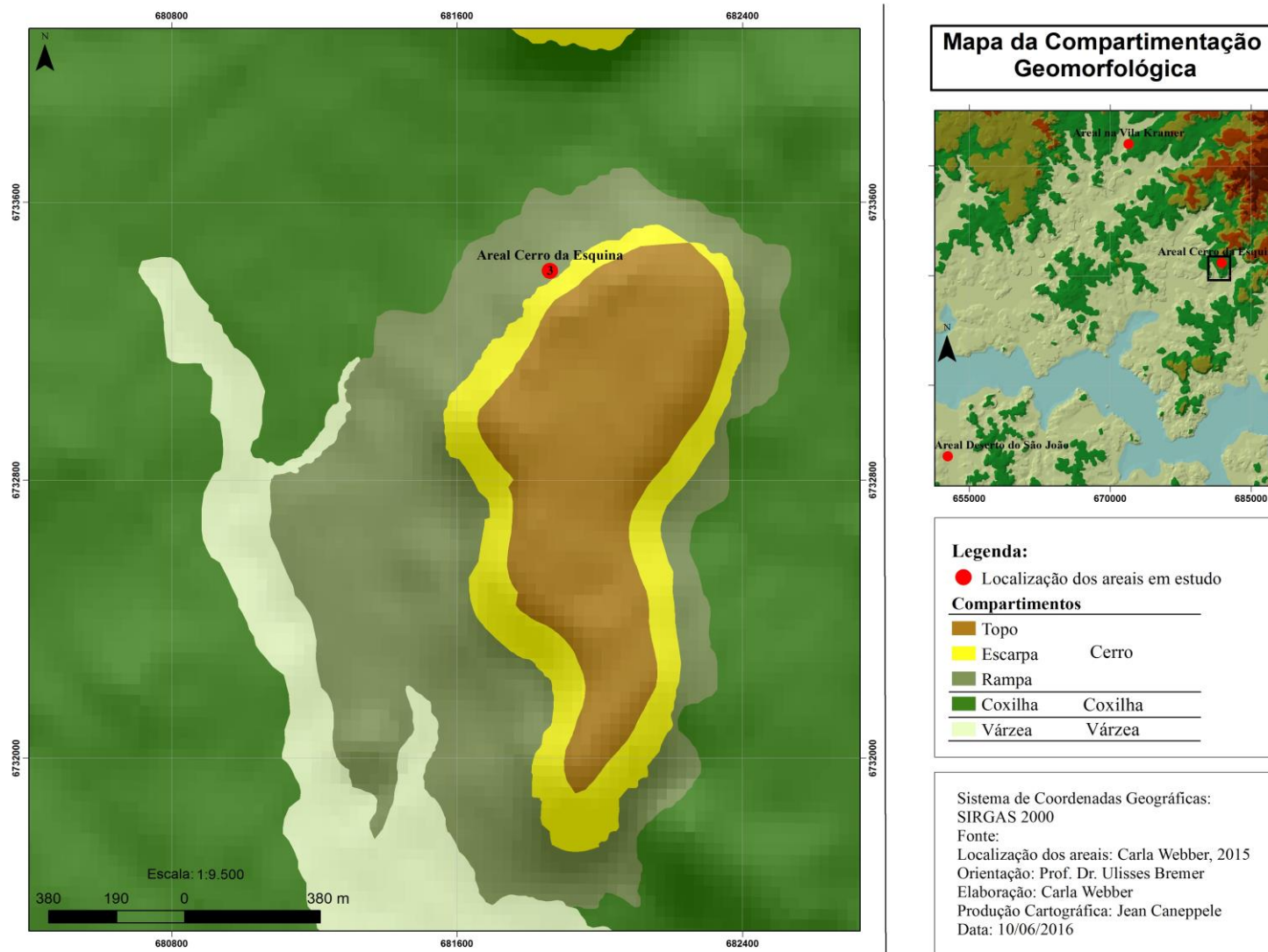


Figura 2.21– Mapeamento geomorfológico da terceira área de estudo: Cerro da Esquina.



### 2.8.3. O substrato pedológico

Segundo Verdum (2012), estudos pedológicos mostram que o potencial mineral das rochas tem influencia fundamental no desenvolvimento dos solos e estes são majoritariamente de rochas sedimentares apresentam caráter ácido do pH, carência em fósforo (P) e potássio (K) e excesso de alumínio (Al).

Vieira (2012), afirma que quanto menor o teor de silte, devido a sua baixa produção de matéria orgânica, mais inadequado se torna para uso e manejo agrícola, sendo mais suscetível a processos erosivos. Devido às diferentes características de cimentação promovidas por silicatos e óxidos de ferro, os relevos residuais areníticos formam cerros tabulares com topos planos apresentando diferentes resistências quanto à sua alteração e erosão.

De acordo com Verdum (1997) e Streck *et al.* (2008) a região de São Francisco de Assis encontra-se sobre uma malha de quatro tipos de solos: Argissolos, Latossolos, Planossolos e Neossolos.

**Neossolos** são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2013).

Segundo Verdum (1997), são associados a diferentes relevos ondulados, apresentam como característica essencial um horizonte A que está diretamente assentado sobre a rocha matriz ou sobre um horizonte C de rocha em decomposição. A composição do material de origem pode variar, mas em sua maioria são de basalto e apresentam certa fertilidade natural.

Devido à escala de mapeamento dos solos, os Neossolos Quartzarênicos não são possíveis serem observados no mapa de solos do RS (STRECK *et al.*, 2008), entretanto, os mesmos se fazem presentes em nossas áreas de estudo.

**Neossolos Quartzarênicos órticos.** Segundo Embrapa (2013) são os solos quartzarênicos com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo a profundidade de 1,50 metros. São excessivamente quartzosos, tendo as frações areia grossa e areia fina de 95% a mais de quartzo.

Sendo descritos os solos Neossolos Quartzarênicos Órticos do sudoeste do RS por Scopel *et al.* (2012) os quais apresentam cores avermelhadas ou amarelo-avermelhadas muito salientes devido ao óxido de ferro. Textura predominante com fração de menores de 0.50 mm e maiores que 0.10 mm, caracterizando areia média e fina em 90% e pouca proporção de argila sendo o maior teor em profundidade. Porosidade entre 30 e 50% normal para solos arenosos, baixa CTC, baixos valores de MOS, comportamento ácido a muitas vezes álico.

#### **2.8.4. As formações vegetais e uso e ocupação**

Sobre as formações vegetais Verdum *et al.* (2004), atribuem à região de estudo três diferentes formações vegetais: campos limpos do alto planalto e nas colinas suaves da depressão periférica; a mata de galeria nos vales úmidos e remanescentes florestais nas bordas do Planalto e nos relevos tabulares da depressão periférica.

Sob o uso e a pressão da ocupação do território do sudoeste do RS encontramos algumas frentes, como a atividade pastoril seguida do cultivo agrícola e a monocultura arbórea.

A base da organização do espaço rural do sudoeste do Rio Grande do Sul está ligada a uma tradição de criação de animais, tendo esta prática pastoril uma relação direta entre a rentabilidade e o número de hectares explorados, criando uma relação de pastagem nativas de campos limpos que se mantém até os dias atuais.

A partir da década de 1970 ocorre uma mudança importante no sistema de produção agrícola que atinge também a região sudoeste do RS, causando um aumento da superfície cultivada em detrimento da superfície pastoril. Assim, São Francisco de Assis tinha em 1950 5% de culturas temporárias passando para 16% em 1985 e a evolução dos cultivos não apresenta apenas o crescimento da superfície cultivada, mas também mudanças em relação aos tipos de cultivo, o tamanho da unidade de produção e destino da produção (VERDUM, 2012).

Neste sentido a intensificação do processo produtivo está associada ao mercado agroindustrial que estabelece um sistema de monocultura extensiva mecanizada, iniciando em 1940 com o cultivo de arroz nas planícies aluviais, em 1950 e 1960 com o trigo e 1970 a soja. Estes últimos sendo plantados nas colinas suaves cobertas pela vegetação herbácea,

onde os solos arenosos são facilmente arados, que também facilita a inserção da mecanização. (VERDUM, 2012).

Outro modelo de exploração que provoca mudança na paisagem do sudoeste do RS é o plantio de Eucalipto em forma de monocultura para a exploração industrial. Essa nova matriz produtiva inicia uma pressão sobre os campos limpos e vem sendo proposto por empresas como a Stora Enso, sueco-finlandesa que produz e comercializa produtos oriundos dessa exploração de madeira de eucalipto. Essa intervenção vem mostrando intervenções importantes sobre a cobertura herbácea original, o sistema hídrico e, processos morfogenéticos (VERDUM, 2012).

### **2.8.5. Potencial climático**

O potencial climático da região é caracterizado com precipitações em torno dos 1500 mm e médias de temperatura que variam entre 12°C e 14,3°C no inverno e entre 23,5°C e 25°C no verão (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Segundo a classificação climática de Köppen, a região dos areais está inserida no tipo climático *Cfa* (Subtropical úmido) que apresenta as seguintes características: temperatura média acima dos 10°C nos meses mais quentes e acima de 0°C no mês mais frio, porém abaixo dos 18°C com 4 estações bem definidas; precipitação bem distribuída ao longo do ano entre 1600 - 1900 mm (ALVARES *et al.*, 2014).

Numa análise mais regional Rossato (2011) classifica o Sudoeste do RS como clima Subtropical Ib sendo uma área sob influência dos sistemas polares e do sistema tropical continental associado ao efeito continentalidade e relevo, sendo os sistemas frontais os responsáveis por maior parte das precipitações. A temperatura média anual varia entre 20 - 23°C sendo a temperatura nos meses mais frios entre 11-14°C e nos meses mais quentes entre 23-29°C. Ocorre precipitações anuais entre 1400 – 1700 mm sendo estas concentradas entre 70 a 90 dias ano e preferencialmente nos meses de primavera e outono onde podem ocorrer por seis a nove dias ao mês.

Segundo estudo de Sanches *et al.* (2012) fazendo uma análise temporal entre os meses de maior ocorrência de chuvas, atualmente, os meses de fevereiro, abril e novembro são os meses que tem maior ocorrência de precipitação e isto é muito superior que no passado.

Segundo, Jesus e Assis, ( 2005) analisaram as taxas mensais de evapotranspiração potencial e evapotranspiração real de Alegrete. Desta forma evapotranspiração potencial em Alegrete é mais elevada nos meses mais quentes dezembro, janeiro e fevereiro (250mm à 260mm) sendo maior do que a precipitação. Nessa época do ano a disponibilidade de radiação solar é muito grande, além disso, tem-se forte aquecimento e temperatura elevada que ocasionaram a alta taxa de evapotranspiração potencial. Os menores valores observados, ocorreram nos meses mais frios em julho e junho (40mm à 60mm) e a precipitação foi muito superior aos índices de evapotranspiração potencial. Desta forma, a estação quente e a alta disponibilidade de radiação solar, que tem influência na evapotranspiração, a precipitação torna-se fator limitante para a evapotranspiração real de área.

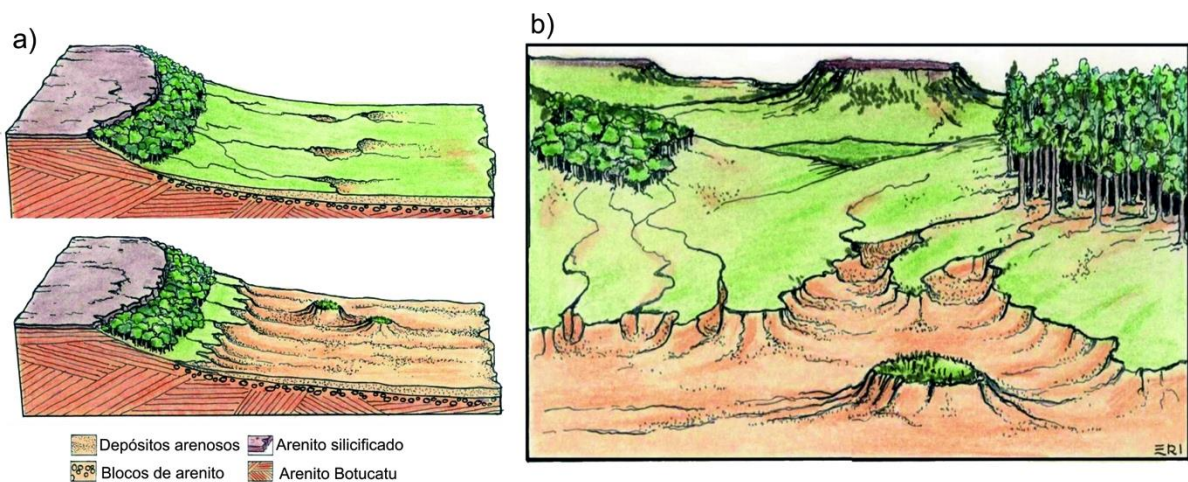
Quanto ao agente eólico, na primavera e verão, há ocorrência de ventos com potencial erosivo maior predominantes do sentido Sudeste e as menores velocidades de ventos ocorrem no outono e inverno do quadrante Sul. Favera *et al.* (2012), afirma que a região sudoeste apresenta direção dos ventos da direção Sudeste (SE) predominante na primavera e verão, porém no outono e inverno as direções predominantes são de nordeste (NE) e sudeste (SE).

#### **2.8.6. Processos ambientais**

No Sudoeste do RS registra-se a acontecimento de manchas de areia onde a cobertura vegetal encontra-se ausente e onde se acumulam materiais inconsolidados com textura arenosa proveniente de deposições. Assim, ocorre um processo de erosão denominado por Suertegaray (1987) como Arenização, que é o retrabalhamento de depósitos arenosos devido à constante mobilidade dos sedimentos o que não contribui para a fixação da vegetação. Tal uso, associado a uma dinâmica hídrica, eólica e solos frágeis, cria uma contínua associação de processos que em algumas áreas dão origem a formação de areais (áreas de areia exposta em espaços com cobertura de campo).

*“Os areais ocorrem sobre unidades litológicas frágeis (depósitos arenosos) e em áreas com baixas altitudes e declividades. Sendo comum nas médias colinas ou nas rampas em contato com a escarpa e morros testemunho” (SUERTEGARAY et al., 2001)”*

De acordo com Suertegaray (1987); Suertegaray *et al.*, (2012), a dinâmica de surgimento e expansão dos areais é anterior ao processo de colonização humana na região, estando condicionada pela fragilidade natural do meio. Sendo os agentes fundamentais para o processo, de Arenização as dinâmicas hídricas e eólicas, que indicam que os areais resultam inicialmente por processos hídricos e esses processos relacionados à topografia favorável, que permitem a formação de ravinas e voçorocas em uma fase inicial. Estas, na continuidade do processo desenvolvem erosão lateral e regressiva, alargando as bordas. Por outro lado a jusante destas ravinas e voçorocas devido o processo de transporte de sedimentos pela água em episódios de chuvas torrenciais, formam depósitos arenosos em forma de leques. Assim com o tempo esses leques vão se agrupando e em conjunto dão origem a um areal, sendo ampliado pelos ventos que atuam em todas as direções (Figura 2.22).



**Figura 2.22** Croqui representativo da tipologia dos areais. a) areais em rampa e b) areais em colinas (SUERTEGARAY *et al.*, 2012).

Assim o processo inicial de formação dos areais ocorre sob áreas de reduzida biomassa (campo) evoluindo para manchas arenosas ou areais propriamente ditos, passando a feições de erosão como áreas de ravinamento e de formação de voçorocas (SUERTEGARAY *et al.*, 2012).

Segundo Suertegaray (1987), Suertegaray *et al.*, (2012), os areais do município de Quaraí não são de origem exclusivamente antrópica, e contudo os estudos até aqui realizados na área indicam uma origem natural, porém sua expansão decorre após o processo de colonização humana na região.

Atualmente, uma das principais formas de perda de solo está associada aos processos de erosão linear na forma de ravinas e voçorocas. Estes processos erosivos ampliam as áreas suscetíveis à arenização e podem promover a formação de areais. Certos voçorocamentos nessas áreas chegam a ter entre 3 e 4 m de profundidade e margens abruptas. Eles atingem inclusive terras aradas, principalmente as dedicadas ao cultivo da soja, sendo ampliados devido às chuvas torrenciais que ampliam, escavam e aprofundam cada vez mais as ravinas, o que pode contribuir com o surgimento e a expansão dos areais, quando somadas as condicionantes naturais (VERDUM, 1997).

Sendo assim, sua dinâmica intensificada ocasiona áreas em processo de degradação que evolui de manchas arenosas ou areais propriamente ditos, para feições de erosão como áreas de ravinamento e de formação de voçorocas devido ao mau uso do solo, havendo cada vez mais necessidades de novas técnicas para proteger estas áreas.

### **2.8.7. Distúrbios ambientais**

Ao analisar as características climáticas, pedológicas e litológicas do sudoeste do Rio Grande do Suertegaray (1987, 1998, 2001) afirma que o processo da arenização é de origem natural, podendo ser intensificado pelas atividades pastoris e agrícolas.

Segundo, Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001) a atividade antrópica esta relacionada diretamente ao pisoteio de gado e ao uso da maquinaria pesada na atividade agrícola que é favorecida pelo espaço aberto dos campos limpos e, pois estes permitem o desenvolvimento de atividades agrícolas ligadas à exploração extensiva das pastagens e das culturas (VERDUM, 2004). Essas práticas originam sulcos e desencadeiam condições de escoamento concentrado que resultam na formação de ravinas e voçorocas (SUERTEGARAY, GUASSELLI e VERDUM, 2001).

Verdum (1997) afirma que a expansão das lavouras de soja provocou a redução da área destinada ao pastoreio nas propriedades e o conseqüente aumento do efetivo bovino durante o período de 1970 a 1985. Assim está situação elevou a densidade da quantidade de

gado nas áreas de pastoreio em relação aos anos anteriores. Nestas áreas existiam gramíneas como cobertura vegetal e que apresentaram na sua maioria fraca resistência ao pisoteio. O que tem contribuído para o aumento da arenização a partir de então.

Verdum e Basso (2000) ressaltam que entre os anos de 1950 e 1985, nos municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis o aumento da superfície cultivada ocasionou um decréscimo de cerca de 30 mil hectares de área pastoril. Esse fato contribuiu para a degradação dos solos, contaminação das águas superficiais e geração de novos areais na região.

Além disso, a partir de políticas de expansão de silvicultura, desde os anos 1980, o sudoeste do Rio Grande do Sul especialmente áreas com ocorrência de arenização sofrem com um novo vilão, a silvicultura, devido ao baixo valor da terra dita improdutiva pelos areais e como forma econômica de cultivo nestas áreas.

Dados recentes apontados pelo IBAMA (2006) revelam intervenções sociais que já caracterizam a degradação ambiental, tais como: a arenização de extensas áreas, a alteração da fauna e flora nativas pela invasão de espécies exóticas e a supressão de extensas áreas com ecossistemas nativos (campos, banhados e matas) para o uso agropecuário. Neste Sentido, as áreas original constituída por vegetações típicas do bioma pampa restam somente cerca de 39% dos 17.6 milhões de ha.

Segundo Mengue (2011) os cultivos de monocultura arbórea, geralmente, têm consequências danosas ao meio ambiente por influenciariam diretamente nos ecossistemas, alterando flora e fauna típica de uma determinada região, pela alteração das características específicas dos habitats, devido a fatores de competição e adaptação entre espécies invasoras e nativas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a melhor compreensão da estrutura metodológica da pesquisa optou-se por fazer um fluxograma (Figura 3.1):

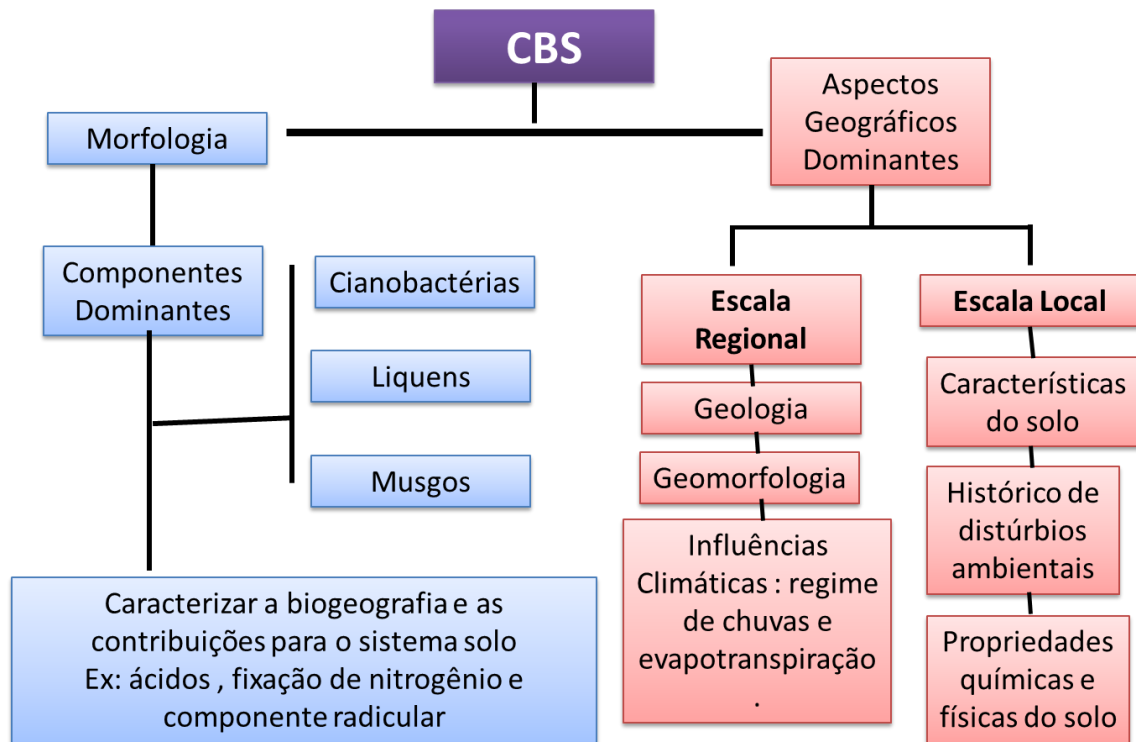


Figura 3.1- Fluxograma da metodologia.

