

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**IARA DÉNIZ ORNELLAS**

UM ESTUDO HISTÓRICO E QUÍMICO DO METEORITO SANTA CATARINA

RIO DE JANEIRO

2019

Iara Déniz Ornellas

## UM ESTUDO HISTÓRICO E QUÍMICO DO METEORITO SANTA CATARINA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia — HCTE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro — UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientadores:  
Rundsthen Vasques de Nader  
Maria Elizabeth Zucolotto

RIO DE JANEIRO

2019

### CIP - Catalogação na Publicação

074e Ornellas, Iara Déniz  
Um estudo histórico e químico do meteorito Santa Catarina / Iara Déniz Ornellas. -- Rio de Janeiro, 2019.  
128 f.

Orientador: Rundsthen Vasques de Nader.  
Coorientadora: Maria Elizabeth Zucolotto.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, 2019.

1. Meteorito. 2. Santa Catarina. 3. Níquel. I. Vasques de Nader, Rundsthen, orient. II. Zucolotto, Maria Elizabeth, coorient. III. Título.

Iara Déniz Ornellas

## UM ESTUDO HISTÓRICO E QUÍMICO DO METEORITO SANTA CATARINA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia — HCTE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro — UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em 21 de agosto de 2019.

---

Presidente: Rundsthen Vasques de Nader, HCTE — UFRJ

---

Regina Maria Macedo Costa Dantas, HCTE — UFRJ

---

Kátia Leite Mansur, Departamento de Geologia — UFRJ

Aos meus filhos, Pedro Henrique e Juan

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, meu marido Alexandre e meus filhos Juan e Pedro Henrique, por serem compreensivos durante esta jornada, na qual, muitas vezes, tive que priorizar o estudo em detrimento do convívio familiar.

Aos meus orientadores, Rundsthen Vasques de Nader e Maria Elizabeth Zucolotto, pelo suporte acadêmico, por todo incentivo, pela acolhida tão amistosa, e por tantas outras questões difíceis de enumerar. Sem o auxílio, sem a paciência, sem a participação, sem a atenção dos meus orientadores, este trabalho não poderia ter sido realizado. Então, um muito obrigada mais do que especial para eles!

A minha amiga, Amanda, e ao meu chefe, professor Júlio César Mendes, por serem grandes incentivadores do meu progresso intelectual.

Ao curso de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, assim como, aos professores das disciplinas, pela oportunidade do desenvolvimento da pesquisa e aprimoramento dos meus conhecimentos.

E a todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação acadêmica. Muito obrigada!

## RESUMO

ORNELLAS, Iara Déniz. **Um estudo histórico e químico do meteorito Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) — Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O presente trabalho busca evidenciar a importância histórica e científica do meteorito brasileiro Santa Catarina, descoberto em 1875, em São Francisco do Sul por habitantes da região. Confundido com uma jazida de ferro, foi concedido o direito de exploração mineral pelo governo imperial. Amostras foram enviadas para a Escola Polytechnica do Rio de Janeiro, e os resultados surpreenderam pela quantidade de níquel (em torno de 36%), o que fez com que a comunidade científica da época acreditasse que o achado era, na verdade, uma mina de níquel. Fragmentos foram enviados para a França, dando início a um intenso debate sobre a origem terrestre ou extraterrestre. Quando ficou comprovado se tratar de um material de fora da Terra, 25.000Kg já tinham sido exportados para a Europa para a retirada do níquel. Em 1884, Luiz Felipe Gonzaga de Campos retornou ao local da descoberta, em São Francisco do Sul, e através de escavações, conseguiu encontrar novos fragmentos do meteorito, que passou, então, a compor a coleção de meteoritos do Museu Nacional. Análises químicas por microsonda eletrônica foram feitas pelo presente trabalho, a fim de comparar as técnicas analíticas e os resultados obtidos com aqueles publicados pelos cientistas no final do século XIX, confirmando assim, ser um dos meteoritos mais ricos em níquel que se tem conhecimento. Outro fato importante deste meteorito foi a participação de personagens históricos, como o imperador brasileiro e o primeiro engenheiro negro do Brasil. Os fatos compilados comprovam o carácter especial do meteorito Santa Catarina, fazendo com que ele mereça seu lugar de destaque na história.

Palavras-chave: Meteorito, Santa Catarina, Níquel

## ABSTRACT

ORNELLAS, Iara Déniz. **Um estudo histórico e químico do meteorito Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) — Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The present work seeks to highlight the historical and scientific importance of the Brazilian meteorite Santa Catarina, discovered in 1875, in São Francisco do Sul by inhabitants of the region. Confused with an iron deposit, it was granted the right of mineral exploration by the imperial government. Samples were sent to the Polytechnic School of Rio de Janeiro, and the results surprised by the amount of nickel (around 36%), which made the scientific community of the time believe that the finding was, in fact, a mine of nickel. Fragments were sent to France, initiating an intense debate on the terrestrial or extraterrestrial origin. When it was proven that it was a material from outside the Earth, 25,000 kg had already been exported to Europe for the removal of nickel. In 1884, Luiz Felipe Gonzaga de Campos returned to the discovery site in São Francisco do Sul, and through excavations, he was able to find new fragments of the meteorite, which then went on to compose the meteorite collection of the National Museum. Electron microprobe chemical analyzes were performed in order to compare the analytical techniques and the results obtained with those published by scientists at the end of the 19th century, thus confirming that it is one of the most known nickel-rich meteorites. Another important fact of this meteorite was the participation of historical characters, like the Brazilian emperor and the first black engineer of Brazil. The facts compiled prove the special character of the meteorite Santa Catarina, making it deserve its place of prominence in history.

Key words: Meteorites, Santa Catarina, Nickel

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção polida com um fragmento do meteorito Santa Catarina	20
Figura 2: Meteoroides, meteoros e meteoritos	22
Figura 3: Classificação dos meteoritos	26
Figura 4: Diagrama de fase simplificado do sistema binário Ferro-Níquel	29
Figura 5: Fotos de octaedritos, mostrando a variação de espessura das lamelas de kamacita. (A) Octaedrito muito grosseiro, Ogg — meteorito Santa Luzia, Goiás; (B) Octaedrito grosseiro, Og — meteorito Bendegó, Bahia; (C) Octaedrito médio, Om — meteorito Vitória da Conquista, Bahia; (D) Octaedrito fino, Off — meteorito Pará de Minas, Minas Gerais; (E) Octaedrito finíssimo, Off — meteorito Barbacena, Minas Gerais; (F) Meteorito plessítico, Opl — meteorito Faina, Goiás	30
Figura 6: Hexaedrito — meteorito Patos de Minas, Minas Gerais	31
Figura 7: Plotagem logarítmica de (a) Ge versus Ni e (b) Ir versus Ni da composição em massa de todos os meteoritos metálicos	32
Figura 8: Plotagem, em escala logarítmica, dos teores de ouro versus níquel dos membros do grupo complexo IAB	36
Figura 9: Ofício endereçado ao engenheiro Etienne Donat	39
Figura 10: Correspondência entre o engenheiro Donat e o presidente da província de Santa Catarina — João Thomé da Silva (parte 1)	41
Figura 11: Correspondência entre o engenheiro Donat e o presidente da província de Santa Catarina — João Thomé da Silva (parte 2)	42
Figura 12: (A) Esboço topográfico feito pelo engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos, em 1884; (B) Mapa atual de São Francisco do Sul (1:100.000)	53
Figura 13: (A) Curvas de níveis obtidas pelo aplicativo Gaia GPS, em 2013; (B) Planta do morro desenhada por Luiz Felipe Gonzaga, em 1884	55
Figura 14: (A) Cava; (B) Bloco granítico	56
Figura 15: Mapa de São Francisco do Sul com destaque para o local da descoberta do meteorito Santa Catarina (1: 100.000)	57
Figura 16: (A) Foto de satélite obtida através do programa de computador <i>Google Earth Pro</i> , em 20 de julho de 2018; (B) Planta do morro feita por Luiz Felipe Gonzaga	58

