

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DA  
BIOGEOGRAFIA DE HARMONY POINT – ILHA NELSON –  
ANTÁRTICA MARÍTIMA**

**Edvan Casagrande dos Santos**

Porto Alegre - RS  
2016/02

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Geociências

Departamento de Geografia

Edvan Casagrande dos Santos

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DA  
BIOGEOGRAFIA DE HARMONY POINT – ILHA NELSON –  
ANTÁRTICA MARÍTIMA**

Trabalho apresentado como requisito parcial para a  
obtenção do grau em Bacharel em Geografia pela  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Professora Dra. Eliana Lima da Fonseca

Porto Alegre - RS

2016/02

EDVAN CASAGRANDE DOS SANTOS

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DA BIOGEOGRAFIA DE  
HARMONY POINT – ILHA NELSON – ANTÁRTICA MARÍTIMA**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Porto Alegre, em \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016.

**Banca Examinadora:**

---

Professora Dra. Eliana Lima da Fonseca (Orientadora)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Professora Dra. Katia Kellem da Rosa  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Professor Dr. Cláudio Wilson Mendes Júnior  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### CIP - Catalogação na Publicação

dos Santos, Edvan Casagrande  
Uso de Sensoriamento Remoto para estudo da  
Biogeografia de Harmony Point - Ilha Nelson -  
Antártica Marítima / Edvan Casagrande dos Santos. --  
2016.  
73 f.

Orientadora: Eliana Lima da Fonseca.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de  
Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto Alegre, BR-  
RS, 2016.

1. biogeografia. 2. vegetação. 3. crostas biológicas  
do solo. 4. Ilhas Shetland do Sul. I. da Fonseca, Eliana  
Lima, orient. II. Título.

Dedico a todos que de algum modo contribuíram ao longo dessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a professora Eliana Lima da Fonseca pela orientação, ajuda e escolha do tema do trabalho de conclusão de curso e também por ter me orientado durante a bolsa de iniciação científica. Agradeço aos professores que me orientaram nesse período de graduação e a todos os professores do Departamento de Geografia.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT-Criosfera) que conta com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à OPERANTAR XXXIII pelo apoio logístico nas atividades de coleta de dados.

À minha família, especialmente meus pais, Soeli e Enedir e minha irmã, que sempre me apoiaram durante a faculdade e nas escolhas da minha vida.

Aos amigos que fiz durante esse período, Paloma Amaro, Daniela Rocha por todos os momentos vividos dentro e fora do ambiente universitário.

À sociedade brasileira que financiou minha graduação. As instituições da qual fui bolsista durante esses anos e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

## RESUMO

As Crostas Biológicas do Solo (CBS) compreendem as comunidades formadas através da associação de partículas de solo com microorganismos que vivem sobre a superfície do solo, tais como musgos, cianobactérias, algas, fungos, líquenes e briófitas. Este tipo de cobertura do solo pode sobreviver em condições extremas, por exemplo, em ambientes áridos, semiáridos e periglaciais, em temperaturas altas ou negativas durante a maior parte do ano, em níveis elevados de pH e salinidade. Os solos (criossolos) cobrem uma fração muito pequena da superfície antártica, mas suas propriedades biológicas, físicas e químicas, podem ser utilizadas como indicadores ambientais sobre mudanças de temperatura e umidade em escala local. O objetivo deste trabalho foi a identificação de áreas livres de gelo com e sem presença de crostas de solos biológicos utilizando imagens de reflectância de superfície na região do visível, do infravermelho próximo e de ondas curtas do espectro, adquiridas pelos sensores ETM+ /Landsat7 e OLI/Landsat e procedimentos de classificação de imagem. A área de estudo está localizada em Harmony Point – Ilha Nelson – Antártica Marítima e as imagens correspondem as datas de 19 de janeiro de 2003, Landsat 7 e 17 de março de 2015, Landsat 8. Os resultados das curvas espectrais e classificação automática das imagens concordaram com o que foi observado em todas os 23 pontos amostrados durante o trabalho de campo no verão de 2015. Os resultados não evidenciaram mudanças na cobertura vegetal na área estudo, demonstrando assim a baixa taxa de crescimento da vegetação nesses ecossistemas terrestres de ambientes periglaciais. A distribuição espacial da cobertura vegetal nesse ambiente está condicionada a fatores físicos (geomorfologia local, linhas de drenagem, disponibilidade de água, radiação solar e outros) e também a presença de espécies da fauna. Essa identificação de áreas com presença de CBS no continente antártico utilizando dados de sensoriamento remoto é uma importante fonte de informação para estudos de identificação e quantificação das mudanças ambientais nessa região, em função do seu difícil acesso. Os mapeamentos temáticos e monitoramento utilizando dados de sensoriamento remoto são cada vez mais importantes para o suporte e a proteção nesses ambientes periglaciais.

**Palavras-chave:** biogeografia, vegetação, crostas biológicas do solo, Ilhas Shetland do Sul.

## ABSTRACT

The Biological Soil Crusts (CBS) comprise the communities formed by the association of soil particles with microorganisms that live on the soil surface, such as mosses, cyanobacteria, algae, fungi, lichens and bryophytes. This type of soil cover can survive in extreme conditions, for example in arid, semiarid and periglacial environments, at high or negative temperatures during most of the year, at high pH and salinity levels. The soils (cryosols) cover a very small fraction of the Antarctic surface, but their biological, physical and chemical properties, can be used as environmental indicators of temperature and humidity changes at local scale. The objective of this work was to identify ice free areas with and without presence of crusts of biological soils using surface reflectance images in the visible, near infrared and shortwave spectrum regions, acquired by the ETM+/Landsat7 and OLI/Landsat sensors and image classification procedures. The study area is located at Harmony Point - Nelson Island - Antarctica Maritime and the images correspond to the dates of January 19, 2003, Landsat 7 and March 17, 2015, Landsat 8. The results of the spectral curves and automatic classification of the images agreed with what was observed in all 23 points sampled during the fieldwork in the summer of 2015. The results did not demonstrated changes in the vegetation cover in the study area, thus demonstrating the low vegetation in these terrestrial ecosystems of periglacial environments. The spatial distribution of the vegetation cover in this environment is conditioned to physical factors (local geomorphology, drainage lines, availability of water, solar radiation and others) and also the presence of fauna species. This identification of areas with presence of CBS in the Antarctic continent using remote sensing data is an important source of information for studies of identification and quantification of global environmental changes in this region, due to its difficult access. The thematic mapping and monitoring using remote sensing data are increasingly importante for support and protection in these periglacial environments.

**Keys-Words:** Biogeography, vegetation, biological soil crusts, South Shetland Islands.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	15
Figura 2 – Concentração das colônias de aves em Harmony Point.....	16
Figura 3 - Sensoriamento Remoto.....	18
Figura 4 - Espectro eletromagnético.....	19
Figura 5 - Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos.....	23
Figura 6 - Curva espectral padrão da vegetação.....	24
Figura 7 - Curvas espectrais típicas para duas formações rochosas: andesito e folhelho.....	24
Figura 7.1 - Curvas espectrais para solos com presença de material orgânico e areia.....	25
Figura 7.2 - Curvas espectrais para solo siltoso seco e solo arenoso seco.....	25
Figura 8 - Aparência do deserto de Gurbantunggut (á direita) os diferentes tipos de coberturas biológicas do solo: (a) crostas dominadas por algas, (b) crostas dominadas por líquens e (c) crostas dominadas por musgos.....	28
Figura 9 - Comportamento espectral das crostas biológicas do solo.....	29
Figura 10 - Sistemas de sensores passivos e ativos.....	30
Figura 11 - Esquema das etapas do Processamento Digital de Imagem de Satélite (PDI).....	35
Figura 12 - Espaço de atributos mostrando a distribuição de densidade de todos os pixels em uma imagem, na forma de curvas de contorno.....	38
Figura 13 - Distribuição espacial dos pontos coletados em Harmony Point em 2015.....	40
Figura 14 - Identificação e delimitação das Regiões de Interesse (ROIS).....	43
Figura 15 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	46
Figura 16 - Imagens Landsat 7 de 2003 e Landsat 8 de 2015 – banda 1.....	57
Figura 17 - Mapa temático da cobertura do solo utilizando a banda do NIR para 2003.....	59
Figura 18 - Mapa temático da cobertura do solo utilizando a banda do NIR para 2015.....	60
Figura 19 - Mapa de cobertura do solo em 2003.....	63
Figura 20 - Mapa de cobertura do solo em 2015.....	64

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Características dos satélites Landsat.....	33
Tabela 2 - Sistemas Sensores do Landsat 7 e 8.....	34
Tabela 3 - Bandas dos sensores (ETM+) e (OLI) utilizadas.....	42
Tabela 4 - Valores de reflectância em superfície para 2003.....	47
Tabela 4.1 - Valores de reflectância em superfície para 2015.....	48
Tabela 5 - Comparação entre a cobertura do solo em campo e imagens.....	56
Tabela 6 - Área e porcentagem da cobertura vegetal do solo em Harmony Point em 2003.....	61
Tabela 7 - Área e porcentagem da cobertura vegetal do solo em Harmony Point em 2015.....	62
Gráfico 1 - Comportamento espectral dos 23 pixels para 2003.....	49
Gráfico 2 - Comportamento espectral dos 23 pixels para 2015.....	49
Gráfico 3 - Curvas espectrais médias para 2003.....	52
Gráfico 4 - Curvas espectrais médias para 2015.....	53
Gráfico 5 - Comportamento espectral médio dos musgos (2003 e 2015).....	53
Gráfico 6 - Comportamento espectral médio dos líquens (2003 e 2015).....	54
Gráfico 7 - Comportamento espectral médio das algas (2003 e 2015).....	55

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

- ASPA** - Área Antártica Especialmente Protegida
- CBS** - Crostas Biológicas do Solo
- ETM+** - Enhanced Thematic Mapper Plus
- INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- NASA** - National Aeronautics and Space Administration
- NIR** - Infravermelho Próximo
- OLI** - Operational Land Imager
- PDI** - Processamento Digital de Imagens
- REM** - Radiação Eletromagnética
- ROIS** - Regiões de Interesse
- SIG** - Sistema de Informação Geográfica
- SWIR** - Infravermelho de Ondas Curtas
- TIRS** - Thermal Infrared Sensor
- USGS** - Serviço Geológico dos Estados Unidos
- UTM** - Universal Transversa de Mercator
- WGS 1984** - World Geodetic System 1984
- $\rho$**  - Reflectância
- $\mu\text{m}$**  - Micrômetro

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	14
1.1 Introdução.....	14
1.2 Área de estudo.....	15
<b>1.3 Objetivos</b> .....	17
1.3.1 Objetivos Gerais.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 Justificativa.....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
2.1 Sensoriamento Remoto.....	18
2.2 Interações da radiação eletromagnética com o alvo.....	19
2.3 Reflectância e comportamento espectral dos alvos.....	20
2.3.1 Comportamento espectral da Água.....	22
2.3.2 Comportamento espectral da Vegetação.....	23
2.3.3 Comportamento espectral das Rochas e Solos.....	24
2.4 Cobertura vegetal na Antártica Marítima.....	26
2.4.1 Crostas Biológicas do Solo.....	27
2.4.2 Comportamento espectral dos Musgos, Líquens e Algas.....	28
2.5 Síntese sobre os sistemas de sensores.....	30
2.5.1 Resoluções dos sistemas sensores.....	31
2.6 LANDSAT 7 e 8.....	32
2.7 Processamento digital de imagens (PDI).....	34
2.8 Classificação digital de imagens de satélite.....	35
2.8.1 Classificação supervisionada e não supervisionada.....	37
2.8.2 ISODATA.....	38
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
3.1 Trabalho de campo em Harmony Point, Ilha Nelson, Antártica.....	40
3.2 Aquisição das imagens de satélite.....	41
3.3 Procedimentos metodológicos de análise e extração das imagens Landsat e dados.....	42
3.3.1 Processamento das imagens Landsat e dados de reflectância.....	42
3.4 Marcação dos pontos coletados em campo.....	43
3.5 Gráficos das curvas espectrais dos alvos .....	44

3.5.1 Reconhecimento dos padrões e classificação dos alvos.....	44
3.5.2 Comparação dados de campo com as imagens.....	44
3.6 Classificação não supervisionada.....	44
3.7 Mapa temático da cobertura do solo em Harmony Point.....	45
3.8 Fluxograma.....	46
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
4.1 Análise dos valores de reflectância.....	47
4.2 Gráficos do comportamento espectral dos alvos.....	49
4.2.1 Curvas espectrais das Crostas Biológicas do Solo.....	50
4.2.2 Curvas espectrais médias.....	51
4.2.2.1 Musgos.....	53
4.2.2.2 Líquens.....	54
4.2.2.3 Algas.....	54
4.3 Comparação das curvas espectrais das CBS com dados de campo.....	55
4.4 Mapeamento temático da cobertura do solo.....	56
4.4.1 Identificação das áreas com nuvens e sombras.....	56
4.4.2 Mapas temáticos da cobertura para a banda do infravermelho próximo.....	58
4.4.3 Mapas temáticos para todas as bandas.....	61
4.4.4 Comparação classificações não supervisionadas com dados coletados em campo.....	65
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>

# 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

## 1.1 Introdução

A Antártica é o único continente que ainda está relativamente estável sem nenhuma interferência humana direta. Aproximadamente 99,7% do continente encontram-se coberto pelo manto de gelo, e parte do Oceano Austral próximo à costa também está sob a cobertura do gelo marinho (banquisa). Desde a assinatura do Tratado Antártico em 1959, todas as reivindicações territoriais estão suspensas, servindo esse território única e exclusivamente para fins científicos exploratórios. Por estar a Antártica coberta pela camada do manto de gelo, as mudanças climáticas são mais perceptíveis nessa região do planeta do que em outras, uma vez que a mudança sazonal na paisagem é marcante com o degelo da neve superficial e do gelo marinho. Essa dinâmica sazonal influencia a geomorfologia e a cobertura do solo, durante aproximadamente seis meses do ano o continente recebe radiação solar por quase vinte e quatro horas e nos outros seis meses não recebe praticamente essa radiação em sua superfície.

Como é um continente que se encontra distante dos principais centros econômicos mundiais e por apresentar condições climáticas extremas, parte das pesquisas sobre a Antártica se baseiam no conjunto de técnicas de sensoriamento remoto. As observações através dessas técnicas são ideais para o estudo nesses ambientes remotos e hostis, pois fornecem meios práticos de obtenção de informações da superfície local (BAMBER e KWOK, 2004).

A cobertura do solo é um importante fator ambiental para se compreender tais mudanças. Os solos dessa região (chamados também de criossolos) cobrem uma fração muito pequena da superfície Antártica, entretanto oferecem propriedades biológicas, físicas e químicas muito peculiares, cujas alterações podem ser indicadores de mudanças na temperatura e no aporte de umidade do ambiente (BREMER, 2011). O gelo é um intenso agente transformador das paisagens glaciais, ele é capaz de erodir e transportar uma grande quantidade de sedimentos dos mais variados tamanhos granulométricos. Com a ocorrência da retração e expansão das geleiras ao longo dos anos, a paisagem é constantemente modificada neste ambiente.

Assim, torna-se necessário a relevância em analisar e compreender os processos ambientais em condições extremas no planeta, possibilitando o entendimento do quanto esse ambiente está sendo modificado pelas mudanças ambientais regionais e em outros locais do

planeta, como, por exemplo, o aumento da temperatura média global, a dinâmica das geleiras e do gelo marinho.

## 1.2 Área de Estudo

Harmony Point está localizada na costa oeste da Ilha Nelson, Antártica Marítima, fazendo parte da Área Antártica Especialmente Protegida 133 (ASPAs). Na figura 1 está localizada a área de estudo. As ASPAs são áreas protegidas no continente Antártico e que foram estabelecidas em 1961 sob o Tratado Antártico. Harmony Point possui uma área de 3,63 km<sup>2</sup> e a ASPA 133, 30,69 km<sup>2</sup>. A Ilha Nelson localiza-se a 110 quilômetros do continente Antártico, e faz parte do conjunto de Ilhas Shetland do Sul, com área aproximada de 200 km<sup>2</sup>.

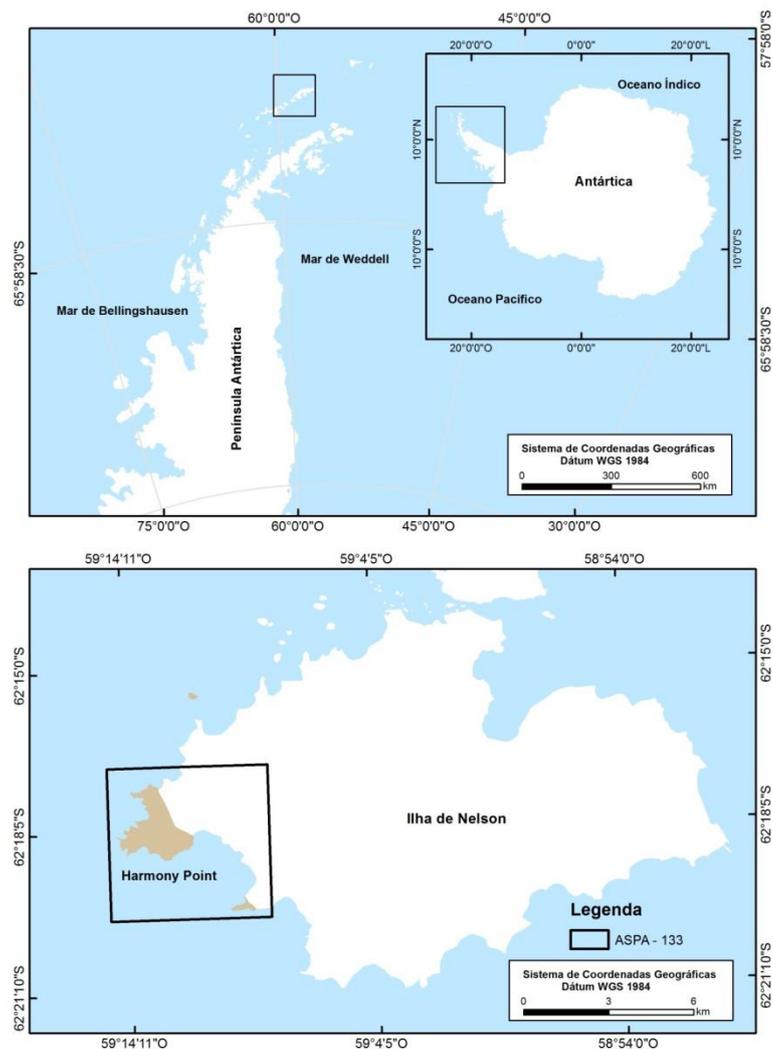


Figura 1: Localização da área de estudo.

A ASPA 133 é o abrigo de comunidades da fauna, especialmente de aves (pinguins), de plantas, como os musgos, os líquens, as algas e outros. Os ninhais encontrados em Harmony Point são de suma importância na formação dos solos e no estabelecimento da cobertura vegetal, são eles que originam os depósitos e solos ornitogênicos (Figura 2).

As rochas existentes na Ilha Nelson são de origem vulcânica (andesitos), sendo que 90% delas estão cobertas pelo manto de gelo. Os verões registram temperaturas médias de 3° Celsius, e no inverno -11° Celsius. O ponto mais elevado na ilha está a 313 metros acima do nível do mar.

O plano de gestão da Punta Harmony foi implementado em 1997 de acordo com as normas ambientais do Tratado Antártico e, em 2002 efetivado constituindo a ASPA 133. De acordo com o plano de manejo de 1997, a Aspa 133 tem como finalidade principal assegurar a proteção e o desenvolvimento de pesquisas ligadas à formação dos solos, da flora e das espécies de aves, que possuem seus ninhais nesse local. Assim como, garantir que ocorra o mínimo de interferência humana nos ecossistemas dentro da ASPA.