A pesquisa foi realizada nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis, no bioma Pampa, em áreas que estão sobre processo de arenização. Optou-se por selecionar três locais de coleta nos quais foram retirados duas amostras de crosta para análise em cada área (Tabela 01, Figura 3.2).



**Tabela 1** Informações preliminares sobre as áreas de coleta de amostra.

<b>Local de coleta</b>	<b>Amostra</b>	<b>Município</b>	<b>Coordenadas (Lat./Long.)</b>	<b>Exposição Solar</b>	<b>Geoforma</b>
<b>1</b>	01 e 02	Alegrete	29°42'35" S/55°25'13" W	SE	Convexo
<b>2</b>	03 e 04	São Francisco de Assis	29°30'54" S/55°07'23" W	SE	Ravina
<b>3</b>	05 e 06	São Francisco de Assis	29°23'58" S/55°13'60" W	SO	Ravina

Observaram-se alguns parâmetros para a escolha das áreas. Optou-se pelo bioma Pampa em detrimento de outros, devido algumas características que assemelham-se a outros estudos de crostas na literatura internacional. Os locais de amostra foram determinados pelos parâmetros geomorfológicos, optando-se por três contextos diferentes e relevantes. Desta forma acredita-se que estes serão os melhores exemplares para uma investigação científica da existência de CBS e de seu papel funcional no bioma Pampa.

### **3.1. Saídas a campo**

As saídas a campo ocorreram em dois momentos com um intervalo de 1 ano. A primeira ida a campo ocorreu entre 01 e 05 de Maio de 2014, onde se procurou encontrar as crostas biológicas, coletar os testemunhos e obter as coordenadas dos pontos.

A segunda ida a campo ocorreu entre 01 e 04 de Maio de 2015. Foi realizada coleta de solo com ou sem influência das CBS para análise química do solo e para verificar a influência das mesmas sobre o solo. Além do registro de imagens fotográficas, foram medidas as crostas, analisado seus aspectos de floração e morfo-estrutura dominante das crostas.

A escolha das áreas de coleta foram determinadas primeiramente pelos parâmetros geomorfológicos e litológicos seguidos de peculiaridades de uso e ocupação da área.

A primeira área de coleta encontra-se no Areal Deserto de São João, localizado em Alegrete. O local escolhido é uma área geologicamente peculiar onde ocorre o contato entre os arenitos Botucatu e Guará. Geomofologicamente, o areal encontra-se sobre uma feição de

coxilha e foi um dos primeiros locais de cultivo de eucalipto na região, plantado há cerca de 20 anos, tempo suficiente para modificações biogeográficas da flora devido à inclusão da espécie exótica.

A segunda área de coleta se processou em São Francisco de Assis foi escolhida por ser uma feição de interface entre terraços fluviais e depósitos de rampa. É um local que sofre com processos erosivos avançados de ravinamento, podendo ser considerado um núcleo de arenização, onde crostas biológicas recobrem o solo ainda estável no topo das ravinas.

A terceira área de coleta é no Cerro da Esquina, em São Francisco de Assis, na feição de depósito de rampa a qual recebe acúmulo de material como silte e argila. Foi escolhido por ser o areal muito estudado e ter ocorrido recentemente uma tentativa de estabilização e recuperação da área por estaqueamento de bambus (VIEIRA, 2012).

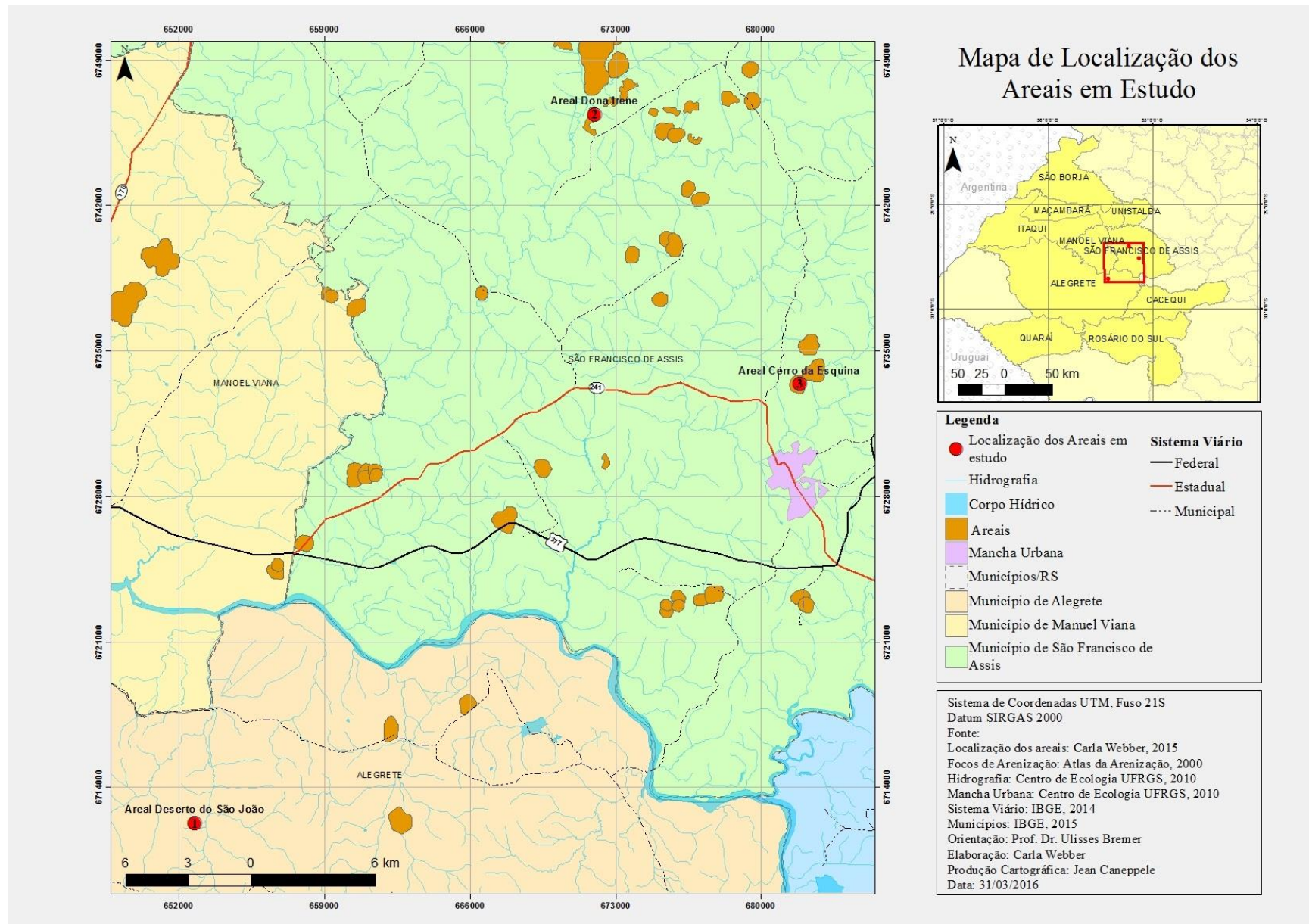


Figura 3.2 - Mapa de localização das áreas de coleta das amostras.

### 3.2. Coleta dos testemunhos de crostas

As coletas das crostas biológicas foram realizadas no outono, nos dias 1, 2 e 3 de maio de 2014. As amostras foram coletadas conforme método previamente descrito por Zaady (2010) e Gundlapally & Pichel (2006).

Para a coleta dos testemunhos de sondagem foram utilizadas placas de Petri com 10cm de diâmetro e 2 cm de altura, o que proporciona mesmo volume para todas as amostras. As placas estavam esterilizadas e se mantiveram em uma pequena geladeira móvel com tubos de gelo para coleta durante todo o processo.

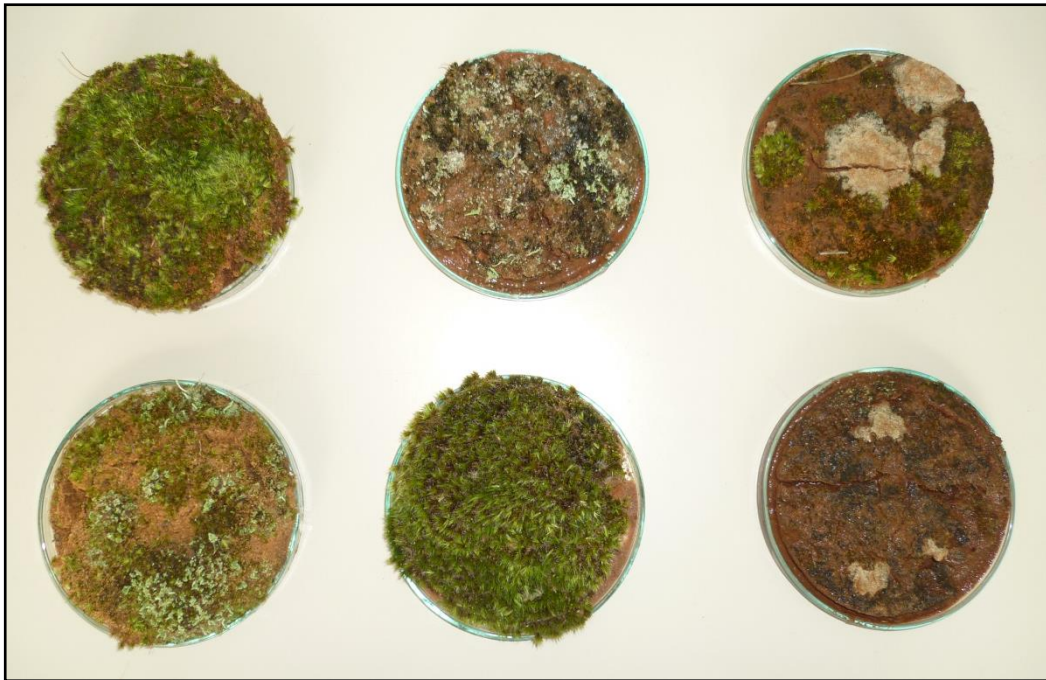
A cada coleta foi colocada a placa de Petri invertida (Figura 3.3) sobre a crosta desejada, levemente pressionada e com uma espátula de pintura de 10cm se levantou e inverteu a crosta para ser tampada pela outra extremidade da placa. Para que houvesse preservação e não contaminações dos testemunhos, estas foram armazenadas em sacos plásticos de coleta.



**Figura 3.3 - Coleta de amostra utilizando placa de Petri invertida.**



Optou-se por coletar amostras de três estágios de sucessão: (i) focos iniciais de colonização de cianobactérias; (ii) início de associação entre cianobactérias e componentes líquens e musgos ; (iii) crosta bem constituída com aparência já de tapete de musgo (Figura 3.4).



**Figura 3.4 - Amostras coletadas na área de estudo. Da esquerda para direita: Primeira área de estudo (Alegrete) em estágios de sucessão bem constituído e intermediário, terceira área de estudo (São Francisco de Assis) com amostras em estágio de sucessão intermediário e bem constituído, segunda área de estudo (São Francisco de Assis) com duas amostras em estágio inicial.**

Para o transporte ao laboratório as placas foram devidamente armazenadas dentro da geladeira móvel e se mantém até o momento acondicionadas sob-refrigeração para sua melhor preservação.

### **3.3. Procedimentos metodológicos para análise das crostas**

Em primeira etapa foram identificados alguns organismos da composição da crosta como as cianobactérias, líquens e musgos. As amostras foram analisadas pelo mestrandu com auxílio de profissional especialista com conhecimento biológico taxonômico do respectivo microrganismo.

As amostras foram analisadas nas seguintes etapas: (i) cianobactérias, (ii) líquens e (iii) briófitas. Devido à complexidade de análise das algas verdes e fungos, seguida da falta de profissionais na área no Brasil, se considerou apenas a existência dos organismos em todas as amostras.

Numa segunda etapa, as crostas foram classificadas perante estágio de sucessão dos organismos que indicará sob qual tipo de dominância se encontra a crosta.

Posteriormente foi analisado a morfologia de crosta, utilizou os parâmetros seguindo a classificação descrita por Belnap (2006), o que classifica a crosta segundo topografia e índice de pluviosidade. Entretanto a classificação de Belnap (2006) relata apenas os padrões de crostas para áreas desérticas. Assim, se utilizou a metodologia para análise topográfica e adaptou-se a questão climatológica, visto não haver padrões descritos para áreas subtropicais.

A fim de verificar a relação entre os dados encontrados e a afinidade florística descrita por outros trabalhos, utilizou-se o coeficiente de Sorensen (*Sorensen coeficiente- Qs*), descrito por Belnap *et al.* (2001) para a construção de similaridades entre crostas.

A primeira similaridade ocorreu entre as próprias áreas de estudo e, posteriormente, entre América do Sul, área de estudo e demais áreas do mundo. Pode-se realizar este comparativo apenas entre dois componentes das crostas cianobactérias e musgos, devido a disponibilidade de dados da matriz de Belnap *et al.* (2001).

### **Cianobactérias:**

Para a identificação dos microrganismos cianobactérias de todas as amostras, contou-se com o auxílio dos profissionais Dra. Vera Werner e Dra. Mariéllen Martins do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-FZB).

Sendo esses organismos microscópios, foi necessário maior tempo neste componente de estudo. Foi realizado processamento das amostras e leitura em lâminas bem como a identificação a partir de catálogos de grupos de organismo. A preparação para a etapa laboratorial ocorreu a partir de visualização de manchas por estereoscópio com aumentos de 100 vezes. A observação das cianobactérias foi precedida de reidratação do material, colocando em placas de Petri contendo água destilada.

Em virtude da maior parte do material a ser estudado contar com densos emaranhados, contendo detritos, hifas de fungos, partículas de solos e cianobactérias foi

necessária a separação prévia dos espécimes com lupa em placa de Petri com água destilada e auxílio de pinças e agulhas histológicas.

Parte das amostras foi preservada com formalina 4% e guardadas em potes de vidro de 100 ml e mantidas vivas sob refrigeração. As amostras serão tombadas no Herbário Alarich Schultz - HAS do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-FZB).

As análises taxonômicas foram feitas na Seção de Botânica de Criptógamas do MCN-FZB, em microscópio óptico binocular de marca Carl Zeiss Oberkochen, modelo GFL óptico, com aumentos de 400 e 1.000 vezes e lupa estereoscópica.

Os registros fotográficos foram feitos com câmera digital ajustada diretamente à ocular do microscópio. Os estudos morfológicos e identificação das cianobactérias foram realizados a partir de espécimes vivos.

Foram feitas observações de cinco lâminas por segmento nas amostras. Com auxílio de especialista retirou-se medidas celulares de espécimes encontradas com a finalidade de suas identificações. Para a classificação dos táxons foi adotado o sistema de Hoffmann *et al.* (2005).

Os caracteres analisados para a avaliação morfológica e estudo taxonômico foram: caracterização dos talos; presença ou ausência, forma, dimensões e coloração da bainha mucilagínosa; estrutura do tricoma e quantidade de tricomas por bainha; forma e ápice do tricoma; forma e dimensões celulares; presença ou ausência e disposição de heterocitos; presença ou ausência e disposição de acinetos.

### **Líquens:**

Para a identificação dos microrganismos líquens nas amostras onde os mesmos encontram-se presentes, contou-se com o auxílio da profissional bióloga Dra. Suzana Maria de Azevedo Martins do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-FZB), que fez o reconhecimento simplificado dos líquens os separando por gênero. Os líquens são uma associação simbiótica entre alga ou fungo, sendo identificado de acordo com o seu tipo de talo, forma de crescimento, local de ocorrência e cor.

A partir dos resultados, procurou-se obter uma compreensão das características específicas de cada grupo e a sua função ecológica neste tipo de solo e sua importância como

componente da crosta. É importante salientar que segundo o estudo comparativo pelo coeficiente de Sorensen (Belnap *et al.*, 2003), ainda não existem dados de líquens para crostas na América do Sul.

### **Briófitas:**

Para a identificação de briófitas, contou- com o auxílio da bióloga Dra. Juçara Bordin, da UERGS unidade Osório, que fez o reconhecimento do material amostrado nos areais. Todas as briófitas amostradas pertencem a chave dos musgos, que foram, então, separados por gênero.

Para a identificação foi utilizado lupa binocular de aumento e microscópio. Com lâminas preparadas por amostra e observação de morfologia em catálogos.

A partir dos resultados procurou-se obter uma compreensão das características específicas do grupo encontrado.

### **3.4. Coleta das amostras de solo**

As coletas das amostras de solo foram realizadas no outono, entre os dias 1 e 5 de maio de 2015. As amostras foram coletadas conforme método padronizado pela Embrapa Solos ( LEMOS & SANTOS, 2002). Amostras foram coletadas em datas diferentes, porem no mesmo local.

As coletas realizadas dos solos sob CBS devem mostrar se há interferência química da crosta devido a sua capacidade de fixação do nitrogênio e carbono. Contudo das três áreas de estudo foi possível apenas a coleta em duas áreas, sendo pertencentes aos locais de coleta Vila Kramer e Cerro da Esquina, em São Francisco de Assis.

Para a coleta dos amostras de solo foi utilizado um trado holandês com profundidade de 20 cm para coleta. Sendo assim, foi coletado 20 cm de solo por amostra e as mesmas foram acondicionadas em sacos de coleta devidamente identificadas.

A cada seção de amostra, o coletor foi cuidadosamente limpo evitando a contaminação da amostra com a anterior. As amostras foram acondicionadas e conservados em local seco, sob temperatura ambiente, até que ocorresse sua análise.



### **3.5. Construção dos resultados análise local**

Devido este ser o primeiro estudo de crostas biológicas de solo na área dos areais, optou-se por fazer as análises em seu viés mais completo possível. Desta forma, levou-se em consideração a composição química do solo para se verificar as diversas relações entre as CBS e os componentes mineral e orgânico do solo. Sendo para isso a análise da sua textura e morfoscopia, a análise química das argilas por difratometria de raio X importantes para resultarem nos minerais de origem e aspectos determinantes dos sedimentos.

#### **3.5. 1. Análises laboratoriais química e física.**

As amostras de solo foram divididas em quantidades iguais sendo uma parte enviada para análise no departamento de solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, onde se realizou análises químicas e físicas, bem como sua percentagem de carbono orgânico e índice de nitrogênio por TKN.

Foram levados em conta os atributos de diagnósticos como: Carbono, Nitrogênio, Ca, Mg, Alumínio por amostra, pH, P, K e saturação de alumínio.

Para a análise química do solo foi utilizado a metodologia da Rede Oficial de Laboratórios de análise de Solos do RS (ROLAS).

#### **3.5. 2. Procedimento metodológico: análise textural**

A outra parte foi utilizada para realização de análise de solos e dentre os dados produzidos encontra-se a textura das amostras e morfoscopia. A análise foi feita no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos – IGEO-UFRGS, sob orientação do técnico geólogo Gilberto Silveira dos Santos, que me apoiou na interpretação e realização dos procedimentos laboratoriais.

O material foi dividido em 4 amostras: duas por local de coleta, sendo uma com crosta e outra sem crosta

### Processo metodológico:

O material sofreu o processo de secagem a temperatura de 65°C durante um período de 24h. Quarteamento – moer com pistilo e separar 50ml para a análise mecânica granulométrica.

As amostras foram identificadas em fichas granulométricas com registro de número, peso e outras observações necessárias. Os grossos retornam para os copos de Becker e são secos por 24h em estufa a 65°C. Posteriormente temos a seguinte relação: peso material total, peso material grosso seco e na diferença teremos a relação peso dos finos.

Análise Granulométrica: Parte Grosseira processo de peneiração segundo intervalo de 1 ao  $\emptyset$  de acordo com o intervalo do jogo das peneiras segundo a escala de Wentworth (1922) Tabela 2.

**Tabela 2 - Escala de Wentworth (1922) para Granulometria**

<b>Intervalo Granulométrico (mm)</b>	<b>Descrição:</b>
> 256	Matacão
256 a 64	Bloco ou Calhau
64 a 4.0	Seixo
4.0 a 2.0	Grânulo
2.0 a 1.0	Areia muito grossa
1.0 a 0.50	Areia grossa
0.50 a 0.250	Areia média
0.250 a 0.125	Areia fina
0.125 a 0.062	Areia muito fina
0.062 a 0.031	Silte grosso
0.031 a 0.016	Silte médio
0.016 a 0.008	Silte fino
0.008 a 0.004	Silte muito fino
< 0.004	Argila

Fonte: Dicionário de granulometria, atualizado em 2013.