Figura 17: Perfil de elevação da montanha obtido através do programa de computador <i>Google Earth Pro</i> , em 20 de julho de 2018	59
Figura 18: Artigo de Beneval de Oliveira sobre a descoberta do meteorito	60
Figura 19: Fragmento do meteorito Santa Catarina pertencente ao acervo do Museu Nacional	61
Figura 20: Parte do artigo do geólogo francês Meunier Stanislas	63
Figura 21: Moedas cunhadas durante o governo do rei grego-bactriano Eucratides I	65
Figura 22: Minerais de níquel	67
Figura 23: Gráfico anual da produção mundial de níquel, em toneladas, de 1900 a 2015; e variação do preço mundial do níquel, em \$/t, de 1840 a 2015	75
Figura 24: Fragmento do meteorito Santa Catarina após o incêndio	77
Figura 25: Foto feita em microscópio óptico da fase metálica do meteorito Santa Catarina	78
Figura 26: Diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 1 atm (linha cheia) e a 25 atm (linha tracejada)	81
Figura 27: Diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni abaixo de 400°C	82
Figura 28: Célula unitária da taenita	84
Figura 29: Célula unitária da tetrataenita	84
Figura 30: Parâmetros da estrutura cristalográfica da tetrataenita	85
Figura 31: Imagem por elétrons retroespalhados da fase metálica contendo taenita e tetrataenita	87
Figura 32: Foto em microscópio óptico da magnetita penetrando na fase metálica	93
Figura 33: Imagem por elétrons retroespalhados contendo troilita, pentlandita e magnetita	94
Figura 34: Foto em microscópio óptico contendo troilita, pentlandita e magnetita	95
Figura 35: Imagem por elétrons retroespalhados contendo veio de magnetita na troilita	96
Figura 36: Imagem por elétrons retroespalhados de rachaduras na fase metálica preenchidas com magnetita	97
Figura 37: Foto em microscópio óptico do veio de magnetita em troilita	98

Figura 38: Imagem por elétrons retroespalhados contendo cristais de rhabdita	101
Figura 39: Imagem por elétrons retroespalhados contendo cristais de schreibersita	103
Figura 40: Foto em microscópio óptico dos cristais de rhabdita	105
Figura 41: Foto em microscópio óptico dos cristais de schreibersita	106
Figura 42: Diagrama esquemático mostrando os componentes básicos de uma microsonda	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre a classificação química e estrutural dos meteoritos metálicos	33
Tabela 2: Propriedades diagnósticas dos diferentes grupos químicos de sideritos	34
Tabela 3: Composição química principal da dupla <i>Twin City</i>	35
Tabela 4: Reservas mundiais de níquel, em 2016 e produção por país/região de 2014 a 2016	69
Tabela 5: Análises químicas da tetrataenita sem o oxigênio	87
Tabela 6: Análises químicas da taenita sem o oxigênio	88
Tabela 7: Análises químicas da tetrataenita com o oxigênio	88
Tabela 8: Análises químicas da taenita com o oxigênio	88
Tabela 9: Análises químicas da magnetita na forma de óxido	94
Tabela 10: Análises químicas da troilita	94
Tabela 11: Análises químicas da pentlandita	95
Tabela 12: Análises químicas da magnetita em forma de óxido em uma fase de troilita	96
Tabela 13: Análises químicas da fase de troilita	97
Tabela 14: Análises químicas da magnetita em forma de metal	98
Tabela 15: Análises químicas dos cristais de rhabdita	102
Tabela 16: Análise química da magnetita próxima à rhabdita	102
Tabela 17: Análises químicas da fase metálica (taenita) próxima à schreibersita	104
Tabela 18: Análises químicas dos cristais de schreibersita	104

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

$\mu\text{m}$ : Micrmetro

A: Amostra

AOAs: Agregados de olivinas amoebides

As: Arsnio

atm: Atmosfera

Au: Ouro

BI: Bomba de vácuo iônica

BTM: Bomba de vácuo termomolecular

C: Carbono

C: Cristal analisador

CA: Câmara de amostra

CAIs: Inclusões ricas em cálcio e alumínio

Co: Cobalto

Cr: Cromo

D: Ataxitos

D: Detector

EDS: Energy-dispersive system (espectroscopia de dispersão de energia)

EPMA: Electron Probe Microanalyser (Microsonda Eletrônica)

ER: Elétrons retroespalhados

ES: Elétrons secundários

Fe: Ferro

g: Grama

Ga: Glio

Ge: Germânio

H: Hexaedritos

Ir: Irídio

Kg: Quilograma

Km: Quilmetro

LE: Lentes eletromagnéticas

LME: London Metal Exchange

MG: Main group (grupo principal)

MO: Microscópio ptico

M<sub>s</sub>: Transformação martensítica

Ni: Níquel

O: Octaedritos

O: Oxigênio

Of: Octaedrito fino

Off: Octaedrito finíssimo

Og: Octaedrito grosseiro

Ogg: Octaedrito muito grosseiro

Om: Octaedrito médio

Opl: Octaedrito plessítico

P: Fósforo

Pt: Platina

Re: Rênio

RE: Revólver eletrônico

S: Enxofre

Sb: Antimônio

sHH: High Au, high Ni (ouro alto, níquel alto)

sHL: High Au, low Ni (ouro alto, níquel baixo)

Si: Silício

sLH: Low Au, high Ni (ouro baixo, níquel alto)

sLL: Low Au, low Ni (ouro baixo, níquel baixo)

sLM: Low Au, medium Ni (ouro baixo, níquel médio)

SSE: Sul-Sudeste

SSW: Sul-Sudoeste

t: Tonelada

V: Válvula de isolamento

W: Tungstênio

WDS: Wavelength-dispersive system (espectroscopia dispersiva de comprimento de onda)

α: Kamacita

γ': Ni<sub>3</sub>Fe ordenado

γ'': Tetrataenita

γ<sub>1</sub>: Taenita paramagnética

γ<sub>2</sub>: Taenita ferromagnética

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	16
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
1.2 METODOLOGIA DA PESQUISA	18
1.2.1 <b>Preparação da lâmina</b>	19
1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO	20
<b>2 METEORITOS</b>	21
2.1 BREVE INTRODUÇÃO SOBRE METEORITOS	21
2.2 CLASSIFICAÇÃO GERAL	23
2.3 SIDERITOS OU METEORITOS METÁLICOS	27
<b>3 A HISTÓRIA DO METEORITO SANTA CATARINA OU SERIA SÃO FRANCISCO DO SUL?</b>	37
3.1 A DESCOBERTA	37
3.2 A IMPORTÂNCIA DA ESCOLA POLYTECHNICA DO RIO DE JANEIRO	43
3.3 A LOCALIZAÇÃO	51
3.4 A EXPORTAÇÃO	61
3.4.1 <b>Níquel</b>	64
3.5 O INCÊNDIO	76
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	78
4.1 ESTRUTURA DE WIDMANSTÄTTEN	78
4.2 FASE METÁLICA	83
4.3 MINERAIS SULFETADOS E MAGNETITA	91
4.4 MINERAIS FOSFATADOS	100
<b>5 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA ANÁLISE QUÍMICA DE METEORITOS: VIA ÚMIDA E EPMA</b>	108
5.1 COMPARAÇÃO ENTRE A TÉCNICA ANALÍTICA DE VIA ÚMIDA E EPMA	108
5.2 TÉCNICA ANALÍTICA DE MICROSSONDA ELETRÔNICA	110
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	113

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	116
<b>ANEXO A</b>	124
<b>ANEXO B</b>	126

## 1 INTRODUÇÃO

A história seja ela de uma cidade, de uma nação, de uma pessoa, de uma instituição pode ser contada, lembrada, descoberta através da observação, do estudo, da análise, e importante ressaltar, da interpretação dos acontecimentos ocorridos durante um determinado período. Essa volta ao passado pode ser feita através da utilização de variados caminhos. Relatos de sujeitos que viveram no recorte temporal escolhido; documentos históricos; construções e reconstruções de monumentos, de prédios; imagens. Enfim, existe uma gama de direções que se pode recorrer na tentativa de investigar uma época em específico.