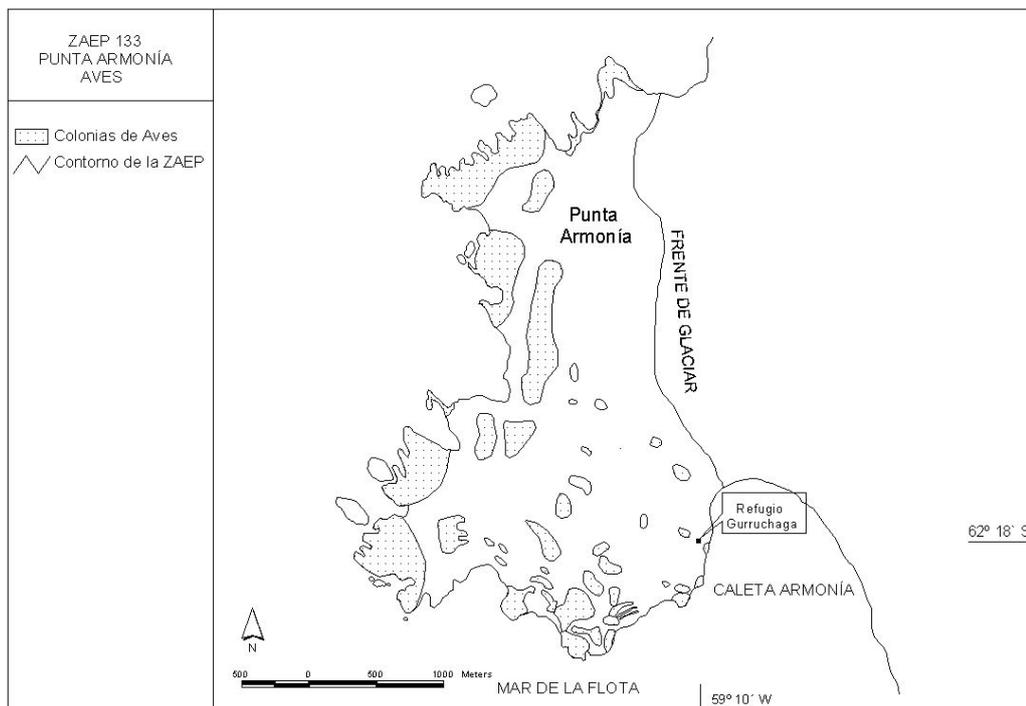


Figura 2: Concentração das colônias de aves em Harmony Point. Fonte: Plano de manejo da ASPA 133 (1997).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal do trabalho é compreender a dinâmica da paisagem local, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para analisar a distribuição espacial da cobertura do solo nos anos de 2003 e 2015, servindo como subsídio para o monitoramento das mudanças ambientais na região Antártica.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Analisar e interpretar o comportamento espectral da reflectância em superfície dos alvos a partir de imagens de satélite, utilizando as bandas da faixa do visível (azul, verde e vermelho) e infravermelho (próximo e de ondas curtas).
- Identificar através de classificação não-supervisionada de imagens de satélite, os tipos de cobertura do solo, conforme os padrões de comportamento espectral dos alvos.

## **1.4 Justificativa**

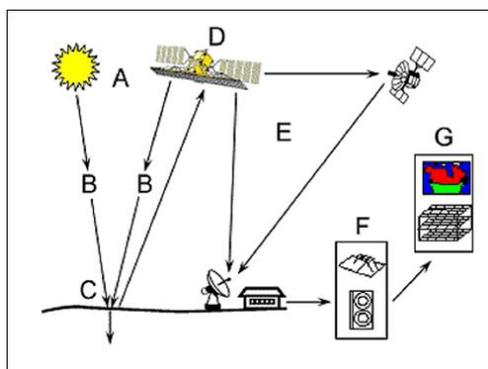
As mudanças no sistema Antártico provocam modificações nos ecossistemas locais, como por exemplo, a redução do gelo marinho, a retração das geleiras e a expansão das comunidades de plantas e, até mesmo a colonização de novas áreas com espécies da fauna e da flora. Partindo dessas conclusões sobre estudos já realizados na região Antártica, essa pesquisa tem relevância, pois tem como finalidade analisar se entre 2003 e 2015 ocorreram mudanças na cobertura do solo em Harmony Point - Ilha de Nelson.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser descrito como o conjunto de técnicas utilizadas para a obtenção de informações de um determinado local na superfície terrestre, a partir da interação da radiação eletromagnética (REM) com o objeto (alvo). Para isso, não há necessidade que ocorra contato direto com o objeto, área ou fenômeno estudado (SOUZA, 2010; NOVO, 2012). Os sensores remotos e outros equipamentos que captam a interação entre a REM e o alvo podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. As informações do local são captadas pelo sensor e os dados obtidos são posteriormente interpretados, extraindo destes as características do objeto conforme a necessidade da pesquisa (NOVO, 2012).

As fotografias aéreas foram às primeiras informações geradas por meio do sensoriamento remoto, e foram aplicadas inicialmente para fins militares. Os levantamentos por aerofotografia foram amplamente utilizados na cartografia, servindo como base para a produção de cartas topográficas e mapeamentos temáticos de áreas urbanas. Com o lançamento de satélites orbitais na segunda metade do século XX, os produtos oriundos do sensoriamento remoto obtiveram uma grande popularização no meio científico. Hoje, uma grande diversidade de imagens e dados é disponibilizada de forma gratuita. A utilização dos produtos do sensoriamento remoto disponíveis atualmente está aplicada em diversas áreas do conhecimento, como: estudos urbanos, agrícolas, geológicos, ecológicos, florestais, cartográficos, oceanográficos, atmosféricos e muitos outros. A interpretação dessas imagens requer prática e estudo, pois nem sempre a informação sobre a superfície é clara, podendo variar de acordo com o horário da coleta, a insolação, a umidade do ar, o ângulo de visada do sensor e diversos outros fatores (FIGUEIREDO, 2005; NOVO, 2012).



- A – Fonte de Energia
- B – Radiação da Atmosfera
- C – Interação com o Alvo
- D – Gravação da Energia pelo Sensor
- E – Transmissão, Recepção e Processamento
- F – Interpretação e Análise
- G – Aplicação

Figura 3: Sensoriamento Remoto. Fonte: CCRS/CCT.

## 2.2 Interações da radiação eletromagnética com o alvo

O Sol é a fonte de energia radiante - radiação eletromagnética (REM) que incide na Terra, ele irradia REM principalmente entre os comprimentos de onda do ultravioleta ao infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Figura 4). A energia produzida no interior solar viaja no espaço atinge e interage com a atmosfera e com a superfície do planeta. Parte dessa radiação incidente é refletida de volta ao espaço, outra é absorvida e depois é reemitida em comprimentos de onda mais longos do espectro (FIGUEIREDO, 2005; SOUZA, 2010).

A radiação solar ao incidir sobre a superfície terrestre interage de três modos: absorvida, refletida e transmitida. Na fração absorvida ocorre a transferência de energia para o alvo, essa absorção pode ser térmica e não térmica dependendo da quantidade de calor liberado durante a interação. A passagem da energia no meio sem alterar a frequência da REM é denominada transmissão. Em outra fração a radiação eletromagnética é refletida pela superfície atingida (a capacidade da superfície em refletir a energia incidente indica a sua reflectância). Através da análise da reflectância em superfície, tem-se a utilização e aplicação de um grande número de imagens e dados de satélite do sensoriamento remoto (SAUSEN, 2008; MOREIRA, 2012; STEFFEN, 2016).

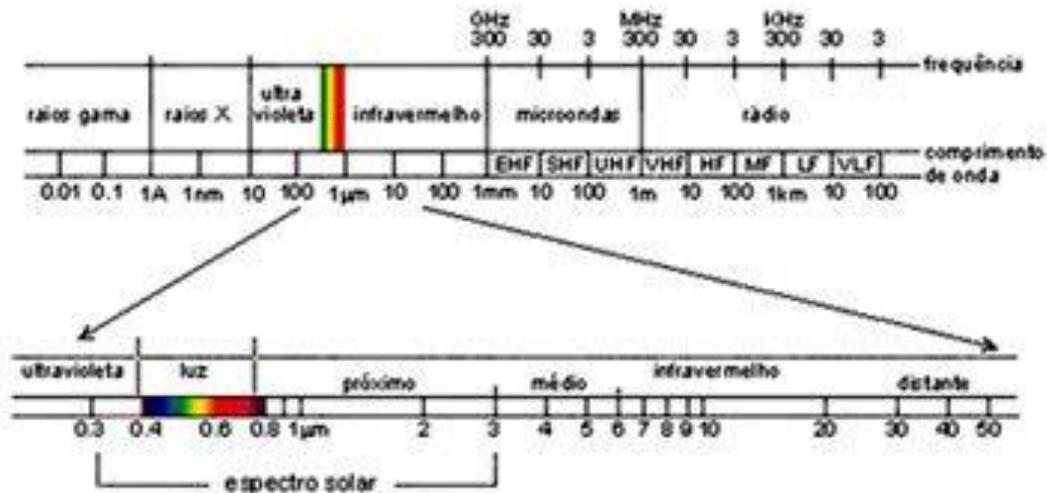


Figura 4: Espectro eletromagnético (STEFFEN, 2016).

### 2.3 Reflectância e comportamento espectral dos alvos

Para se compreender a distribuição espacial da cobertura do solo na área de estudo, através do uso de imagens de satélite é importante o entendimento dos termos de reflectância, assinatura espectral e comportamento espectral dos alvos.

A reflectância pode ser definida como a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente de radiação sobre a superfície, e pode ser expresso pela equação Novo (2012):

$$\rho = \frac{\varnothing_r}{\varnothing_i}$$

Onde:

$\rho$  = reflectância

$\varnothing_r$  = fluxo radiante incidente

$\varnothing_i$  = fluxo radiante refletido

A reflectância pode ser mensurada de três modos distintos de acordo com Bowker et. al. (1985): em laboratório, em campo ou de uma plataforma elevada, como uma aeronave. Essas três abordagens fornecem resultados distintos, por diversas razões. Em laboratório, as condições de iluminação podem ser controladas, enquanto no campo ou por aeronaves sofrem influência de outros fatores, principalmente dos atmosféricos. Ao se estudar a vegetação, por exemplo, uma única folha pode ser analisada em laboratório, já em campo a área visada se torna maior com o aumento da altitude. Assim, dependendo da altitude do sensor, um alvo como uma folha, no campo é visto em um composto de folhas, talos, solo, gramíneas, ervas daninhas, etc. Como consequência, as propriedades de reflectância são influenciadas por fatores como a condição do vento, o zênite solar, a inclinação do alvo e dentre outros. Além disso, como distância para o alvo é maior, os efeitos atmosféricos tornam-se mais importantes, como os de espalhamento e efeitos de absorção de radiação.

Jensen (2011) denomina a reflectância utilizada nas pesquisas em sensoriamento remoto como reflectância hemisférica. Sendo está utilizada para descrever as características espectrais de vários fenômenos em superfície. Os sistemas de sensores estão equipados em grande parte para registrarem essa energia refletida pelos alvos, e não para mensurarem as outras grandezas radiométricas (transmitância e absortância). Mesmo assim, a informação gerada pela energia refletida é de grande utilidade e pode formar a base para a avaliação e identificação do objeto.

Para explicar sobre o comportamento espectral dos alvos Sausen (2008) define os alvos como sendo um objeto natural ou criado pelo homem sobre a superfície terrestre, possível de ser identificado por um sensor remoto. Os alvos refletem a radiação incidente sobre a superfície em dimensões que podem variar de acordo com o comprimento de onda e em função das suas diversas características. Que podem ser físico-químicas e biológicas, estando relacionadas a fatores, como: textura, densidade e posição das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento (MORAES, 2002; FIGUEIRDO, 2005; SAUSEN, 2008).

Assim, cada alvo tem um comportamento espectral distinto, o qual é determinado quando sua energia refletida é medida ao longo do espectro eletromagnético. Esta variação de energia refletida pelos alvos pode ser representada por meio de curvas, chamadas de curvas espectrais, e gráficos representativos da assinatura espectral que representam o comportamento espectral de cada alvo (SAUSEN, 2008; NOVO, 2012).

Moraes (2002) conceitua o comportamento espectral de um alvo como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do alvo ao longo do espectro eletromagnético, também chamado de assinatura espectral.

Para Moreira (2012) há diferença entre os termos de resposta espectral ou assinatura espectral, e comportamento espectral. Quando se mede a energia refletida por um alvo, em uma determinada faixa espectral, por meio do uso de um espectroradiômetro, o resultado gráfico dessa medida é denominado resposta espectral ou assinatura espectral. Em contrapartida, ao medir a energia refletida por um alvo, por exemplo, uma cultura agrícola, na área que o sensor está imageando tem-se uma mistura de radiações, que sai da cultura e da superfície de fundo (solo ou gramínea). Neste caso, está sendo avaliado o comportamento espectral do alvo, que pode variar de um local para outro. Por exemplo, o comportamento espectral de uma plantação de soja em um solo arenoso é diferente do comportamento espectral dessa mesma soja plantada em um solo argiloso.

Outros fatores atmosféricos também influenciam a trajetória e medida da REM que incide e reflete do alvo, como por exemplo, áreas com nebulosidade, umidade atmosférica, presença de aerossóis, turbulência e outros. As áreas com cobertura de nuvens são impossíveis de serem imageadas por meio da luz solar (FIGUEIREDO, 2005; NOVO, 2012).

### 2.3.1 Comportamento espectral da Água

A água que está presente na natureza, em temperatura ambiente é encontrada em seus três estados físicos. Como água líquida (doce e salgada), água em forma de neve e gelo, nuvens e vapor de água, apresentando comportamento espectral diverso em cada um dos estados (JENSEN, 2011; NOVO, 2012).

Alcântara (2014) ressalta que, a interpretação do comportamento espectral da água é mais complexa do que para os demais alvos, devido a fatores como: reflectância muito baixa da água (em torno de 4%), presença de componentes ópticos ativos no corpo d'água que apresentam espectros de absorção semelhantes (organismos vivos: fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton; partículas em suspensão: orgânicas e inorgânicas e substâncias orgânicas dissolvidas), reflectância em superfície mais elevada que em camadas subjacentes da coluna de água, faixa estreita de maior interação entre a REM e a água (entre  $0,4 \mu\text{m}$  –  $0,5 \mu\text{m}$ , intervalo também de maior penetração da luz e de influência atmosférica) e transmitância alta e variada da água (JENSEN, 2011; NOVO, 2012).

A água quanto mais pura, sem presença de materiais em suspensão ou dissolvidos, mais baixa é a sua reflectância, devido ao seu pequeno coeficiente de espalhamento e a alta transmitância. Assim, um corpo d'água com pouca concentração desses constituintes na imagem de satélite vai ser representado como uma superfície escura, pois conforme a luz se aprofunda vai sendo atenuada pelas camadas da água. Nas bandas do infravermelho a água aparece quase totalmente preta na imagem, porque absorvem quase toda radiação incidente (JENSEN, 2011; NOVO, 2012; ALCÂNTARA, 2014).

No estado líquido, a água pura apresenta baixa reflectância entre os comprimentos de onda de  $0,38 \mu\text{m}$  e  $0,70 \mu\text{m}$ , com valores menores que 10% absorvendo toda radiação acima de  $0,70 \mu\text{m}$ . As nuvens apresentam alta reflectância, em torno de 70% nas bandas do visível, entre o intervalo de  $0,38 \mu\text{m}$  e  $2,5 \mu\text{m}$  os valores de  $\rho > 40\%$  com bandas de absorção em  $1,0 \mu\text{m}$ ;  $1,3 \mu\text{m}$ ; e  $2 \mu\text{m}$ . A neve também apresenta elevada reflectância ao longo do espectral eletromagnético, maior do que as nuvens nos comprimentos do visível e infravermelho próximo ( $0,7 \mu\text{m}$  e  $1,2 \mu\text{m}$ ) Á partir de  $1,4 \mu\text{m}$  ocorre um decréscimo nos valores de reflectância da neve, atinge em  $1,5 \mu\text{m}$  valores de  $\rho < 10\%$ . Acima de  $1,5 \mu\text{m}$  há bandas de absorção com valores próximos a zero (Figura 5) (NOVO, 2012).

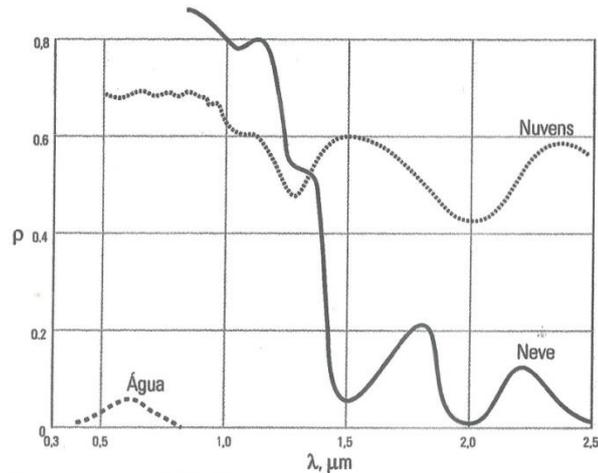


Figura 5: Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos. BOWKER et. al. 1985. Fonte: (NOVO, 2012).

### 2.3.2 Comportamento espectral da Vegetação

A vegetação sadia tem como característica na região das bandas do visível alta absorção da REM, que é capturada pelos pigmentos do grupo da clorofila para realização da fotossíntese. Nessa faixa, a reflectância é mais elevada nos comprimentos de onda do verde (0,500  $\mu\text{m}$  a 0,565  $\mu\text{m}$ ), o que caracteriza a percepção da coloração verde pelo olho humano (MORAES, 2002). O comportamento espectral da vegetação varia de acordo com diversos fatores como: o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie de planta, a biomassa, a disposição das folhas e outros.

Novo (2012) classifica a curva espectral da vegetação em três regiões espectrais (Figura 6), de acordo com os fatores dominantes que controlam a reflectância da folha: i) até 0,7  $\mu\text{m}$ , com valores de  $\rho < 20\%$ , com dois picos de absorção em 0,48  $\mu\text{m}$  (carotenoides) e 0,62  $\mu\text{m}$  (clorofila); ii) o intervalo do espectro que se estende de 0,7  $\mu\text{m}$  até 1,3  $\mu\text{m}$ , esse intervalo é caracterizado pela alta reflectância da vegetação, com valores que variam de 30% até 40% devido a estrutura molecular interna da planta.

Figueiredo (2005) acrescenta que isso corre pelo comportamento natural da vegetação, visando manter o equilíbrio no balanço de energia no interior da planta, assim evitando um superaquecimento e a destruição clorofila; iii) de 1,3  $\mu\text{m}$  á 2,5  $\mu\text{m}$  a reflectância é regulada pelo conteúdo de água nas folhas da vegetação, nessa região ocorrem dois máximos de absorção pela água (ALCÂNTARA, 2014).

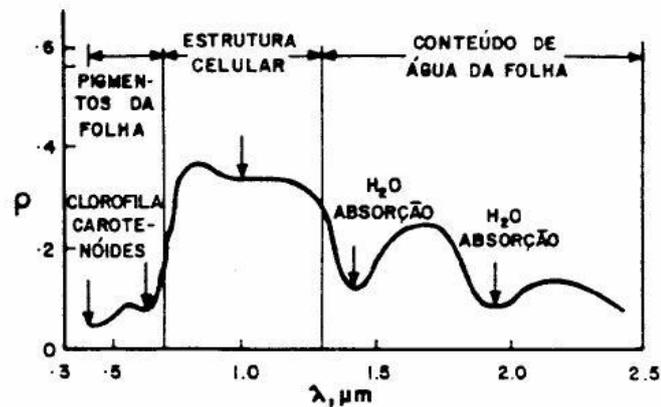


Figura 6: Curva espectral padrão da vegetação. Fonte: (NOVO, 1999).

### 2.3.3 Comportamento espectral das Rochas e Solos

Nos estudos do comportamento espectral das rochas e seus constituintes minerais, Alcântara (2014) destaca o entendimento das bandas de absorção específicas de determinados componentes desse alvo. Figueiredo (2005) ressalta que as substâncias mais importantes, e que determinam as bandas de absorção das rochas, são a presença de íons ferroso e férrico, água e hidroxila (Figura 7).

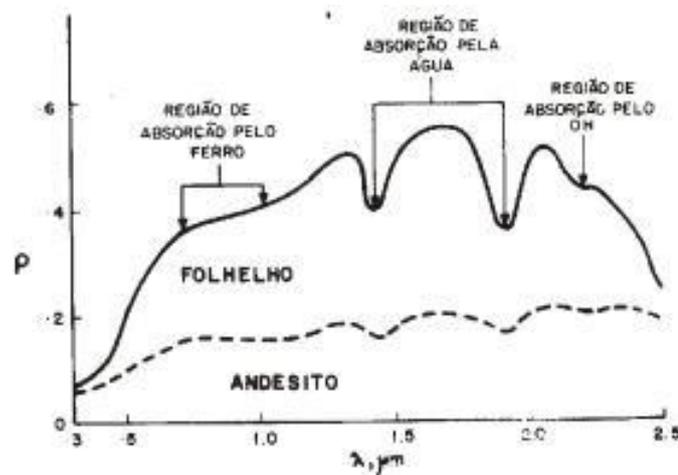


Figura 7: Curvas espectrais típicas para duas formações rochosas: andesito e folhelho. Fonte: Bowker et. al., (1985).

Os solos e as rochas têm padrões de reflectância semelhantes, já que, os solos são o produto das alterações que ocorrem nas rochas. A maior diferença no comportamento espectral de ambos está na presença de matéria orgânica na composição dos solos, que tendem

a diminuir a reflectância desse alvo, pois absorve a energia que incide sobre os solos (Figura 7.1) (BOWKER et. al. 1985; JENSEN, 2011).