Após o Quarteamento as amostras foram colocadas em copos de Becker com capacidade de 250 ml devidamente etiquetados com o número da amostra e novamente pesados.

Os finos: são misturados e peneirados com água destilada em um tubo para posterior pipetagem. Assim as amostras finos foram passadas em úmido em peneira especial 0.0062mm para dispensá-los. Após, foi realizado ensaio de pipetagem com material fino exposto ao Tetra pirofosfato de sódio anidrico, para provocar a decantação da silte e deixar as argilas em suspensão.

Desta forma a granulometria constitui uma propriedade textural fundamental e se refere ao tamanho do grão através da dimensão linear ou do seu volume. Assim os solos recebem designações segundo as dimensões das partículas compreendidas entre determinados limites convencionais. Segundo Brady (1979), os solos são compostos por partículas e variam consideravelmente quanto o tamanho e forma, sendo este a sua textura que fornecem certas indicações sobre suas propriedades físicas sendo classificados de acordo com seu tamanho areia, silte e argila.

Após a análise granulométrica, iniciou-se a análise morfooscópica a qual compreende a medida da forma da esfericidade e arredondamento das partículas sedimentares que são fontes de informação sobre os agentes deposicionais. (figura 3.10)

Primeiramente todos os tamanhos de partículas foram levados a lupa estereoscópica e submetidos às escalas de graus de esfericidade de Rittenhouse (1943) Tabela 3 e Graus de arredondamento de Krumbein (1936), Tabela 4.

**Tabela 3 - Graus de esfericidade Rittenhouse (1943)**

<b>Tamanhos</b>	<b>Graus de esfericidade</b>
<b>0.0 a 0.1</b>	Esfericidade muito pobre
<b>0.1 a 0.3</b>	Esfericidade pobre
<b>0.3 a 0.5</b>	Esfericidade média
<b>0.5 a 0.7</b>	Esfericidade boa
<b>0.7 a 0.9</b>	Esfericidade muito boa

Fonte: Toldo, (2007).

**Tabela 4 - Graus de arredondamento Krumbein (1936).**

<b>Tamanhos</b>	<b>Graus de arredondamento</b>
<b>0.0 a 0.1</b>	Angular
<b>0.1 a 0.3</b>	Sub angular
<b>0.3 a 0.5</b>	Sub arredondado
<b>0.5 a 0.7</b>	Arredondado
<b>0.7 a 0.9</b>	Bem arredondado

Fonte: Toldo, (2007).

Considerou-se o fator presença ou ausência de brilho o que explica a origem do transporte vento ou água. A ordenação das superfícies dos graus também foi considerada por três tipos principais definidos em Toldo (2007) como: grãos sacaroides, grãos mamelonados e grãos lisos. Segundo esta classificação, os grãos sacaroides apresentam superfície irregular e arestas agudas. Grãos mamelonados apresentam arestas com formas mais arredondadas e grãos lisos apresentam suas superfícies de forma curva.

### **3.5.3. Procedimento metodológico análise de argilas**

A fração argila foi separada e 2 amostras foram submetidas a difratometria de raio X (DRX) em tubos de cobre para a determinação de sua mineralogia. A análise foi realizada no Laboratório DRX, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) sob a supervisão do técnico Geólogo Edgar Bercht.

#### **Preparação das amostras e separação da fração < 4µm**

As amostras orientadas são preparadas conforme o seguinte procedimento:

- Quarteamento da amostra;
- Desagregação em gral de porcelana;
- Desagregação por Agitação durante 14 horas em agitador orbital;
- Desagregação por ultra-som de ponteira durante 5 min com amostra em solução;
- Com a amostra em solução estabiliza-se a temperatura para controlar a viscosidade do fluido;

- De acordo com a planilha eletrônica baseada na Lei de Stokes calcula-se o tempo de decantação respectivo de cada fração. O processo de decantação normal é utilizado para separar da amostra a fração  $<4\mu\text{m}$ . O tempo aproximado para essa fração é de 1h 15min;
- Com a fração granulométrica separada, faz-se lâminas especiais para análise por difração de raios-X . obtendo-se a amostra orientada em lâminas;

Após este processo descrito acima, foi obtida a fração  $< 4\mu\text{m}$  orientada. Desta forma privilegia-se as faces 001 para a identificação de argilominerais, chamando-se amostra orientada natural.

A amostra orientada natural foi saturada com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Para isto a amostra orientada natural foi borrifada com etileno glicol e o excesso retirado com papel absorvente, obtendo a amostra glicolada.

A amostra orientada natural também foi aquecida a  $550^{\circ}\text{C}$  durante duas horas para avaliar argilominerais que colapsam sua estrutura nestas condições, obtendo a amostra *calcificada*.

### **Condições analíticas**

O equipamento utilizado foi um difratômetro SIEMENS – BRUKER-AXS D5000 com goniômetro  $\theta$ - $\theta$ . A radiação é  $K\alpha$  em tubo de cobre nas condições de 40kV e 25mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise é a seguinte:

Amostra Orientada Natural: 2 segundos para  $0,02^{\circ}$  de degrau do goniômetro de  $2^{\circ}$  a  $28^{\circ} 2\theta$ .

Amostra Orientada Glicolada: 3 segundos para  $0,02^{\circ}$  de degrau do goniômetro de  $2^{\circ}$  a  $28^{\circ} 2\theta$ .

Amostra Orientada Calcificada: 2 segundos para  $0,02^{\circ}$  de degrau do goniômetro de  $2^{\circ}$  a  $28^{\circ} 2\theta$ .

### **Observações gerais**

Os minerais e/ou fases cristalinas são identificados através da medida das distâncias interplanares (valores de “d”) e das intensidades relativas dos picos nos difratogramas.

Os minerais identificados apresentam-se comparados com padrões do banco de dados do computador (PDF2) e indicados/referenciados sobre o pico mais importante e diagnóstico do mineral. As análises foram interpretadas através do programa DIFFRAC<sup>PLUS</sup> em que os picos são indexados no difratograma.

Finalmente, salienta-se que o método dificilmente identifica estruturas cristalinas que ocorram em quantidades inferiores a 3 - 5% na amostra analisada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Composição florística

#### 4.1.1 Cianobactérias

No Tabela 5 é apresentada a sinopse das cianobactérias encontradas nas crostas biológicas de solo estudadas. A Figura 4.1 ilustra os exemplares destes táxons.

Tabela 5 - Sinopse de resultados obtidos de cianobactérias.

Subclasse	Família	Gênero	Espécie	Local	
Oscillatoriophycidae	Chroococcaceae	<i>Pseudocapsa</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
		<i>Gloeocapsopsis</i>	Sp.	Areal Cerro da Esquina	
	Cyanobacteriaceae	<i>Gloeothece</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
		<i>Microcoleus</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
	Phormidiaceae	<i>Porphyrosiphon</i>	<i>notarisii</i>		Areal Deserto de São João; Vila Kramer
			<i>Symplocastrum</i>	sp.	Areal Deserto de São João:
	Hapalosiphonaceae	<i>Hapalosiphon</i>	sp.	Areal Deserto de São João	
	Rivulariaceae	<i>Calothrix</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
	Nostocophycidae	Scytonemataceae	<i>Scytonema</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
Stigonemataceae		<i>Stigonema</i>	sp.	Areal Deserto de São João; Areal Cerro da Esquina; Vila Kramer.	
Synechococcophycidae	Schizotrichaceae	<i>Schizothrix</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	
	Synechococcaceae	<i>Aphanothece</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina	

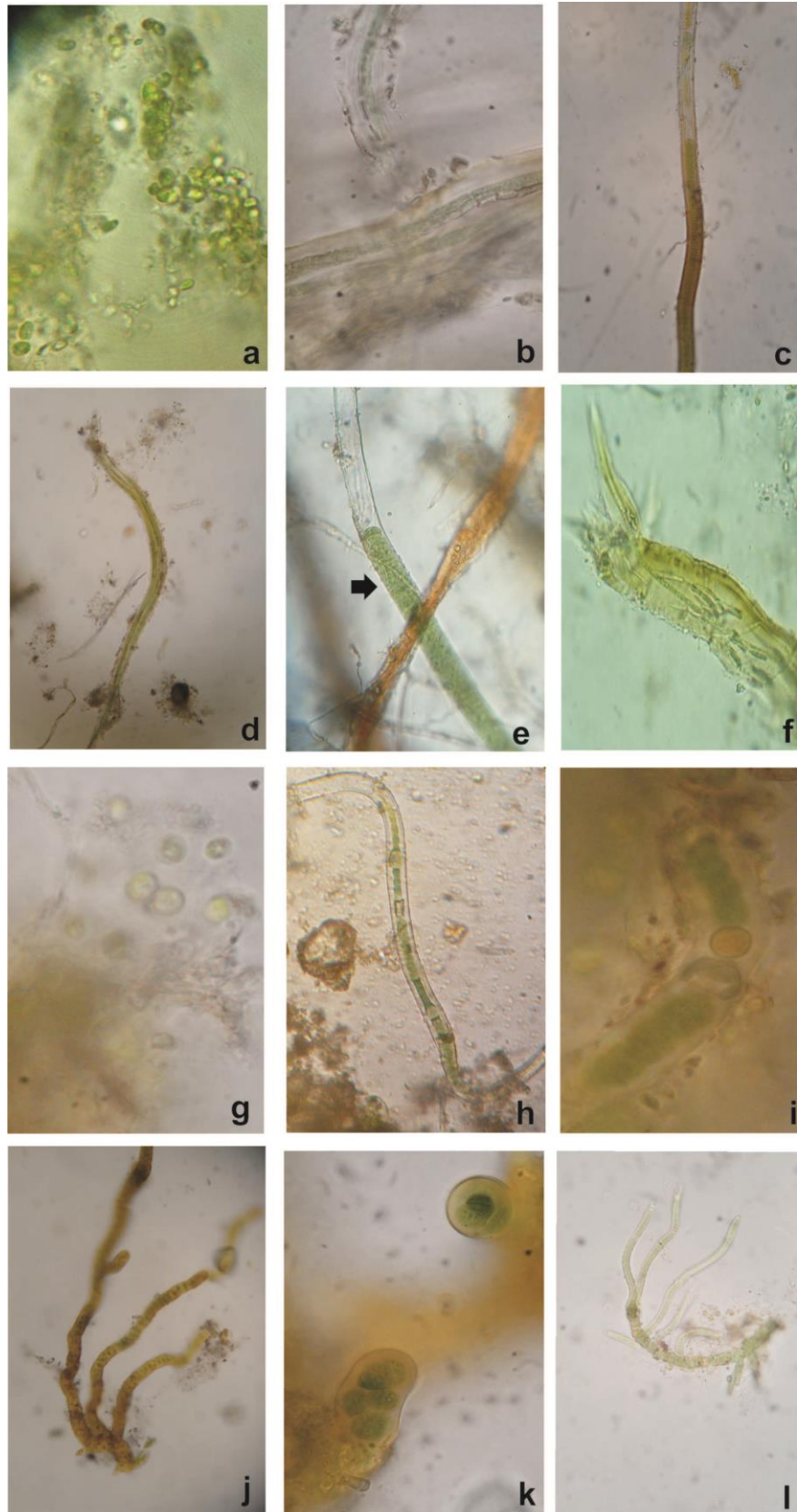


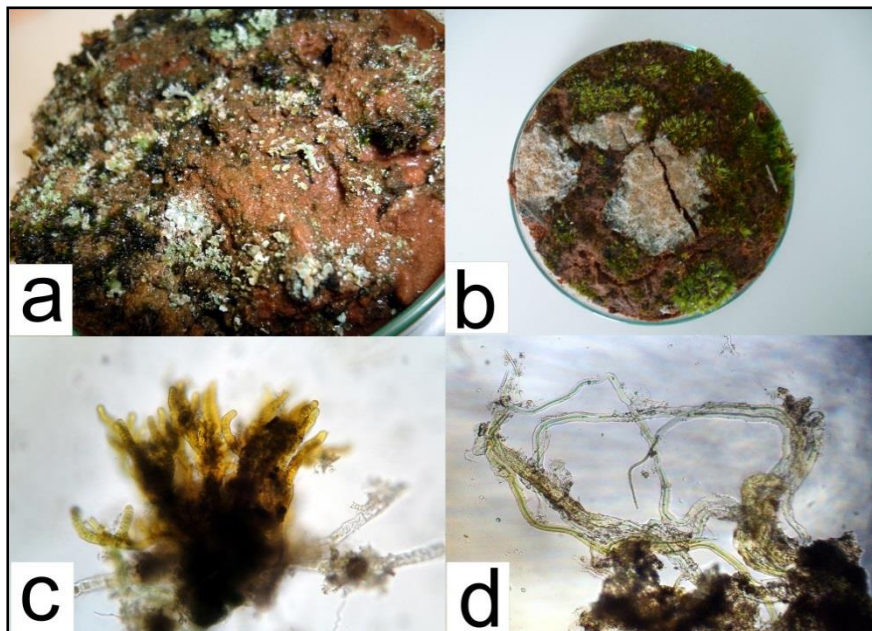
Figura 4.1 a) *Aphanotece* sp.; b) *Schizothrix* sp.; c) *Phorphyrosiphon notarisii*; d) *Symplocastrum* sp.; e) *Lyngbya* sp. (Seta); f) *Microcoleus* sp.; g) *Gloeothece* sp; h) *Scytonema* sp.; i) *Calothrix* sp.; j) *Stigonema* sp.; k) parte de uma *Stigonema* sp.; l) *Hapalosiphon* sp.



A partir da análise das amostras foram identificados 13 morfotipos de cianobactérias, destacando-se espécies filamentosas, incluindo 81,8% dos táxons registrados. Dentre estes, 55,5% eram filamentosas homocitadas (não hererocitadas) e 44,5% eram heterocitadas.

Dentre os gêneros observados, *Stigonema* sp., foi encontrada em todas as amostras analisadas. Aparentemente este gênero apresenta um papel de potencializador na agregação de partículas (Figura 4.2) e formam manchas pretas a verdes escuros sobre o solo, o que sela a mobilidade de sedimentos para ventos e chuvas fracas a médias. Outra cianobactéria encontrada, aparentemente agregadora de partículas, foi *Microcoleus* sp. Dentre as análises realizadas nas CBS coletadas nas amostras do areal Deserto de São João em Alegrete, foi encontrada uma maior riqueza de populações tanto em presença por táxon, quanto diferença de gêneros.

Pode-se concluir que as espécies subsuperficiais se fazem mais raras aparecendo poucas vezes com tamanhos milimétricos, baixa preservação e difícil interpretação devido a sua transparência e tamanho, ocorrendo diferenças entre táxons de amostra para amostra. Entretanto, notou-se uma diminuição de representantes quando a crosta encontra-se em estados mais desenvolvidos, dominadas por briófitas, estando em alguns casos inexistente.



**Figura 4.2** a) Amostra coletada com manchas verdes escuras de *Stigonema* sp. Areal Cerro da Esquina; b) Amostra com predominância de manchas pretas e líquens do Areal Vila Kramer; c) Cianobactérias *Stigonema* sp agregadas a partículas de solos; d) *Microcoleus* sp. agregados a partículas de solos.

### 4.1.2 Líquens

A partir da análise das seis amostras do primeiro campo e das demais coletadas especificamente no segundo campo, foram identificados duas espécies de líquens e dois gêneros descritos na Quadro 2. Parte das amostras coletadas devido à falta de componente reprodutivo do líquen ou por estar em grau muito inicial de desenvolvimento não foi possível identificar (Figura, 4.3).

**Quadro 2- Sinopse de resultados obtidos para Líquens.**

Componentes Morfométricos		Gêneros	Amostra
	Líquens	<i>Cladonia</i> sp.1 <i>Cladonia macilenta</i> <i>Rhizocarpon</i> sp.1 <i>Rhizocarpon</i> sp.2	Vila Kramer
	<i>Cladonia Squamosa</i> <i>Rhizocarpon</i> sp.3	Cerro da Esquina	
	<i>Cladonia</i> sp.1 <i>Rhizocarpon</i> sp.4	Deserto de São João	

A *Cladonia* é um gênero que pertence a família Cladoniaceae. Os talos em *Cladonias* são chamados dimórficos, pois apresentam uma porção horizontal denominada talo primário e uma porção vertical fruticosa, denominada talo secundário. O talo primário é principalmente persistente, possuindo podécio não ramificado a pouco ramificado e axilas fechadas. Muitas espécies produzem cifas sem sorédios a abundantemente farinoso-sorediado;

As *Cladonias* apresentavam talo primário formado por escamas ou grânulos sem córtex inferior, aderidos ao substrato pela base; podécio cortiçado ao menos em parte, simples ou ramificado, geralmente com diásporas vegetativas; apotécios distais, ocre, marrom ou vermelhos; ascos com 8 esporos incolores, simples, oblongos a fusiformes.

A *Cladonias macilenta*, produz ácido Barbático, ácido Didímico, Rodocladônico e substâncias não identificadas. A *Cladonia squamosa* Hoffm., Deuschl 1796 produz ácido Barbático e ácido Didímico.

O *Rhizocarpon* é um gênero pertencente a família *Rhizocarpaceae*, possui talo crostoso, areolado, cinza-marronzado, saxícola; apotécios lecideinos, sub imersos, pretos; ascos com 8 esporos incolores, septados a fraco muriformes, epispório gelatinoso (balonado). O *Rhizocarpon* produz ácidos Púlvinos e derivados.



**Figura 4.3 – A) *Cladonias* dispostas por toda a foto; B) *Rhizocarpon* dispostos em pequenas manchas.**

Pode-se dizer que 50% das amostras apresentaram gênero fruticoso e 50% gênero crostoso.

As substâncias produzidas pelos líquens são agrupadas segundo a localização de seu talo, podendo gerar produtos intracelulares e extracelulares.

São produtos intracelulares, carboidratos, carotenoides e vitaminas, aminoácidos e proteínas, itens importante para o desenvolvimento de alguns extratos vegetais.

Os produtos extracelulares são ácidos Alifáticos, meta e Depsídeos, Depsidonas, ésteres Benzílicos, Dibenzofuranos, Xantonas, Antraquinonas, ácidos Úsnicos, terpenos e derivados do ácido Púlvínico. A maior parte dessas substâncias sintetizadas exclusivamente por líquens são ácidos de suma importância para a intemperização da rocha que contribui para a formação do solo.

Desta forma é importante ressaltar que os líquens tanto por ação física de suas rizinas (raízes), como por ação química das substâncias liquênicas, contribuem na formação de solo e participam ativamente da ciclagem dos nutrientes. Segundo Legaz et al. (2006), os líquens são os primeiros organismos a instalarem sobre as rochas aflorantes da superfície terrestre.

Apesar do experimento não contar com amostra de solos excluídas de líquens por não termos crostas exclusivamente liquênicas em áreas planas, as mesmas foram amostradas em todos os substratos de crosta em quantidade significativa. Assim não será possível quantificar sua contribuição para com a ciclagem de nutrientes.

Podemos concluir que as crostas com predominância de *Cladonias* preferem topografias inclinadas, mesmo que abaixo de estratos arbustivos, enquanto os *Rhizocarpon* podem ser encontrados em todos os substratos de forma inicial e em alguns mais evoluídos sendo passíveis da identificação.

#### 4.1.3 Musgos

A partir da análise das seis amostras do primeiro campo e das demais coletadas no segundo campo, foi identificado apenas um gênero de musgo para todas as amostras (Figura 4.4). Este gênero pode estar classificado em 3 ou 4 espécies, entretanto, como o mesmo não se faz fundamental para esta etapa do trabalho deixou-se a identificação de espécies para uma produção futuras.

Os musgos possuem gametófito folhoso, simetria radial ou dística; anfigastros raros, apenas em alguns gêneros e esporófito formado por pé, seta (fotossintetizante e persistente) e cápsula. Ocorre a liberação dos esporos pelo peristômio

O gênero encontrado foi o *Campylopus* e pertence à família Dicranaceae (Quadro 3). Este é um gênero com cerca de 200 espécies revisadas sendo um dos maiores gêneros de musgos do mundo, que pode ser encontrado em todos os continentes, latitudes e sua ecologia pode variar (FRAHM, 1990).

Provavelmente teve origem no cinturão subantártico, e a América do Sul concentra o maior número de espécies (FRAHM, 1988). Para o Brasil, são aproximadamente 30 as espécies referidas (FRAHM, 1991). Existem apenas dois trabalhos tratando especificamente

da ocorrência do gênero no Brasil (Frahm, 1979, 1981), além da Flora Neotropica (Frahm, 1991), e este conhecimento se encontra desatualizado.

*Campylopus* segundo a literatura é um gênero muito resistente à seca e ao calor. Em crostas biológicas encontramos esse gênero registrado na literatura sobre trabalhos na Austrália (ELDRIDGE, 2003).



Figura 4.4 – Amostra coletada recoberta com musgo gênero *Campylopus*.

Quadro 3 - Sinopse de resultados obtidos para musgos

<b>Componentes Morfométricos</b>	<b>Classe</b>	<b>Sub-classe</b>	<b>Ordem</b>	<b>Família</b>	<b>Sub-Família</b>	<b>Gênero</b>	<b>Amostra</b>
	<b>Musci</b>	<b>Bryidae</b>	<b>Dicranales</b>	<b>Dicranaceae</b>	<b>Campyloporioideae</b>	<b>Campylopus</b>	Vila Kramer; Cerro da Esquina; Deserto de São João.