Esse olhar para trás – que deve ser suficientemente crítico e reflexivo a fim de evitar uma simples exposição sucessiva dos eventos – é geralmente impulsionado por sentimentos de um indivíduo, de um grupo, ou até mesmo de uma instituição quando esta é capaz de representar e unificar as vozes de seus membros. Qual historiador ou estudioso desta área do conhecimento já não ouviu a frase: por que estudar os acontecimentos pregressos? A História é o estudo do passado, mas realizado por pessoas do presente que desejam por algum motivo em particular analisar determinado fato ocorrido, fazendo para tanto, um recorte temporal. Esta análise possui variadas finalidades: compreender melhor o que se passa no agora; realizar projeções mais prudentes para o futuro; recuperar e publicar ocorrências importantes que foram esquecidas ou escondidas do público em geral e/ou da comunidade científica; ou até mesmo satisfazer um desejo pessoal de aprender.

Dentre os sentimentos que impulsionam o desejo pela descoberta, pela investigação, destaca-se a curiosidade. Como? Quando? Por quê? Não são esses exemplos de perguntas curiosas? E não são esses alguns questionamentos que muitos estudiosos fazem em relação a seus objetos de estudo? Ser curioso é uma característica nata do ser humano. Ora, pode-se verificar que desde a mais tenra idade esse atributo se manifesta através das ações, das palavras, enfim, das experiências vivenciadas pelo sujeito com o meio em que está inserido. As diferentes áreas de conhecimento, por mais específicas e delimitadoras que possam ser, são compostas por indivíduos. E estes, por mais complexos e diferenciados que possam ser, ainda assim, devem permanecer curiosos a fim de incentivarem novas pesquisas em seus respectivos campos de conhecimento.

Ser curioso, logo, não é um pré-requisito apenas dos historiadores. Os outros campos do conhecimento também se desenvolveram, dentre outros fatores, através da prática da curiosidade. Não seria este o caso da Astronomia? Quantos não foram os povos no passado que olharam para o céu tentando desvendar seus mistérios? Inclusive, em muitos casos, alguns astros, como o Sol, foram a base para a criação de religiões no âmbito de diversas civilizações indígenas, pois estas o consideravam como um tipo de Deus. O estudo astronômico fascina quando se pensa em algumas questões envolvidas nesta análise: Como as galáxias, os planetas foram formados? E quanto a idade desses corpos celestes? Esses são questionamentos instigantes. E quão interessante é quando um pequeno fragmento – que pode ser rochoso, metálico ou uma mistura de ambos – após perambular sem rumo pelo espaço sideral por milhões ou bilhões de anos consegue penetrar na atmosfera terrestre e, ao resistir ao atrito com o ar, alcança a superfície da Terra?

Esses fragmentos são os chamados meteoritos ou como alguns estudiosos apelidaram “mensageiros do espaço”. E qual seria o motivo deste apelido? Bom, o estudo e análise destes pequenos exemplares fornecem informações preciosas sobre a formação e evolução de diversos corpos celestes do sistema solar. Logo, é consenso no meio científico a importância da preservação de tais amostras que trazem em seu interior um pouquinho da grandiosidade do universo. O Bendegó – atualmente exposto no Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro – é considerado a maior massa meteorítica encontrada no Brasil com um pouco mais de cinco toneladas. Mas como citado no início deste texto, um dos objetivos de se investigar fatos ocorridos no passado é recuperar e publicar ocorrências importantes que foram esquecidas ou escondidas do público em geral e/ou da comunidade científica.

Será o Bendegó o maior meteorito encontrado no Brasil, como é amplamente difundido pela comunidade científica? E todos os exemplares meteoríticos foram realmente preservados em sua totalidade? O meteorito, erroneamente denominado Santa Catarina, encontrado no ano de 1875 na Ilha de São Francisco do Sul, em Santa Catarina, apresenta uma narrativa que vai de encontro a esses questionamentos. Possuía em torno de vinte e cinco toneladas, mas infelizmente este não pode ser encontrado em nenhuma exposição pois na época de sua descoberta foi confundido como minério de níquel (Ni) e exportado. Pesquisar os fatos decorrentes desta história é o objeto de estudo deste trabalho, que será

complementado com uma análise mineralógica e química de um fragmento da massa meteorítica original, e com uma comparação entre as técnicas analíticas atuais e as utilizadas pelos cientistas no final do século XIX.

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral do presente trabalho é contribuir à História das Coleções Meteoríticas do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro por meio de um estudo histórico e químico do meteorito Santa Catarina.

Os objetivos específicos são os relacionados a seguir: identificação das publicações científicas do meteorito Santa Catarina, que englobam fatos e evidências da descoberta, técnicas analíticas e os resultados obtidos relacionados à composição química e mineralógica; caracterização química pela técnica de microsonda eletrônica (EPMA – *Electron Probe Microanalyser*) do fragmento meteorítico pertencente ao acervo original do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a tutela da pesquisadora Maria Elizabeth Zucolotto; comparação das técnicas e resultados analíticos atuais com aqueles realizados no período compreendido entre os anos de 1876 e 1878.

### 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O levantamento bibliográfico foi feito através da pesquisa de artigos acadêmicos e livros especializados que explicitam fatos e evidências da descoberta do meteorito Santa Catarina, assim como, técnicas analíticas e os respectivos resultados de estudos realizados a partir de 1875. Entre as publicações científicas de destaque estão os textos publicados no *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences* de 1876 a 1878 (todas as traduções do idioma francês para o português foram realizadas pela autora), e o livro “Meteoritos Brasileiros” de Orville Derby de 1888.

Além dos textos publicados do *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences* e do livro “Meteoritos Brasileiros”, o restante da bibliografia especializada foi obtido através de ferramentas como Google Acadêmico, da consulta ao banco de dados existentes nas plataformas Elsevier,

Scielo, ADS/NASA, Gallica, assim como, de artigos acadêmicos disponibilizados por outros pesquisadores.

A caracterização química do fragmento do meteorito Santa Catarina foi feita através de uma microsonda eletrônica da marca Jeol modelo JXA-8230, localizada no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. As condições analíticas foram 20Kv, 15nA e 1 micrômetro de diâmetro para o feixe de elétrons. Foram utilizados os seguintes padrões: apatita para o fósforo (P), magnetita para o oxigênio (O), pirita para o ferro (Fe), cromo metálico puro para cromo (Cr), níquel metálico puro para o níquel, pirita para o enxofre (S), cobalto metálico puro para o cobalto (Co) e quartzo para o silício (Si). Este método analítico foi utilizado para se comparar as técnicas atuais para análise da composição química de meteoritos, que são não destrutivas, com aquelas utilizadas no final do século XIX, que eram destrutivas. Foi utilizado o microscópio óptico da marca Carl Zeiss modelo EL-Einsatz com luz refletida para tirar fotos de alguns cristais contidos na amostra do meteorito.

A metodologia utilizada pelo mineralogista Alexis Damour para análise química de amostras da massa meteorítica, publicadas no *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences* de 1877, foi utilizada para a comparação entre técnicas analíticas atuais e as empregadas pelos cientistas da época da descoberta do meteorito.

### 1.2.1 Preparação da lâmina

Uma seção retangular foi preparada cortando-se um pequeno fragmento do meteorito Santa Catarina e fixando-o com a utilização da resina Petropox 154 em uma lâmina petrográfica de dimensões de 46mm x 27mm. Após a fixação, procedeu-se com o polimento a fim de tornar as irregularidades da superfície imperceptíveis ao microscópio óptico da marca Carl Zeiss modelo EL-Einsatz.