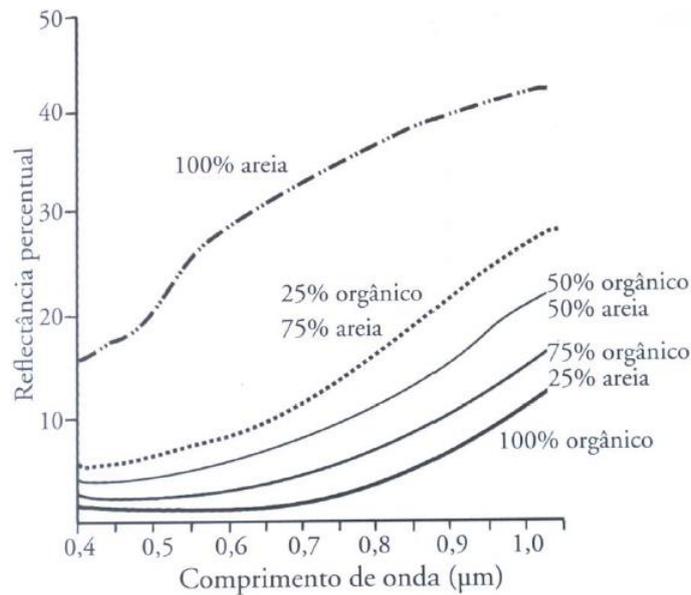


Figura 7.1: Curvas espectrais para solos com presença de material orgânico e areia. Fonte: JENSEN, 2011.

As características de reflectância importantes para a compressão das curvas espectrais dos solos são: a textura do solo (porcentagem de areia, silte e argila presente em sua composição), o conteúdo de umidade do solo, o conteúdo de matéria orgânica, o conteúdo de óxidos ferro, a salinidade e a rugosidade superficial (Figura 7.2) (JENSEN, 2011; ALCÂNTARA, 2014).

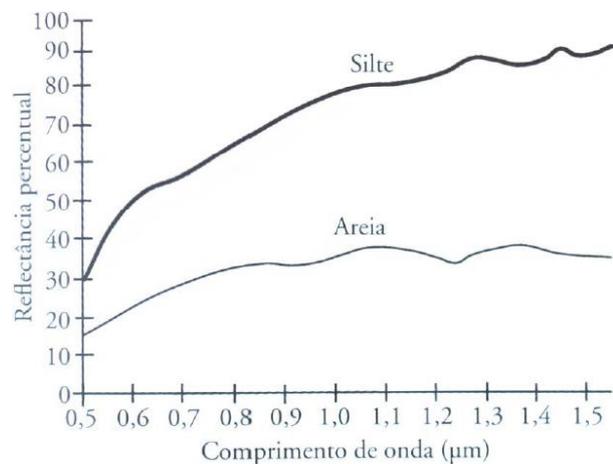


Figura 7.2: Curvas espectrais para solo siltoso seco e solo arenoso seco. Fonte: JENSEN, 2011.

## 2.4 Cobertura vegetal na Antártica Marítima

A cobertura vegetal no continente Antártico está restrita a porção da Península Antártica, sendo a maioria encontrada apenas durante os verões austrais, quando o solo está praticamente livre do gelo e da neve (ALBERDI et. al. 2002). Essas coberturas vegetais ocupam uma área restrita na Península, concentrando-se principalmente próximo da linha costeira (FRANCELINO, 2006). Segundo Francelino (2004) a flora nessa região é constituída principalmente por vegetais inferiores, com presença de cianobactérias, algas verdes, musgos, líquens, e com ocorrência de algumas espécies de vegetais superiores (gramíneas). Peat et. al. (2007) acrescenta que o continente Antártico é o único em que a flora é dominada exclusivamente por grupos de plantas inferiores.

Fretwell et. al. (2010) ressaltam que predominantemente a cobertura vegetal é encontrada em baixas altitudes sobre o lado ocidental da Península Antártica. Casanovas et.al. (2015), acrescentam que os líquens são o componente botânico com a maior diversidade nos ecossistemas terrestres da Antártica, ocorrendo ao longo de todo o continente.

Para a compressão da distribuição espacial das coberturas vegetais é importante o entendimento que a presença do material ornitogênico no solo é significativa para o desenvolvimento da vegetação nesse ambiente. Estes ninhos abandonados se encontram na maioria das vezes já colonizados por algum tipo de cobertura vegetal. Fatores climáticos descritos por ALBERDI et. al. (2002); FRANCELINO (2006), tais como a temperatura, cobertura de neve, ventos, insolação, disponibilidade de água e a presença de atividade animal também influenciam o crescimento e a distribuição espacial das plantas na Antártica.

Francelino (2004) ressalta também as áreas dos ninhais são frequentemente reocupadas pelas aves para nidificação, o que ocasiona mais entrada de nutrientes nos solos ornitogênicos, principalmente o nitrogênio e o fósforo, modificando o microclima do solo, devido à incorporação de carbono orgânico ao solo (PIRES, 2010). A localização dos ninhais está muitas vezes relacionada às formas do relevo, o que explica em algumas áreas ser identificadas maiores variedades de cobertura vegetais. Assim como, estão menos propensas ao congelamento e descongelamento, devido à presença de carbono no solo que modifica o albedo da superfície.

Em seus estudos das coberturas vegetais na Península Keller, Francelino et. al. (2004 e 2006) concluíram que, as algas ocupam preferencialmente as áreas mais próximas à linha da praia, devido à altitude e a maior presença de água, também crescem associadas às colônias

ou ninhos de aves. Já nas depressões úmidas, como os terraços marinhos soerguidos, ocorrem predominantemente as briófitas (musgos) uma vez que estão estreitamente relacionadas com feições onde ocorre acúmulo de água.

Poelking et. al. (2009) também analisaram em Stranger Point, Península Potter que os líquens distribuíram-se preferencialmente nas áreas mais expostas e elevadas. Os musgos e comunidades mistas ocupam os terraços soerguidos e áreas com maior umidade em ambientes hidromórficos, onde ocorre maior presença de água.

Lovelock, et. al. (2002) sobre o estudo das propriedades da reflectância dos musgos em Wilkes Land na Antártica, observaram que os solos dominados por líquens estavam em sua maioria presentes nas áreas rochosas, livres de gelo. Enquanto, as comunidades de musgos foram identificadas ao longo de toda a área estudada, mas quantitativamente localizavam-se restritas as regiões de degelo dos lagos, córregos e outros locais onde a água está disponível durante os verões.

#### **2.4.1 Crostas Biológicas do Solo**

As crostas biológicas do solo (CBS) abrangem as comunidades formadas pela associação de partículas do solo com microrganismos, tais como musgos, cianobactérias, algas, fungos, líquens, hepáticas e briófitas, que vivem na superfície do solo (Figura 8). Esse tipo de cobertura do solo consegue sobreviver em condições extremas, por exemplo, em ambientes áridos e semiáridos, em temperaturas elevadas (acima de 70°C) e/ou negativas durante a maior parte do ano, em níveis de pH e salinidades altas. As CBS são colonizadores primários, ocupando regiões que a vegetação não consegue se estabelecer. Aumentam os teores de carbono orgânico no solo, e são capazes de realizar fotossíntese, mesmo em condições adversas para a vegetação (JENSEN, 2011; ALONSO et. al. 2014).

Segundo Alonso et.al. (2014) estas comunidades bióticas cobrem as áreas desprovidas de vegetação principalmente em ecossistemas áridos e semiáridos modificando as propriedades do solo e influenciando muitos processos fundamentais para a operação desses ecossistemas. Embora, representem uma parte insignificante do perfil do solo, as CBS regulam diversos processos que ocorrem na superfície deles e são indicadores positivos da estabilidade e proteção da superfície dos solos. As CBS aumentam a fixação de nitrogênio atmosférico, regulam a infiltração da água e geração de escoamento, modificam a capacidade de retenção de água no solo e controlam a evaporação. Desempenham uma função chave nos ecossistemas em que surgem, devido a sua importância nestes e também a sua fragilidade

frente às ações humanas, torna-se necessário conhecer com precisão a sua distribuição espacial na superfície. (TONGWAY; HINDLEY, 1995; KARNIELI, 1997; CÁNTON et. al. 2001; BELNAP et. al. 2006; CASTILLO-MONROY et. al. 2010; GROTE et. al. 2010; JENSEN, 2011; CHAMIZO et. al. 2013; RODRÍGUEZ-CABALLERO et. al. 2013; ALONSO et. al. 2014).

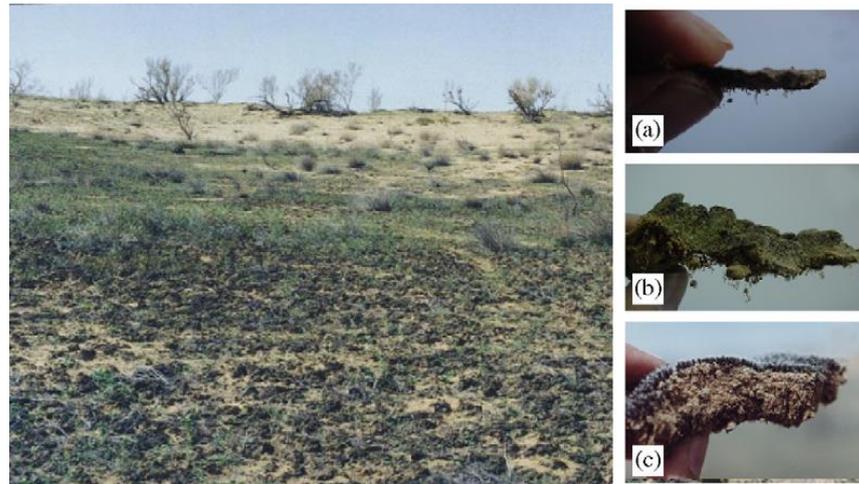


Figura 8: Aparência do deserto de Gurbantunggut (á direita) os diferentes tipos de coberturas biológicas do solo: (a) crostas dominadas por algas, (b) crostas dominadas por líquens e (c) crostas dominadas por musgos.

Fonte: ZHANG et. al. 2007.

Ustin et. al. (2008) Alonso et.al. (2014) ressaltam em seus estudos, que apesar de suas condições de sobrevivência em ambientes extremos, as CBS possuem um metabolismo e funcionalidade fisiológicos muito dependentes da temperatura, umidade do ar e às mudanças no padrão de precipitação do ambiente, portanto frágeis às alterações antrópicas nestes ecossistemas. Essas características fazem das CBS indicadores de qualidade ambiental.

#### 2.4.2 Comportamento espectral dos Musgos, Líquens e Algas

As pesquisas sobre o comportamento espectral das CBS ocorrem geralmente em ambientes áridos e semiáridos do planeta, onde predominam altas temperaturas, baixa precipitação (< 100 mm/ano) e incidência da luz solar durante todo o ano. Mostram-se importantes os estudos realizados por: Karnieli et. al. (2002) sobre o comportamento espectral das CBS (cianobactérias) no deserto de Negev, fronteira entre o Egito e Israel; USTIN et. al. (2008), estudo das CBS (líquens, musgos e cianobactérias) no deserto de Nevada nos Estados Unidos da América; Alonso et. al. (2014) no semideserto de Tabernas, sudeste da Espanha.

Chen et. al. (2005) pesquisaram o comportamento espectral das CBS no deserto de Gurbantunggut, na China. O estudo deu ênfase no comportamento espectral dos líquens, e

também dos musgos e algas. O deserto está localizado em uma região árida e com temperaturas baixas (média anual de 7°C). Chen et. al. (2005) elaboraram um gráfico para o comportamento espectral para três crostas biológicas do solo, sendo elas, curvas para solos dominados por líquens, musgos e algas. Comparando com a reflectância das CBS com as curvas de plantas verdes, sombras de plantas, plantas secas e para dunas sem cobertura vegetal (Figura 9).

Chen et. al. (2005) analisaram que todas as curvas, exceto aquelas para plantas verdes e sombras de plantas têm relativamente semelhantes características espectrais, mas se diferem na sua magnitude total da reflectância e na profundidade da zona de absorção do pigmento. As três crostas biológicas do solo apresentam uma reflectância geral mais baixa (inferior a 30%) ao longo do espectro, devido às suas superfícies escuras. Outra característica distintiva da reflexão das três crostas é que eles exibiram um ligeiro achatamento no intervalo entre 0,6  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$ , atribuído à absorção por pigmentos fotossintéticos.

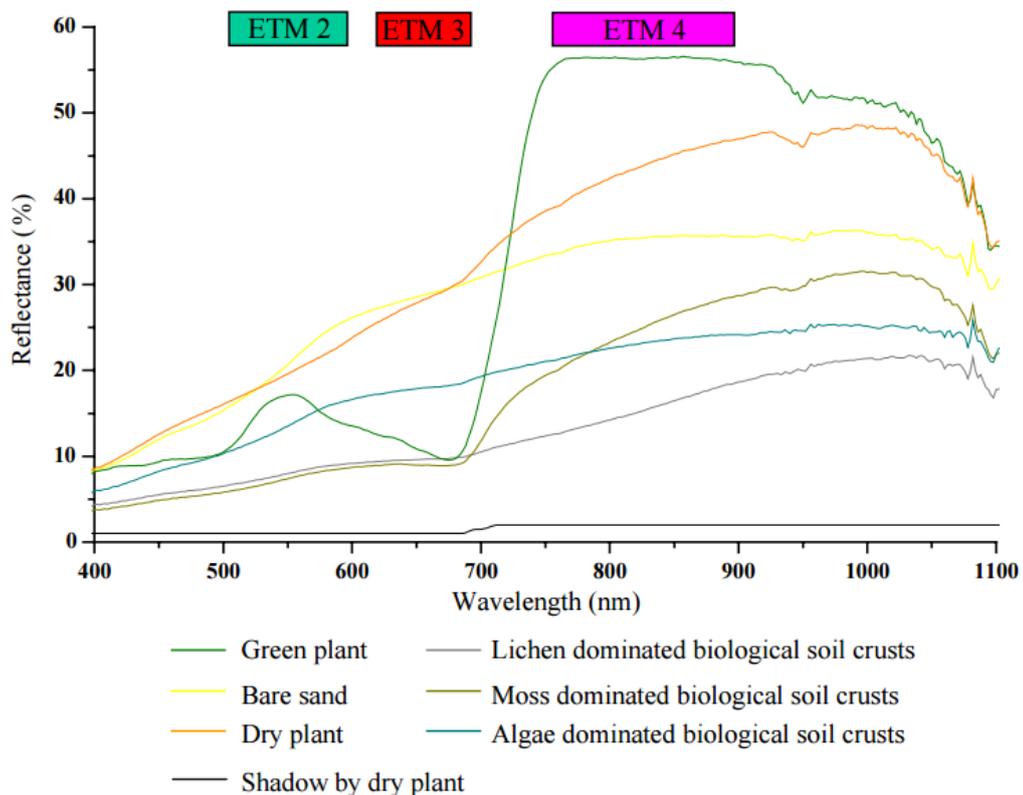


Figura 9: Comportamento espectral das crostas biológicas do solo. CHEN et.al. (2005).

Karnieli et. al. (2001) também verificaram esse padrão em crostas dominadas por cianobactérias. Apesar dessa absorção característica de vegetação, as crostas biológicas do

solo não mostram o pico de reflectância em  $0,55 \mu\text{m}$  (banda do verde), como no caso das plantas.

Entre as três CBS, as algas apresentam uma maior reflectância do que os líquens e os musgos entre o intervalo de  $0,40 \mu\text{m}$  e  $0,80 \mu\text{m}$ , também é caracterizada por uma absorção muito baixa em  $0,675 \mu\text{m}$ . As crostas dominadas por musgos tem um padrão semelhante de planta verde, mas sem apresentar um pico de reflectância em  $0,55 \mu\text{m}$ . Segundo Ustin et. al. (2008) os musgos são os mais distintos entre as CBS, tendo uma absorção profunda na região do vermelho, e absorções mais rasas em comprimentos de onda do azul e verde. Os líquens exibem uma reflectância menor (inferior 20%) em todo o espectro eletromagnético, e tem como característica absorção fraca em  $0,685 \mu\text{m}$ . (CHEN et. al. 2005; ZHANG et. al. 2007; WEBER et. al. 2008; JENSEN, 2011).

## 2.5 Síntese sobre os sistemas de sensores

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a REM (em alguns comprimentos de onda do espectro eletromagnético) provenientes dos alvos da superfície terrestre. Também são os sistemas responsáveis pela conversão da REM em um registro na forma de imagem ou gráfico que permite associar a distribuição da radiância, emitância ou retroespalhamento com suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas. Os sensores geralmente captam a energia refletida entre o intervalo de  $0,3$  e  $3,0 \mu\text{m}$ , chamada de região de energia refletida do espectro. Sendo está subdivida em três sub-regiões: visível ( $0,38$  e  $0,72 \mu\text{m}$ ), infravermelho próximo ( $0,72$  e  $1,3 \mu\text{m}$ ) e infravermelho de ondas curtas ( $1,3$  e  $3,0 \mu\text{m}$ ) (NOVO, 2012).

Os sensores podem ser classificados de acordo com a sua fonte de energia, sendo eles passivos ou ativos (Figura 10). Podem ainda ser classificados como sendo imageadores e não imageadores (MORAES; 2002; FIGUEIREDO, 2005; SAUSEN, 2008; NOVO, 2012).



Figura 10: Sistemas de sensores passivos e ativos. Fonte: Pontuschka et. al. (2012).

Os passivos: são sensores que utilizam apenas a REM refletida ou emitida a partir da superfície terrestre. A luz solar é a principal fonte de REM destes sensores. Possuem em seus componentes espelhos, prismas lentes, que são classificados de sensores ópticos. Os ativos: são sensores que utilizam REM produzida pelos próprios satélites. Os radares e lasers são sensores ativos e operam na faixa do microondas do espectro (FIGUEIREDO, 2005, SAUSEN, 2008).

Os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada, registrando a variação espacial da energia eletromagnética resultante da interação com os alvos da superfície. Os sistemas não-imageadores, também denominados de radiômetros ou espectralradiômetros, medem a intensidade proveniente de um alvo sem produzir uma imagem, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos (MORAES, 2002; NOVO, 2012).

### **2.5.1 Resoluções dos sistemas sensores**

Sausen (2008) define a resolução do sensor como à habilidade que o sistema possui para distinguir alvos na superfície terrestre. A resolução de um sensor implica em quatro parâmetros: resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial representa a capacidade que o sensor possui para distinguir os alvos na superfície. Cada sistema sensor tem uma capacidade de definição do tamanho do pixel na imagem, o que corresponde a menor parcela imageadas da superfície. Essa dimensão do pixel é o que defini a resolução espacial do sensor (MORAES, 2002; FIGUEIREDO, 2005; SAUSEN, 2008).

O intervalo que o sensor abrange do espectro eletromagnético é denominado de resolução espectral, ou seja, é o número de bandas ou largura de bandas espectrais que um sensor pode discriminar. Quanto menos ou mais comprimentos de onda o sensor identifica, é o que determina a sua resolução espectral. A resolução radiométrica se refere à sensibilidade do sensor, ou seja, a sua capacidade para detectar e registrar diferenças na energia refletida ou emitida pelos elementos que compõe a área imageada (rochas, solos, vegetações, águas e dentre outras). A resolução radiométrica de um sensor indica o número de níveis de cinza por ele detectado. A grande maioria dos sensores orbitais trabalha com uma escala de 256 níveis de cinza. A resolução temporal está relacionada ao período de tempo em que o satélite volta a visitar uma mesma área. A resolução temporal possibilita o uso de dados temporais para

estudos de recursos naturais e meio-ambiente, os dados são coletados em datas diferentes, o que permite o monitoramento de fenômenos dinâmicos, tais como, inundações, desmatamento, crescimento urbano, monitoramento de secas, deslizamentos, impactos ambientais (MORAES, 2002; FIGUEIREDO, 2005; SAUSEN, 2008).

## **2.6 LANDSAT 7 e 8**

Moreira (2012) ressalta que os dados gerados pela série de satélites Landsat são amplamente utilizados para estudos do monitoramento e levantamento de recursos naturais terrestres. As imagens geradas pelos sensores do Landsat 7 e 8 são aplicadas em diversas áreas, tais como: mapeamentos de uso da terra, mapeamento de formas do relevo, mapeamentos de enchentes e de planícies de inundação, monitoramento de queimadas, determinação de concentração de áreas cobertas por neve, medidas de feições glaciais e diversos outros (NOVO, 2012).

Ahlert et. al. (2004) ressaltam a importância que imagens com boa resolução espacial, como as do Landsat representam para os estudos ambientais no continente Antártico, dentre esses estão: estudos sobre a geomorfologia glacial e o monitoramento das geleiras nas ilhas periféricas e na costa do continente.

O lançamento em órbita do Landsat 7 ocorreu em 1999, seu funcionamento sem problemas ocorreu até 2003. Tem a bordo o sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que coleta informações sobre a superfície em uma faixa de 185 km por 185 km (tamanho da cena), revisitando o mesmo ponto a cada 16 dias. O sensor ETM+ capta a radiação no intervalo do visível e infravermelho (sete bandas no total), com resolução espacial de 30 metros. Na banda pancromática (0,50  $\mu\text{m}$  e 0,90  $\mu\text{m}$ ) a resolução espacial é de 15 metros e na banda do termal (banda 6) é de 60 metros. Possui órbita polar, circular e heliossíncrona e encontra-se há uma altitude de 705 km (INPE; USGS, 2016).

O Landsat 8 foi lançado em órbita em fevereiro de 2013, tendo como sistemas sensores o Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS). O OLI abrange as bandas do visível e infravermelho e o TIRS duas bandas termais. Nesse satélite ocorreu a inclusão de uma banda para o estudo dos aerossóis e outra de nuvens cirrus. A resolução espacial, a resolução temporal e a área imageada pelo sensor permaneceram a mesma do Landsat 7 (USGS, 2013). As características dos satélites Landsat 7 e 8 estão listadas na tabela (Tabela 1) e dos sistemas sensores na (Tabela 2).