## 4.2. Sequência de sucessão

Quando analisada a sequência de sucessão foi possível observar que as cianobactérias se fazem presentes em primeiro plano, sendo sua visualização através de tapetes pretos a verde escuro (Figura 4.5). Quando avaliado especificamente o primeiro local de coleta, em Alegrete, foi encontrada a sequência de sucessão apenas em substratos mais consolidados como os rochosos. No areal, foram encontradas manchas de musgos em estágio inicial de evolução (Figura 4.6), no entanto, nas amostras foram encontradas também cianobactérias.



**Figura 4.5** – Manchas de cianobactérias com predomínio do gênero *Stigonema*.



**Figura 4.6** – Crostas do Areal Deserto de São João, em seu estágio de sucessão inicial musgo.

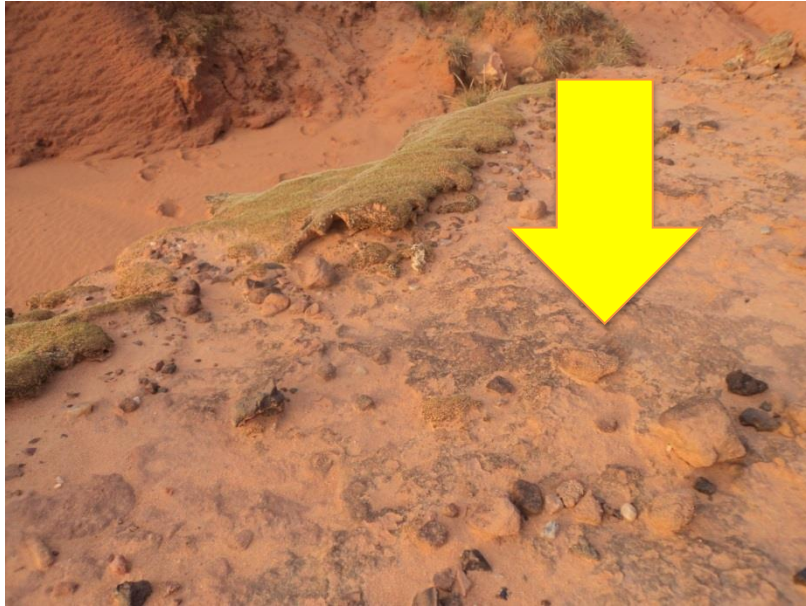
No segundo local de coleta foram observadas CBS, especialmente nas ravinas, as quais as crostas estavam com sequência mais evoluída, havendo um predomínio de espécies musgos nos topos das ravinas e também em partes mais planas ou em degraus nas encostas (Figura 4.7). Estas são encontradas dando suporte para pequenas vegetações e arbustos típicos do pampa.



**Figura 4.7 – Crostas com sequência de sucessão musgos/liquens com predominância de musgos em degraus nas encostas.**

Nas encostas das ravinas há a presença de crostas com o componente morfológico líquem em menor representação que os musgos, especialmente misturados com as crostas de musgos e sob pequenas moitas de vegetação. Em ambos os locais foram observadas a presença das crostas iniciais de cianobactérias e as mesmas como grandes manchas nas áreas inclinadas e nas bordas das ravinas (Figura 4.8).





**Figura 4.8 – Crostas iniciais de cianobactérias em uma borda de ravina.**

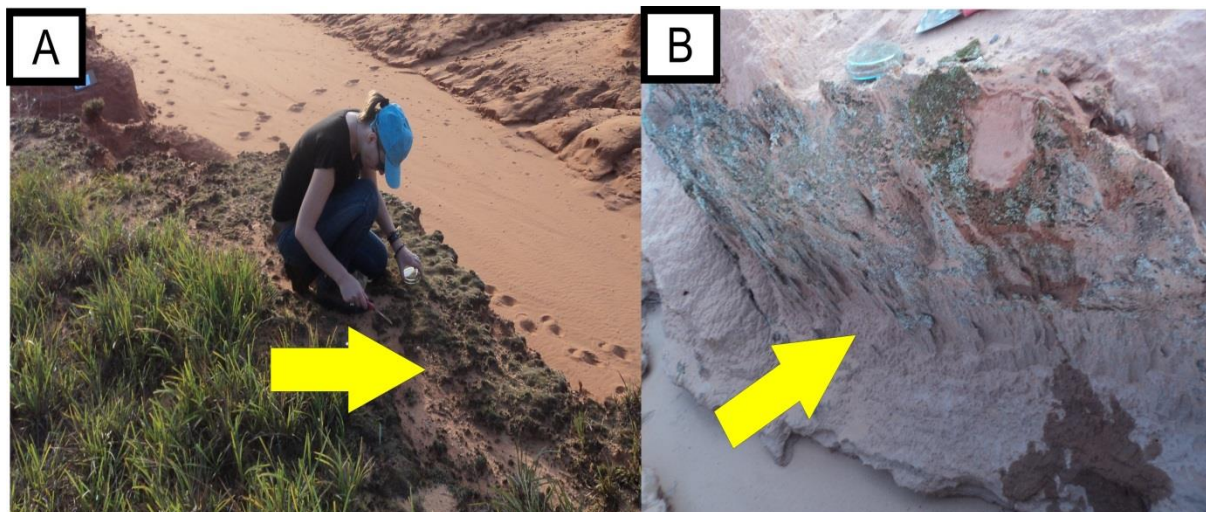
No terceiro local de coleta foi possível observar claramente crostas em estágio primário com grandes filamentos de cianobactérias nas bordas da ravina, na cor preto / verde escuras (Figura 4.9).



**Figura 4.9 - Manchas de crostas de cianobactéria em topo de ravina**



Sobre o topo da ravina observa-se a presença de crostas mais evoluídas tipo musgo e nas encostas das ravinas a ocorrência de predominância de líquens (Figura 4.10), ou líquens somados a briófitas em estágio inicial de sucessão.



**Figura 4.10 – A) Topo de ravina com crosta musgos B) Vertente de ravina com crosta predominante crostas de cianobactéria.**

Tendo em vista os dados analisados, as CBS dos areais do Rio Grande do Sul possuem seu estágio inicial composto por grandes filamentos de cianobactérias cor preto / verde escuro. Estas evoluem principalmente para uma configuração semelhante a um “tapete de musgo” nos topos das ravinas e sob as áreas mais planas ou em substratos rochosos aflorantes. Seguem um padrão crosta líquênica em sequências mais inclinadas, em vertentes próximas a 90° de inclinação, e mista com musgo ou arbustos em vertentes com grau de inclinação mais suave.

Além disso, existem nos locais de estudo todos os tipos de sucessão desde os mais primários apenas com cianobactérias, aos mais evoluídos com sucessão de líquens e briófitas permitindo um clímax para a sucessão de espécies vegetais e arbóreas superiores. Apesar de no local de coleta 01 não ter sido visualizado crostas em estágio inicial sobre o areal, mas sim nas formações mais estáveis e rochosas. Acredita-se que as mesmas possuam seu estágio inicial com crostas de cianobactérias subsuperficiais. Desta forma confia-se na possibilidade das crostas iniciarem seu processo de colonização de forma superficial e subsuperficial.

Se levado em conta a localização da crosta podemos afirmar que as vertentes voltadas para o norte há menor expressividade de crostas, podendo ter como motivo o

ressecamento do solo, enquanto as vertentes expostas para sul permanecem mais úmidas por períodos mais maiores e favorecem a presença de crostas.

Assim, a posição solar das vertentes voltadas para as direções Sudoeste, Sul e Sudeste marcam a maior presença de crostas nessas vertentes, entretanto também foi possível encontrá-las em vertentes sentidos Nordeste, norte e noroeste.

### **4.3. Classificação morfológica das crostas biológicas de solo**

Comparando as três áreas de estudo, observaram-se as diferentes morfologias de crostas encontradas nas áreas dos areais do sudoeste do Rio Grande do Sul. Seguindo os padrões taxonômicos de Belnap (2006) para crostas foram encontrados os padrões: Pinacular e Ondulado. Porém para Belnap (2006), ambas são reconhecidas na classificação climática para desertos frios.

Contudo ao olharmos as crostas para deserto quente encontramos os padrões suave e rugoso, ambos também possíveis de serem visualizados nos areais do sudoeste do RS.

Assim acreditamos ser possível encontrar todas as fases de evolução de crosta segundo a classificação de Belnap (2006). Isto ocorre devido ao regime climático e conseqüentemente boa relação de umidade do clima subtropical, proporcionando rápido desenvolvimento das crostas que acabam passando por todas as fases de evolução dependendo da posição ocupada no relevo, o que gera um padrão morfológico.

Desta forma, enquanto as crostas estão em seu padrão inicial são visivelmente suaves ou rugosas, mas quando chegam a seu clímax se encaminham a um padrão ondulado em topografia retilínea e de suave inclinação ou Pinacular em vertentes de topografia mais íngreme. Acreditamos ser esta morfologia resultado da erosão superficial hídrica pelo escoamento superficial de uma crosta para com a outra.

Contudo, acreditamos ser a classificação para desertos de Belnap (2006) uma boa base de estudo, mas que não se adapta perfeitamente ao clima subtropical e ambientes de areais. Desta forma, propomos a utilização da classificação de forma cautelosa e mista, empregando as quatro tipologias morfológicas de crosta para clima subtropical somadas ao gral de evolução da Crosta (Quadro 4) até que se possa fazer um estudo mais preciso com um número maior de amostras e criar um quadro mais conclusivo e peculiar para os areais do RS.

**Quadro 4- Nova tabela de classificação de Crostas biológicas de solos.**

<b>Morfologia da Crosta</b>	<b>Topografia (altura crosta)</b>	<b>Evolução Crosta</b>
<b>Suave</b>	0 - 1cm	Sucessão inicial
<b>Rugosa</b>	1 - 3 cm	Sucessão inicial
<b>Pinacular</b>	3 – 15 cm	Sucessão média a mais evoluída
<b>Ondulado</b>	3 – 5 cm	Sucessão média a mais evoluída

Na análise dos dados do primeiro local de coleta no deserto de São João, observá-se crostas consolidadas apenas em superfícies mais resistentes, em um padrão rugoso, devido às falhas e baixa estatura. Em áreas com presença de areais são encontradas manchas de crostas de sucessão inicial em briófitas mais cianobactérias de morfologia suave com altura inferior a 1cm (Figura 4.11).

**Figura 4.11 – Crostas de briófitas aflorantes no areal São João**

Foi possível visualizar estruturas Pinaculares em pontos de contato entre areal e rocha aflorante (Figura 4.12) de alturas entre 3 e 10 cm.





**Figura 4.12 – Crostas Pinaculares do areal São João**

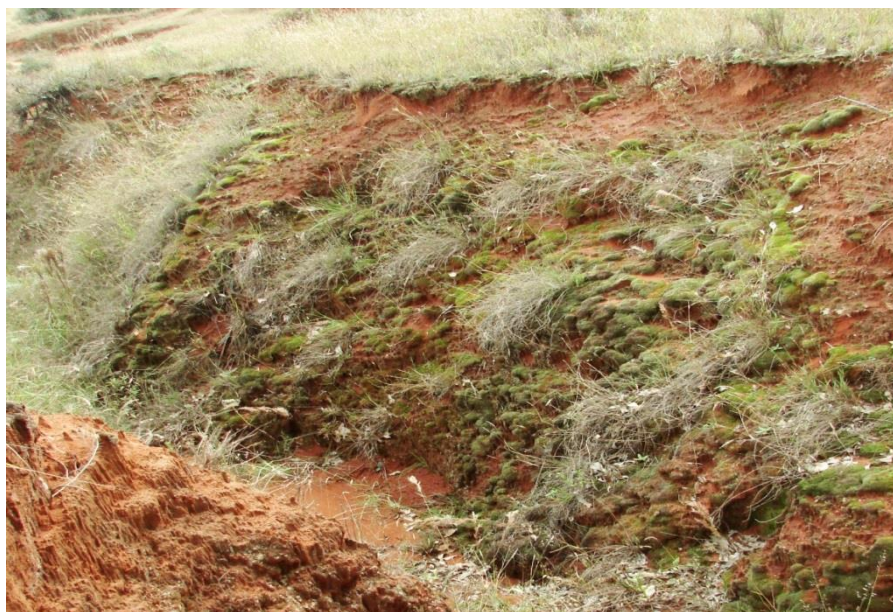
Os dados do segundo local de coleta (Vila Kramer), apresentam crostas onduladas em áreas de topo de relevo e em vertentes de suave inclinação havendo, como na descrição de Belnap (2006), possibilidade de suporte a outros estratos vegetais (Figura, 4.13). O tamanho da crosta varia entre 3 cm a 5 cm



**Figura 4.13 – Crostas Onduladas de briófitas no areal Vila Kramer.**

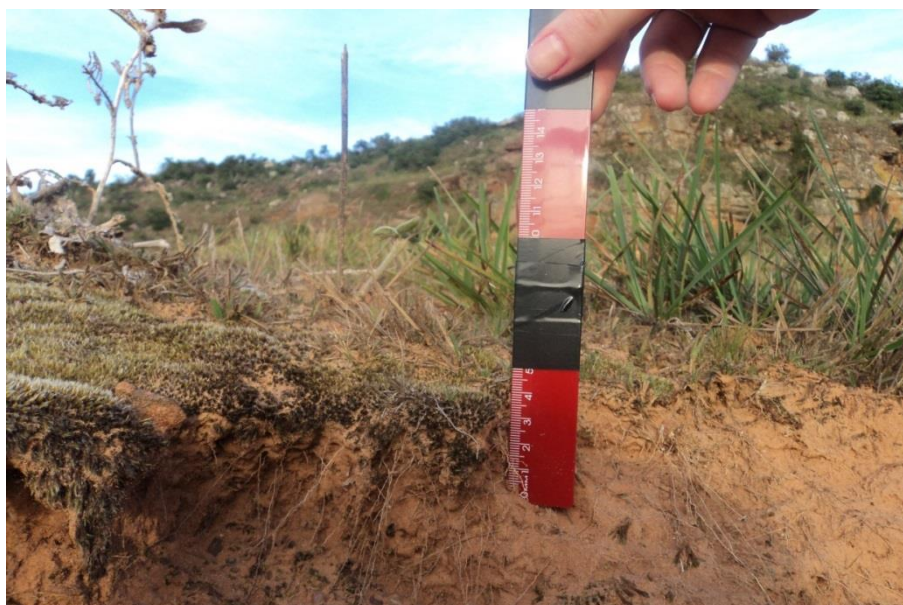


As crostas encontradas nas vertentes mais íngremes das ravinas apresentam o padrão pinacular (Figura 4.14), com altura variando entre 5cm e 15cm, dependendo do grau de evolução da crosta e sua posição na vertente. A localização da crosta e sua capacidade para reter umidade contribui significativamente para a evolução de tamanho.



**Figura 4.14 – Crostas pinaculares do areal Vila Kramer**

Os dados do terceiro local de coleta (cerro da Esquina), apresentam crostas onduladas em áreas altas do relevo com altura entre 3 e 5 cm (Figura 4.15) e em vertentes, crostas suaves com dominância de sucessão líquen e briófitas e altura de 0 – 1 cm.



**Figura 4.15 – Crostas de morfologia ondulada do areal Cerro da Esquina**

#### 4.4. Comparação biogeográfica de crostas biológicas de solo

Foi realizada a comparação biogeográfica através do coeficiente de similaridades florísticas, sendo o componente cianobactérias o único possível de ser comparado. As análises foram amostradas de acordo com o grau de proximidade geográfica, assim a primeira similaridade testada ocorreu entre os locais de coleta. A Tabela 10 trás as similaridades de cianobactérias.

As mesmas atestaram uma similaridade de 50% entre os gêneros dos pontos A e B da tabela com 2 gêneros comuns entre estas. A amostra atestada entre os gêneros dos pontos A e C geraram um percentual de 9% de similaridade, pois a amostra C apresenta um grande número de gêneros se comparada a A. Dentre estas, foi encontrado apenas um gênero comum. Ao compararmos as amostras B e C foi encontrado um índice de similaridade de 11% havendo apenas uma amostra comum.

**Tabela 1 - Tabela de similaridades florísticas de cianobactérias**

	Locais de Estudo		
	A	B	C
	Areal Deserto de São João	Vila Kramer	Areal Cerro da Esquina
<b>Gêneros</b>			
<i>Gloeothece</i>			1
<i>Lyngbya</i>			1
<i>Microcoleus</i>			1
<i>Porphyrosiphon</i>	1	1	
<i>Symplocastrum</i>	1		
<i>Hapalosiphon</i>	1		
<i>Calothrix</i>			1
<i>Scytonema</i>			1
<i>Stigonema</i>	1	1	1
<i>Schizothrix</i>			1
<i>Aphanothece</i>			1
<i>Pseudocapsa</i>			1
<i>Gloeocapsopsis</i>			1

Assim, pode-se concluir que apesar de estarmos em um local de pequena variação geográfica, existe uma forte similaridade de Sorensen entre dois locais de coleta, sendo estes também locais com baixa diversidade de gêneros, o que auxilia o aumento do índice. Quando

comparado um local com maior diversidade a um local de menor, este índice baixa significativamente.

Quando analisadas as comparações biogeográficas de cianobactérias entre a América do Sul e a área de estudo, encontrou-se um índice de 39% de similaridade, e de 33% quando comparada com a América do Norte. O índice foi considerado de boa expressividade.

Quando comparamos as similaridades florísticas existentes entre os locais de coleta nos areais e os demais estudos catalogados por Belnap *et al.* (2001), Tabela 11, encontramos uma similaridade de 27% com a Europa, 29% com a África, 25% com a Ásia, 28% com o Oriente Médio, 33% com a Austrália e 21% com a Antártica.

Assim, pode-se concluir que as maiores similares ocorreram entre as Américas e Austrália. Comparando os estudos de Belnap *et al.* (2001) ao trabalho, podemos observar que a área de menor similaridade florística com as demais são dos gêneros da América do sul. Acredita-se que o mesmo ocorre devido a baixa quantidade de trabalhos produzidos na América sobre Crostas.

Segundo o trabalho de afinidade florística de Belnap *et al.* (2001), para cianobactérias, a América do Sul possui suas maiores similaridades com Antártica, Austrália, África, Ásia e Europa.

Apesar dos índices parecerem baixos, estamos comparando apenas alguns exemplares da América com os demais continentes. Desta forma, considera-se satisfatório o resultado encontrado.

Os gêneros encontrados em quase todos os continentes de estudo foram *Calothrix*, *Lyngbya*, *Microcoleus* e *Schizothrix*. Os gêneros *Symplocastrum* e *Hapalosiphon* foram adicionados a Tabela 11 e são dados encontrados no local de coleta areal deserto de São João, considerando os índices encontrados no trabalho de relevância quando comparados ao quadro mundial.





#### 4.5. Análises físicas do solo

A região sudoeste do Rio Grande do Sul encontra-se sob influência de depósitos continentais resultados de climas áridos e semi-áridos passados. Estes geraram uma sequência de rochas do Mesozoico que constituem três formações das quais fazem parte do recorte da área de estudo. A Formação Guará, Formação Botucatu e Formação Serra Geral.

O estudo sedimentológico veio contribuir no reconhecimento dos sedimentos estudados e confirmar a qual formação pertence. Além disso, a análise da textura do solo é de fundamental importância para a compreensão do comportamento e manejo do solo.

Conhecer as proporções dos diferentes tamanhos de partículas existentes no solo é fundamental para entendermos o seu comportamento e melhor manejá-lo (BRADY, 2013). Durante a classificação do solo, a textura é muitas vezes a primeira e mais importante propriedade a ser determinada e a partir dela muitas conclusões importantes podem ser tomadas. Esta se diferencia entre si pelo tamanho de suas partículas (granulometria) e para isso, no Brasil, os solos podem ser agrupados em 13 classes texturais separadas por teores de areia, silte e argila.

O estudo granulométrico segundo Suguio (2003), enfoca sua interpretação por 3 distintos vieses como produto dos processos geradores de sedimentos: a distribuição granulométrica, os processos de transporte e as relações existentes entre os sedimentos encontrados.

Utilizando a escala de Wentworth as amostras apresentaram a granulometria predominante na escala 0.25 e 0.125, sendo correspondente a uma textura areia média a areia fina (Figura 4.16.). Além disso, as amostras do Cerro da Esquina apresentaram também um percentual significativo de granulometria 0.062 correspondente a uma parcela de silte grosso.