O polimento foi feito em uma politriz da marca Arotec modelo Aropol E200. Foram utilizadas as seguintes granulações de lixa, na ordem: 120 mesh, 220 mesh, 360 mesh, 600 mesh e 1200 mesh. Após o uso das lixas, foram empregadas as pastas diamantadas na ordem que estão selecionadas a seguir: 9 microns, 6 microns, 3 microns e 1 micron. Após este procedimento, foi realizado o ataque ácido na superfície polida com uma solução de 2% de ácido nítrico. A lâmina foi, então,

carbonizada em um carbonizador da marca Jeol modelo JEE-420. Na Figura 1, pode-se observar a seção polida com o fragmento do meteorito Santa Catarina.



Figura 1: Seção polida com um fragmento do meteorito Santa Catarina  
Fonte: elaborada pela autora

### 1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, as considerações finais, as referências bibliográficas e dois anexos: o capítulo um introduz o tema do estudo, especificando os objetivos, a metodologia da pesquisa e a estrutura do texto; o capítulo dois se concentra em um levantamento bibliográfico sobre a teoria dos meteoritos, incluindo definições e classificações gerais, com ênfase nos sideritos; o capítulo três trata sobre a história do meteorito Santa Catarina através da análise de documentos históricos, expondo fatos sobre sua descoberta e, posterior, destruição; o capítulo quatro é composto pelos resultados e discussões das análises realizadas por microsonda eletrônica em um fragmento do meteorito Santa Catarina; o capítulo cinco é um estudo comparativo entre as técnicas analíticas utilizadas para análise química de meteoritos do final do século XIX e as atuais, enfatizando as vantagens e desvantagens; as considerações finais encerram a pesquisa com as devidas conclusões; as referências bibliográficas; o anexo A é transcrição da notícia do jornal O Conservador de 30 de janeiro de 1875; e o Anexo B é o Decreto nº 6126 de 23 de fevereiro de 1876.

## 2 METEORITOS

### 2.1 BREVE INTRODUÇÃO SOBRE METEORITOS

Os meteoritos são formados por fragmentos de diversos corpos do sistema solar, podendo conter partes da superfície, do manto e do núcleo de asteroides diferenciados, não diferenciados e, até mesmo, de cometas. Possuem quantidades variadas de silicatos, ferro-niquelífero, sulfetos e outros minerais em fases menores. São divididos em três tipos básicos: sideritos ou meteoritos metálicos, siderólitos ou mistos e aerólitos ou rochosos (GRADY *et al.*, 2014).

Muitas áreas do conhecimento — Geologia, Astronomia, Biologia, entre outras — são empregadas na resolução dos mistérios contidos nesses viajantes espaciais, muitas vezes apelidados de mensageiros do espaço. A revelação de tais segredos é de extrema importância para o entendimento de diversos fenômenos ocorridos no sistema solar.

O estudo de determinados meteoritos — caracterizados por conterem grãos de poeira estelar produzida por estrelas antes da formação do sistema solar — auxiliam no entendimento sobre a evolução e a formação de uma estrela. A análise aprofundada de diferentes tipos de massas meteoríticas pode resultar em uma melhor compreensão do desenvolvimento dos planetas, e, conseqüentemente, do próprio sistema solar. Outro aspecto importante diz respeito ao início da vida terrestre. Algumas teorias sugerem que os componentes necessários, como os aminoácidos, para o princípio e desenvolvimento de tal fenômeno podem ter sido transportados através de grandes distâncias dentro destas rochas espaciais, especificamente, aos do tipo carbonáceos (WASSON, 2012).

Estima-se que ocorrem em torno de 500 quedas de massas meteoríticas na superfície da Terra anualmente. Dentre estas, apenas uma pequena parcela de 5 (cinco) a 8 (oito) fragmentos meteoríticos podem ser recuperados. Os meteoritos são os corpos celestes que ao entrarem em contato com a atmosfera terrestre, conseguem resistir ao choque com as moléculas de ar, alcançando o solo. Alguns desses exemplares, porém, são destruídos durante a entrada na atmosfera, são os chamados meteoros. Já os meteoroides ainda se encontram no espaço interplanetário, ou seja, não entraram na atmosfera (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 14).

Um meteorito é um meteoróide que penetra a atmosfera terrestre, com tamanho e resistência suficiente para sobreviver à queima como meteoro e atingir a superfície, havendo possibilidade de recuperá-lo. A chegada de um meteorito é anunciada pela passagem de um bólido, acompanhado de efeitos sonoros (explosões) e visuais. A Figura 2, que contém informações sobre a diferenciação na identificação destes corpos celestes, foi retirada de uma reportagem sobre os fenômenos ocorridos na Rússia, em 15 de fevereiro de 2013, devido à queda do meteorito Chelyabinsk.