Tabela 1: Características dos satélites Landsat. Fonte: NASA-USGS.

<b>Missão</b>	<b>Land Remote Sensing Satellite (Landsat)</b>	
<b>Instituição responsável</b>	<b>NASA</b>	
<b>Satélite</b>	LANDSAT 7	LANDSAT 8
<b>Data do lançamento</b>	15/04/1999	11/02/2013
<b>Situação atual</b>	Inativo	Em operação
<b>Órbita</b>	Polar	Polar
<b>Altitude</b>	705 km	705 km
<b>Inclinação</b>	98.2°	98.2°
<b>Tempo de duração da órbita</b>	98,9 min	99 min
<b>Horário de passagem</b>	10h00min a.m.	10h11min a.m.
<b>Sensores</b>	ETM +	OLI e TIRS

Tabela 2: Sistemas Sensores do Landsat 7 e 8. Fonte: USGS.

Sistema Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus)	B1 - AZUL	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$	30 metros	8 bits
	B2 - VERDE	0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$		
	B3 - VERMELHO	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$		
	B4 – NIR	0,77 – 0,90 $\mu\text{m}$		
	B5 – SWIR 1	1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$		
	B6 – IF. TERMAL	10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$	60 metros	
	B7 – SWIR 2	2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$	30 metros	
	B8 - PAN	0,52 – 0,90 $\mu\text{m}$	15 metros	
OLI (Operational Land Imager)	B1 – Cost/Aerossol	0,43 – 0,45 $\mu\text{m}$		16 bits
	B2 - AZUL	0,45 – 0,51 $\mu\text{m}$		
	B3 - VERDE	0,53 – 0,59 $\mu\text{m}$		
	B4 - VERMELHO	0,64 – 0,67 $\mu\text{m}$	30 metros	
	B5 – NIR	0,85 – 0,88 $\mu\text{m}$		
	B6 – SWIR 1	1,57 – 1,65 $\mu\text{m}$		
	B7 – SWIR 2	2,11 – 2,29 $\mu\text{m}$		
	B8 - PAN	0,50 – 0,68 $\mu\text{m}$	15 metros	
	B9 - CIRRUS	1,36 – 1,38 $\mu\text{m}$	30 metros	
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	B10 - TIRS1	10, 60 – 11,19 $\mu\text{m}$	100 metros	16 bits
	B11 – TIRS2	11,50 – 12,51 $\mu\text{m}$		

## 2.7 Processamento digital de imagens (PDI)

O processamento digital de imagens (PDI) de satélites pode ser entendido como todo o processo que incorpora, desde a coleta dos dados brutos até as etapas de pós-processamento das imagens. Moreira, (2012) define o PDI como sendo a manipulação de uma imagem através de um computador ao mesmo tempo em que a entrada e a saída do processo sejam imagens. A principal atribuição do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para uma subsequente interpretação (CRÓSTA, 1992; QUEIROZ et. al. 2006).

O PDI pode ser estruturado em várias etapas, começando de acordo com Moreira (2012), pelo pré-processamento, classificação e pós-processamento. O INPE divide o PDI em

três etapas: pré-processamento, realce (do qual visa melhorar a qualidade da imagem, para permitir uma melhor discriminação dos objetos presentes na imagem) e classificação. A Figura 11 apresenta essas etapas de processamento de imagens.

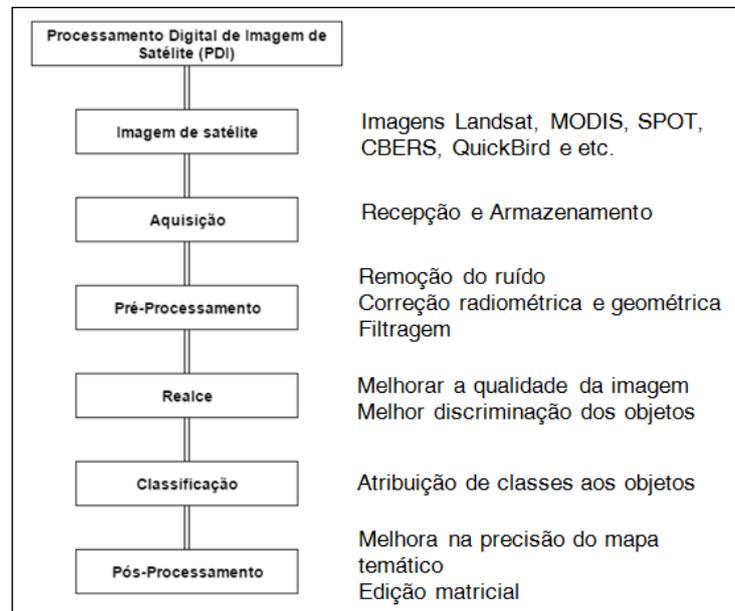


Figura 11: Esquema das etapas do Processamento Digital de Imagem de Satélite (PDI). Fonte: Autor, 2016.

O pré-processamento envolve passos como a calibração radiométrica da imagem, a filtragem de ruídos introduzidos pelos sensores e a correção de distorções geométricas causadas pelo sensor (CRÓSTA, 1992; MOREIRA, 2012).

Moreira (2012) acrescenta que o pré-processamento está relacionado aos procedimentos aplicados com a intenção de melhorar a qualidade visual das imagens (realce), ou mesmo gerar índices de vegetação. Ele destaca também que nessa etapa, primeiros são realizados os procedimentos de georreferenciamento, realce, filtragem, correção dos efeitos atmosféricos, recortes das imagens e outros. Enquanto, os índices de vegetação, geração de componentes do solo, são realizados em segunda etapa dentro do pré-processamento.

## 2.8 Classificação digital de imagens de satélite

A classificação é considerada a etapa mais importante no processamento digital das imagens, pois tem como objetivo reconhecer, verificar ou inferir a identidade dos objetos a partir das características e representações obtidas pelas etapas anteriores do processamento (QUEIROZ et. al. 2006).

Para Moreira (2012) a classificação de imagens digitais abrange todo o método computadorizado utilizado para associar um pixel da imagem de satélite a uma classe temática, de acordo com o uso e ocupação do solo. Freitas et. al. (2016), definem a classificação de imagens como sendo o processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos que são utilizados para realizar o mapeamento de áreas na superfície terrestre, as quais correspondam aos temas de interesse.

Novo (2012) ressalta que o processo de atribuir significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas é conhecido usualmente como classificação. Esse processo de extração das informações de imagens digitais configura uma análise quantitativa dos dados provenientes do sensoriamento remoto. Cada pixel da imagem é associado a um rótulo referente a um objeto real (vegetação, solo, água) de acordo com as características espectrais e/ou espaciais do pixel, ou seja, quando esse tipo de operação é realizado para todos os pixels de uma determinada área de estudo, o resultado é um mapa temático, mostrando a distribuição geográfica de um tema (distribuição geográfica de um alvo), como a vegetação ou solo. Assim, conforme Crósta (1992) pode-se afirmar então que uma imagem de satélite após ser classificada é um exemplo de obtenção de um mapa digital temático. (CRÓSTA, 1992; NOVO, 2012; FREITAS et. al. 2016).

Existem dois modos dos quais os pixels das imagens podem ser classificados: divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões. A classificação "pixel a pixel", utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas na imagem. Estes classificadores se dividem em métodos estatísticos (utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (não utilizam probabilidade). Os classificadores por regiões utilizam a informação espectral de cada pixel e também a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Nesse tipo de classificação o que se procura é simular o comportamento de um foto-intérprete, reconhecendo dentro da imagem áreas homogêneas de pixels, para isso, se baseia nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. Silva (2015) enfatiza que nessa classificação se demanda um conhecimento prévio de alguns aspectos da área que está sendo estudada, pois estas são padrão de comparação pelas quais todos os pixels desconhecidos serão comparados e, depois, classificados (SILVA, 2015; INPE, 2016).

### 2.8.1 Classificação supervisionada e não supervisionada

De acordo com (MOREIRA e NOVO, 2012) as classificações podem ser subdivididas em dois tipos: não supervisionada e supervisionada. O INPE ressalta que o primeiro passo no processo de classificação de uma imagem multiespectral é o treinamento, sendo este o reconhecimento da assinatura espectral das classes. Assim, a classificação não supervisionada e a supervisionada são duas formas de treinamento. Dentro desses dois métodos de classificação estão inclusos a análise da informação por pixel a pixel e por regiões.

A classificação supervisionada ocorre quando o analista dispõe de informações sobre a área de estudo (amostras de trabalhos realizados em campo, mapas e dentre outros), pois elas permitem a identificação de algumas classes de interesses (INPE, 2016). Nesta classificação é importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da respectiva classe, ou seja, o reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo usuário. Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 "pixels" de treinamento por classe. O número necessário de "pixels" de treinamento para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes (MOREIRA, 2012; INPE, 2016).

Na classificação não supervisionada, os pixels são agrupados em classes, sem que o usuário tenha conhecimento prévio do número ou da identificação das diferentes classes presentes na área imageada. Crósta (1992) acrescenta que a classificação não supervisionada está baseada no princípio de que o computador é capaz de identificar sozinho as classes dentro de um conjunto de dados. Através desse método é possível ter o conhecimento da distribuição dos pixels por classes espectrais, estas distribuições podem ser analisadas e comparadas com dados obtidos em campo, mapas ou dados teóricos sobre o comportamento espectral dos alvos (FONSECA, 2008; NOVO; 2012). Novo (2012) enfatiza que a classe da superfície da qual cada um dos pixels fazem parte, é determinada a posteriori.

Crósta (1992) observa que para uma melhor compreensão do funcionamento das classificações não supervisionadas, é necessário analisar o espaço de atributos de todos os pixels que compõem uma imagem de satélite, e não apenas para os pixels que constituem as áreas de treinamento. A Figura 12 é utilizada para explicar o processo de classificação não supervisionada, nela o exemplo da densidade de ocorrência de pixels está representada por curvas de contorno. Crósta (1992) destaca também, que o espaço de atributos contém vários agrupamentos ou "clusters", os quais são caracterizados por regiões de alta densidade de

curvas de contorno. No processo de classificação não supervisionada, esses “clusters” são automaticamente identificados e usados como áreas de treinamento para a classificação. Na figura 12, as curvas foram traçadas em intervalos de cinco pixels por valor de nível de cinza e as maiores concentrações ou agrupamentos foram denominados: A, B, C, D, E, F e H (CRÓSTA, 1992).

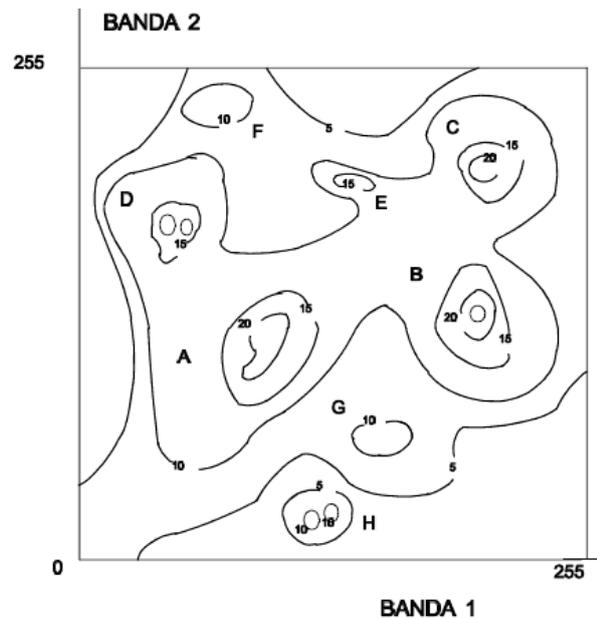


Figura 12: Espaço de atributos mostrando a distribuição de densidade de todos os pixels em uma imagem, na forma de curvas de contorno. Fonte: CRÓSTA, 1992.

### 2.8.2 ISODATA

Ohata et. al. (2005), Silva (2015) explicam que para realizar a classificação digital de imagens de satélite são utilizados modelos matemáticos denominados algoritmos.

Os algoritmos de agrupamento mais utilizados nas classificações não supervisionadas são o K-MEDIA e o ISODATA, sendo ambos semelhantes. O ISODATA é uma modificação do algoritmo K-MEDIA, nele foi implementado a função de fusão ou divisão de classes espectrais (clusters). Na classificação ISODATA, o algoritmo tem como base a análise de agrupamentos onde são identificados no espaço de atributos os clusters formados por “pixels” com características similares. O algoritmo identifica padrões típicos nos níveis de cinza, tais padrões são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. É necessário determinar para o algoritmo o número de classes, a quantidade de interações desejada, isto é, o recálculo para os novos valores médios. Há também a opção de configuração do desvio padrão, do erro de distancia

mínimo e etc. (VENTURIERI e SANTOS, 1998; OHATA et.al. 2005; VALÉRIO, 2008; SADECK, 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Trabalho de campo em Harmony Point, Ilha Nelson, Antártica

O trabalho de campo foi realizado na área de estudo durante o verão de 2015 (13 a 20 de fevereiro), durante a 33ª Operação Antártica Brasileira (OPERANTAR XXXIII). Foram realizadas atividades de coleta em 23 perfis do solo em Harmony Point e também avaliada a cobertura do solo em cada um desses perfis. Na Figura 13 estão localizados os 23 pontos amostrados na área de estudo.

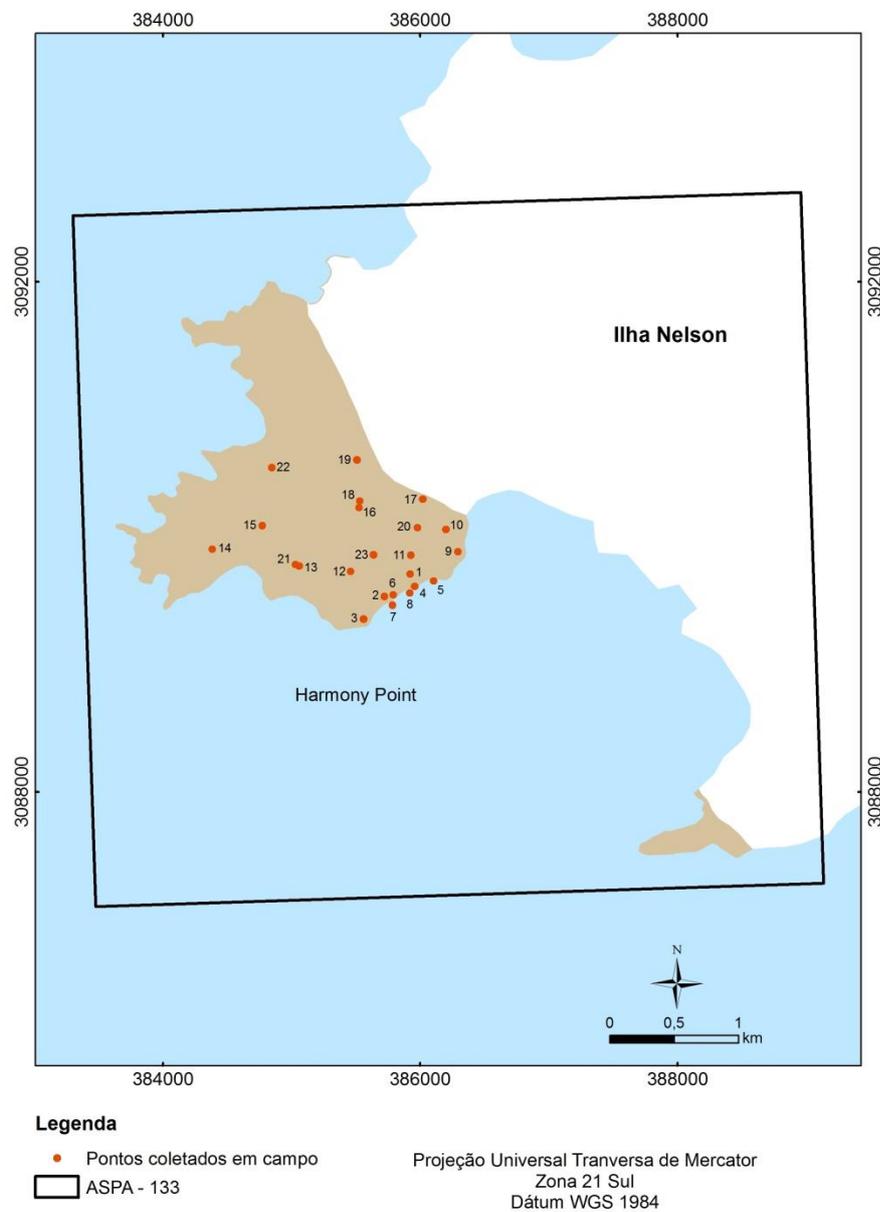


Figura 13: Distribuição espacial dos pontos coletados em Harmony Point em 2015.

O mapa de localização do pontos amostrados na área de estudo foi gerado utilizando-se o software de Sistema de Informação Geográfica – SIG ArcGis View 10.2.2. As bases cartográficas (em formato shapefile) foram obtidas através do site da Antarctic Digital Database (<http://www.add.scar.org/home/add7>), sendo essa base disponibilizada de forma gratuita aos usuários. Os limites de Harmony Point, da Ilha Nelson e da ASPA 133 possuem projeção Universal Transversa de Mercator, Dátum WGS 1984 em um sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude).

### **3.2 Aquisição das imagens de satélite**

Foram utilizadas duas imagens de reflectância em superfície do satélite Landsat para geração das curvas espectrais dos pontos coletados em Harmony Point e para a classificação não supervisionada. A utilização de duas imagens de satélite no estudo é necessária para identificar possíveis mudanças na cobertura do solo, assim como a comparação com as amostras de campo.

Uma imagem Landsat 7 (ETM+), adquirida pelo sensor sobre a área de estudo no dia 19 de janeiro de 2003, com órbita/ponto 217-104 e outra do Landsat 8 (OLI/TIRS) do dia 17 de março de 2015, com órbita/ponto 217-104. As imagens Landsat estão disponíveis para download no banco de dados “Earth Explorer”, pelo United States Geological Survey – USGS, endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov>. As imagens utilizadas no trabalho já apresentavam pré-processamento, como o georreferenciamento, projeção cartográfica Estereográfica Polar, Dátum WGS 1984, formato de entrega GeoTIFF e com os valores de reflectância da superfície calculados para todas as bandas.

A escolha pelas imagens Landsat deve-se ao fato da sua utilização em estudos já realizados sobre as Crostas Biológicas do Solo – CBS em outras regiões, como em pesquisas realizadas por: Karnieli et.al. (2001); Chen et. al. (2005); Zhang et. al. (2007) e Alonso et. al. (2014) e entre outros. Outros fatores, também influenciaram na decisão da utilização de apenas duas imagens, tais qual a constante presença de nuvens (nebulosidade) sobre a área de estudo, a resolução espacial (30 metros) e espectral (multiespectral) das imagens Landsat, a disponibilidade sem custo e a extensa aplicação dessas imagens em outros estudos de monitoramento ambiental.

### 3.3 Procedimentos metodológicos de análise e extração das imagens Landsat e dados

Para a extração das informações de reflectância em superfície das imagens Landsat 7 e 8 geração das curvas espectrais dos alvos e o processo de classificação não supervisionada, foram utilizados: os softwares ENVI 4.7, para o processamento digital das imagens (PDI), também para análise e extração das informações espectrais e classificação digital; o Microsoft Office Excel 2010 (planilha eletrônica), para a organização dos dados de reflectância e criação dos gráficos das curvas espectrais dos alvos; e programa SIG para elaboração dos mapas temáticos de cobertura do solo e de localização.

#### 3.3.1 Processamento das imagens Landsat e dados de reflectância

As bandas do Landsat definidas para a análise e classificação foram: as bandas da região do visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR 1 e 2) (Tabela 3). Sendo descartadas, as bandas do Infravermelho Termal para o Landsat 7 e 8, e as bandas Costeira/Aerossol e Cirrus (nuvens) para o Landsat 8, pois, estas não fornecem informações relevantes na análise do comportamento espectral dos alvos estudados.

Landsat 7	Landsat 8
Banda 1	Banda 2
Banda 2	Banda 3
Banda 3	Banda 4
Banda 4	Banda 5
Banda 5	Banda 6
Banda 7	Banda 7

Tabela 3: Bandas dos sensores (ETM+) e (OLI) utilizadas.

Com a definição das bandas a serem utilizadas, no ENVI foi realizado o processo de *Layer Stacking* “Empilhamento de Camadas”, ou seja, o agrupamento das bandas em um único arquivo. Já que, as bandas de uma mesma cena vêm em arquivos separados (por exemplo, as imagens Landsat obtidas no Earth Explorer), Também é importante para o processamento de imagens que elas estejam neste mesmo arquivo, facilitando cortes de áreas de interesse, mosaicos, etc. (PERROTTA, 2005). Nesse processo de agrupamento das bandas, o sistema de projeção cartográfica das imagens foi reprojetoado para Universal Transversa de

Mercator – UTM, Dátum WGS 1984, Zona Sul 21. Ao final do processo foi necessário definir uma extensão de saída para os *Layers Stackings* gerados de 2003 e 2015, no ENVI os arquivos “default” não tem extensão, assim, foi gerado o arquivo de saída automaticamente com a extensão .hdr e salvo.