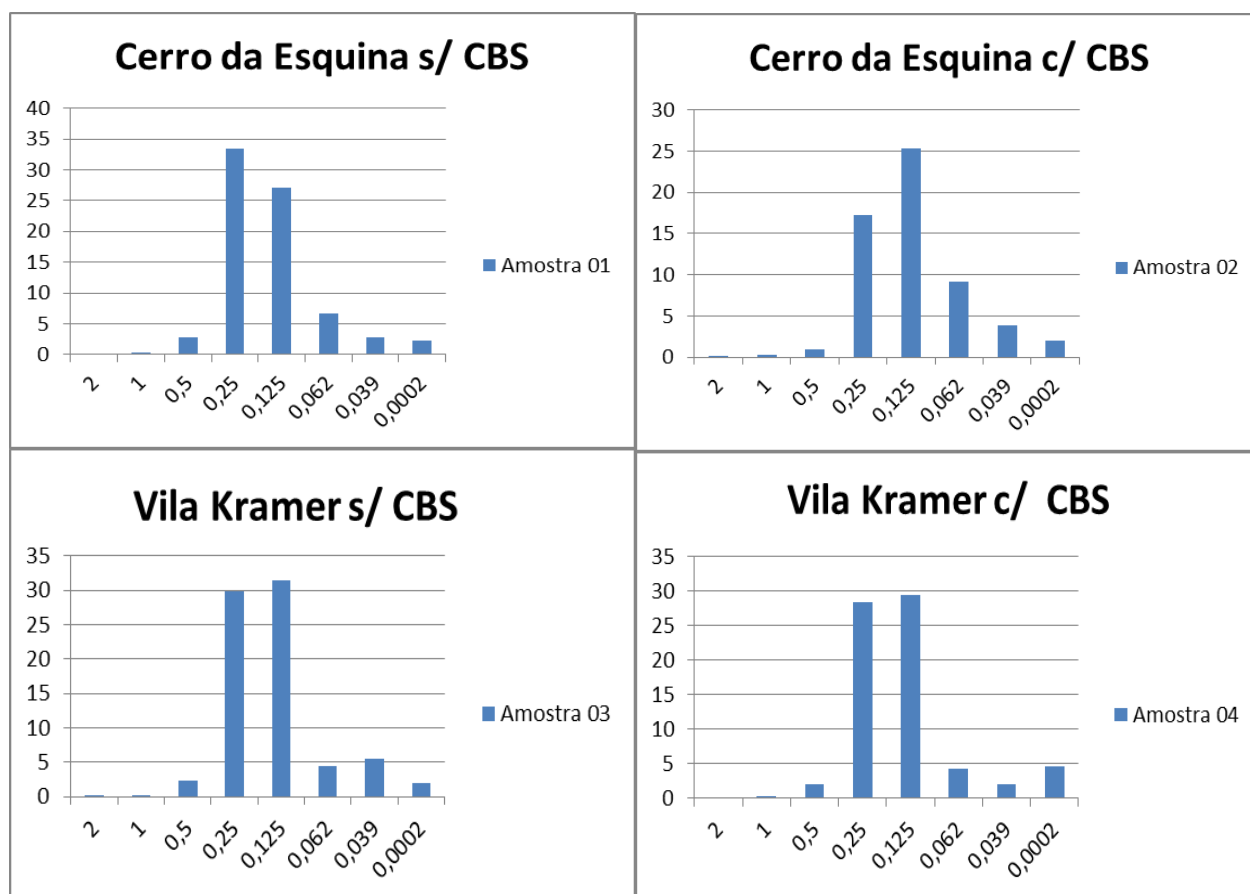


Figura 4.16 – Histograma de frequência granulométrica dos solos segundo a classificação de Wentworth.

Segundo a classificação por frequência simples, as amostras apresentaram uma porcentagem maior para partícula areia, sendo esta acima de 90% para todas as amostras (Figura 4.17).

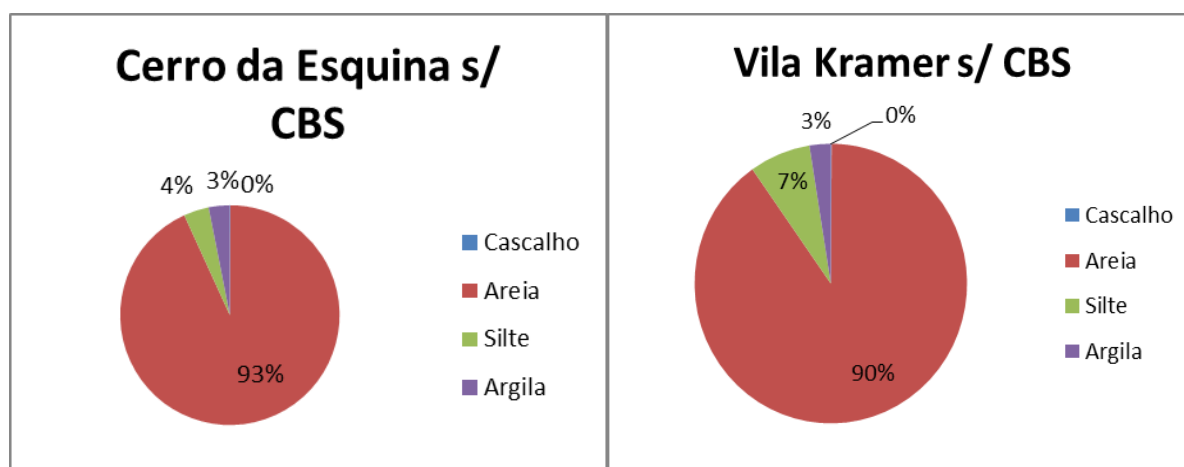


Figura 4.17 – Classificação de frequência simples.

Partindo das análises de SCHERER (2006) a granulometria condiz com a da Formação Guará, com granulometria fina a média e por vezes com aspecto mais fino com matriz argilosa. Segundo as análises do autor, a mesma é composta principalmente por quartzo e, subordinadamente, por feldspatos, sendo caracterizada por arenitos de cor bege e esbranquiçados.

A textura areia caracteriza solos arenosos que têm por propriedade serem mais permeáveis devido a sua macroporosidade. Essa característica configura solos que secam mais rapidamente, pois a passagem da água entre os poros é mais rápida e alcança camadas mais profundas, contribuindo para maior perda de nutrientes.

Quando analisada a densidade do solo utilizou-se o processo gravimétrico no qual a água está associada a determinada massa, assim o material úmido é pesado, seco em estufa a uma temperatura 105°C por cerca de 24h e novamente pesado. A diferença de peso representa a água no solo.

O percentual de umidade encontrada entre a diferença das amostras se apresentou bastante pequeno. Isso expressa um solo pouco úmido, seco e com baixa capacidade de reter umidade. Tais características são típicas de textura arenosa.

Segundo Streck (2008), solos com teores elevados de areia e silte, por apresentarem menor resistência a desagregação são mais suscetíveis à erosão pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial de águas. Sendo assim, a textura afeta muitas propriedades químicas e físicas do solo como a capacidade de troca catiônica (CTC), a retenção de água, infiltração da água e erodibilidade.

A morfometria compreende a medida da forma e arredondamento das partículas, fornece informações sobre os agentes e ambientes deposicionais. Dependendo do agente de transporte, a composição química e mineralógica do fragmento também é muito importante. As análises foram realizadas utilizando a tabela de Shepard 1967, como parâmetro. A tabela de Shepard (1967) refere-se às 6 classes de rolamento, (muito angular; angular; sub-angular; sub-rolado; rolado; bem rolado). definidas por Powers (1953).

As análises morfooscópicas foram realizadas nos dois principais padrões granulométricos 0.250 mm e 0.125 mm da escala Wentworth. Quanto o grau de arredondamento, foram encontrado nos dois locais de coleta grãos bastante homogêneos com grãos subarredondados e subangular sendo o predomínio de subarredondados para 0.250 mm (Figura 4.18).

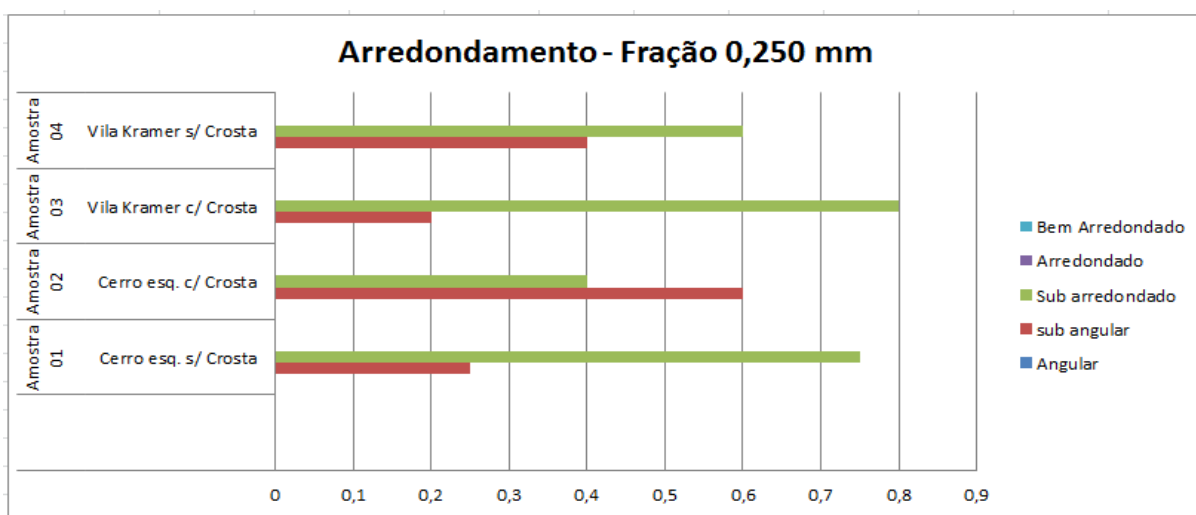


Figura 4.18 – Classificação de Arredondamento fração 0.250mm.

Para a fração 0.125mm foi encontrado um padrão bastante homogêneo com grãos subarredondados e subangular sendo o predomínio de subarredondados (Figura 4.19), destacando a amostra 03 como a única com predomínio Subangular em ambas as frações.

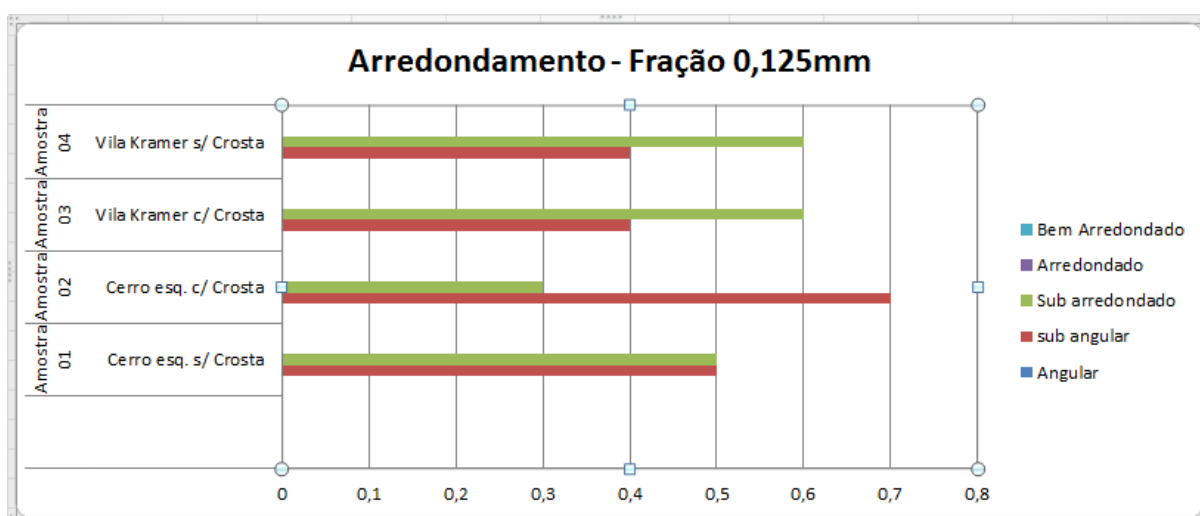
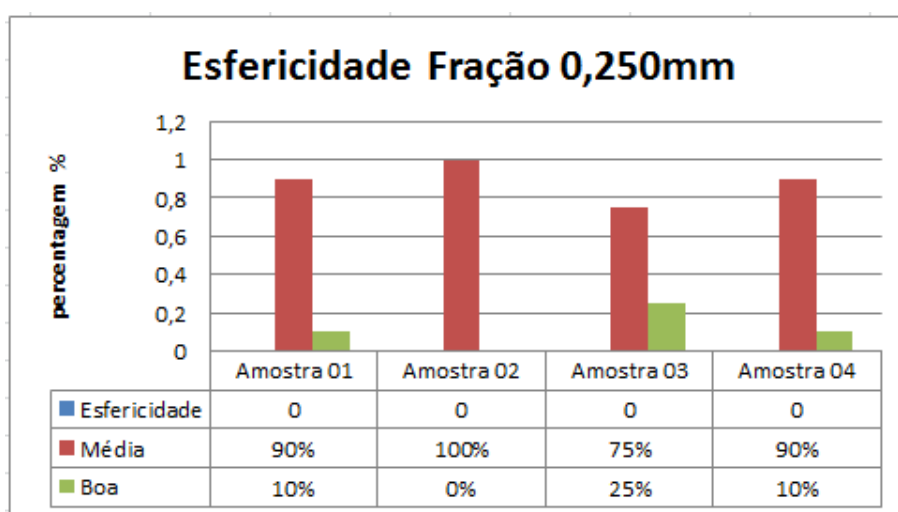


Figura 4.19 – Classificação de Arredondamento fração 0.125 mm.

Segundo Suguio (2003), estudos mostram que o grau de arredondamento aumenta com a distância de transporte mais rapidamente no início e mais lentamente nas fases finais. Claro, tal fator depende do material envolvido e das particularidades do ambiente rio ou praia.

De acordo com o material analisado, as frações subarredondados e subangular evidenciam uma distância média entre o material fonte (rocha desgastada) e o pacote de sedimentos amostrado. Desta forma o material de origem encontra-se próximo ao local de coleta. Pelo formato dos grãos tenderam a ser alongados ou em forma de bastão e os mesmos evidenciam a ser de ambiente fluvial.

As esfericidades correspondem a uma medida comparativa entre uma partícula sedimentar e uma esfera. Assim a esfericidade predominante em todas as amostras foi de média a boa. Na fração de partícula 0.250mm (Figura 4.20) ocorreu uma predominância na esfericidade média nas quatro amostras.

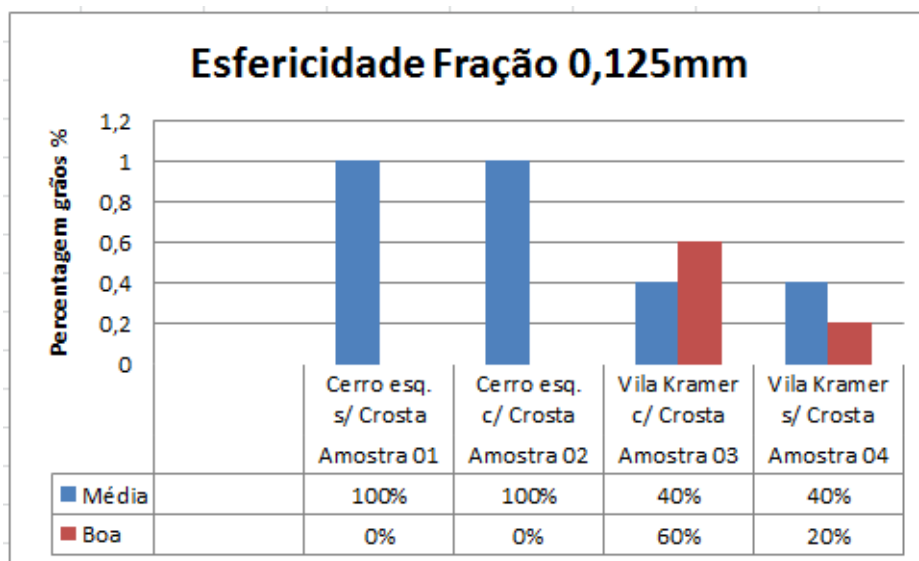


**Figura 4.20 – Classificação de esfericidade do grão fração 0.250 mm**

Contudo na esfericidade da fração 0.125mm (Figura 4.21) na amostra Cerro da Esquina ocorre uma predominância da esfericidade média e na amostra vila Kramer, um maior equilíbrio entre as esfericidades médias e boa, sendo que na amostra 03 a esfericidade boa é predominante, enquanto na amostra 04 a esfericidade media predomina.

A propriedade de partículas arenosas procura expressar o grau de aproximação da forma do grão com a de uma esfera perfeita, refletindo as condições de deposição no momento da sedimentação com o aumento do desgaste e quebra durante o transporte. Grãos

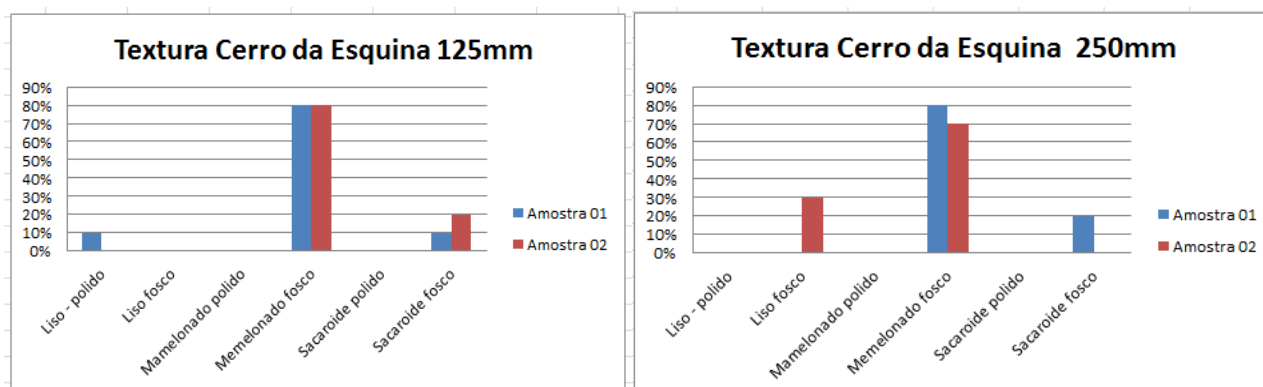
de areia tornam-se mais e mais esféricos e a esfericidade aumenta com o aumento do tamanho do grão. Entretanto a esfericidade dos grãos de quartzo em arenitos depende de sua origem. Se derivado diretamente de rochas cristalinas tende a ser altamente não esférico, angular com embaiamentos e fraturas e se derivado de rocha sedimentar de origem eólica, os grãos poderão ser mais esféricos e muito bem arredondados.



**Figura 4.21 – Classificação de esfericidade do grão fração 0.250 mm**

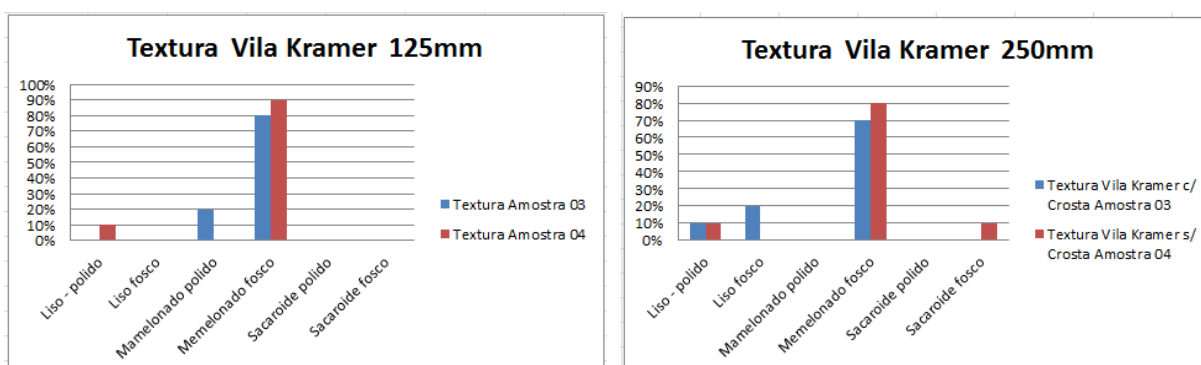
A maturidade textural do grão é relativa aos aportes da energia mecânica, que promovem o grão de seleção dos sedimentos. Em ambientes deposicionais indica o tipo de energia empregada. Desta forma ambientes com alta energia geram depósitos de material grosseiro e bem selecionados, já em ambientes de baixa energia geram depósitos de ambientes finos e mal selecionados. Assim um ambiente bem selecionado possui poucas classes texturais ao contrário dos mal selecionados.

No ponto de coleta Cerro da Esquina (Figura 4.22), observamos a textura Mamelonada fosco com médias de 80% como predominante seguida em menor expressão de grãos sacaroides fosco com médias de 20% em ambas as frações de grãos. Foi encontrado grãos lisos polidos em uma das amostras, porém esta representa apenas 10%.



**Figura 4.22 – Classificação da textura no ponto Cerro da Esquina**

No ponto de coleta Vila Kramer (Figura 4.23) foi observada a predominância da textura Mamelonada fosco com médias de 80% como predominante seguida em menor expressão de grãos sacaróides fosco com médias de 10% em ambas as frações de grãos. Foi encontrado grãos lisos foscas 20% e polidos 10% em ambas amostras e mamelonados polidos com 20%.



**Figura 4.23 – Classificação da textura no ponto Vila Kramer**

Suguió (2003), convencionou que os grãos de areia de origem eólica apresentariam superfícies foscas e que os de origem subaquosa teriam superfícies lisas e polidas. Desta forma a amostra Cerro da Esquina apresenta material predominantemente fosco, de transporte eólico.

Scherer *et al.*, (2006), descrevem a presença da alternância de ambientes deposicionais eólicos e fluviais na Formação Guará, devido à associação de fases de arenito com estratificação cruzada relacionados à existência de paleodunas, arenitos com estratificação horizontal e a relação da existência de lençóis de areia, siltitos e arenitos com grânulos típicos de canais fluviais.