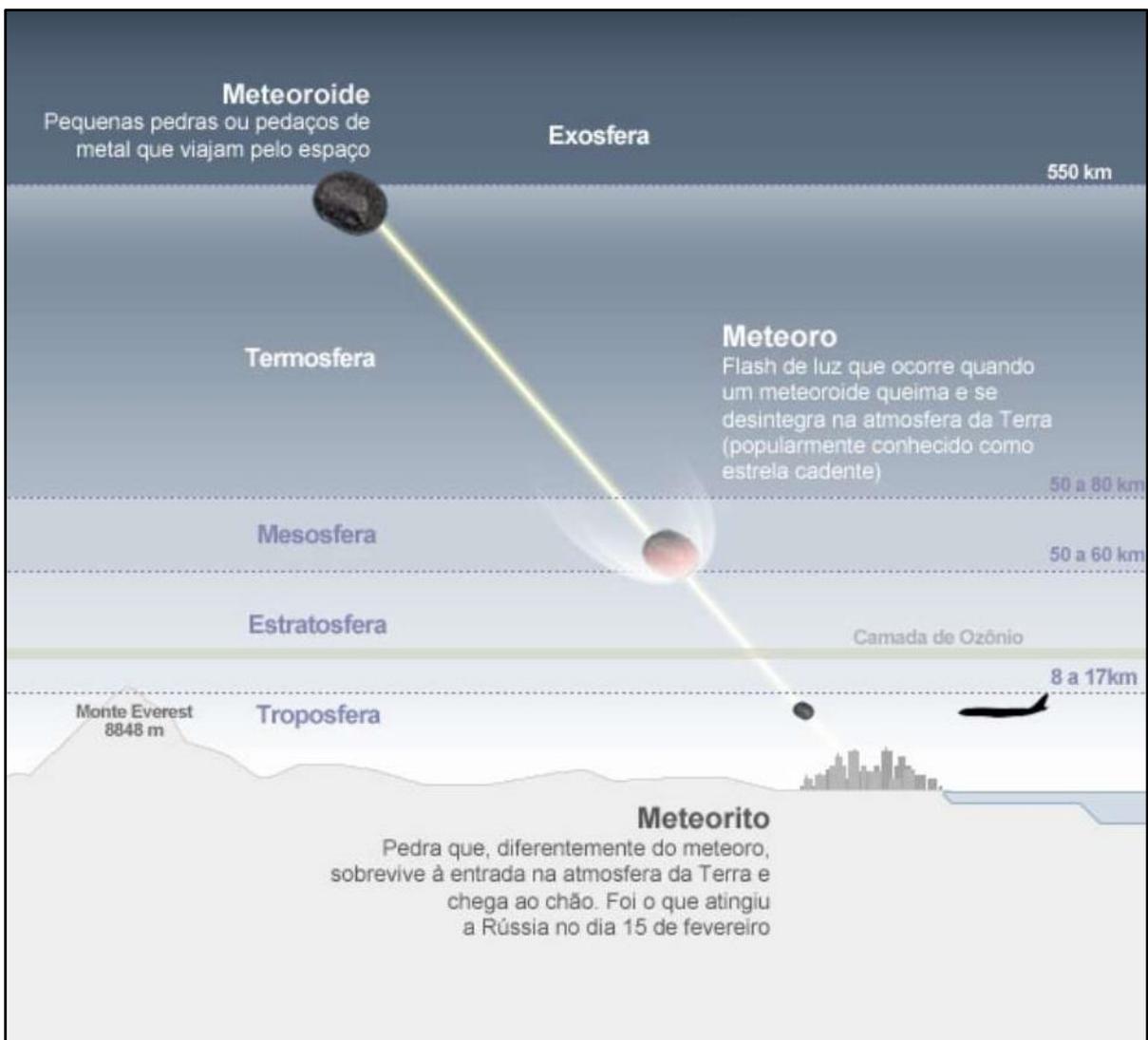


Figura 2: Meteoróides, meteoros e meteoritos

Fonte: Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/educacao/voce-sabia/qual-a-diferenca-entre-um-asteroide-e-um-cometa,c008c087e60ea310VgnCLD200000bbcecb0aRCRD.html>>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.

O meteorito de Chelyabinsk foi um meteoróide que adentrou a atmosfera terrestre sobre a Rússia em 15 de fevereiro de 2013, transformando-se em um

bólido que cruzou os céus do sul da região dos Urais até explodir sobre a cidade de Chelyabinsk, às 09:20h (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 21).

Estima-se que o meteoróide, ao adentrar a atmosfera terrestre, tinha cerca de 10.000 toneladas de massa e 17 metros de diâmetro, liberando o equivalente a 500 quilotons de energia durante o evento, ou seja, mais de 30 vezes a bomba de Hiroshima. Houve uma grande cobertura da mídia sobre o fenômeno, principalmente, devido ao número de pessoas feridas, em torno de 1200. Segundo a agência espacial Russa, o objeto viajava com velocidade de 30 km/s e explodiu a cerca de 10 quilômetros (Km) de altura, quando foi freado pela troposfera (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 22).

Após se despedaçar sobre Chelyabinsk, milhares de fragmentos do meteorito caíram como uma chuva próximo ao lago Chebarkul e vilarejos próximos, a aproximadamente 40 Km ao sul de Chelyabinsk. Segundo o *Meteoritical Bulletin*, foram encontrados fragmentos de menos de 1 g a 1,8 Kg, num total de mais de 100 Kg (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 22).

A maioria dos meteoritos caídos na Terra provém do Cinturão de Asteróides, que orbita entre os planetas Marte e Júpiter. Porém, também já foram encontrados fragmentos meteoríticos originados da superfície de Marte e da Lua (Scorzelli *et al.*, 2010).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO GERAL

Os meteoritos podem ser divididos de acordo com sua composição química: os metálicos (sideritos) são formados basicamente por uma liga ferro-níquel, os rochosos (aerólitos) são compostos por silicatos e os mistos (siderólitos) possuem minerais silicatados e a liga ferro-níquel em proporções equivalentes (GRADY *et al.*, 2014). Entretanto, estas divisões são não usadas a título de classificação meteorítica.

A classificação meteorítica atual considera como relevante a identificação dos meteoritos como não diferenciados ou diferenciados. Estes termos têm como premissa definir se uma massa meteorítica é ou não primitiva. Os meteoritos não diferenciados são reconhecidamente os mais primitivos do sistema solar, e são classificados como condritos. Já os diferenciados são conhecidos como não condritos (KROT *et al.*, 2014). A relação entre meteoritos primitivos (condritos) e

diferenciados (não condritos) é uma importante questão dentro dos estudos meteoríticos. Por exemplo, atributos similares (mineralogia, petrologia, isótopos de oxigênio) entre diferentes tipos de meteoritos condritos revelam que esses fragmentos são originados de um mesmo corpo parental. Já as diferenças informam sobre os diversos materiais primitivos que estavam disponíveis durante a acreção planetária (WEISBERG, *et al.*, 2006).

Os meteoritos rochosos podem ser condritos (material típico da nebulosa solar primitiva, não diferenciado) ou não condritos (material ígneo típico da crosta de Marte ou da Lua ou de um grande asteroide, como o Vesta, diferenciado). Os siderólitos (material típico de manto planetário, diferenciado) e os sideritos (material típico de núcleo, diferenciado) são não condritos (GRADY *et al.*, 2014).

Os condritos são formados por quatro grandes componentes: côndrulos, ligas de Fe-Ni, inclusões refratárias (inclusões ricas em cálcio e alumínio, conhecidas como CAIs; e agregados de olivinas amoebóides, chamadas de AOA), e grãos finos da matriz. É geralmente aceito que as inclusões refratárias, os côndrulos e as ligas de Fe-Ni foram formadas na nebulosa solar através de processos de alta temperatura que incluem condensação e evaporação. Muitos CAIs, côndrulos e ligas de Fe-Ni foram subsequentemente fundidos durante múltiplos e breves episódios de aquecimento. Apesar de muitos condritos terem experimentado processos termais em seus asteroides parentais, como alteração aquosa ou hidrotermal, térmica, e metamorfismo de choque, eles não experimentaram fusão e diferenciação ígnea (magmática), e, portanto, preservam, registros dos processos físicos e químicos da nebulosa solar. Decifrar esses registros é o objetivo primário do estudo dos condritos (KROT *et al.*, 2014).

Diferenciação é o processo pelo qual uma mistura de composição homogênea se separa em várias fases com diferentes composições químicas. No caso dos planetas terrestres, como a Terra, formaram-se pela acumulação de um material inicial de composição solar como os condritos. Estes corpos de aqueceram gradualmente devido a choques, decaimentos radioativos e compressão gravitacional. O calor gerado foi suficiente para fundir, fracionar e separar, em camadas distintas, o material condritico original. As porções mais densas como o ferro-níquel e alguns metais nobres como ouro, platina e irídio migraram para o núcleo e os silicatos mais leves para as camadas mais externas, o manto e a crosta (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 45).

Meteoritos classificados como não condritos não possuem texturas condriticas. São formados pela fusão parcial ou completa e diferenciação planetária

de asteroides condritos percursores ou grandes corpos planetários (Marte e Lua). E, conseqüentemente providenciam uma oportunidade única para estudar esses processos em corpos extraterrestes, fornecendo “recursos valiosos para o estudo da evolução e dos processos iniciais ocorridos na Terra, na Lua, em outros planetas terrestres e em asteroides maiores como o Vesta” (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 43). Vários grupos de meteoritos não condritos experimentaram baixos níveis de fusão, e retiveram uma parcela considerável de sua composição condrítica. Para enfatizar seus estados intermediários entre os condritos e meteoritos altamente diferenciados, eles são geralmente referenciados como acondritos primitivos (KROT *et al.*, 2014).

Na Figura 3, tem-se a separação entre meteoritos condritos e não condritos. *Primitive achondrites* (condritos primitivos), *differentiated achondrites* (acondritos diferenciados), *irons and stony irons* (metálicos e mistos) e *planetary* (planetário) representam os meteoritos não condritos. Cada classe é subdividida em grupos, por exemplo, os grupos *angrites* (angritos), *aubrites* (aubritos), *ureilites* (ureilitos) e *HED* pertencem à classe dos acondritos diferenciados. Os grupos podem ser subdivididos em subgrupos, logo, os subgrupos *howardites* (howarditos), *eucrites* (eucritos) e *diogenites* (diogenitos) pertencem ao grupo *HED*. Já os do tipo condritos são divididos em *carbonaceous* (carbonáceos), *ordinary* (ordinários) e *enstatite* (enstatita). Os meteoritos são classificados em grupos baseados em sua composição química, isótopos de oxigênio, mineralogia e petrografia (KROT *et al.*, 2014).