Com todas as bandas em um único arquivo, foram realizados os recortes espaciais das imagens Landsat pelos limites (base vetorial) da ASPA 133, também já reprojeto. Desse modo, esses recortes facilitaram a posteriormente a classificação não supervisionada.

### 3.4 Marcação dos pontos coletados em campo

Os pontos coletados em campo foram identificados na imagem definindo Regiões de Interesse (ROIS), localizando e delimitando o pixel (área de 30m por 30m na superfície) para os 23 pontos amostrados.

A delimitação de ROIS foi importante no processamento das imagens, entende-se como ROIS uma região definida automaticamente a partir de parâmetros obtidos na própria imagem (ou por um usuário) onde o processamento estará totalmente concentrado. As regiões de interesse geralmente são usadas no cálculo de estatísticas, para se fazer uma classificação, para produzir uma máscara e em outras operações que requeiram uma entrada interativa (ALBUQUERQUE et.al, 2002; ENVI, 2016).

Todas as ROIS foram delimitadas nas imagens e os valores de reflectância identificados e exportados para planilhas eletrônicas do Microsoft Office Excel 2010. No ENVI, as ferramentas de região de interesse podem ser utilizadas através do menu principal, selecionando a cadeia de comandos “Ferramentas – Região de Interesse – Definir Região de Interesse”, conforme a Figura 10.

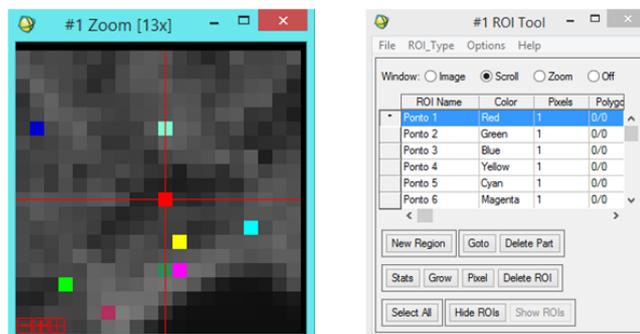


Figura 14: Identificação e delimitação das Regiões de Interesse (ROIS).

### **3.5 Gráficos das curvas espectrais dos alvos**

Na planilha eletrônica do Excel foram organizadas duas tabelas com os valores de reflectância extraídos dos pixels delimitados pelas ROIS, sendo os valores de  $\rho$  convertidos para a escala de 0 a 1. Posteriormente, foram criados dois gráficos, um gráfico referente à informação espectral da imagem 2003 e outro de 2015. Nos gráficos estão contidos os valores de reflectância de todas as bandas utilizadas para análise dos 23 pontos, deste modo foram obtidas as curvas espectrais dos alvos estudados.

#### **3.5.1 Reconhecimento dos padrões e classificação dos alvos**

As curvas espectrais dos 23 pontos foram analisadas e comparadas com o padrão do comportamento espectral dos alvos estudados. Curvas espectrais classificadas com padrão de crostas biológicas do solo (musgos, líquens e algas) foram individualizadas, em seguida foram calculadas as médias dos valores para cada banda espectral, gerando a reflectância média para cada uma das três CBS. Com esses valores médios de reflectância foram elaboradas as curvas médias dos musgos, líquens e algas, sendo elas agrupadas para cada alvo em gráficos dos anos de 2003 e 2015. Também foram agrupadas em dois gráficos distintos as curvas médias dos musgos, líquens e algas para cada uma das datas analisadas, com o propósito de analisar diferença entre elas ao longo do espectro eletromagnético.

#### **3.5.2 Comparação dados de campo com as imagens**

Nessa etapa foi criada uma tabela contendo as informações da cobertura do solo amostradas no campo em Harmony Point e dos alvos identificados em cada pixel, através das curvas espectrais das imagens Landsat dos anos de 2003 e 2015. Assim, foram verificados e comparados os valores com a porcentagem (%) de acertos entre os dois dados.

### **3.6 Classificação não supervisionada**

No ENVI foram realizadas classificações não supervisionadas para as imagens de 2003 e 2015. Nesse tipo de classificação digital de imagens, segundo Crósta (1992) é o computador que decide, com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma. A opção por esse tipo de classificação deve-se aos poucos pontos coletados em campo, que não permitem a identificação com um maior controle

sobre os pixels das imagens. Já que, o ideal é a marcação de 10 a 100 pixels (por classe) para realização da classificação supervisionada. Os valores negativos de reflectância foram removidos das imagens utilizando uma equação na ferramenta Spectral Math no ENVI, os valores inferiores a 0 foram substituídos por 1.

Foram realizadas quatro classificações para as duas imagens, duas classificações apenas utilizando a banda do infravermelho próximo (Banda 4 do ETM+ e Banda 5 do OLI), com o objetivo de diferenciar as áreas com predomínio de crostas biológicas das áreas com rochas. A justificativa para a utilização da banda do NIR são que as crostas biológicas do solo, assim como a vegetação verde, apresentam maior reflectância nessa faixa do espectro eletromagnético. Nesta classificação foram consideradas apenas quatro classes temáticas: água, neve/geleira, rochas e crostas biológicas do solo. Nas outras duas classificações foram consideradas todas as seis bandas utilizadas para a geração das curvas espectrais dos alvos (bandas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas). Ao todo, foram definidas dez classes temáticas: água, neve e/ou geleira, neve com mistura, rochas, rochas com mistura, comunidades de algas, líquens, musgos, musgos e líquens e uma classe para áreas não classificadas. Essa definição tem como base os dados coletados no campo em Harmony Point.

Os outros parâmetros de entrada utilizados nas quatro classificações foram: mínimos seis classes e no máximo dez, oito interações (repetições do processo), a cada nova interação são recalculados e reclassificados os pixels, o algoritmo utilizado foi o ISODATA e as classes mínimas por pixel foi determinada como sendo uma.

No final do processo de classificação não supervisionada foi informada a quantidade de pixels agrupados em cada uma das classes. Também é necessário atribuir rótulos as classes homogêneas agrupadas depois do processamento. Nessa edição foram atribuídas cores aos pixels classificados e agrupados, para isso foi necessário à utilização das 23 ROIS identificadas. Com base na localização das ROIS nas imagens e na análise das curvas espectrais das CBS, foram determinadas cores as classes para todas as coberturas solo. Para a identificação dos alvos como a água e neve e/ou gelo foi utilizada também a interpretação visual da imagem.

### **3.7 Mapa temático da cobertura do solo em Harmony Point**

As imagens depois de classificadas e rotuladas nas respectivas classes, foram exportadas para o ArcGis, para edição e geração dos mapas temáticos de cobertura do solo

das imagens de 2003 e 2015. Logo, com os mapas criados foi realizada a correspondência das classes com a informação dos pontos coletados em campo, desse modo determinando à porcentagem (%) de acertos. Também foram comparados os mapas de cobertura do solo de 2003 e 2015, analisando o total de área das classes, podendo, assim verificar se ocorreram mudanças na cobertura do solo na área de estudo entre as duas imagens de satélite.

### 3.8 Fluxograma

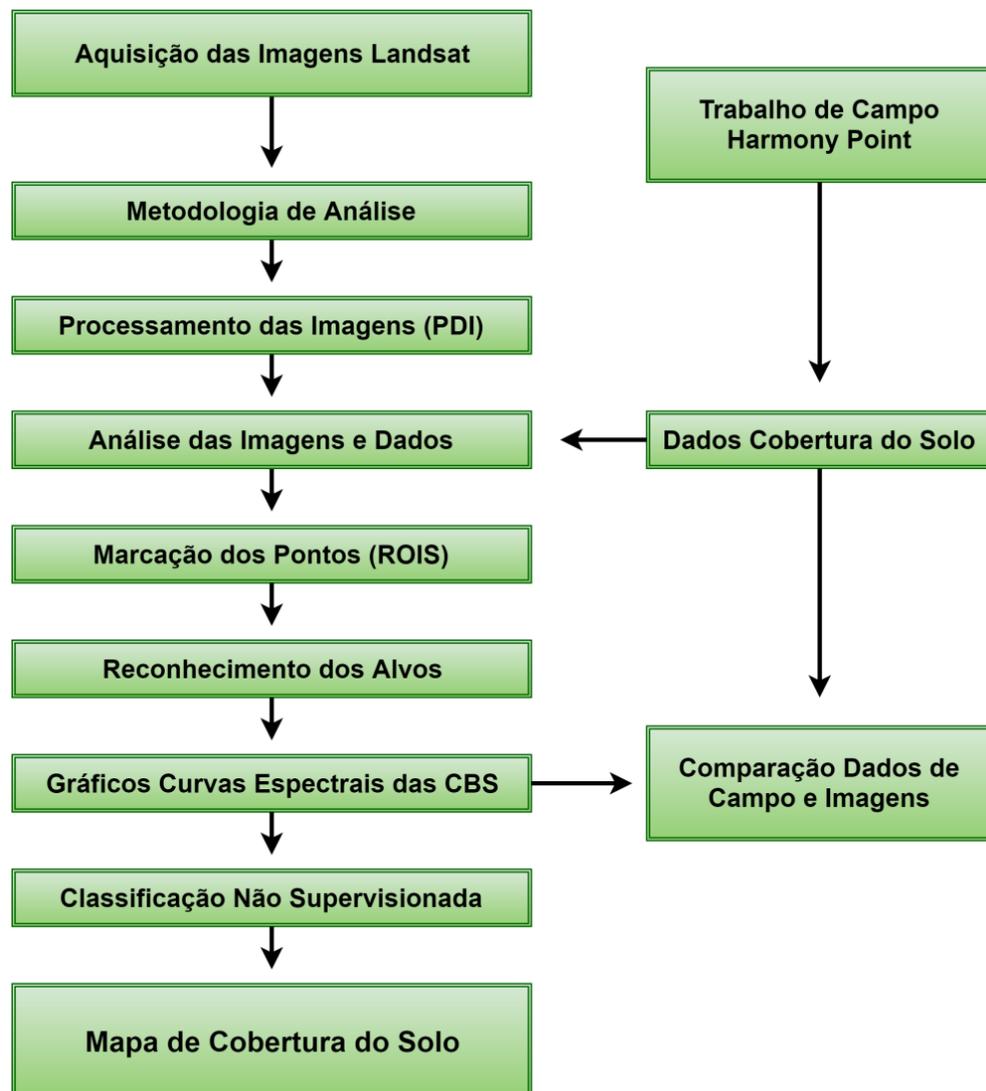


Figura 15: Fluxograma dos procedimentos metodológicos. Fonte: Autor, 2016.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise dos valores de reflectância para 2003 e 2015

Nas tabelas 4 e 4.1 são apresentados os valores de reflectância extraídos das imagens Landsat 7 e 8 de 2003 e 2015. Estes valores foram calculados para o intervalo entre 0 e 1, os valores negativos foram descartados da análise e também na geração das curvas espectrais.

Ao todo em 2003, 3 pixels dos 23 analisados apresentaram valores negativos, sendo todos na banda do azul (pixel 7, 20 e 22). Também se observa que para o pixel 7 os demais os valores de reflectância estão próximos a 0, o que indica que o alvo absorveu praticamente toda a radiação incidente sobre ele.

Tabela 4: Valores de reflectância em superfície para 2003.

Valores de Reflectância						
$\mu\text{m}$	0,485	0,560	0,660	0,830	1,650	2,215
Pixel	(B1) AZUL	(B2) VERD	(B3) VERM	(B4) NIR	(B5) SWIR 1	(B7) SWIR 2
1	0,062	0,0919	0,1031	0,2654	0,3334	0,2418
2	0,1052	0,1228	0,1369	0,1986	0,2123	0,1522
3	0,0868	0,1228	0,1216	0,1986	0,2088	0,1487
4	0,1417	0,1596	0,1419	0,2053	0,2332	0,2024
5	0,11114	0,1352	0,1166	0,1784	0,1705	0,1451
6	0,0991	0,1228	0,1267	0,2188	0,2539	0,1917
7	-10	0,098	0,028	0,0344	0,0268	0,0227
8	0,0494	0,0606	0,0602	0,0897	0,0971	0,0803
9	0,018	0,0416	0,0549	0,252	0,3299	0,2131
10	0,7868	0,7788	0,7252	0,622	0,1427	0,0948
11	0,662	0,6586	0,6086	0,5042	0,0937	0,066
12	0,409	0,3986	0,3811	0,396	0,1496	0,1055
13	0,0617	0,1041	0,1063	0,3247	0,2504	0,1665
14	0,0615	0,0854	0,1115	0,2188	0,24	0,1559
15	0,3926	0,4209	0,3905	0,383	0,1566	0,1235
16	0,0308	0,0544	0,0654	0,1648	0,2712	0,1809
17	0,0371	0,0731	0,091	0,1852	0,2816	0,2096
18	0,1478	0,1596	0,1521	0,2188	0,2718	0,1952
19	0,5032	0,4811	0,4508	0,3635	0,0479	0,0371
20	-9	0,0225	0,0342	0,1986	0,3023	0,1809
21	0,0492	0,0855	0,0808	0,2984	0,2678	0,1594
22	-73	0,0226	0,0291	0,1918	0,3057	0,1773
23	0,052	0,0225	0,0341	0,2254	0,2539	0,1559

Os valores de reflectância extraídos da imagem de 2015 apresentarem dos pixels 15 aos 23 na banda do NIR valores idênticos de reflectância, devido a grande presença de ruídos na imagem e de pontos com baixa reflectância.

Tabela 4.1: Valores de reflectância em superfície para 2015.

<b>Valores de Reflectância</b>						
<b>μm</b>	0,485	0,560	0,660	0,830	1,650	2,215
<b>Pixel</b>	(B2)	(B3)	(B4)	(B5) NIR	(B6)	(B7)
	AZUL	VERD	VERM		SWIR1	SWIR2
<b>1</b>	0,4406	0,4638	0,4342	0,3823	0,0513	0,0354
<b>2</b>	0,3983	0,3717	0,3525	0,3174	0,0468	0,0361
<b>3</b>	0,1188	0,1578	0,1841	0,2554	0,1582	0,1141
<b>4</b>	0,0348	0,0701	0,0556	0,3364	0,101	0,0577
<b>5</b>	0,0328	0,063	0,0521	0,3196	0,1302	0,0713
<b>6</b>	0,0519	0,0787	0,074	0,1289	0,1486	0,1126
<b>7</b>	0,1584	0,1619	0,153	0,1828	0,1356	0,1092
<b>8</b>	0,0476	0,0707	0,0683	0,1347	0,1456	0,1094
<b>9</b>	0,0499	0,0836	0,078	0,2021	0,173	0,1181
<b>10</b>	0,0329	0,046	0,0466	0,1966	0,1364	0,072
<b>11</b>	0,0282	0,0398	0,0438	0,1584	0,1719	0,0954
<b>12</b>	0,0364	0,0651	0,0662	0,2061	0,1519	0,0826
<b>13</b>	0,03	0,0448	0,04	0,3852	0,0908	0,0489
<b>14</b>	0,0443	0,0898	0,077	0,2533	0,1601	0,0902
<b>15</b>	0,1394	0,1698	0,1694	0,2055	0,1118	0,0708
<b>16</b>	0,0494	0,0902	0,0885	0,2055	0,1589	0,0906
<b>17</b>	0,116	0,4413	0,4222	0,2055	0,0323	0,0256
<b>18</b>	0,0541	0,0982	0,0943	0,2055	0,1532	0,092
<b>19</b>	0,802	0,1189	0,1315	0,2055	0,175	0,1208
<b>20</b>	0,0387	0,0678	0,063	0,2055	0,1351	0,0715
<b>21</b>	0,0334	0,0618	0,0565	0,2055	0,135	0,066
<b>22</b>	0,6854	0,7407	0,7435	0,2055	0,0393	0,0325
<b>23</b>	0,1097	0,1597	0,1728	0,2055	0,0671	0,0491

## 4.2 Gráficos do comportamento espectral dos alvos

Na análise dos gráficos 1 e 2 das 23 curvas de 2003 e 2015 foram identificados os comportamentos espectrais dos seguintes alvos: água, em dois estados físicos (líquida e neve, geleira e/ou gelo). Também foram identificados os padrões dos comportamentos espectrais das três crostas biológicas do solo (algas, líquens e musgos) verificadas no campo em Harmony Point. Não foi possível verificar através das curvas outros alvos, como solo sem cobertura vegetal, rocha exposta e entre outros.

Gráfico 1: Comportamento espectral dos 23 pixels para 2003.

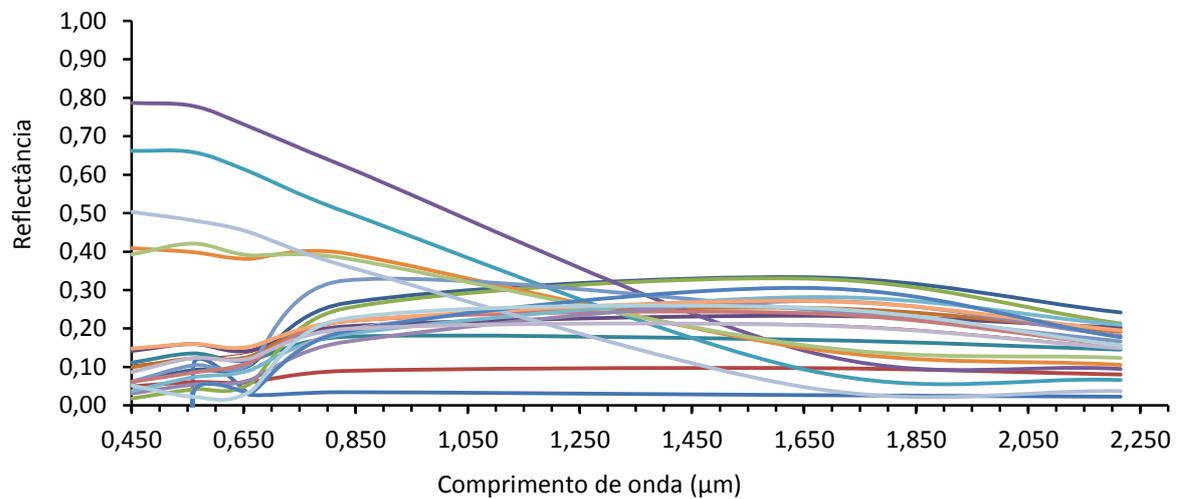
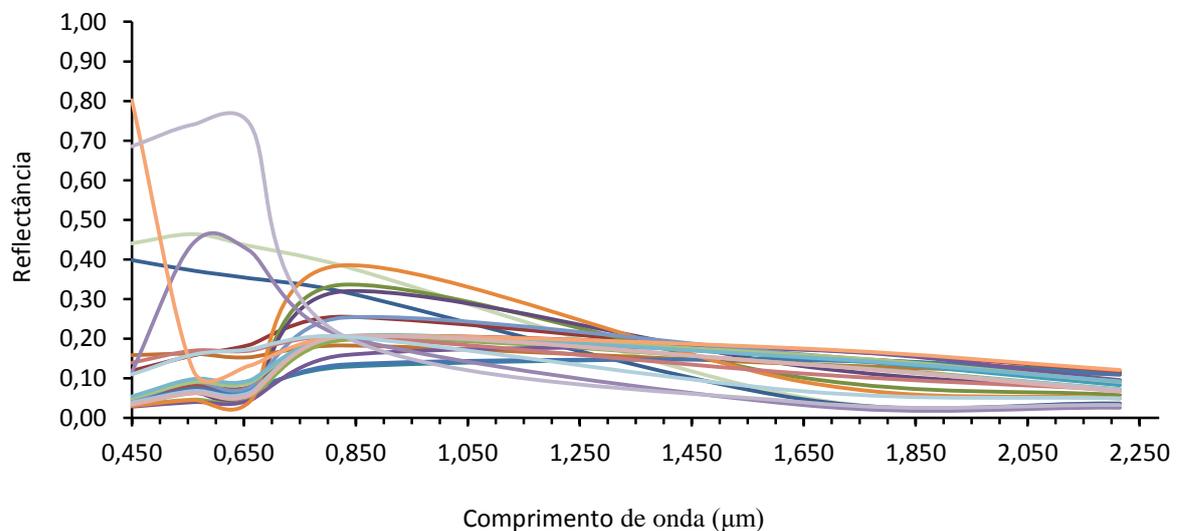


Gráfico 2: Comportamento espectral dos 23 pixels para 2015.



Os padrões observados de reflectância de neve/geleira são característicos, correspondendo à alta reflectância que esse alvo expressa nas bandas do visível. Apresentando em 2003 entre 0,4  $\mu\text{m}$  e 1,0  $\mu\text{m}$  ( $\rho > 0,4$ ) e próximo desse valor nas curvas de 2015. Entre 1,0  $\mu\text{m}$  e 1,2  $\mu\text{m}$  verifica-se uma reflectância decrescente com um alto gradiente, absorvendo praticamente toda radiação ( $\rho < 0,1$ ) nas bandas do SWIR 1 e SWIR 2 (NOVO, 2012). A reflectância varia em magnitude quando comparado com os valores médios de reflectância da neve, demonstrando assim que ocorreram misturas dentro dos pixels, devido possivelmente à presença mais de um alvo em seu interior.