Segundo as análises de Scherer para a Formação Guará, a morfoscopia ótica amostra grãos foscos e poucos trabalhados, essencialmente sub-arredondados á angulares, com raríssimos grãos polidos, o que nos evidencia estarmos trabalhando sobre duas áreas de Formação Guará.

As análises da amostra Cerro da Esquina, que é um depósito de rampa, revelaram material de menor esfericidade devido a proximidade do material de origem no topo do relevo com o depósito. A energia empregada na seleção do material foi mediana, pois a textura mamelomar amostra grãos que sofreram e sofrem constantes mudanças. Isto também fica evidente quando o quesito esfericidade é ponderado devido a este possuir uma esfericidade média. O material por ser predominantemente fosco tem sua origem pelo transporte eólico.

As análises da amostra Vila Kramer, por ser uma feição de interface entre terraços fluviais e depósitos de rampa, evidenciaram um material de alta energia devido a maior distância e trabalhamento do material evidenciados pela textura mamelonar em predomínio, mas também lisa e esfericidade média a boa. Por ser um ambiente de transição foi possível identificar um predomínio de grãos foscos, mas com presença de grãos polidos, contudo estes em menor expressividade.

#### **4.6. Mineralogia do solo**

No processo de formação dos solos, os minerais constituintes das rochas são a base fundamental sobre o qual se desenvolverá o intemperismo. De acordo com a sua formação os minerais podem ser classificados em primários, secundários, pretéritos e residuais (ZANARDO e MARQUES JUNIOR, 2009). Os minerais primários são os formados junto na mesma condição que a rocha, enquanto os secundários são o produto da ação do intemperismo sobre os minerais das rochas.

Os Argilominerais têm expressiva importância no solo, uma vez que afetam as propriedades físicas (textura, estrutura, consistência, permeabilidade, expansão e contração, etc.) e as propriedades químicas (disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions e ânions, pH, etc.), tais propriedades dos Argilominerais decorrem principalmente de seu pequeno tamanho de partícula (propriedade coloidal), elevada área superficial e reatividade. (KÄMPF *et al.* 2012).



Os minerais silicatos ou as argilas silicatos sofrem alterações mineralógicas inicialmente sobre os minerais primários os quais tendem a alterar os minerais secundários. Dentre os agentes intempéricos o principal é a água. Ela atua como agente de dissolução, como solvente e reagente da maioria das soluções (FONTES, 2012).

Assim os diferentes tipos de hidrólise permitem a formação dos argilominerais, No processo de bissialitização o fluxo de água é pouco intenso, a lixiviação é fraca e a dessilicação é limitada, ocorrendo hidrólise parcial, o que causa a concentração de Silício suficiente para a formação de argilominerais do tipo 2:1 (ex: Vermiculitas e Esmectitas) com parte dos cátions básicos permanecendo no sistema e ocupando as camadas dos argilominerais. No processo de monossialitização o fluxo de água é moderado, a lixiviação se acentua e a dessilicação é moderada permitindo a formação de argilominerais 1:1 (ex. caulinita), (KÄMPF *et al.*, 2012).

Quanto à mineralogia, os difratomas mostram a predominância de quartzo em todas as amostras analisadas. As amostras também apresentaram argilominerais 1:1 como a Caolinita e argilominerais 2:1 como a Ilita.

A Caolinita é um argilomineral com estrutura de camadas do tipo 1:1 com estrutura de filossilicato, formados pelo empilhamento regular de folhas de silicato tetraédricas e folhas de hidróxido de alumínio octaédricas. São argilas não expansivas, com distância basal de 7.2 Å, cristais lamelares hexagonais (l: 0,3 a 3µm, espessura: 1/3 a 1/10 l) e área superficial específica de 30m<sup>2</sup>/g. Quanto à composição química, as Caolinitas são do tipo T-O dioctaédricas de composição aluminosa subdividida em quatro polimorfos: caolinita, diquita, nacrita e haloisita, sendo as trioctaédricas de composição magnésiana e ferrosa (BRADY & WEIL, 2013).

É um mineral comum em solos, sendo predominante da fração argila de solos em estágio de intemperismo avançado. Devido à disposição planar dos argilominerais, estes apresentam ajustes face a face formando macroestrutura em blocos. Possui reduzido espaço entre as camadas para penetração de moléculas de água e íons.

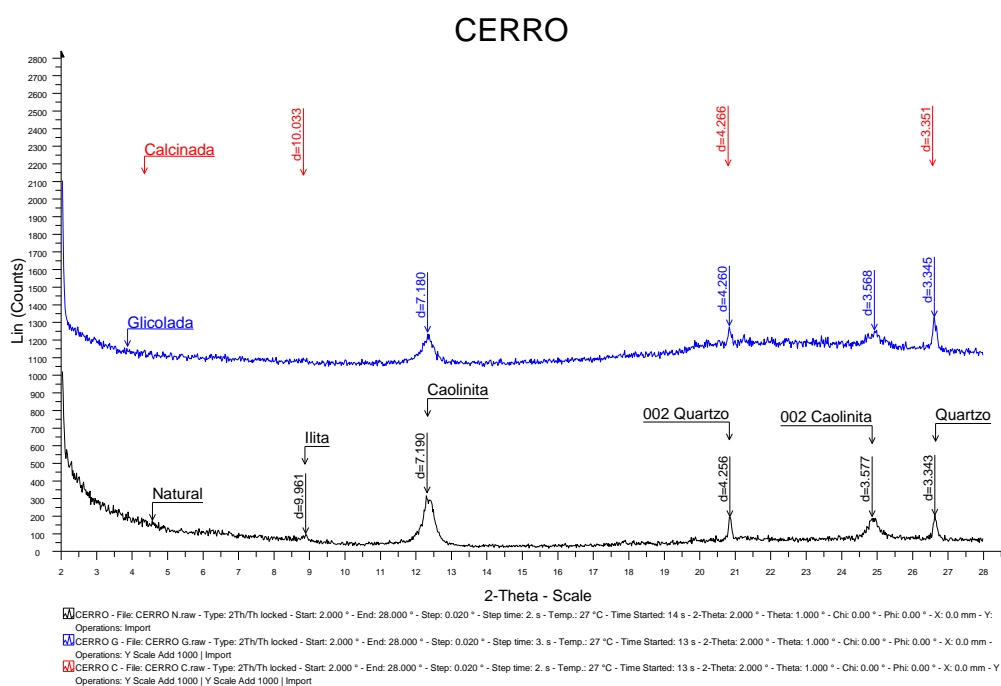
São dominantes em solos ácidos e o arranjo macroestrutural é responsável por maiores valores de densidade do solo, boa agregação, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade segundo, Kämpf *et al.*, (2012).

A Ilita é um argilomineral com estrutura de camadas do tipo 2:1 parcialmente expansivo, com distância basal de 10 Å, cristais lamelares (l: 0,1 a 2µm, espessura: 1/10 l) e área superficial específica de 30m<sup>2</sup>/g.

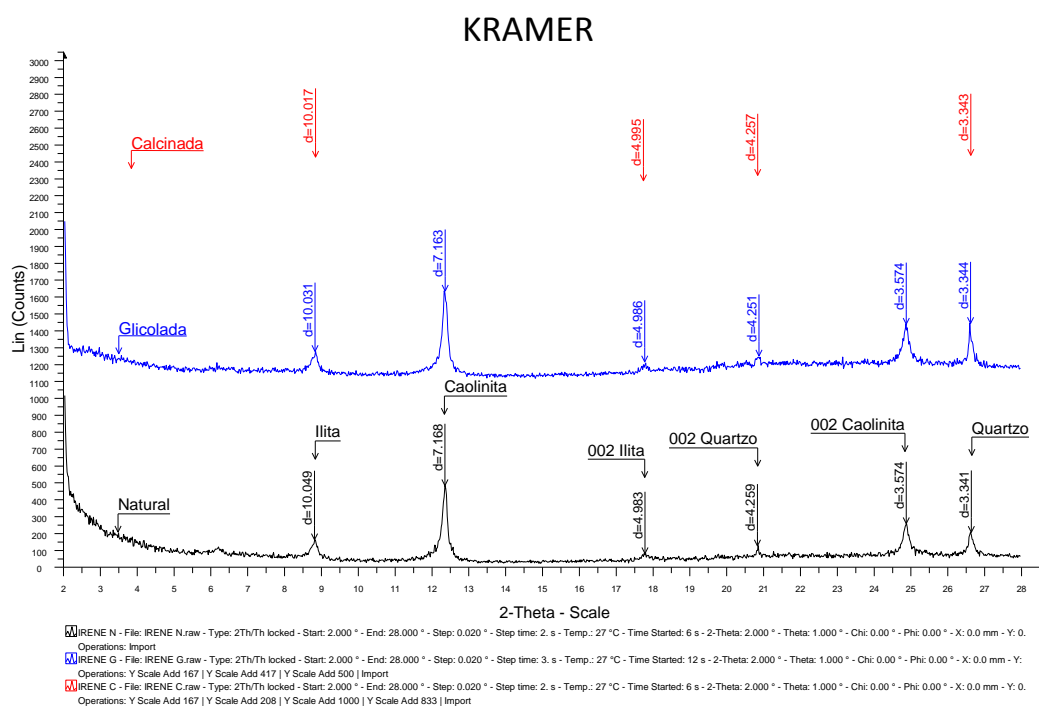
Apresenta rigidez das ligações entre camadas e dificuldade à penetração de água e presença de íons K<sup>+</sup> com baixa expansão, adsorção de água e plasticidade. A fórmula química da Ilita difere da mica por apresentar menor teor de potássio e maior concentração água.

Quanto à composição química, o grupo das Ilitas é um argilomineral T-O-T, dioctaédrico com estrutura similar à mica potássica também apresentando o cátion de potássio entre as camadas dos tetraedros, mas com carga menor que àquelas na fórmula unitária de  $\approx -0.8$  a  $-0.95$  (devido à substituições de Si por AL nos tetraedros).

No perfil Cerro da Esquina (figura 4.24) e Vila Kramer (figura 4.25), a fração total permitiu a identificação de minerais primários das rochas que formaram o substrato. Dentre estes destacam-se os argilominerais que foram a Ilita e Caolinita, sendo a Caolinita o argilomineral predominante nas amostras do presente estudo. Considera-se importante salientar que os argilominerais, apesar de identificados representam muito pouco relativo ao material constituinte do solo.



**Figura 4.24 – Difratoograma dos minerais identificados na amostra Cerro da Esquina**



**Figura 4.25 – Difratoograma dos minerais identificados na amostra Vila Kramer**

## 4.7. Análises químicas

As análises químicas do solo revelam a composição química dos solos e a partir desta podemos comparar resultados e verificar a influência das crostas biológicas. Foram realizadas análises sobre o solo sem influência de crostas e de solo com a influência das crostas. Tais dados encontram-se dispostos na tabela 13. Entretanto, a fim de tornar a análise mais confiável, optou-se por comparativamente os dados de influência de crosta com o de outros trabalhos de análise química de solos da região de estudo.

### 4.7.1 pH

Nas áreas analisadas foi encontrado solo com pH (H<sub>2</sub>O) de 4,7. Assim, pode-se dizer que os centímetros superiores do solo são hiperácidos a muito ácidos. A acidez do solo é um fator restritivo ao tipo de vegetação que se adapta a ele. Nos areas encontramos solos igualmente ácidos, o que nos mostra a não interferência da existência de crostas para com o pH do solo.

A literatura internacional de crostas traz dados de pH muito diferentes, alcalinos e pH superior a 7,0 (Belnap *et al.*, 2003), por se tratarem de áreas desérticas. Tal dado nos faz concluir que o dado pH não é um fator limitante para a existência de crostas e que estas surgem tanto em solos alcalinos como solos ácidos, mas é uma importante propriedade química do solo particularmente em relação à disponibilidade de nutrientes e presença de elementos tóxicos.

#### **4.7.2. Matéria orgânica do solo**

Os solos são classificados conforme os seus teores de matéria orgânica de solos (MOS) Tabela 13, sendo reconhecidos como valores altos aqueles cujos teores de MOS são maiores a  $45 \text{ g kg}^{-1}$  (4,5%); de valores médios, de  $15 \text{ g}$  a  $45 \text{ g kg}^{-1}$  (1,5% a 4,5%); e de valores baixos aqueles com menos de  $15 \text{ g kg}^{-1}$  (1,5%) de MOS (EMBRAPA, 2011). Para solos arenosos, Souza e Lobato (2004), consideram as seguintes faixas para MOS em  $\text{g kg}^{-1}$ : Baixa  $< 8 \text{ g kg}^{-1}$ , média entre  $8 \text{ g kg}^{-1}$  e  $10 \text{ g kg}^{-1}$ , adequada entre  $11 \text{ g kg}^{-1}$  e  $15 \text{ g kg}^{-1}$  e alta  $> 15 \text{ g kg}^{-1}$ .

Quanto a MOS nos solos analisados variou de  $6,0 \text{ g kg}^{-1}$ , na camada de 0-20 cm sem crosta biológica, para  $16,0 \text{ g kg}^{-1}$ , nas camadas de 0-20 cm com crosta biológica nas amostras do areal Cerro da Esquina. Apesar do expressivo aumento de  $10,0 \text{ g kg}^{-1}$  entre as amostras a mesma continua sobre a classificação de teores baixos para Embrapa. Seguindo os parâmetros de Souza e Lobato (2004), para solos arenosos os solos sem presença de crostas encontram-se em uma faixa baixa e com crosta acrescentam o teor de MOS para uma faixa adequada. Mostrando assim a significância da crosta para a MOS em solos arenosos.

Tabela 3 - Atributos físicos, químicos das amostras de solo com e sem crosta.

Local	argila %	pH (H <sub>2</sub> O)	MOS	P	K <sup>+</sup>	Trocáveis			% de Saturação da CTC		Relações		
						Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al + H CTC	CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	mg/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>			%		mg/dm <sup>3</sup>		
<b>Cerro Esquina s/crosta</b>	14	4,6	6,0	3,1	9,0	0,8	0,2	0,1	0,8	0,2	2,0	9,0	4,3
<b>Cerro Esquina c/crosta</b>	12	4,7	14,0	1,8	10,0	0,9	0,2	0,1	0,9	0,2	2,0	8,0	3,9
<b>Vila Kramer s/ crosta</b>	14	4,7	2,0	1,3	6,0	1,0	0,2	0,1	1,0	0,2	2,0	13,0	7,0
<b>Vila Kramer c/ crosta</b>	13	4,7	4,0	0,9	10,0	1,0	0,2	0,1	1,0	0,2	2,0	8,0	3,9

Legenda: MOS – Matéria orgânica do solo; CTC - Capacidade de Troca de Cátions.

Nas amostras da Vila Kramer os índices variam de 2,0 g kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta biológica para 4,0 g kg<sup>-1</sup>, nas camadas de 0-20 cm com crosta biológica. O mesmo se mantém como índice de teores baixos, tanto para a classificação da Embrapa quanto para a classificação de Souza e Lobato (2004). Contudo, houve um aumento de 2 g kg<sup>-1</sup> entre as amostras.

Pode-se notar que os índices da primeira amostra foram mais significantes, pois tal amostra provém de uma crosta no topo plano de uma ravina. A segunda amostra provém de uma área localizada de uma porção mais inclinada, de uma vertente de uma ravina na qual ocorre maior escoamento superficial, menor infiltração de águas e maior perda de húmus. Com isso a concentração de matéria orgânica tende a ser maior na primeira amostra devido a estabilidade do relevo que favorece a infiltração e o acúmulo de húmus.

Os dados de matéria orgânica obtidos nas amostras do Cerro da Esquina sem crosta 6,0 g kg<sup>-1</sup> e com crosta 14,0 g kg<sup>-1</sup> e nas amostras da Vila Kramer sem crosta 2,0 g kg<sup>-1</sup> e com crosta 4,0 g kg<sup>-1</sup>. Mostram pequeno aumento de 8,0 g kg<sup>-1</sup> para Cerro da Esquina e 2,0 g kg<sup>-1</sup> para Vila Kramer. Quanto interpretado este aumento pelas condições do relevo, observa-se que o primeiro foi coletado em área completamente plana e o segundo sob influência da inclinação do relevo. CBS vêm sendo reconhecidas por terem grande influência sobre os ecossistemas terrestres (BUSCOT & VARMA, 2005), tendo potencial para proteger as superfícies do solo contra as forças erosivas Bowker *et al.* (2008) e Barger *et al.* (2006) mostram que existe perdas por escoamento superficial de C e N e que a perda de sedimentos é menor.

Então, comparando os dados à literaturas mencionadas acima pode-se verificar o acúmulo de MOS por auxílio das CBS não somente para com a formação da camada, mas também auxiliando em sua proteção, variando de acordo com a disposição no relevo.

Comparando os dados deste trabalho com os de Scopel (2012), em área de areal Neossolos Quartzarênico Órtico, localizado em encosta de rampa no município de São Francisco de Assis em amostra coletada de local semelhante a este trabalho, o resultado de MOS foi 0.6 % dado idêntico ao encontrado na mesma área sem crosta nesse trabalho.

Apesar de estudos sobre carbono e fixação de nitrogênio (Belnap, 2002; Beymer and Klopatek, 1991; Brankatschk *et al.*, 2012) individualizarem suas análises de crostas quanto a obtenção de aumento de Nitrogênio ou Carbono é possível compreender que a entrada de Nitrogênio no sistema solo por CBS está direcionado a dominância de CBS por líquens e algumas cianobactérias como *Microcoleus*, *Nostoc* e *Scytonema* (Belnap, 2002, 2003; Brankatschk *et al.*, 2012). A dominância das espécies de briófitas (musgos) e algumas cianobactérias proporcionam melhores condições para o aumento do elemento carbono no sistema (Beymer and Klopatek, 1991; Evans and Lange, 2003) Assim entende-se que as CBS diferenciam sua entrada de material de acordo com a diferente composição, sendo a entrada de material por crostas dominantes por líquens maior que o de crostas dominantes por musgos e cianobactérias como ocorre na área deste estudo.

De tal modo pode-se concluir que as crostas biológicas contribuem para o aumento da matéria orgânica do solo, sendo este aumento mais significativo quando não sofre influência da inclinação do relevo. A matéria orgânica é muito importante, pois ela é um componente fundamental do solo e a mesma aumenta a estabilidade do solo.

#### **4.7.3 Macro elementos do solo**

Os teores de Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Alumínio tiveram pouca mudança nas amostras com e sem presença de crostas biológicas. Entretanto, iremos discutir alguns desses dados abaixo.

Quanto à presença de Fósforo, na primeira amostra Cerro da Esquina os valores médios de Fósforo variaram de 3,1 mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta, a 1,8 mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20cm com crosta, o que variou de um teor baixo para um muito baixo segundo a classificação da Embrapa (1997).

A segunda amostra (Vila Kramer), apresenta os valores médios de Fósforo variando de 1,3 mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta a 0,9 mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20cm com crosta. Ambas apresentaram um teor muito baixo segundo a classificação da Embrapa (1997).

Solos ácidos têm características de deficiência em fósforo. Pelos dados apresentados pode-se observar que as crostas biológicas se nutrem dos teores naturais de Fósforo do solo, nutrindo as briófitas das crostas.

Os teores de Potássio (K) na primeira amostra do Cerro da Esquina os valores médios variaram de 9 mg dm<sup>3</sup> na camada de 0-20 cm sem crosta a 10 mg dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20cm com crosta, o que variou de um teor baixo para um muito baixo segundo a classificação da Embrapa (1997).

Para os teores de Potássio na segunda amostra (Vila Kramer), os valores médios variaram de 6 mg dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta, a 10 mg dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20cm com crosta, o que variou de forma inexpressiva entre as amostras sem e com crosta.

Os índices de Cálcio (Ca) nas amostras não sofreram variação entre a ausência e presença de crosta apresentando índices de 0,2 cmol<sub>c</sub>/ dm<sup>3</sup> nas amostras do Cerro da Esquina e Vila Kramer sendo possível concluir que as crostas biológicas não influenciam sobre o macronutriente Cálcio (Ca).

Os índices de Magnésio (Mg) nas amostras também não sofreram variação entre a ausência e presença de crosta apresentando índices de 0,1 cmol<sub>c</sub> / dm<sup>3</sup>, nas amostras do Cerro da Esquina e Vila Kramer, sendo possível concluir que as crostas biológicas não influenciam sobre o macronutriente Magnésio (Mg).

Os solos das áreas de areas amostradas apresentam altos teores de Alumínio e o mesmo possui pouca variação entre a ausência e presença de crosta. Considerando apenas os teores de Alumínio, cerca de 1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> é considerado tóxico para a maioria das culturas, desta forma foi possível diagnosticar teores de Alumínio que variaram na primeira amostra de 0,8 cmol / dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta, a 0,9 cmol / dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm com crosta. Na segunda amostra de 1,0 cmol / dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm sem crosta, a 1,0 cmol / dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm com crosta.

#### **4.8 Análises de Nitrogênio e Carbono**

Solos áridos e semi-áridos são geralmente limitados em Nitrogênio (N), desta forma as crostas biológicas do solo podem muitas vezes serem importantes fontes de entrada de N. Por esta razão, é importante compreender os fatores que influenciam fixação e na liberação de N em crostas de solo.