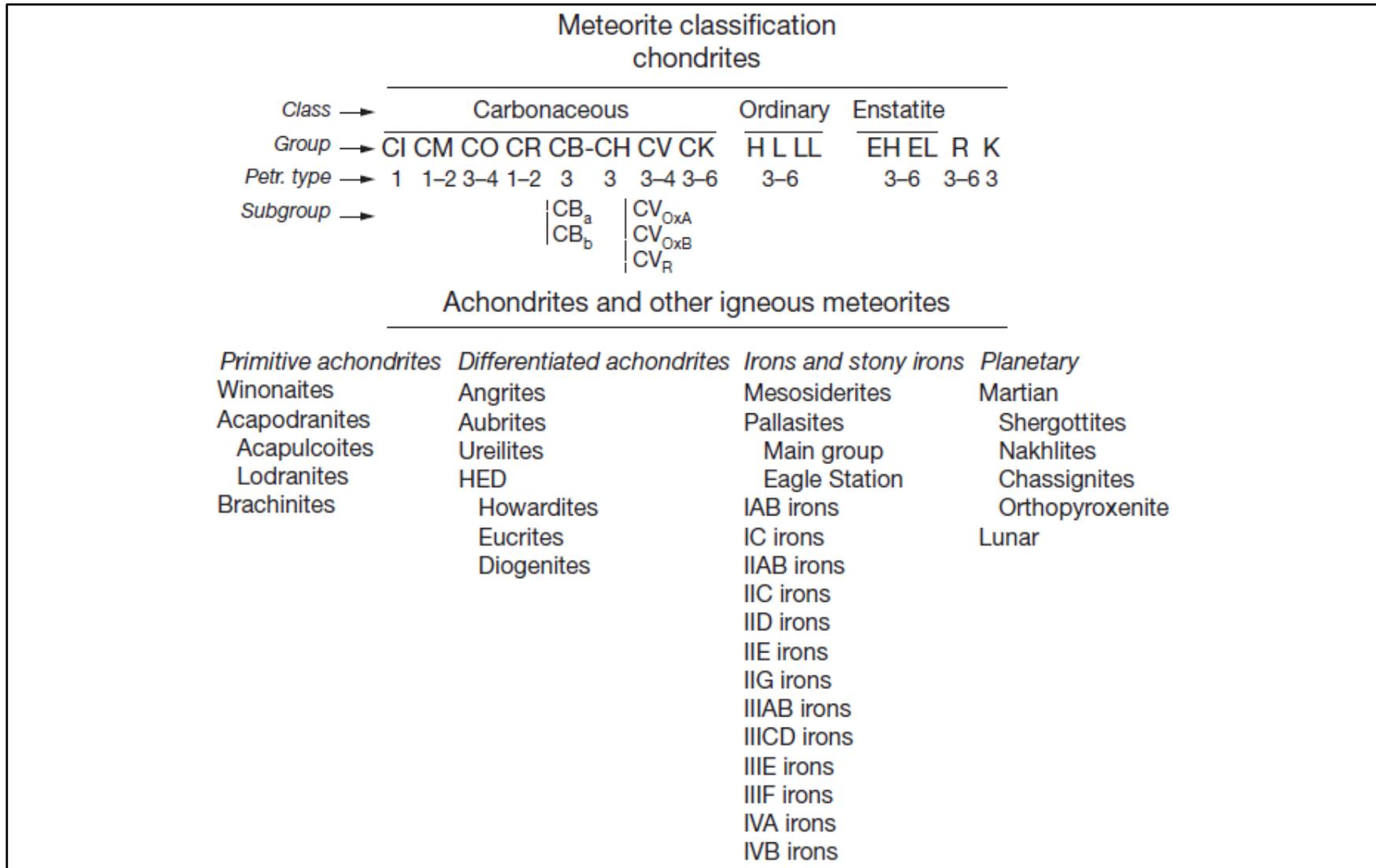


Figura 3: Classificação dos meteoritos  
Fonte: KROT *et al.*, 2014

## 2.3 SIDERITOS OU METEORITOS METÁLICOS

Os meteoritos metálicos estão inseridos nas diversas atividades humanas há tempos. Os homens pré-históricos, na Europa, já conheciam os diversos usos dos sideritos, seja lascando e martelando a frio, forjando ou refundindo. Logo, incontáveis gerações exploraram os fragmentos meteoríticos encontrados através dos tempos. Conseqüentemente, é mais difícil encontrar estes tipos de massas meteoríticas em países do Velho Mundo do que em locais como América do Norte, México, África do Sul e Austrália. O caso do meteorito Hraschina — no qual a queda foi avistada por um número significativo de testemunhas em uma vila na Croácia, em 1751, e provou a existência de corpos extraterrestes — é um exemplo do destino dos meteoritos metálicos da época. Isto porque um dos fragmentos recuperados foi totalmente perdido devido à atividade dos ferreiros (BUCHWALD, 1975, p. 40).

Os meteoritos metálicos são compostos em grande parte por uma fase metálica de kamacita e taenita — constituídos por uma liga de ferro e níquel —, e quantidades menores de cobalto, enxofre, fósforo e carbono (C), que são componentes de minerais como: troilita (FeS), pentlandita ((Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>), schreibersita ((Fe,Ni)<sub>3</sub>P), cohenita ((Fe,Ni)<sub>3</sub>C), entre outros (KROT *et al.*, 2014). São provenientes de corpos parentais que sofreram uma alta diferenciação magmática, e, portanto, contêm um núcleo de Fe-Ni, um manto de silicatos ferromagnésiano e uma crosta basáltica, como o planeta Terra (GRADY *et al.*, 2014). Estudar os sideritos é pesquisar sobre esses núcleos de modelos planetários.

Os meteoritos sofreram um processo lento de resfriamento ao longo de milhões de anos em seus corpos asteroidais. Os sideritos contêm uma característica estrutural que não pode ser completamente duplicada em laboratório devido ao lento processo de difusão a baixas temperaturas. Esta característica estrutural é formada por uma série de fases de transformação que ocorre a baixas temperaturas. Assim sendo, os fragmentos meteoríticos metálicos são úteis como indicadores das fases de transformação a baixas temperaturas que ocorre na liga de Fe-Ni (YANG, 1996).

Kamacita e taenita são minerais essenciais presentes nos meteoritos metálicos, sendo ambos uma fase metálica constituída essencialmente de uma liga de ferro-níquel. A diferença está no fato de que a Kamacita — também conhecida como ferro  $\alpha$  — possui até 7,5% de Ni com uma estrutura cristalina de cubo de corpo centrado. Já a taenita — ou ferro  $\gamma$  — possui mais de 25% de Ni e seus átomos

estão rearranjados em uma forma de cubo com um átomo centrado na fase, o rearranjo cristalino conhecido como cubo de face centrada (BUCHWALD, 1975).

Os meteoritos metálicos são classificados segundo dois parâmetros: estrutural e químico. A classificação estrutural é obtida através do ataque ácido de uma superfície polida por nital (ácido nítrico e álcool), revelando as seguintes classificações e suas respectivas estruturas macroscópicas: octaedritos — lamelas entrelaçadas de kamacita em uma orientação octaédrica —; hexaedritos — linhas finas paralelas —; ataxitos — sem o aparecimento de qualquer estrutura a olho nu.

A estrutura de Widmanstätten — presente nos octaedritos e definida pelo aparecimento de lamelas entrelaçadas de kamacita que seguem uma orientação octaédrica quando a superfície de um meteorito metálico é atacada por nital — foi reconhecida pela primeira vez no início do século XIX por Count Alois von Beckh Widmanstätten (1753 – 1849). Nas décadas de 1870 e 1880, Gustav Tschermak von Seysenegg (1836 – 1927) introduziu a classificação estrutural dos sideritos, usada ainda na atualidade, dividindo-os em octaedritos (O), hexaedritos (H) e ataxitos (D) (WEISBERG, *et al.*, 2006).