Em 2003 foi verificado padrão do comportamento espectral de água líquida em duas curvas, para classificar-los foram consideradas também a altitude e a proximidade com a linha de praia (pontos localizados em terraços marinhos). Uma curva tem padrão característico de água em estado líquido, baixa reflectância entre 0,38  $\mu\text{m}$  e 0,70  $\mu\text{m}$  ( $\rho < 0,1$ ), absorvendo quase toda radiação acima de 0,7  $\mu\text{m}$  ( $\rho < 0,05$ ). Estes valores nas bandas do infravermelho ocorrem possivelmente pela presença de componentes opticamente ativos na água (JENSEN, 2011 e NOVO, 2012). Outra curva foi classificada como água ou sombra, pois não foi observado o pico de reflectância da água na região do visível, apresentando  $\rho < 0,1$  em todas as bandas.

#### **4.2.1 Curvas espectrais das Crostas Biológicas do Solo**

As demais curvas espectrais foram identificadas como CBS, estando baseado na semelhança com o padrão do comportamento espectral de cada alvo que compõe as crostas, conforme foi visto em KARNIELI et. al. 2001 e CHEN et.al. 2005. Essa identificação das algas, líquens e musgos foi utilizada como a base para se aplicar rótulos às classes geradas através da classificação não supervisionada das imagens Landsat.

Destacam-se semelhanças nas curvas espectrais das CBS em 2003 e 2015, variando na dimensão da reflectância em alguns pixels para a banda do infravermelho próximo e contraste nas bandas do infravermelho de ondas curtas. Nas bandas do SWIR 1 e 2 em 2015 a reflectância apresentou valores inferiores aos verificados em 2003. Os valores em média da reflectância das curvas das CBS em 2003 e 2015 foram abaixo de 0,3 com picos próximos a 0,4 em 2015.

É importante salientar que a identificação e diferenciação de cada CBS ocorrem nas bandas do visível e do NIR, uma vez que nas bandas do infravermelho de ondas curtas as CBS tendem a apresentar o mesmo padrão e magnitude de reflectância (CHEN et.al. 2005).

Nas curvas espectrais de 2003 o pico de reflectância das CBS ocorreram no SWIR 1 enquanto em 2015 na banda do NIR, isso pode ter ocorrido devido a maior presença de matéria orgânica no solo e/ou de água (KARNIELI, 2001). A presença desses dois componentes fazem as CBS absorverem mais radiação na faixa do infravermelho de ondas curtas, a matéria orgânica tem picos de absorção em 1,72  $\mu\text{m}$ , 2,18  $\mu\text{m}$  e 2,309  $\mu\text{m}$ . No SWIR fatores externos como umidade relativa do ar e temperatura fazem a água a diminuir a reflectância das CBS. Em 2015 o pico no NIR é explicado devido à maioria dos alvos identificados serem musgos, que possuem maior reflectância nessa banda.

Além disso, como observado em 2015 foi analisada uma ligeira absorção na banda do vermelho, em 2003 a média de reflectância das CBS foi de 0,09, em 2015 foi de 0,08. Logo, o aumento de espécies e da biomassa (matéria orgânica) e na cobertura do solo ou de água, faz a absorção nos comprimentos de onda da banda do vermelho aumentar, e conseqüentemente a reflectância diminui (BECHTEL et. al. 2002 e CHEN et. al. 2005).

Nas faixas do visível foi analisado que algumas curvas espectrais na banda do azul apresentam baixa reflectância característica dos líquens e musgos ( $\rho < 5\%$ ), e se elevam conforme se avança no espectro eletromagnético. Na banda do verde há um aumento nos valores de reflectância, mas não foi observada em nenhuma curva espectral a característica do pico de reflectância, comum em plantas verdes. Na banda do vermelho algumas curvas apresentaram baixa absorção (0,675  $\mu\text{m}$ ), o que é característica de solos com cobertura dominados pelas algas.

#### **4.2.2 Curvas espectrais médias**

Nos gráficos 3 e 4 são apresentados as médias das curvas classificadas como algas, líquens e musgos para 2003 e 2015. As médias foram calculadas para todas as curvas classificadas como sendo correspondentes aos alvos que compõe as CBS. O intervalo do espectro eletromagnético nos gráficos é apresentado até 1,15  $\mu\text{m}$  (banda do NIR).

Na análise das curvas espectrais das CBS para de 2003 foi constatado o padrão de reflectância  $< 0,3$ , sendo que todos os alvos analisados possuem comportamento espectral semelhante ao que está presente na literatura utilizada. Observa-se que as CBS têm um padrão de leve reflectância na banda do verde e absorção nas bandas do azul e vermelho. A absorção pelos pigmentos fotossintéticos entre 0,6  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$  é mais intensa para os musgos (em 0,68  $\mu\text{m}$  se estima o centro de absorção pela clorofila), nestes também identificados uma elevada reflectância no NIR e SWIR (LOVELOCK et. al. 2002). Os líquens apresentaram o

padrão de ( $\rho < 0,2$ ) ao longo do espectro, e equivalência de comportamento espectral com os musgos nas bandas do visível. As algas tem um padrão de resposta espectral, em que seus valores reflectância não sofrem grande variação ao longo do espectro. Tal qual, também demonstram uma maior reflectância na faixa do visível do que as demais crostas e, além disso, uma absorção fraca em  $0,675 \mu\text{m}$ . Em direção as bandas do SWIR 1 e 2 verificou-se uma tendência há um mesmo padrão de comportamento espectral para as algas, os líquens e os musgos, variando apenas nos valores absolutos.

Em relação às curvas de 2015, o padrão do comportamento espectral não teve no geral distinção, os líquens apresentaram na banda do vermelho similar absorção aos musgos, o que não foi visto nas curvas médias de 2003. A distinção em comparação as curvas de 2003 foi uma acentuada absorção em direção ao SWIR, devido possivelmente a maior presença de matéria orgânica no solo em 2015. Por essa razão, as curvas médias das algas, líquens e musgos apresentaram uma tendência de comportamento espectral semelhante em direção a região das bandas do SWIR 1 e 2

Gráfico 3: Curvas espectrais médias para 2003.

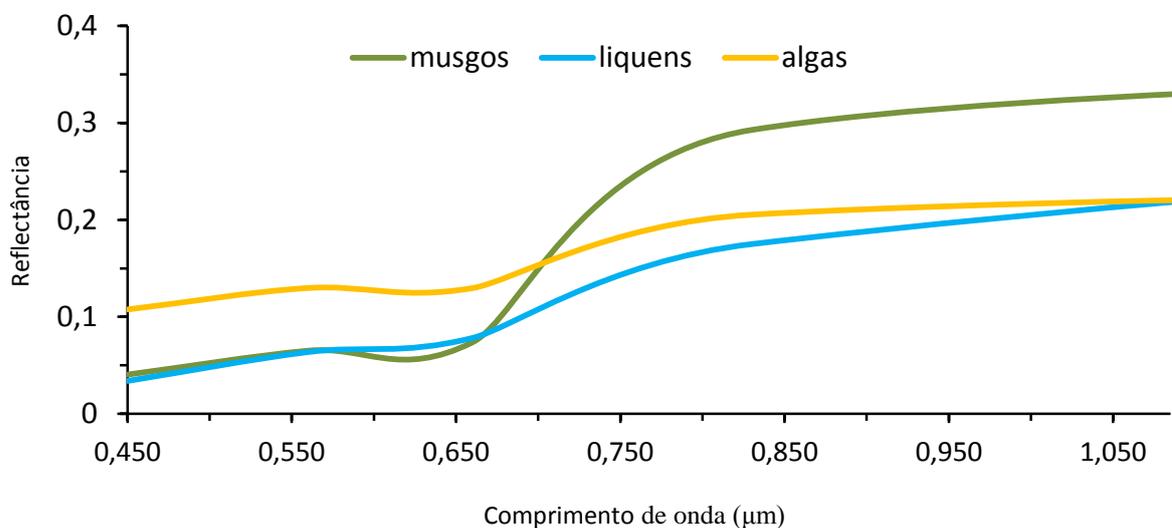
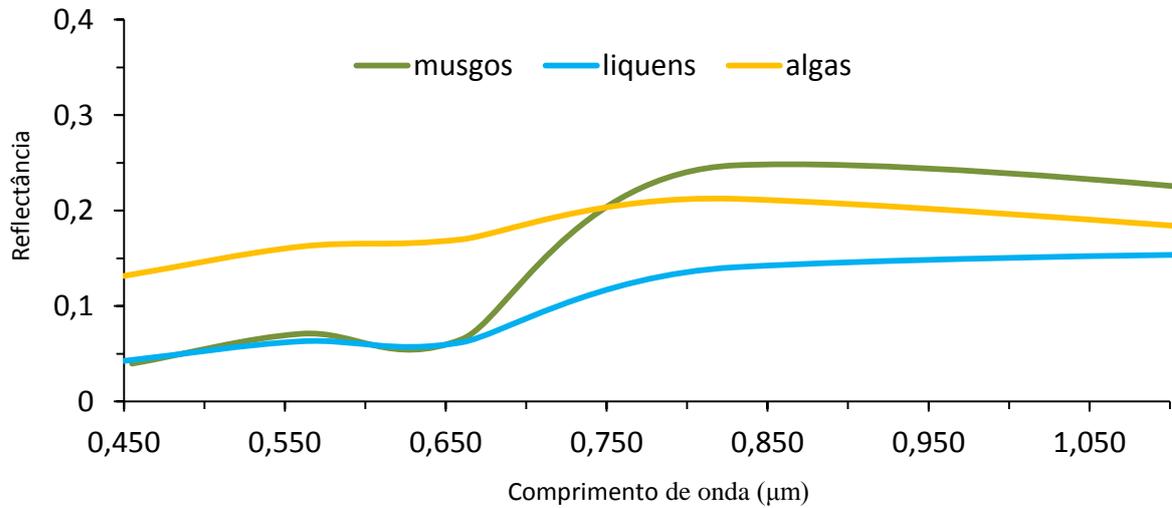


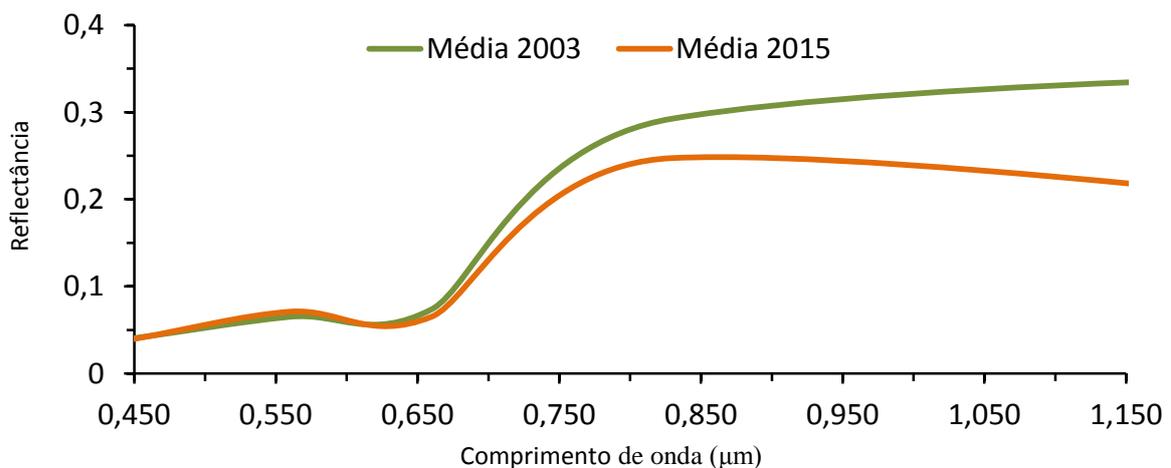
Gráfico 4: Curvas espectrais médias para 2015.



#### 4.2.2.1 Musgos

Nas bandas do visível o comportamento espectral dos musgos foi equivalente para a curva média de 2003 e 2015, a distinção das curvas ocorreu no NIR, nesta banda absorção foi mais acentuada em 2015 (Gráfico 5). Através das curvas médias dos musgos foi possível verificar-se com maior compreensão o padrão característico de planta verde, mas sem ocorrer o pico na banda do verde. Demonstrando assim, que os musgos absorvem a maior parte da REM na região do visível, conforme descrito nos trabalhos de CHEN et. al. (2005).

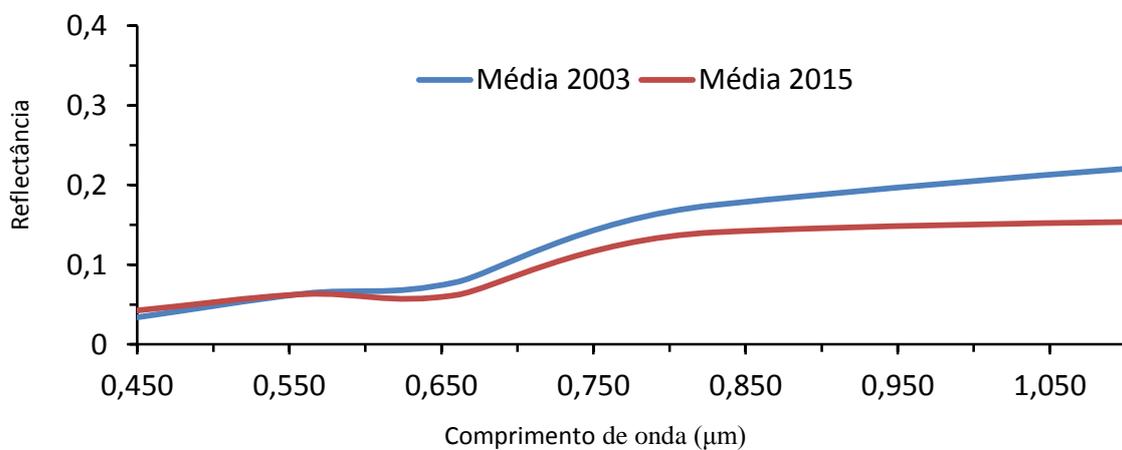
Gráfico 5: Comportamento espectral médio dos musgos (2003 e 2015).



#### 4.2.2.2 Líquens

No gráfico 6 estão dispostas as curvas espectrais dos líquens para 2003 e 2015, o comportamento espectral foi semelhante para os dois anos, em 2015 a absorção na banda do vermelho foi mais acentuada, demonstrando assim, maior presença de pigmentos fotossintéticos (clorofila) nos pontos de 2015 classificados como líquens. A reflectância entre ambas as curvas variou também apenas na banda do NIR e do SWIR 1 e 2.

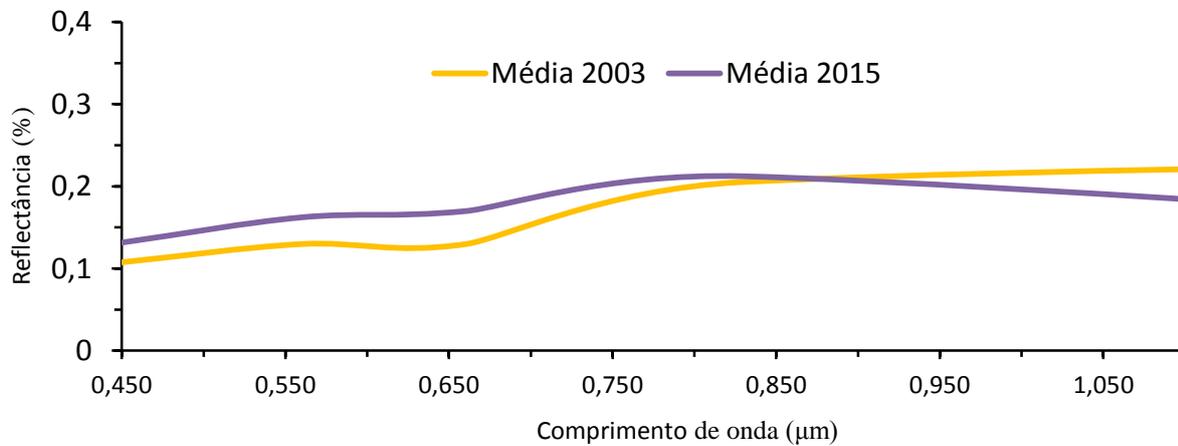
Gráfico 6: Comportamento espectral médio dos líquens (2003 e 2015).



#### 4.2.2.3 Algas

As curvas médias das algas apresentaram a maior distinção entre 2003 e 2015 (Gráfico 7). Em relação a região do visível a curva espectral das algas em 2015 apresentou valores mais elevados de reflectância, enquanto ocorreu semelhança no NIR entre as curvas, e uma maior reflectância em direção ao SWIR para 2003. Vale ressaltar que, na curva média de 2003 foi observada uma correspondência mais perceptível com o comportamento espectral das algas identificado por CHEN et. al. (2005).

Gráfico 7: Comportamento espectral médio das algas (2003 e 2015).



### 4.3 Comparação curvas espectrais das CBS com dados de campo

A tabela 5 apresenta a comparação entre a cobertura do solo verificada em campo com o que foi analisado através do comportamento espectral dos alvos nas imagens de 2003 e 2015. A análise do comportamento espectral das CBS levou em consideração que no campo foram coletados em alguns pontos mais de um tipo cobertura do solo. Enquanto, na análise da informação das curvas espectrais não foi possível identificar mais de um alvo dentro de um pixel.

Para 2003 foram identificados 16 curvas com padrão de CBS, sendo 2 de líquens, 7 de musgos e 7 de algas. Em 12 curvas espectrais, ou seja, em 52% houve correspondência do material coletado em campo e das curvas espectrais. Em 2015 foram identificadas 18 curvas espectrais de CBS, 10 delas correspondem ao que foi coletado em campo (43,5% de correspondência). A maioria das curvas foi identificada como pertencentes aos musgos (11), as algas foram identificadas em 4 curvas e os líquens em 3.

Tabela 5: Comparação entre cobertura do solo em campo e imagens.

Ponto/Pixel	Campo	LS7 - 2003	LS8 - 2015
1	Musgos e Líquens	Musgo	Neve
2	Algas	Algas	Neve
3	Algas	Algas	Algas
4	Líquens	Algas	Musgo
5	Solo	Algas	Musgo
6	Solo	Algas	Líquén
7	Algas	Água/Sombra	Algas
8	Não amostrado	Água	Líquén
9	Musgos e Algas	Musgo	Musgo
10	Líquens	Neve	Musgo
11	Líquens	Neve	Líquén
12	Musgos e Líquens	Neve	Musgo
13	Musgos e Líquens	Musgo	Musgo
14	Algas	Algas	Musgo
15	Musgos e Líquens	Neve	Algas
16	Musgos e Líquens	Líquén	Musgo
17	Musgos e Líquens	Líquén	Neve
18	Musgos e Líquens	Algas	Musgo
19	Musgos	Neve	Neve
20	Musgos	Musgo	Musgo
21	Musgos e Algas	Musgo	Musgo
22	Musgos e Líquens	Musgo	Neve
23	Musgos	Musgo	Algas

#### 4.4 Mapeamento temático da cobertura do solo

##### 4.4.1 Identificação das áreas com nuvens e sombras

Na figura 16 é apresentado um mapa com recorte das imagens de 2003 e 2015 da área de estudo e ilhas próximas. Foi utilizada apenas a banda 1, afim de realçar as áreas com cobertura de neve e/ou geleiras e identificar as áreas com nuvens nas imagens. Na imagem de 2015 ocorreram nuvens próximas à área de estudo, em parte da Ilha Nelson há uma extensa

área com presença de nuvens. Isso indica que, possivelmente houve precipitação antes da passagem do sensor, assim os valores mais baixos de reflectância verificados na banda do SWIR 1 e SWIR 2, estão associados à presença da água da chuva no terreno. Na imagem de 2015 também foram identificadas áreas mais amplas com ruídos e sombras.