Cerca de 70% do nitrogênio fixado por cianobactérias e cianoliquens é liberado imediatamente para solo e está disponível para os organismos associados, incluindo plantas



vasculares. Vários estudos têm relatado que a presença de crostas de solo aumenta em até 200% do teor de nitrogênio no solo (Rogers e Burns, 1994; DeFalco 1995; Harper e Belnap 2000). Além disso, análises de isótopos estáveis mostram que crostas de solo podem ser fontes dominantes de N para solos de deserto e algumas plantas (Evans and Ehleringer 1993; Evans and Belnap 1999).

Como já foi mencionado, o Carbono (C) e o Nitrogênio (N) são fatores essenciais para a nutrição das plantas, estabilidade de agregação do solo e controle de erosão. A diminuição dos estoques de carbono no solo pode torná-lo improdutivo, pois o carbono orgânico total (cot) é a principal fonte de Nitrogênio. Em geral a matéria orgânica do solo possui 58% de carbono e a degradação da matéria orgânica influi diretamente nos teores de Nitrogênio. Assim, as crostas biológicas de solo contribuem para a fixação de nitrogênio atmosféricos e carbono.

Quando levado em conta os dados sobre fixação de nitrogênio (N), o estudo em CBS de Belnap (2002) nos traz dados sobre entrada de nitrogênio em crostas sob dominância de cianobactéria durante dois anos de observação. Os dados levam em conta a temperatura local e a quantidade de N. Segundo estudo, os dados de nitrogênio variam de acordo com as estações sendo  $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para crostas de cianobactérias claras e  $1,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para crostas de cianobactérias escuras no inverno a  $0,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para crostas de cianobactérias claras e  $4,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para crostas de cianobactérias escuras.

Sobre a dinâmica do carbono a pesquisa de Dümig *et al.* (2013) nos traz dados sobre a entrada de carbono em CBS sob dominância musgo e cianobactérias em crostas com 17 anos de existência e 4 anos. Foi mensurado o carbono da granulometria  $63\mu\text{m}$ , e a amostra de 17 anos apresentou variação de carbono entre  $1,4$  e  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$  e as crostas com 4 anos apresentaram variação de carbono de  $1,5$  a  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ . Desta forma, tanto estudos de fixação de nitrogênio como dinâmicas de carbono exigem um certo período de acompanhamento das crostas que preferencialmente devem ser desde sua origem ou se possível as mesmas serem datadas. Esta pesquisa teve como intuito mensurar a atual contribuição de fixação de carbono nos sites experimentais, entretanto não foi possível saber a idade das crostas para melhor mensurar sua contribuição de Carbono ao solo e muito menos tempo hábil para um acompanhamento mais detalhadas das entradas de quantidades de Carbono.

A análise deste material se fez muito importante para gerar dados iniciais de referência de Carbono à crostas no sudoeste do Rio Grande do Sul. Sendo assim, os dados sobre Carbono e Nitrogênio das amostras encontram-se na Tabela 14.

**Tabela 4 - Atributos químicos de carbono e nitrogênio das amostras de solo com e sem crosta**

<b>Local</b>	<b>Carbono Orgânico</b>	<b>Nitrogênio TKN</b>	<b>C/N</b>
		% (m/m)	
<b>Cerro da Esquina s/CBS</b>	0,35	0,02	17,5
<b>Cerro da Esquina c/CBS</b>	0,81	0,02	40,5
<b>Vila Kramer s/ CBS</b>	0,12	0,01	12,0
<b>Vila Kramer c/ CBS</b>	0,23	0,02	11,5

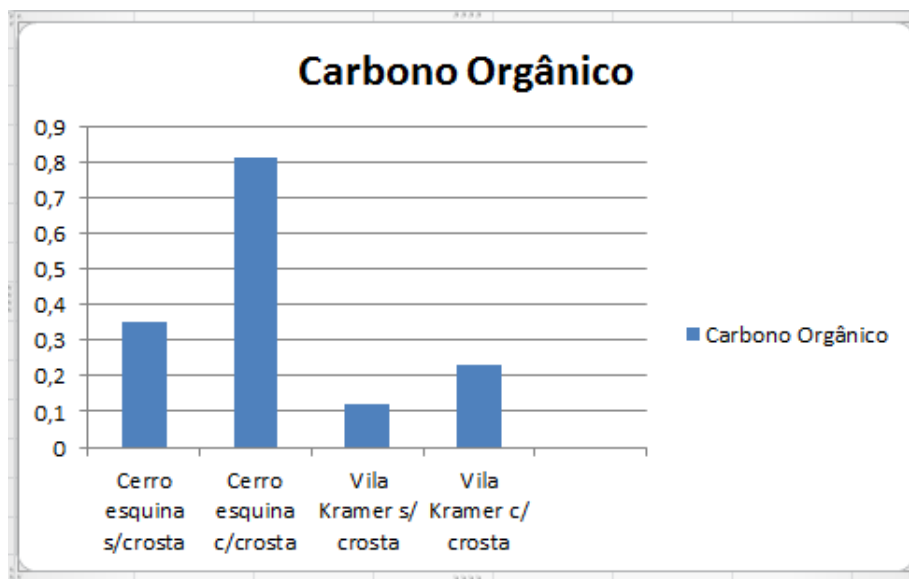
A amostra Cerro da Esquina apresentou os valores médios de Carbono orgânico 0,35%, na camada de 0-20 cm sem crosta, e 0,81% na camada de 0-20cm com crosta, mostrando um acréscimo de e 0,46 % Carbono na amostra com crosta.

A amostra Vila Kramer apresentou os valores médios de Carbono orgânico 0,12 %, na camada de 0-20 cm sem crosta e 0,23 % na camada de 0-20cm com crosta, mostrando um acréscimo de 0,11% de carbono na amostra com crosta.

Pode-se verificar que na primeira amostra o índice de carbono na amostra com crosta é bem superior à outra. Tal fator ocorre devido à posição da crosta no relevo, pois a crosta Cerro da Esquina encontrava-se na posição de topo de relevo, sendo uma crosta mais desenvolvida e sem visíveis perturbações.

Os valores encontrados para a amostra Cerro da Esquina (Figura 4.26) se fizeram bem representativos gerando mais que o dobro de Carbono entre as crostas, o que nos ressalta a significância da crosta para com a entrada do Carbono. Já a amostra Vila Kramer apresentou valores mais modestos com apenas o dobro de aquisição de carbono, contudo acredita-se que a diferença esteja na idade das crostas sendo a primeira mais antiga e a segunda bem mais nova. Desta forma, consideraram-se os dados expressivos e significativos para o estudo de Carbono, mostrando que as crostas realmente contribuem para com a entrada de carbono no solo dos areas do sudoeste do Rio Grande do Sul.

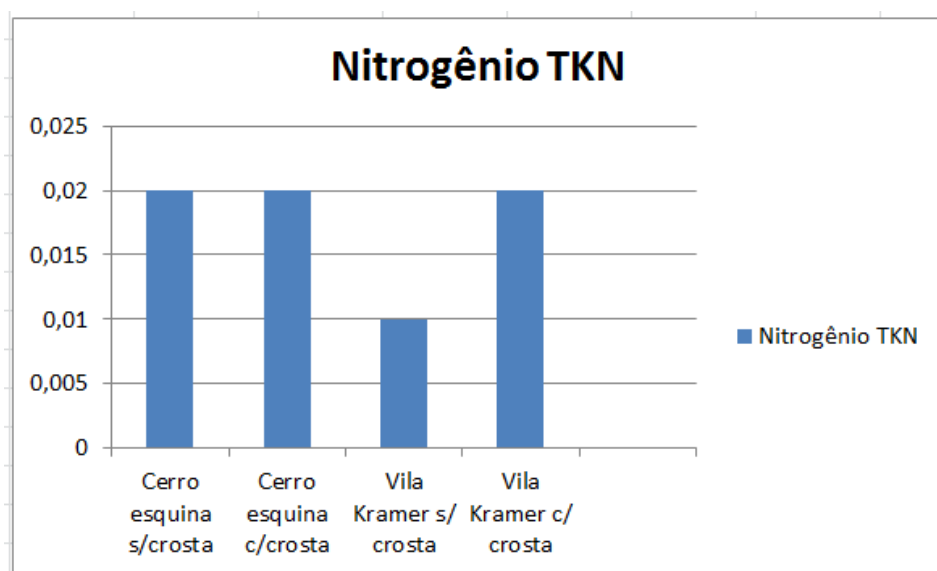
Os valores de Nitrogênio, tanto para amostra com crosta, como para amostra sem crosta são relativamente os mesmos não mostrando nenhuma grande significância com a nitrogenase. Entretanto, foi amostrada apenas a coleta de solo de uma crosta de alto índice de sucessão de musgo.



**Figura 4.26 - Comparativo dos índice de Carbono Orgânico.**

Comparando os dados com os da literatura, se observa que crostas com predominância de líquens e cianobactérias são mais significativas para dados de Carbono. Entretanto, infelizmente não foi encontrado trabalho com estudo de crostas com predominância de briófitas para comparação de dados.

Desta forma, os dados de Carbono (Figura 4.27) apresentaram-se inconclusivos para este estudo.



**Figura 4.27 - Comparativo dos índice de Nitrogênio TKN.**

#### **4.9 Influências das Crostas Biológicas no Solo**

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as crostas biológicas geram influências nos solos especialmente em relação à química, pois estas contribuem para o acréscimo de matéria orgânica e conseqüentemente a entrada de Carbono, e isto foi possível de ser visto em todas as amostras.

Tal relação se faz de extrema importância em solos tão arenosos com os dos areais que possuem sua entrada de nutriente tão limitada. A presença da cobertura vegetal de crosta com certeza modificou a infiltração nos areais recobertos por crostas o que proporcionou o aumento umidade nestas áreas e a conseqüente camada de matéria orgânica, sendo tal fator benéfico e uma contribuição direta das crostas no solo.

Quanto à estabilidade do solo, pode-se concluir que a presença dos rizoides dos musgos e das hifas dos fungos seja um fator importante a se considerar na prevenção da erosão, pois além de ampliarem a estabilidade do solo nos locais onde são encontrados também contribuem para a diminuição da erosão se comparado com o solo exposto. Obviamente, o formato e o estágio de evolução da crosta podem modificar este tipo de contribuição em índices mais expressivos ou não. Entretanto, tal fator necessitaria de maior estudo para comparar a eficiência das crostas perante suas morfologias.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível traçar um perfil das crostas biológicas de solos encontradas nos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul, que vem suprir uma lacuna nesse tipo de dados até o início desta pesquisa.

Segundo a composição florística das CBS, os resultados obtidos nos mostram uma maior ocorrência de cianobactérias filamentosas, tanto homocitadas como heterocitadas, sendo o gênero *Stigonema* sp. o mais presente em todas as amostras. Os líquens se dividiram em dois grandes grupos, *Rizocarpon* e *Cladonia*, sendo os gêneros comuns a áreas de campos e já previamente reconhecidos em estudos dessa região. Quando levadas em consideração as briófitas, nas quais encontramos os musgos foram considerados a predominância do gênero *Campylopus* sp.

A sequência de sucessão mostrou que as CBS dos areais apresentam sempre o componente cianobactéria em sua composição como estágio inicial, mesmo que este não seja perceptível ao olho nu. Dentre as áreas observadas, a sequência se fez inicialmente com manchas pretas a verdes de cianobactérias, evoluindo para tapetes de musgos em seu estágio mais complexo, no qual se pode considerar como estágio clímax da crosta e a mesma passa a dar suporte para espécies superiores como gramíneas.

No quesito sequências de sucessão estas ocorrem nas ravinas das bordas em direção ao centro partindo de cianobactérias evoluindo para crostas musgos e nas vertentes foi encontrado as cianobactérias evoluindo para crostas líquens.

O predomínio de musgos também foi observado em determinados pontos nas áreas de coleta como nos degraus nas encostas e as mesmas apresentam uma morfologia bastante variadas com comportamento em degraus.

Comparando as três áreas de estudo, observou-se diferentes morfologias de crosta, nos quais os padrões de estudo comparados por Belnap (2006) para áreas áridas não pode ser aplicado à realidade subtropical do Rio Grande do Sul. Optou-se por adaptar o estudo de desertos quentes e frios de Belnap (2006) com suas quatro classificações para o RS, em que as quatro são possíveis de acordo com o grau de evolução da crosta, pois as mesmas evoluem de forma muito rápida comparadas às crostas de ambientes desérticos e secos. Tal processo se

faz possível mediante a disponibilidade hídrica que contribui fundamental para a evolução das crostas.

Desta forma as morfologias suave (0-1cm) e rugosa (1-3cm) foram consideradas para o padrão de evolução inicial. Já a pinacular (3-15cm) e ondulada (3-5cm) foram morfologia média a mais desenvolvidas.

A comparação biogeográfica através do coeficiente de similaridades florísticas para o componente cianobactérias mostrou uma similaridade de 50% entre os pontos de coleta A (Areal Deserto de São Joao) e B (Areal Vila Kramer) e entre os mesmos com o areal C (Areal Cerro da Esquina) uma similaridade de sorensen menor que 9% para A e C e 11% entre B e C. Assim existe uma similaridade forte entre dois locais de coleta, sendo estes também locais com baixa diversidade de gêneros o que auxilia o aumento do índice.

Os dados de matéria orgânica do solo também variaram, entretanto os mesmos variam também entre si o que considerou ser possível devido as diferentes posições que ocupavam no relevo, e a amostra de relevo inclinado pode ter sofrido perda de matéria orgânica devido a energia cinética.

Os estudos de Nitrogênio e Carbono do solo revelaram pouca relevância para dados de Nitrogênio entre as amostras e o solo. Entretanto, os dados de carbono foram bem expressivos, apresentando valores médios desse elemento.

Quando relacionada às feições geomorfológicas com as amostras observa-se uma semelhança entre estas que pode ter como fator a geomorfologia.

Desta forma podemos resumir que as crostas dos Areais possuem uma complexidade de organismos que variam entre cianobactérias, líquens e musgos estando as CBS completos em sua etapa clímax ou apenas um dos seus componentes quando iniciais, podendo assumir diversas morfologias dependendo da sua etapa evolutiva e posição no relevo.

Influenciando de forma positiva a MOS e a entrada de carbono no solo, as CBS contribuem para o maior aporte de macronutrientes requeridos pelas espécies locais arbustivas.

A título de contribuições finais, enfatiza-se a extrema importância do assunto e a necessidade de continuidade dos estudos dessas comunidades no Brasil, tendo em vista o potencial dos próprios areais como focos para a compreensão das múltiplas interações entre essas comunidades e outros componentes dos meios biótico e abiótico locais.

## REFERÊNCIAS

- ABD-ALLA, M.H.; MAHMOUD, A.L.E. Cyanobacterial biofertilizer improved growth of wheat. **Phyton**, 34: 11-18, 1994.
- AB'SABER, A.N. Domínios morfoclimáticos na América do Sul. Primeira aproximação. **Geomorfologia**, (52), 1977.
- AB'SABER, A. N. A revanche dos Ventos - Derruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. *Ciência e Ambiente*. 11: 53-64, 1995.
- A phycology group at the Department of Botany, University of South Bohemia, České Budějovice: <http://www.phycology.cz/>. Acesso em 25 de setembro de 2014.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, J.L.M.G.; SAPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22,n (6): 711–728, 2014.
- BARROSO, G.M. Sistemática de angiospermas do Brasil, Viçosa, 2 ed., **MG: UFV**, 1, 2004.
- BARGER, N.N; HERRICK, J.E; VAN ZEE, J; BELNAP, B. Impacts of biological soil crust disturbance and composition on C and N loss from water erosion. **Biogeochemistry**, 77: 247–263, 2006.
- BASTOS, C.J.P; ALBERTO, B.; BOAS, S.B.V. Bryophytes from some caatinga áreas in the state of Bahia (Brazil). **Trop Bryology**, 14: 69-75, 1998.
- BATES, S.T; NASH III, T.H; SWEAT, K.G.; GARCIA-PICHEL, F. Fungal communities of lichen-dominated biological soil crusts: Diversity, relative microbial biomass, and their relationship to disturbance and crust cover. **Journal of Arid Environments**,. 105:197-210, 2010.
- BEYMER, R. J; KLOPATEK, J. M.: Potential contribution of carbon by microphytic crusts in Pinyon-Juniper Woodlands, **Arid Soil Res. Rehab.**, 5: 187–198, 1991.
- BELNAP, J.; GARDNER, J.S. Soils microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. **Great Basin Naturalist**, 53: 40-47, 1993.
- BELNAP, J. Surface disturbances: their role in accelerating desertification. **Environmental Monitoring and Assessment**, 37: 39-57, 1995.
- BELNAP, J.; HARPER, K.T. The influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, 9: 107-115, 1995.
- BENALP, J.; ELDRIDGE, D.; KALTENECKER, J.R.; LEONARD, S.; ROSENTRETER, R.; WILLIAMS, J. Biological soil crusts: ecology and management. Denver, **Technical Reference 1730-2**, USDI-BLM, 2001.

BELNAP, J.; BÜDEL, B.; LANGE, O.L. Biological soil crusts: structure, function, and management. Berlin, **Springer-Verlag**, 2001, 503p.

BELNAP, J.; LANGE, O.L. Structure and functioning of biological soil crusts: A synthesis. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag. 150.: 471-479, 2001.

BELNAP, J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. **Biol. Fertil. Soils** 35: 128–135, 2002.

BELNAP, J.; BÜDEL, B.; LANGE, O.L. Biological soil crusts: structure, function, and management. Berlin, **Springer-Verlag**, 2003, 503p.

BELNAP, J. Comparative structure of physical and biological soil crusts. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag, 177–191, 2003.

BELNAP, J. Factors influencing nitrogen fixation and nitrogen release in biological soil crusts. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag, 241–261. 2003.

BELNAP, J. Microbes and microfauna associated with biological soil crusts. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag, 167–174, 2003.

BENALP, J. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. **Hydrol. Process**, 20: 3159–3178, 2006.

BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. Gênero de Algas de águas Continentais do Brasil. **Chave para identificação e descrição**, Ed. Rima. 2ª edição, 2006.

BIGARELLA J.J. & MOUSINHO, M.R. **Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas**. Bol. Paran. Geogr. (16/17), 153-197, 1965.

BOWKER, MA; KOCH, GW; BELNAP, J; JOHNSON, NC. Nutrient availability affects pigment production but not growth in lichens of biological soil crusts. *Soil Biology & Biochemistry*. (40): 2819-2826, 2008.

BRADY, N.C. *Natureza e Propriedade dos Solos*, Rio de Janeiro, editora livraria Freitas Bastos, , 5ª ed., 1979.

BRADY, N.C. WEIL, R.R. *Elementos da Natureza e Propriedade dos Solos*, Porto Alegre, editora Bookman, 3ª ed., 2013.

BRANKATSCHK, R; FISCHER, T; VESTE, M; ZEYER, J.: Succession of N cycling processes in: **Biological soil crusts on a Central European inland dune**, *FEMS Microbiol Ecol.*, (83): 149– 160, 2012.

BOWKER, M.A.; BENALP, J.; DAVIDSON, W.; PHILLIPS, S.L. Evidence for Micronutrients Limitation of Biological soil Crusts: Importance to Arid-Lands Restoration.



**Ecological Applications**, (15): 1941-1951, 2005.

BOWKER, M.A.; MAESTRE, F.T.; ESCOLAR, C. Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, (42): 405-417, 2010.

BOOTH, W.E. Algae as pionners in plant sucession and the importance in erosion control. **Ecology**, 22: 38-46, 1941.

BÜDEL, B. Synopsis: comparative biogeography of soil-crust biota. **Ecological Studies 150**, Berlin, Springer, 141–152, 2001.

BÜDEL, B. Synopsis: Comparative biogeography and ecology os soil-crust biota. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag. 203-213, 2003.

BÜDEL, B. Microorganisms of Biological Crusts on Soil Surfaces. **Springer**, 307-323, 2005.

BÜDEL, B.; COLESIE, C.; GREEN, T.G.A.; GRUBE, M.; LAZARO-SUAU, R.; LOEWEN-SCHNEIDER, K.; MAIER, S.; PEER, T.; PINTADO, A.; RAGGIO, J.; RUPRECHT, U.; SANCHO, L.; SCHROETER, B.; TÜRK, R.; WEBER, B.; WEDIN, M.; WESTBERG, M.; WILLIAMS, L.; ZHENG, L. Improved appreciation of the functioning and importance of biological soil crusts in Europe: the Soil Crust International Project (SCIN). **Biodivers Conserv**: publicado online em março de 2014. Acesso em: 12 Agosto de 2014.

BUSCOT, F.; VARMA, A. (Eds). Microorganisms in Soil: Roles in Genesis and Functions. **Springer**, Verlag, 2005.

CARVALHO, C.A.L.; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A.C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F.; OLIVEIRA, G.J.C. **Tópicos em Ciências Agrárias**. v 1. Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.I.]: [2005]. Disponível em: Acesso em: 05/02/2015.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. **Editora: Oficina de Textos**. 2009.

**Center for freshwater Biology** – University of New Hampshire- Durham – USA: Disponível em: < <http://cfb.unh.edu/>>. Acesso em: 12 Agosto de 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, **Edgard Blucher**, 2000.

CLAESSEN, M.E.C; BARRETO, W.O; PAULA, J.L; DUARTE, M.N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2ª. ed., Editora Embrapa, 212, 1997.