A presença de ambos os minerais — kamacita e taenita — ou apenas um deles em um meteorito metálico é determinada pela concentração do níquel no mesmo. Uma fase metálica com teores de Ni entre 5 e 6,5% contém apenas kamacita, sendo o caso do hexaedritos. Sideritos com concentrações de níquel entre 6 a 12% contêm ambos os minerais, formando a estrutura de Widmanstätten dos octaedritos. E por fim, níquel em quantidades maiores do que 10% formam majoritariamente taenita na fase metálica, e as estruturas de Widmanstätten são microscópicas, pois há pouquíssima quantidade de kamacita, como nos ataxitos.

As linhas finas paralelas que estão presentes nos hexaedritos após o ataque químico são conhecidas como bandas de Neumann. “Representam uma deformação induzida por ataque estrutural das placas de kamacita e sugerem uma história de impacto para o corpo principal hexaedrito” (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 53).

Na Figura 4, tem-se o diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni. Um meteorito de um dado teor de Fe-Ni se resfria da região da fase taenita ( $\gamma$ ) para a região de duas fases ( $\alpha + \gamma$ ), onde a kamacita ( $\alpha$ ) irá se nuclear e crescer à medida que o meteorito continua a se resfriar (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 126). A kamacita se nucleia ao longo do plano compacto octaédrico da taenita, formando a estrutura de Widmanstätten, que se desenvolve quando bandas individuais de kamacita se

tornam espessas pela difusão no estado sólido (BUCHWALD, 1975, p. 116). Em três dimensões, a kamacita cresce como placas bidimensionais na taenita adjacente. Os espaços entre as lamelas de kamacita são preenchidas com a liga mais rica de Ni sob a forma de taenita, tetrataenita (liga tetragonal de Fe-Ni na proporção 50% - 50%, podendo chegar até 57% de Ni) e plessita (mistura de grãos finos de kamacita e taenita) (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 127).

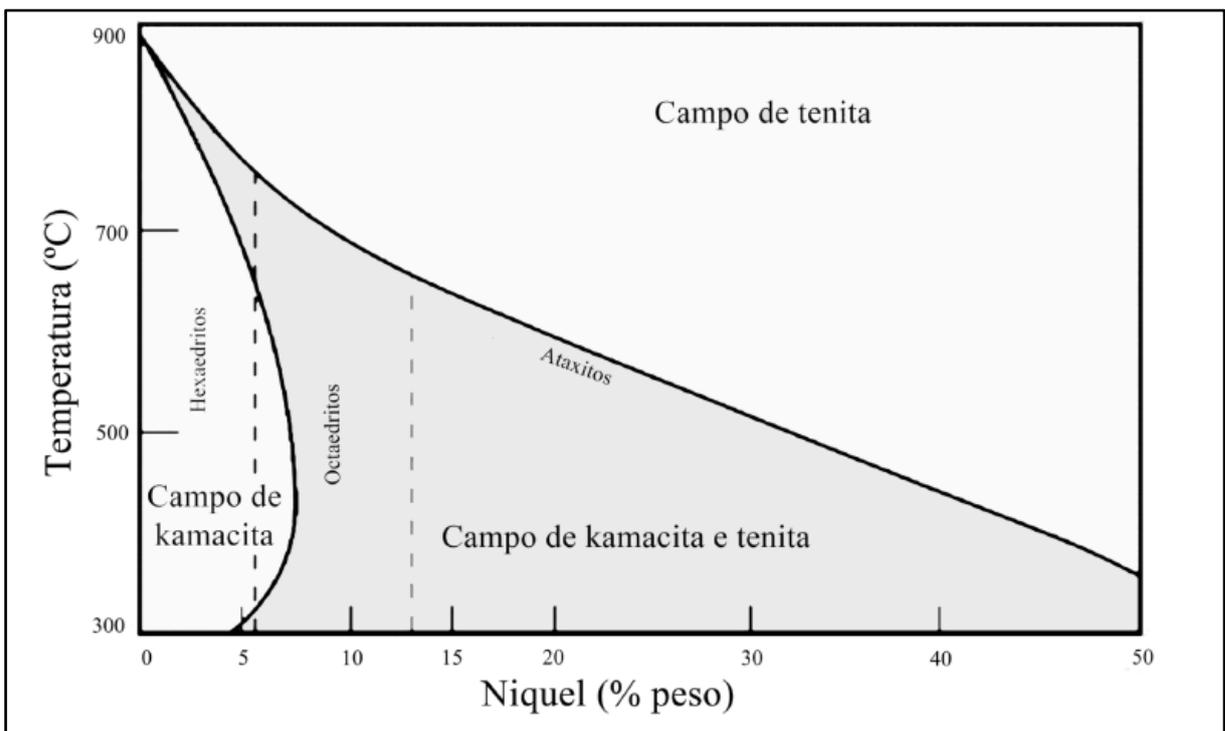


Figura 4: Diagrama de fase simplificado do sistema binário Ferro-Níquel  
Fonte: ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 129

Os octaedritos são subdivididos de acordo com a largura da lamela de kamacita que depende da concentração de níquel, da taxa de resfriamento e do mecanismo de nucleação (KROT *et al.*, 2014). Essas subdivisões são representadas pelas siglas: Octaedrito muito grosseiro (Ogg) — largura da kamacita entre 3,3 e 50 mm; Octaedrito grosseiro (Og) — largura da kamacita entre 1,3 e 3,3 mm; Octaedrito médio (Om) — largura da kamacita entre 0,5 e 1,3 mm; Octaedrito fino (Of) — largura da kamacita entre 0,2 e 0,5 mm; Octaedrito finíssimo (Off) — largura da kamacita < 0,2 mm; e Octaedrito plessítico (Opl) — largura da kamacita < 0,2 mm (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 56). A diferença entre a Off e Opl está na textura dos grãos de kamacita. Na Figura 5, pode-se observar alguns exemplos de meteoritos octaedritos. Enquanto na Figura 6, há um exemplo de hexaedrito.