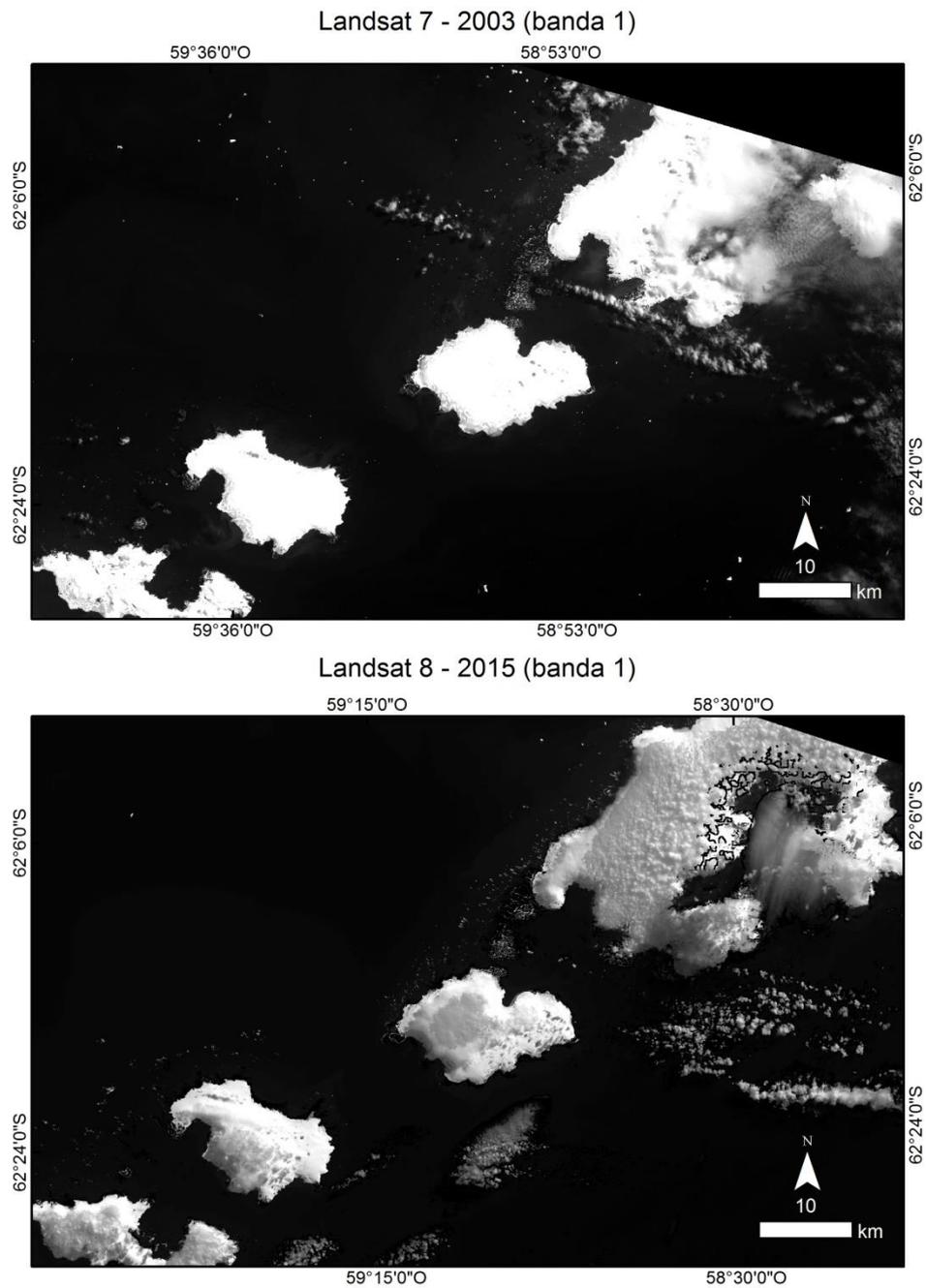


Figura 16: Imagens Landsat 7 de 2003 e Landsat 8 de 2015 – banda 1.

#### 4.4.2 Mapas temáticos da cobertura para a banda do infravermelho próximo

Os mapas temáticos obtidos através da classificação não supervisionada para as bandas correspondentes ao infravermelho próximo dos sensores Landsat7/ETM+ e Landsat8/OLI são apresentados nas Figuras 17 e 18.

O mapeamento das áreas livres de neve e/ou gelo com a presença de crostas biológicas do solo na área de estudo e nos ambientes periglaciais é importante para avaliar a distribuição espacial e a dinâmica temporal dessa cobertura. Em conjunto com a compreensão da sua relação com os diferentes componentes do meio físico, (geomorfologia, linhas de drenagem, rochas e outros) Francelino et al. (2006). Francelino et al. (2006) também ressaltam que a quantificação mais precisa também auxilia nas estimativas de estoque de carbono nos solos da Antártica, assim como, a verificação da evolução ou retração destas comunidades vegetais.

Quantitativamente, no resultado da classificação não supervisionada da imagem de 2003 verificou-se correspondência entre 14 dos 20 pontos em campo identificados como CBS. Assim as CBS representaram 47,60% da cobertura do solo na área de estudo. Para a classificação da imagem de 2015, 16 pontos amostrados como CBS foram identificados na classe temática correspondente, totalizando 39,18% da área classificada. Entre a comparação das duas classificações automáticas em 2003 foi identificada um maior quantidade de CBS, enquanto em 2015 um maior predomínio de áreas com rochas. Nas áreas de neve/gelo e água não foram identificadas mudanças nos valores percentuais das áreas cobertas. É importante observar que, mesmo o percentual de CBS classificados em 2003 seja maior, mais pontos de CBS foram identificados como neve e/ou gelo nessa imagem.

Essa correspondência entre os resultados da classificação transcorreu em função do comportamento espectral bastante distinto das áreas cobertas com neve e gelo, das áreas com rochas e das áreas com presença CBS nessa banda espectral, possibilitando assim, uma correta identificação dos alvos na área de estudo. Verificaram-se áreas onde ocorre predomínio de CBS tanto em 2003 e 2015, relacionadas às linhas de drenagem, portanto a uma maior disponibilidade de água e também a geomorfologia local. Desse modo, a interação entre a disponibilidade de água do degelo, material ornitogênico no solo, geofoma e a radiação solar geram um ambiente essencial para a presença e distribuição espacial das CBS na área de estudo (FRITSEN e PRISCU, 1998; FRANCELINO et al. 2006).

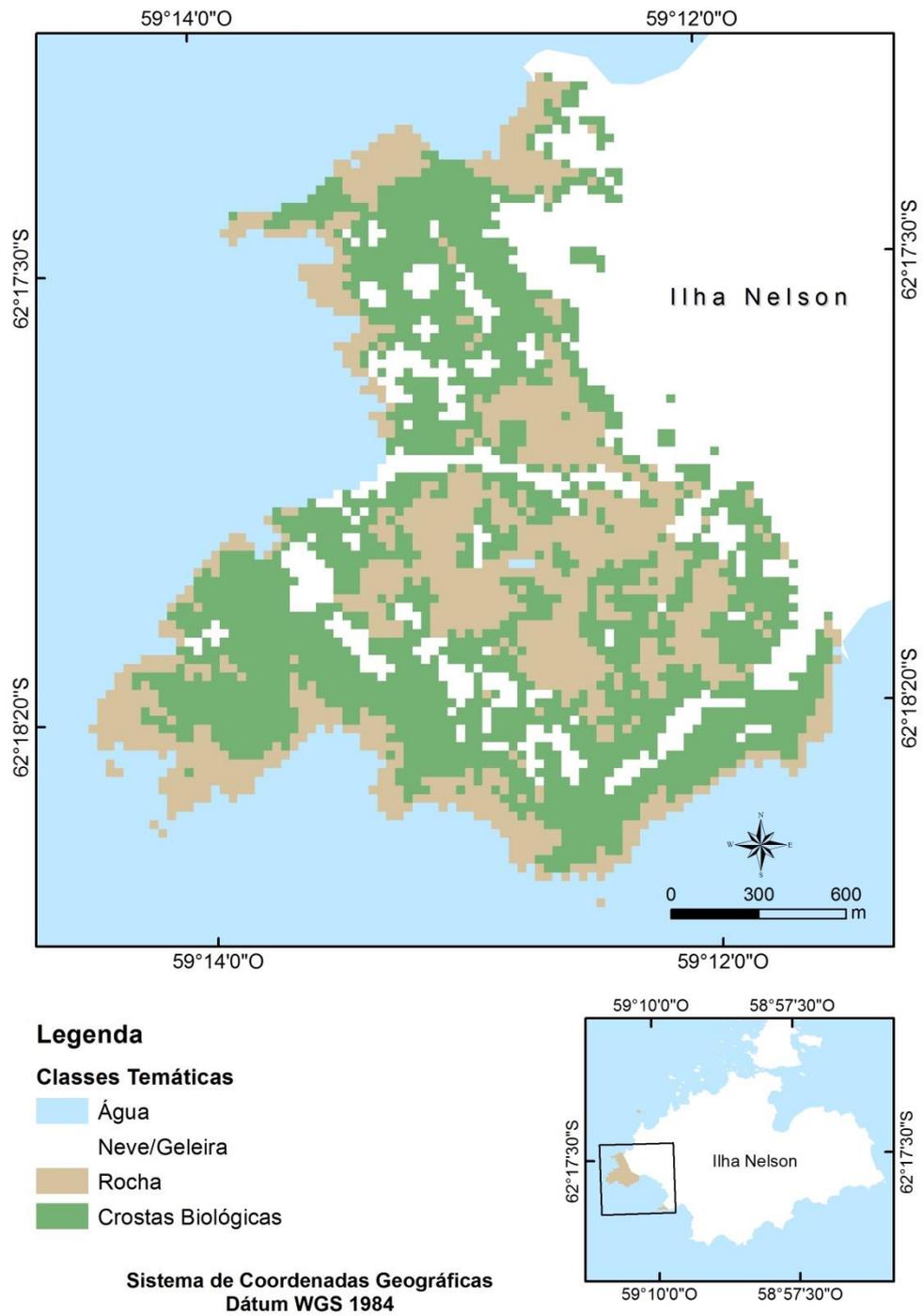


Figura 17: Mapa temático da cobertura do solo utilizando a banda do NIR para 2003.

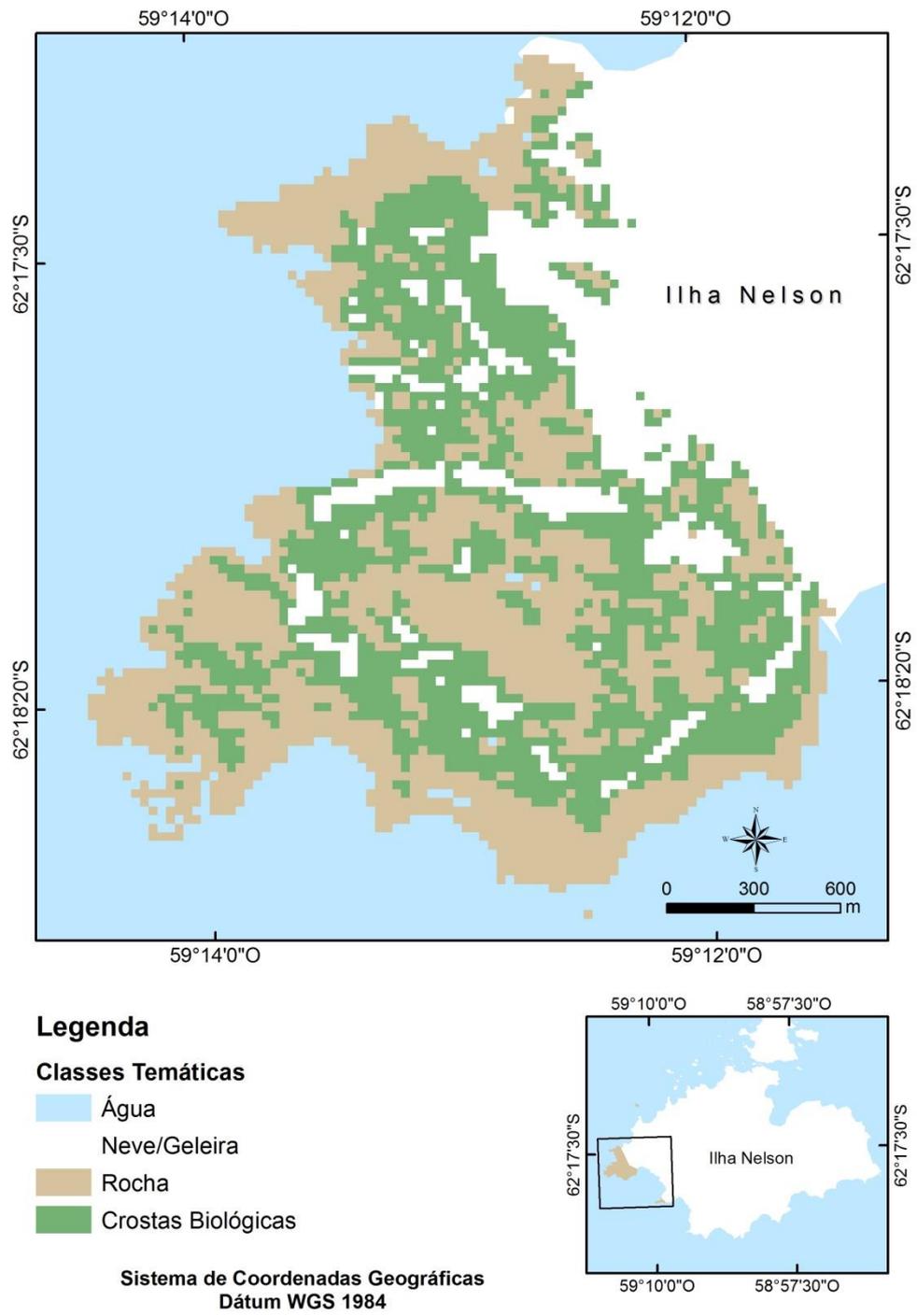


Figura 18: Mapa temático da cobertura do solo utilizando a banda do NIR para 2015.

#### 4.4.3 Mapas temáticos para todas as bandas

As tabelas 6 e 7 apresentam a distribuição das classes obtidas pela classificação não supervisionada da imagem de satélite de 2003 e 2015.

As áreas ocupadas por CBS em Harmony Point na classificação de 2003 somam 36,89% e as áreas com predomínio de rochas 33,43%. Nessa classificação foi possível distinguir as áreas livres de gelo, com cobertura de algas, líquens e musgos, das áreas com rochas e neve/gelo.

Na classificação da imagem de 2015 foi possível distinguir as CBS, somando um total de 36,62% da cobertura da área de estudo e as rochas somaram 42,06%, entretanto as áreas cobertas por líquens não foram possíveis de identificação. Assim, foi considerada uma classe temática de musgos e líquens, uma vez que no campo estas duas CBS foram consideradas juntas em diversos pontos de coleta.

Para as algas em 2015 também ocorreu dificuldade de identificação, isto ocorreu, pois o classificador não distinguiu com precisão áreas com predomínio de algas das áreas com rochas. A água presente no solo, decorrente da chuva, interferiu diretamente na resposta espectral dos alvos, dificultando a correta identificação das coberturas na área de estudo.

Tabela 6: Área e porcentagem da cobertura do solo em Harmony Point para 2003.

Nome da Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Água	0,01	0,22
Algas	0,52	14,32
Líquens	0,41	11,10
Musgos	0,42	11,47
Rochas	0,34	9,41
Rochas com mistura	0,88	24,02
Neve/Geleira	0,65	17,66
Neve Mistura	0,17	4,64
Não Classificado	0,26	7,15
Total	3,66	100

Tabela 7: Área e porcentagem da cobertura do solo em Harmony Point para 2015.

Nome da Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Água	0,02	0,5
Algas	0,26	6,52
Musgos	0,84	21,32
Musgos e Líquens	0,35	8,78
Rochas	0,67	17,13
Rochas com mistura	0,98	24,93
Neve/Geleira	0,60	15,35
Neve com mistura	0,22	5,47
Total	3,93	100

Foram gerados dois mapas temáticos da cobertura do solo em Harmony Point, Figura 19 (2003) e Figura 20 (2015). A utilização de todas as bandas do visível e infravermelho tem como fundamentação o comportamento espectral distinto entre as CBS ao longo do espectro óptico, permitindo deste modo a utilização da classificação automática para a identificação de cada uma das três CBS.

As classes identificadas pelo algoritmo foram classificadas como: neve/geleira, neve/gelo com mistura, água, rochas, rochas com mistura, comunidades de algas, comunidades de líquens, comunidades de musgos e áreas não classificadas. No mapa de cobertura de 2015, as comunidades de líquens, foram identificadas juntamente com uma das classes de musgos.

Não foi possível distinguir com base nas imagens Landsat 7 e 8 mais classes espectrais, demonstrando assim a limitação da resolução espacial do pixel. Entretanto, o mapeamento da cobertura do solo utilizando o classificador não supervisionado ISODATA, apresentou padrões de cobertura importantes, tais como: identificação das áreas de neve/geleira, localização de áreas com predominância por musgos, áreas preferenciais da ocupação das algas e dos líquens, áreas de ocorrência mista de CBS, identificação da linha de praia e rochas, ocorrência de CBS próximo à costa, enquanto sua ocorrência em direção ao interior da área de estudo diminui.

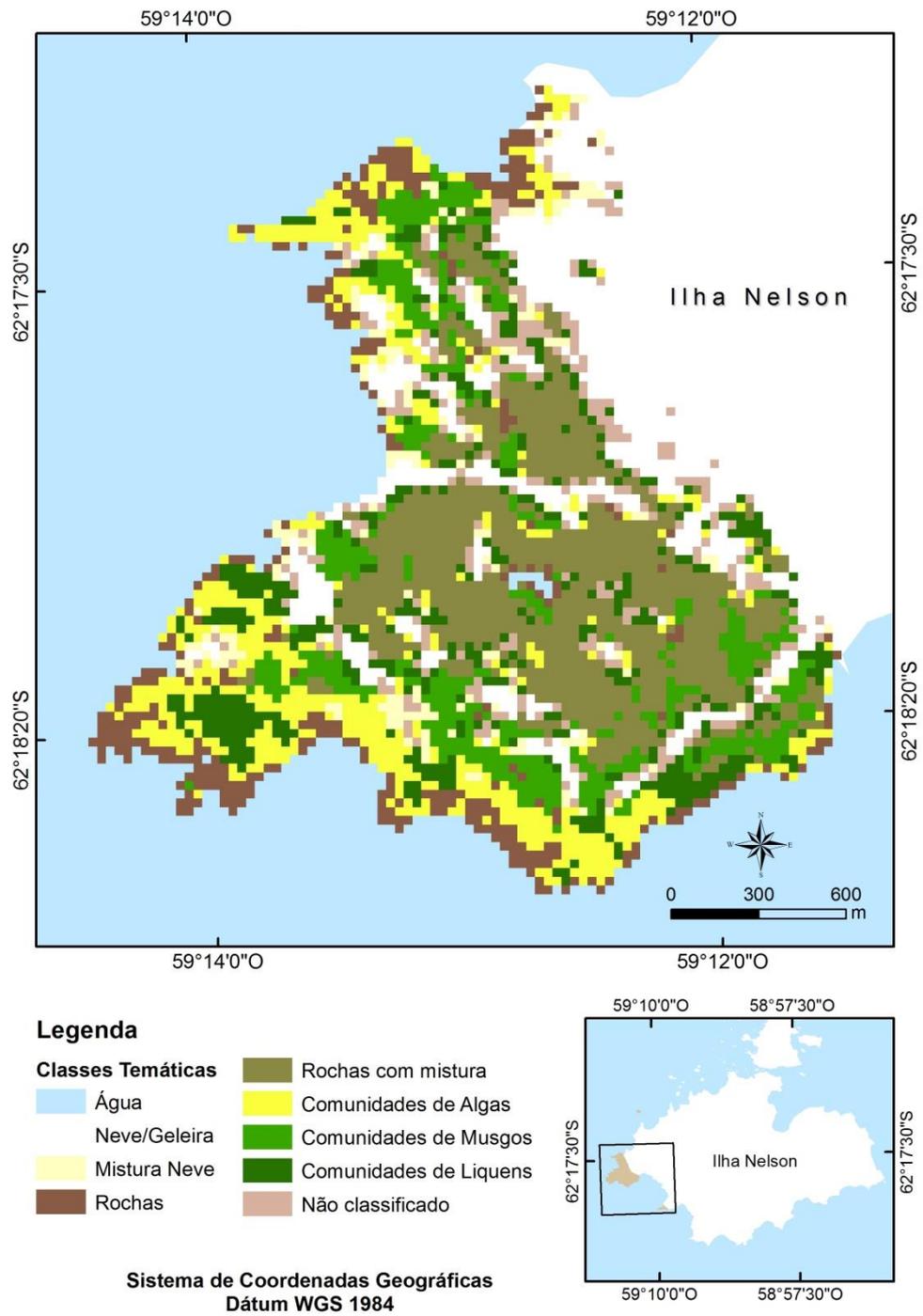


Figura 19: Mapa de cobertura do solo em 2003.