CONDE, F.R.; CHURIO, M.S.; PREVITALI, C.M. The photoprotector machanism of mycospotine-like amido acids. Excited-state proprieties and photostability of porphyra-334 in aqueos solution. **Jornal Photochemistry and Photobiology**, Vol. Biology 56: 1939-144, 2000.

CRS/IBAMA, CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – INSTITUTO BRASILEIRO

DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Monitoramento e desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA Monitoramento do bioma Pampa 2002 a 2008. Brasília. Acesso em: 02 jun. 2010.

DANIN, A.; GANOR, E. Trapping of airborne dust by mosses in the Negev in the Negev desert, Israel. **Earth Surface process and Landforms**, 16: 153-162. 1991.

DEFALCO, L.A. Influence of cryptobiotic crusts on winter annuals and foraging movements of the desert tortoise. **Dep. Of Biol, Colorado State University**, Fort Collins, CO, 1995.

DEHALPERIN, D.R; DEMULE, M.C.Z; DECAIRE, G.Z. Biodermas algales como fonte de nitrogênio em solos sub-húmedos e semi-áridos (províncias de Chaco y Formosa, Argentina). **Darwiniana**, 20: 341-370, 1976.

DSG – DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. 1978 REGIAO SUL DO BRASIL 1:50000 FOLHA SH.21-X-D-U-I-4. MI-2945/4. 2ª Edição. Ministério do Exército - DSG

DÜMIG, A; VESTE, M; HAGEDORN, F; FISCHER, T; LANGE, P; SPRÖTE, R; KOGEL-KNABNER, L. Biological soil crusts on initial soils: organic carbon dynamics and chemistry under temperate climatic conditions. **Biogeosciences Discuss.**, 10: 851–894, 2013

IBAMA, CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Monitoramento e desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA Monitoramento do bioma Pampa 2002 a 2008. Brasília. Acesso em: 02 jun. 2010.

ELDRIDGE, D.J; GREENE, R.S.B. Microbiotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. **Australian Journal of Soil Research**, 32: 389-415, 1994.

ELDRIDGE, D.J. Dynamics of moss and lichen dominated soil crusts in a patterned *Callitris glaucophylla* woodland in eastern Australia. **Acta Oecol**, 20: 159-170, 1999.

EVANS, R.D; EHLERINGER, J.R. A break in the nitrogen cycle in arid lands? Evidence from N of soil. *Oecologia*, 94: 314-317, 1993.

EVANS, R.D.; JOHANSEN, J.R. Microbiotic Crusts and Ecosystem Processes. **Canyonlands Research Bibliography**, Paper 131, 1999.

EVANS, R.D.; LANGE, O.L. Biological Soil Crusts and Ecosystem Nitrogen and Carbon Dynamics. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag., 263-279, 2003.

FAVERA, A.C.D.; LUIZ, E.W.; SCHUCH, N.J.; MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B. **potencial eólico no rio grande do sul – distribuição estatística dos ventos na região central do estado**. *Rev. Geogr. Acadêmica* 6 (1):. 38-51, 2012.

FISCHER, T.; VESTE, M.; SCHAAP, W.; DÜMIG, A.; KÖGEL-KNABNER, I.; WIEHE,

W.; BENS, O.; HÜTTL, R.F. Initial Pedogenesis in a topsoil crust 3 years after construction of an artificial catchment in Brandenburg, NE Germany. **Biogeochemistry**, 101: 165-176, 2010.

FONTES, M,P,F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J.C. et al., *Pedologia Fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 207-302, 343.

FRAHM, J.-P. Die Campylopus-Arten Brasiliens. *Rev. Bryol. Lichénol.*, 45(2): 127-178, 1979.

FRAHM, J.-P. Ergänzungen zur Campylopus-Flora von Brasilien. *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 2(4): 441- 448, 1981.

FRAHM, J.-P. The Subantarctic and Southern Hemispheric Species of *Campylopus* (Dicranaceae), with contributions to the Origin and Speciation of the Genus. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 64: 367-387, 1988.

FRAHM, J.-P. Dicranaceae: Campylopodioideae, Paraleucobryoideae. *Flora Neotropica*, 54: 1-238, 1991.

FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phitopatologica**, 20 (1): 68-74, 1994.

GAMA, W.A.Jr. *Cianobactérias unicelulares e coloniais de ambientes de áreas da Mata Atlântica no estado de São Paulo, Brasil*. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Botânica, Secretaria de estado e meio ambiente, São Paulo, 2012.

GARCIA-PICHEL, F.; CASTENHOLZ, R.W. Occurrence of UV-absorbing, mycosporine-like compounds among cyanobacterial isolates and an estimate of their screening capacity. **Applied and Environmental Microbiology**, 59: 163-169, 1993.

GARCIA-PICHEL, F.; BELNAP, J. Microenvironments and microscale productivity of cyanobacterial desert crusts. **Journal of Phycology**, 32: 774–782, 1996.

GARCIA-PICHEL, F.; PRINGAULT, O. Microbiology – cyanobacteria track water in desert soils. **Nature**, 413: 380–381, 2001.

GRANHALL, U. Nitrogen fixation by blue-green algae in temperate soils, p. 189-198. In: STEWART, W.D.P. (Eds.). **Nitrogen Fixation by Free-living Microorganisms**. Cambridge, Cambridge University Press, 189-198, 1975.

GREEN, T.G.A.; BROADY, P. Biological soil crusts of Antarctica. In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds.). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag, 133-139, 2003.

GREEN, T.G.A. Lichens in arctic, antarctic and alpine ecosystems. **Rundgesprache de Kommission für Ökologie, Ökologische Rolle der Flechten**, 36: 45-65, 2009.

GUNDLAPALLY, S.R; PICHEL, F.G. The Community and Phylogenetic Diversity of Biological Soil Crusts in the Colorado Plateau Studied by Molecular Fingerprinting and

Intensive Cultivation. **Microbial Ecology**, 52: 345–357, 2006.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1 ed., 392, 1996.

GUERRA, R.A.T.; KANAGAWA, A.I.; SANTOS, C.F.; SILVA, F.S.; SOUSA, F.B.; CAVALCANTI, G.A.; LUBENOW, J.A.; SILVA, M.B.; NEVES, A.N.; MENEZES, R. Cadernos CB Virtual: Ciências Biológicas. **UFPB – Virtual para ensino a distância**, João Pessoa, Ed. Universitária, 2011. 318 p.

JEFFREY, R.J; RUSHFORTH, S.R. Cryptogamic soil crusts: seasonal variation in algal population in the Tintic Mountains. Juab County, Utah, **Western North American Naturalist**, 45, 1985.

JESUS, E. S. ; ASSIS, S. V. . Distribuição espacial da evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* , v. 13, p. 24-28, 2005.

JOHANSEN, J.R.; ASHELEY, J.; RAYBURN, W.R. Effects of range fire on soil crusts in semiarid shrub-steppe of the lower Columbia Basin and their subsequent recovery. **Great Basin Nat**, 53: 73-88, 1993.

HAPER, K.T; BELNAP, J. The Influence of biological soil crusts on mineral uptake by associated seed plants. **J Arid Environ**, 2000.

HAWKES, C.V. Nitrogen cycling mediated by biological soil crusts and arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, 84: 1553–1562, 2003.

HOFFMANN, L.; KOMÁREK, J.; KASTOVSKY, J. System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria). **Algological Studies (Cyanobacterial Research)**, 117: 95-115, 2005.

IBGE, **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2º edição, Rio de Janeiro, 2009.

KÄMPF, N. e CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: J.C. et al. **Pedologia Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 207-302, 2012.

KANDELER, E.; MARHAN, S.; MARSCHNER, P. Microscale distribution and function of soil microorganisms in the interface between rhizosphere and detritosphere. **Soils, School of Agriculture, Food and Wine, Faculty of Science University of Adelaide**, Adelaide, Australia. 2001.

KANDELER, E.; STEMMER, M.; GERZABECK, M.H. Role of microorganisms in carbon cycling in soil. In BUSCOT, F.; VARMA, A. (Eds). **Microorganisms in Soil: Roles in Genesis and Functions**, Springer, Verlag, 2005, 418 p.

KIEHL, J. E. Manual de edafologia. São Paulo, **Ceres**,. 1979, 262 p.

KLEINER, E.F.; K.T. HARPER. Environment and community organization in grasslands of Canyonlands National Park: **Ecology**, 53 (2): 299-309, 1972.

KRUMBEIN, W.C. The application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments. **Jour Sed. Petrol.**,6: 35-47, 1936.

LI, X.R.; WANG, X.P.; LI, T.; ZHANG, J. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China. **Biol Fertil Soils**, n°35, p. 147–154, 2002.

LANGE, O.L.; KIDRON, G.; BÜDEL, B.; MEYER, A.; ABELIOVICH, A. Taxonomic composition and photosynthetic characteristics of the “biological soil crusts” covering sand dunes in the western Negev Desert. **Functional Ecology**, 6: 519-527, 1992.

LEGAZ, D.M.E; MILLANES, A.M; CÓRDOBA, C.V. Fisiologia dos Líquens In: XAVIER-FILHO, L; LEGAZ, M.E; CORDONA, C,V; PEREIRA, E.C.G. **Biologia de Líquens**, Rio de Janeiro: Âmbito Cultural,.163p.

LEMOS, R.C. de; SANTOS R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 4° ed. Viçosa - MG: SBCS, 83p., 2002.

MIZUSAKI, A.M.P.; PETRINI, R.; BELLINI, G.; COMIM-CHIARAMONTI, P.; DIAS, J.; MIN, A.; PECCIRILLO, E.M. **Basalt magmatism along the passive continental margin of SE Brazil (Campos basin)** Contributions to Mineralogy and Petrology, 111:143-160, 1992.

MEIS, M.M; MACHADO, M. **A morfologia de rampas e terraços no planalto do sudoeste do Brasil**. Finisterra – revista portuguesa de geografia,.13,(16): 201-219, 1978.

MENGUE, S.D.A. Percepções sobre impactos socioambientais na introdução do Cultivo arbóreo de pinos no município de canela – RS 2011 TCC, Curso Tecnológico em planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre, editora Genesis, 2° ed. 290p., 2004.

MOURA, N.S.V.; GONÇALVES, F.S.; ZANCANARO, C. As Formas de relevo em degraus de abatimento em áreas com processo de arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. In: Dirce Maria Suertegaray, Luis Alberto Pires da Silva, Laurindo Antonio Guasselli. (Org.) **Arenização: natureza socializada**. 1 ed Porto Alegre: Compasso Lugar –Cultura e Imprensa Livre, V.1, p.265-280, 2012.

NETO, Q. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto geológico**, São Paulo, 22(1/2): 65-78, 2001.

NUNES, E.D; OIVEIRA, R.M; SANTOS, G.M. Mapeamento Geomorfológico: Considerações Metodológicas Utilizando Recursos de Modelos Digitais de Elevação. Curitiba, Anais simposio brasileiro de sensoriamento remote – SBSR. 1216-1224, 2011.

PAINTER, T. J. Carbohydrate polymers in desert reclamation: the potential of microalgal biofertilizers. **Carbohydrate Polymers**, 20: 77-86, 1993.

PARRA, O.; BICUDO, C.E.M. Algas de aguas continentales: Introducción a la Biología y sistemática. **Ediciones Universidad de Concepción**. 1995, 269 p.

PILLAR, V.D. Ecologia vegetal: conceitos básicos. UFRGS, Departamento de Ecologia. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>. 2002

PITTY, A. Simple device for the field measurement of hillslopes. **J. Geol.** 76, (6): 717- 720, 1978.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. Coord. Trad. J.E.Kraus, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, , 7<sup>a</sup>. ed., 2007.

RITTENHOUSE, G. Transportation and deposition of heavy minerals. **Geology soc. American. Bull.**, 54: 1725-1780, 1943.

ROGERS, S.L; BURNS, R.G. Changes in aggregate stability, nutrientes status, indigenous microbial populations, and seedling emergence, following inoculation of soil with *Nostoc Muscorum*. **Biol Fertil Soils** 18: 209-215, 1994.

ROSENTRETER, R; BOWKER, M; BELNAP, J. A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Denver, Colorado, **Drylands. U.S. Government Printing Office**, 2007.

RÖMKENS, M.J.M.; HELMING, K.; PRASAD, S.N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. **Catena**, 46: 103–123. 2001.

ROSS, J.L.S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, 6, FFLCH/USP, São Paulo, 17-29p. 1992.

RUSSO, S.E.; DAVIES, S.J.; KING, D.A.; TAN, S. Soil-related performance variation and distributions of tree species in a Bornean rain forest. **Journal of Ecology**, 93: 879-889, 2005.

SANCHES, F.O. **Os Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Estudo sobre as chuvas no século XX e um Possível cenário para o século XXI**, 2013 Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, Porto Alegre.

SAN JOSÉ, J.J; BRAVO, CR; CO<sub>2</sub> exchange in soil algal crusts occuring in the Trchypogon savanas of the Oricoco LINOS, Venezuela. **Plant soil**, 135: 233-244, 1991.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from São Paulo State, Brazil. Stuttgart, **Nova Hedwigia**, 60 (1-2): 19-58, 1995.

SANTOS, H.G; JACOMINE, P.K.T; ANJOS, L.H.C; LUMBRERAS, J.F; COELHO, M.R; ALMEIDA, J.A; CUNHA, T.J.F; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Brasília, Editora Embrapa, 3<sup>a</sup>. ed, 2013. 353p.

SCHLICHTING, Jr. H.E. Some subaerial algae from Irleand. **Br. Phycol. J. Plymouth**, 10 (3): 257-61, 1975.

SCHERER, C.M.S. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. **Sedimentary Geology**, 137 (3/4): 63-84, 2000.

SCHERER, C.M.S.; LAVINA, E.L. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-

fluvial strata of the Upper Jurassic Guar Formation, southern Brazil. **Sedimentology**, 32: 1323-1341, 2005.

SCHERER, C.M.S. LAVINA, E.L. Stratigraphic evolution of a fluvial – olian sucession: The Example of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guará and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil. **Gowdwana Research**, 9: 478-484, 2006.

SCHIRMER, G.J. *Zoneamento geoambiental da quarta colônia – RS*. 2015, 251f . Tese (Doutorado), Centro de ciências naturais e exatas, departamento de geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2015.

SCOPEL, I.; SUERTEGARAY, D.M.A; SOUSA, M.S.; PEIXINHO, D.M.; FERREIRA, D.M.. Neossolos quartzarênicos rticos das áreas de areais so sudoeste do Rio Grande do Sul: Características Físicas e Morfológicas. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (Org). **Arenizao: Natureza Socializada**. Compasso- Lugar-Cultura: Imprensa Livre, Porto Alegre,, 1: 503-540, 2012.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; CERETTA, C.A. Composio da fase solida orgânica do solo. In: MEURER, J.E. Fundamentos de Química do solo, **Gneses**, Porto Alegre. 2000.

SILVA, D.L.M. *Microclima e Bioindicadores Climáticos em Paisagens com Ocorrência de Areais em São Francisco de Assis, RS, Brasil*. 2009, 162 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Curso de ps-graduao em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SOARES, A.P; SOARES, P.C; HOLZ, M. Correlaoes estratigráficas conflitantes no limite permiano - triássico no sul da bacia do Paraná: O contato entre duas sequências e implicaoes na configurao espacial do aquífero Graran. Porto Alegre, Revista Pesquisas em Geociências, 35 (2): 115-133, 2008.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. Cerrado correoes de solo e adubao. Brasília, Embrapa informaçoes tecnológicas, 2<sup>a</sup>. ed., 416p., 2004.

SPIELMANN, A.A.; MARCELLI, M.P. **Fungos Liqueinizados**, São Paulo, 2006. Acesso em 10 de fevereiro de 2015.

[http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/estagio\\_docencia/estagio\\_docencia.htm](http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/estagio_docencia/estagio_docencia.htm).

STRECK, E.V; KAMPF, N; DALMOLIN, R.S.D; KLAMT, E; PAULO, C.N; SCHNEIDER, P; GIASSON, E; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, Editora Emater/RS, 2<sup>a</sup>. ed., 222p., 2008.

SUERTEGARAY, D.M.A. *A Trajetória da Natureza: Um estudo geomorfológico sobre os areais de Quarai – RS*. 1987, 243 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1987.

SUERTEGARAY, D.M.A. Deserto Grande do Sul: Controvérsias. Porto Alegre, **Ed. Da Universidade**, UFRGS, 2<sup>o</sup> ed., 1998, 109 p.

SUERTEGARAY, D.M.A; GUASSELLI, L.A; VERDUM, R. (Orgs); BASSO, L.A; MEDEIROS, R.V.M.; MARTINS, R; ROSSATO, M.S; BELLANCA, E.T; BERT, A.M.

DE A. **Atlas da arenização sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da coordenação e do planejamento e secretaria da ciência e tecnologia. Governo do Estado do RS, 2001, 84p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. **Arenização: Natureza Socializada**. Compasso- Lugar-Cultura: Imprensa Livre, Porto Alegre, 2012, 597 p.

SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. São Paulo, editora Blucher, 400p., 2003.

TOLDO Jr., E.E. *Sedimentologia I. Notas de aula*. UFRGS. Instituto de Geociências. Departamento de Mineralogia e Petrologia. 31p., 2007.

ULLMANN, I.; BÜDEL, B. Ecological Determinants of Species Composition of Biological Soil Crusts on a Landscape Scale. . In: BELNAP, J.; LANGE, O.L. (Eds). **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management**. Berlin, Springer-Verlag, 203-213, 2001.

VAN DEN ACKER, J.A.M.; JUNGRIUS, P.H. The role of algae in the stabilization of coastal dune blowouts. **Earth Surface Processes Landforms**, 10: 189-192, 1985.

VELUCI, R.M.; NEHER, D.A.; WEICHT, T.R.; Nitrogen fixation and leaching of biological soil crust communities in mesic temperate soils. **Microbial Ecology**, 51: 189–196, 2006.

VERDUM, R. **Approche Géographique des déserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997 Tese (Doutorado) – Université de Toulouse-Le-Mirail, UFR de Géographie et Aménagement, Toulouse.

VERDUM, R., BASSO, L.A. Arenização na campanha gaúcha: mudanças na produção e degradação dos solos e das águas superficiais. In: X CONGRESSO MUNDIAL DE SOCIOLOGIA RURAL E XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL. Rio de Janeiro, 2000, p. 9.

VERDUM R. Depressão Periférica e Planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza In : VERDUM R., BASSO L.A., SUERTEGARAY D.M.A. (Orgs). **Rio Grande do Sul – paisagem e territórios em transformação**. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 1ªed., 1: 39-57, 2004.

VERDUM, R. Descoberta permanente das areais aos areais. In: Dirce Maria Suertegaray, Luis Alberto Pires da Silva, Laurindo Antonio Guasselli. (Org.) **Arenização: natureza socializada**. 1 ed Porto Alegre: Compasso Lugar –Cultura e Imprensa Livre, V.1, p.73-83, 2012.

VESTE, M. The Role of Biological Soil Crusts on Desert Sand Dunes in the Northwestern Negev. In: BRECKLE, S.W; VESTE, M; WUCHERER, W. (Eds). **Sustainable Land-Use in Deserts**. Springer, p. 357-367, 2001.

VESTE, M. The Importance of Biological Soil Crusts for Rehabilitation of Degraded Arid and Semi-arid Ecosystems. **Science of Soil and Water Conservation**, 3(3):. 60-65, 2005.

VIEIRA, C.L. Emprego de técnicas mecânico vegetativas em ravinamento no Areal em São



Francisco de Assis – Sudoeste do Rio Grande Do Sul. 2012, 164 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Curso de pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

WATANABE, I.; LEE, K.K. Seasonal change of N<sub>2</sub>-fixing rate in rice field assayed by in situ acetylene reduction technique. I. Experiments in long-term fertility plots. **Soil Sci. Plant Nutr**, 24 (1): 1-13, 1978.

WEBER, B. DEUTSCHEWITZ, K.; SCHUKTZ, C.; DOJANI, S.; BÜDEL, B. Development and implementation of remote sensing techniques for long-Term Monitoring of Biological Soil Crusts(Bscs) – Utilizations of Chris Proba for scaling and classification. In *3rd CHRIS-Proba Workshop ESRIN*, Frascati, Italy, 2008.

WENTWORTH, C.K. A Scale of grade and class terms for clastic sediments. **Jour. Sed. Petrol.**, 30: 377-392. 1922.

WEST, N.E. Structure and function of microphytic soil crusts in windland ecosystems of arid to semi-arid regions. **Adv Ecol. Res.**, 20: 179-223, 1990.

WHITTON, B.A.; POTTS, M. The ecology of Cyanobacteria. Their diversity in time and space. **Dordrecht: Kluwer Academic**, 2000. 669p.

ZAADY, E; BEN-DAVID, E.A; SHER, Y; TZIRKIN, R; NEJIDAT, A. Inferring biological soil crust successional stage using combined PLFA, DGGE, physical and biophysiological analyses. **Soil Biology & Biochemistry**, 42: 842-849, 2010.

ZARNARDO A; MARQUES JUNIOR, J. Conceitos básicos em mineralogia. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: FREITAS, V; ALLEONI, L.R.F. Química e mineralogia do solo. Parte I – Conceitos básicos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 73-150, 2009.