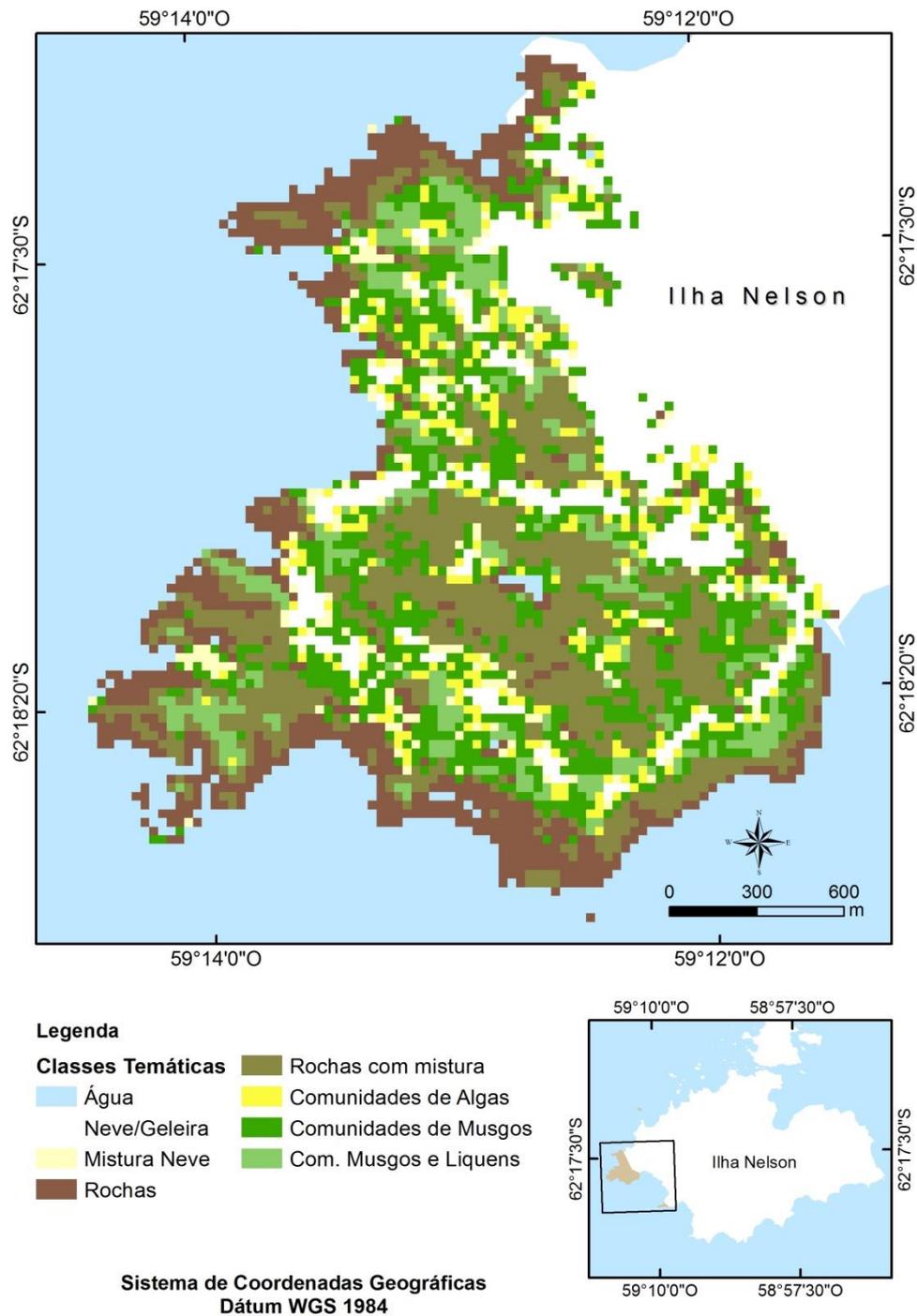


Figura 20: Mapa de cobertura do solo em 2015.

Através dos mapas de cobertura do solo das CBS observa-se uma ocupação diferenciada da paisagem na área de estudo pela fração das comunidades de algas, musgos e líquens. As áreas com um maior predomínio de CBS ocorrem onde o recuo das geleiras na Ilha Nelson é mais antigo, apresentando desse modo uma maior estabilidade do solo e

influência das áreas de ninhais, conforme também observado por FRANCELINO et. al. (2006); POELKING et al. (2009). As CBS estão diretamente relacionadas às áreas de ninhais, conforme visto em Silva et. al. 1998, portanto ao material ornitogênico presente nessas áreas. As algas predominantemente ocupam as áreas próximas à linha da costa, conforme a classificação de 2003. A informação espectral dos líquens é afetada pela presença de outros alvos, principalmente devido à associação com as comunidades de musgos, sendo essas a CBS analisada de mais fácil compreensão e identificação. Áreas não classificadas estão localizadas principalmente próximas à geleira. De certo modo, as CBS localizam-se próximas as linhas de costa e onde ocorrem degelo e acúmulo de água no terreno.

#### **4.4.4 Comparação classificações não supervisionadas com dados coletados em campo**

No trabalho de campo as algas (*prasiola crispera*) foram identificadas em 6 pontos, sendo que em 2 ocorreram conjuntamente com os musgos. O resultado classificação não supervisionada da imagem de 2003 concordou em 3 pontos com o que foi observado como algas nas coletas de campo. Para 2015, apenas 2 pontos concordaram com os dados de coletados.

Os líquens verificados em 11 pontos, sendo em 3 apenas como comunidades de líquens (*usnea, ochrolechia e andrea*). Em 3 classificados pontos concordaram com o que foi visto em campo em 2003. Todavia, os líquens estão na maioria das vezes associados às comunidades de musgos, o que resulta na dificuldade da identificação dessas CBS por meio da informação espectral dos alvos. A classificação automática de 2015 não distinguiu as comunidades de líquens, tendo sido criada uma classe de comunidade mista. Esse tipo de associação entre musgos e líquens foi observado por Francelino, 2004 na Península Keller. Outro fator que influencia na dificuldade da identificação dos líquens através das imagens é a superfície escura que esse alvo apresenta (CHEN et al. 2005).

Os musgos são a comunidade mais vasta verificada em campo (*bryum, polytrichum e saniona*), foram observadas em 13 pontos, com predomínio da espécie (*saniona*), de acordo com Francelino, 2004 essa espécie de musgos é a que apresenta a maior biomassa, e ocorre em todo tipo de comunidades de musgos. Portanto, também é a cobertura de mais fácil detecção pela informação espectral e identificação visual, devido a sua reflectância característica no infravermelho próximo (CHEN et. al, 2005). Os musgos também estão relacionadas às áreas identificadas como rochas com mistura.

A utilização de bandas do sensor Landsat na classificação foi útil para a distinção das CBS na área de estudo. Apresentando um grau de concordância aceitável entre o resultado da classificação automática e dados coletados em campo. Os mapas temáticos obtidos a partir do procedimento de classificação automática da reflectância de superfície das bandas dos sensores ETM+ do Landsat 7 e OLI do Landsat 8 representaram corretamente a cobertura do solo em Harmony Point, tendo essas bandas do espectro eletromagnético sensibilidade suficiente para discriminar os diferentes tipos de coberturas existentes no ambiente periglacial da Antártica.

É importante enfatizar que, erroneamente podem ter ocorrido no resultado da classificação não supervisionada, e áreas com mistura de mais de um alvo podem ter sido consideradas como CBS, devido a resolução das imagens. Chen et. al. (2005) alertaram para áreas de nuvens ou sombras serem identificadas como CBS através da de imagens do sensor ETM+/Landsat 7.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da geração das curvas espectrais foi possível a compreensão do comportamento espectral dos alvos estudados, assim como sua comparação com a literatura existente. Através da observação das curvas, também foi identificado valores similares aos estudos já realizados pelos autores citados em outros ambientes terrestres. Demonstrando assim que, a utilização de informação sobre a reflectância em superfície configura um importante meio para a identificação e distinção das crostas biológicas do solo. Logo, a análise das curvas de reflectância em superfície através de imagens de sensores ópticos, fornece um modo de identificação de outras áreas com presença de CBS no continente Antártico.

Essa identificação de áreas com presença de CBS no continente antártico utilizando dados de sensoriamento remoto é uma importante fonte de informação para estudos de identificação e quantificação das mudanças ambientais globais nessa região, em função do seu difícil acesso. Um dos procedimentos de classificação automático de imagens simples, feito apenas com a banda espectral do infravermelho próximo e um classificador não supervisionado utilizados nesse trabalho permitiram a correta identificação da cobertura do solo. Isso possibilita a repetição dessa análise em outras áreas ou na mesma área tanto para fins de comparação multitemporal, com a utilização de imagens Landsat ou também de outros sensores orbitais. Uma vez que a banda espectral do infravermelho próximo encontra-se presente na maior parte dos sensores ópticos, uma abordagem multi-sensor aumenta a chance da obtenção de imagens livres de nuvens sobre o continente antártico.

A utilização das bandas do visível e infravermelho próximo e de ondas curtas permitiu a distinção entre as três crostas biológicas do solo na análise das curvas espectrais. Por meio da classificação não supervisionada também foi obtido uma correta identificação das CBS. Um dos fatores a serem considerados para a dificuldade na distinção das classes espectrais das CBS foi a presença de água nos solos com essa cobertura como verificado na imagem utilizada de 2015.

Com a utilização de apenas uma banda espectral (infravermelho próximo) conclui-se que não ocorreram mudanças significativas a ponto de indicarem alterações na cobertura do solo em Harmony Point. Em relação ao percentual de CBS em Harmony Point não houve mudanças, nem quanto a área absoluta ocupada por CBS, que não sofreu grande variação entre as duas datas analisadas nesse trabalho, 2003 (1,79 km<sup>2</sup>) e 2015 (1,52 km<sup>2</sup>). Demonstrando assim, que as mudanças dos padrões de cobertura do solo, bem com e a

expansão das áreas com CBS ocorre em uma taxa muito lenta, o que não prejudicou a análise apesar do grande intervalo de tempo entre a data de aquisição de uma das imagens de satélite e o trabalho de campo. Também, com a utilização de um maior número de bandas espectrais não foi possível analisar com precisão se ocorreram mudanças nas CBS entre as duas datas utilizadas, pois fatores que influenciaram a resposta espectral dos alvos dificultaram essa análise.

As crostas biológicas do solo que cobrem a superfície do terreno na Antártica, apesar de cobrirem uma parcela insignificante dos solos nesse ambiente, fornecem informações importantes sobre diversos processos nos ecossistemas terrestres. Devido a sua importância e também a sua vulnerabilidade a pequenas mudanças nos ecossistemas locais, os mapeamentos e monitoramento utilizando dados de sensoriamento remoto são cada vez mais importantes para o suporte a proteção nesses ambientes periglaciais. Pois, a presença da cobertura do solo na Antártica está condicionada a diversos fatores indiretos que influenciam esses ambientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLERT, S.; SIMÕES, J. C. **O sensoriamento como recurso no estudo da Antártica.** In: 4ª Jornada da Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul – 11 a 13 de agosto de 2004 – São Leopoldo, RS, Brasil.

ALBERDI, M.; BRAVO L.A.; GUTIÉRREZ, A.; GIDEKEL, M.; CORCUERA, L. J. 2002. **Ecophysiology of Antarctic vascular plants.** *Physiologia Plantarum* 115: 479–486.

ALBUQUERQUE, Márcio Portes; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes. **Processamento de Imagens: Métodos e Análises.** Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT-RJ, 2002.

ALONSO, M.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; CHAMIZO, S.; ESCRIBANO, P.; CANTÓN, Y. **Evaluación de los diferentes índices para cartografiar biocostras a partir de información espectral.** *Revista de Teledetección.* (2014) 42, 79-98.

ALCÂNTARA, Enner. **Sensoriamento Remoto Hiperespectral.** PPGCC. Departamento de Cartografia, UNESP. Presidente Prudente, SP, 2014. Disponível em: <[http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/enner/PPGCC/Hiperespectral/Aula\\_6/SRH\\_Aula\\_6-Comportamento\\_Espectral.pdf](http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/enner/PPGCC/Hiperespectral/Aula_6/SRH_Aula_6-Comportamento_Espectral.pdf)>. Acesso em 02 de outubro de 2016.

BECHTEL, Robert; RIVARD, Benoit; SANCHEZ-AZOFEIFA, Arturo. **Spectral properties of foliose and crustose lichens based on laboratory experiments.** *Remote Sensing of Environment*, 82(2–3), 389– 396. 2002.

BOWKER, David. E.; AVIS, Richard. E.; MYRICK, David. L.; STACY, Kathryn.; JONES, William.T. **Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies.** Washington D.C.: NASA, 181p. 1985.

BOWKER, Matthew A. **Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity.** *Restoration Ecology.* v. 15, nº 1. p. 13–23 (2007).

BREMER, U. F. **O permafrost, os criossolos e as mudanças climáticas.** Em: Simões, J.C.; Garcia, C.A.E.; Evangelista, H.; Campos, L. de S.; Mata, M.M.; Bremer. U.F. (Org.). **Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade.** São Paulo. : Blucher. 2011.p. 103-120.

CASANOVAS, P.; BLACK, M.; FRETWELL, P.; CONVEY, P. **Mapping lichen distribution on the Antarctic Peninsula using remote sensing, lichen spectra and photographic documentation by citizen scientists.** Polar Res. 2015, 34, 25633.

CHEN, Jin.; ZHANG, Ming Yuan .; WANG, Le.; SHIMAZAKIA, Hiroto.; TAMURA, Masayuki . **A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert areas.** Elsevier - Remote Sensing of Environment 96 165 – 175, 2005.

CONVEY, P. Antarctic terrestrial ecosystems: responses to environmental change. **Polarforschung** 75:101–111, 2006.

CRÓSTA. Álvaro Penteadó. **Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto.** Edição Revisada - Campinas, SP: IG/UNICAMP, p. 170, 1992.

ENVI. **Guia do ENVI em Português.** SulSoft. p. 317.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto.** Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília – DF, 2005. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 15 de setembro de 2016.

FRANCELINO, M. R. 2004. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da antártica marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da península Keller.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 100 p.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. R. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; PEREIRA, A. B. **Relação entre a geofoma e a cobertura vegetal: um estudo de caso na Península Keller, Ilha Rei George, Antártica.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. 6-10 de setembro de 2006. Goiana, Brasil.

FREITAS, Maria Isabel Castreghini de; PANCHER, Andréia Medilinha. **Classificação de Imagens – SIG (Notas de Aula) - IGCE, Campus Rio Claro, UNESP, Brasil.** Disponível em: <[http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/isabel/sist\\_inf\\_geografica/Aula%2011/classificacao\\_imagens.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/isabel/sist_inf_geografica/Aula%2011/classificacao_imagens.pdf)>. Acesso em: 16 de outubro de 2016.

FRETWELL, P.T.; CONVEY, P.; FLEMING, A. F.; PEAT, H. J.; HUGHES, K. A. **Detecting and mapping vegetation distribution on the Antarctic Peninsula from remote sensing data.** *Polar Biology* 34: 273–281, 2011.

FRITSEN, C.H.; PRISCU, J.C. Cyanobacterial assemblages in permanent ice covers on Antarctic lakes: Distribution, growth rate, and temperature response of photosynthesis. *Journal of Phycology* 34: 587–597, 1998.

GROTE, Edmund E.; BELNAP, Jayne; HOUSMAN, David C.; SPARKS, Jed P. **Carbon exchange in biological soil crust communities under differential temperatures and soil water contents: implications for global change.** *Global Change Biology*. 16, 2763–2774, 2010.

INPE. **Classificação de Imagens.** (s.d.). In: Manuais: Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 16 de outubro de 2016.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2 ed. Tradução Jose Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. 598 p. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011.

KARNIELI, A., KOKALY, R. F., WEST, N. E.; CLARK, R. N. **Remote sensing of biological soil crusts.** In J. Belnap, e O. L. Lange (Eds.), **Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management** (p. 431–455). Berlin: Springer-Verlag. (2001).

LANDSAT. **Questions about the Landsat Missions.** In: **Landsat Missions.** USGS/NASA, 2016. Disponível em: < [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)>. Acesso em: 13 de outubro de 2016.

LOVELOCK, C.E.; ROBINSON, Sharon R. **Surface reflectance properties of Antarctic moss and their relationship to plant species, pigment composition and photosynthetic function.** *Plant Cell and Environment*. 25:1239-1250, 2002.

MORAES, Elisabete Caria de. **Capítulo 1: Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** INPE, São José dos Campos, 2002.

MOREIRA, Maurício A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4 ed. atual. e ampl. 422 p. – Viçosa, MG: Ed, UFV, 2012.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4<sup>a</sup> ed. 387 p. – São Paulo: Blucher, 2012.

OHATA, Arlete Tiekó; QUINTANILHA, José Alberto. **O uso de algoritmos de clustering na mensuração da expansão urbana e detecção de alterações na Região Metropolitana de São Paulo (1991-2002)**. In: Proc. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (INPE, Goiana, Abril. 16–21, 2005), p. 647–655.

PEAT, Peat, H. J.; CLARKE, A.; CONVEY, P. (2007). **Diversity and biogeography of the Antarctic flora**. *J Biogeogr* 34: 132– 146.

PERROTTA, Mônica Mazzini; **Processamento Digital Básico de Imagens de Sensores Remotos Ópticos para o uso em Mapeamento Geológico: Programa ENVI**. DISERE - Divisão de Sensoriamento Remoto, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. p. 40, 2005.

PIRES, Cleverson Vieira. **Matéria orgânica de solos da Antártica Marítima: Impacto do aquecimento global sobre os estoques de carbono e nitrogênio, e sua modelagem**. 2010. p. 93. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG – Brasil, 2010.

Plan de gestión para la Zona Antártica Especialmente Protegida N° 133. Medida 7 (2012) Anexo. **PUNTA ARMONÍA ISLA NELSON, ISLAS SHETLAND DEL SUR**. Disponível em: <[http://www.ats.aq/documents/recatt/att510\\_s.pdf](http://www.ats.aq/documents/recatt/att510_s.pdf)>. Acesso em 12 de junho de 2016.

POELKING, Everton Luís; SCHAEFER, Carlos E. R.; ANDRADE, André Medeiros de; FILHO, Elpídio Inácio Fernandes; **Análise Espacial Integrada da Vegetação e Radiação Solar em Stranger Point, Península Potter, Antártica Marítima**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5373-5379.

QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de; GOMES, Herman Martibs. **Introdução ao processamento digital de imagens**. *Revista RITA*. 2006;13. p. 11-42.

SADECK, Geotecnologias. **Artigo Classificação**. (2010). Disponível em: <<https://geotecnologias.wordpress.com/2010/02/28/classificacao/>>. Acesso em: 14 de outubro de 2016.

SAUSEN, Tania Maria. **Desastres Naturais e Geotecnologias-Sensoriamento Remoto, cadernos didáticos nº 2**. INPE. São José dos Campos, SP, 2008. Disponível em: <

m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/06.03.14.25/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2016.

SILVA, M.P., FAVERO, M., CASAUX, R.; BARONI, A. 1998. **The status of breeding birds at Harmony Point, Nelson Island, Antarctica in summer 1995/96.** *Marine Ornithology* 26: 75–78.

SILVA, Vitor Malsá. **Classificação de Imagens por Sensoriamento Remoto: Análise Comparativa das Metodologias Pixel-a-Pixel e Segmentação por Região.** Belo Horizonte: UFMG, 2014. p. 41. Monografia (Especialista em Geoprocessamento) - Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.

SIMÕES, Jefferson Cardia; GARCIA, Carlos Alberto Eiras; EVANGELISTA, Heitor; CAMPOS, Lúcia de Siqueira; MATA, Maurício Magalhães; BREMER, Ulisses Franz. **Antártica e as Mudanças Globais: um desafio para a humanidade.** Volume 9. José Goldemberg, coordenador. 166 p. – São Paulo: Blucher, 2011. – Série Sustentabilidade.

SOUZA, Ronald Buss de. **Sensoriamento Remoto: conceitos fundamentais e plataformas.** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS – INPE. Santa Maria, RS, Brasil, 2010. Disponível em: <[http://www.inpe.br/crs/crectalc/pdf/ronald\\_ceos.pdf](http://www.inpe.br/crs/crectalc/pdf/ronald_ceos.pdf)>. Acesso em 20 de setembro de 2016.

Status of Antarctic Specially Protected Area and Antarctic Specially Managed Area Management Plans (Updated 2009). Disponível em: <[http://www.ats.aq/documents/cep/Register\\_Updated\\_2009\\_e.pdf](http://www.ats.aq/documents/cep/Register_Updated_2009_e.pdf)>. Acesso em 10 de junho de 2016.

THE CHARACTERISTIC OF NELSON ISLAND. **ECO NELSON.** Disponível em: <[http://econelson.org/?en\\_publications=>](http://econelson.org/?en_publications=>)>. Acesso em: 15 de junho de 2016.

TONGWAY, D.; HINDLEY, N.; **Manual for soil Assessment of soil condition of tropical grasslands.** CSIRO Ecology and Wildlife, Canberra, Australia. p. 27-28. 1995.

USTIN, Susan L.; VALKO Phillip G.; SHAWN C. Kefauver; SANTOS, Maria J.; ZIMPFER, Jeff F.; SMITH, Stanley D. **Remote sensing of biological soil crust under simulated climate change manipulations in the Mojave Desert.** Elsevier - Remote Sensing of Environment 113. p. 317–328, 2008.

VALÉRIO, Aline de Matos; SILVA, Gustavo Bayma Siqueira da; KAMPEL, Milton; STECH, José Luiz. **Avaliação da classificação não supervisionada do uso do solo e tipos de água no reservatório de Manso, MT.** Revista Geografia - Ensino e Pesquisa, v.12, p.4081-4095, 2008.

WEBER, B.; OLEHOWSKI, C.; KNERR, T.; HILL, J.; DEUTSCHEWITZ, K.; WESSELS, DCJ.; EITEL, B.; BUDEL, B. **A new approach for mapping of Biological Soil Crusts in semidesert areas with hyperspectral imagery.** Elsevier - Remote Sensing Environment 112(5):2187–2201, 2008.

ZHANG, Y.M.; CHEN, J.; WANG, L.; WANG, X.Q.; GU, Z.H. **The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China.** Elsevier - Journal of Arid Environments 68. p. 599–610, 2007.