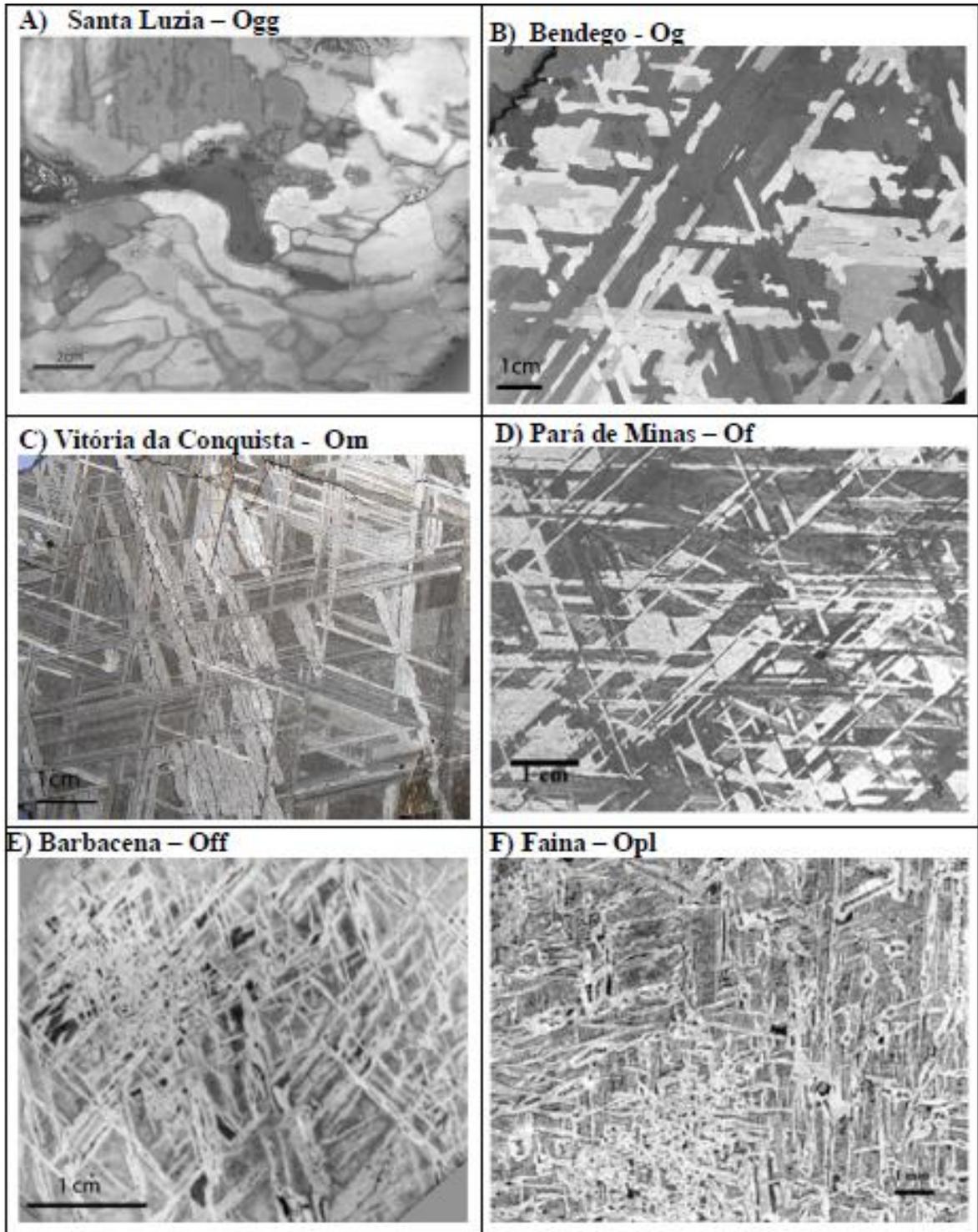


Figura 5: Fotos de octaedritos, mostrando a variação de espessura das lamelas de kamacita. (A) Octaedrito muito grosseiro, Ogg — meteorito Santa Luzia, Goiás; (B) Octaedrito grosseiro, Og — meteorito Bendegó, Bahia; (C) Octaedrito médio, Om — meteorito Vitória da Conquista, Bahia; (D) Octaedrito fino, Of — meteorito Pará de Minas, Minas Gerais; (E) Octaedrito finíssimo, Off — meteorito Barbacena, Minas Gerais; (F) Octaedrito plessítico, Opl — meteorito Faina, Goiás.

Fonte: ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 54

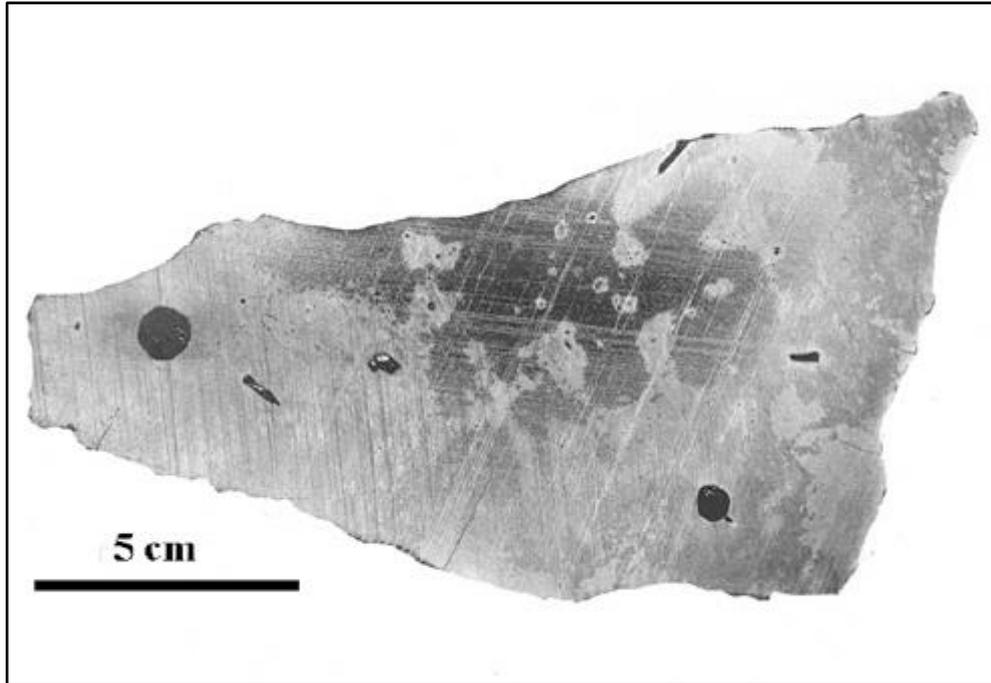


Figura 6: Hexaedrito — meteorito Patos de Minas, Minas Gerais  
Fonte: ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 53

Como discutido, os meteoritos metálicos podem ser classificados de acordo com dois parâmetros: estrutural e químico. A classificação química se baseia na concentração de alguns elementos traços. Os primeiros trabalhos dividiram os sideritos em quatro grupos químicos, numerados de I a IV, de acordo com o teor decrescente de gálio (Ga) e germânio (Ge). Análises posteriores incrementaram os resultados ao adicionar níquel, irídio (Ir), cromo, cobalto, arsênio (As), antimônio (Sb), tungstênio (W), rênio (Re), platina (Pt) e ouro (Au) (WASSON, 1967). Isto permitiu que os quatro grupos iniciais fossem expandidos para quatorze, e uma nova nomenclatura foi definida pela adição de letras aos algarismos romanos: IAB, IC, IIAB, IIC, IID, IIE, IIF, IIG, IIIAB, IIICD, IIIE, IIIF, IVA, IVB. Em torno de 15% dos sideritos não se encaixam em nenhum desses grupos e são chamados de não grupados (GOLDSTEIN *et al.*, 2009).

A classificação química é útil para revelar correlações entre parâmetros mineralógicos, químicos e isotópicos, a fim de mostrar que os membros de cada grupo estão intimamente relacionados e que foram formados juntos no mesmo corpo parental (BUCHWALD, 1975, p. 71). Segundo Krot *et al.* (2014), abundância e composição mineral, idades de exposição a raios cósmicos e outros dados isotópicos confirmam que os meteoritos de cada grupo estão intimamente relacionados e, provavelmente, se formaram em um único corpo parental.

A forma que os elementos se distribuem durante o resfriamento é utilizada para interpretações químicas. O níquel e o ouro são concentrados no líquido residual, enquanto o irídio é concentrado no primeiro sólido a se formar. Esta cristalização fracionada significa que os primeiros metais a se cristalizar são mais pobres em níquel e mais ricos em irídio que o líquido remanescente. E o último sólido a se cristalizar é rico em níquel e pobre em irídio.

Assim, as variações químicas entre as diferentes famílias permitem considerar que tenham tido origem em partes distintas do sistema solar, enquanto que a variação química dentro de um mesmo grupo permite cogitar que sejam resultantes de separação gravitacional e subsequente solidificação no interior do corpo parental.

Quando o teor de níquel e irídio para os sideritos de um grupo químico exibe uma distribuição uniforme, desde o extremo pobre em níquel e rico em irídio, até o rico em níquel e pobre em irídio, são indicativos de que estes sideritos se originaram de um núcleo fundido, ou seja, diferenciado (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 56).

Os grupos químicos foram descobertos através da plotagem, em escala logarítmica, do teor de cada um dos elementos traços — principalmente germânio, gálio e irídio — versus a quantidade de níquel, formando conglomerados bem definidos graficamente. Um exemplo pode ser observado na Figura 7, que mostra a variação de Ge versus Ni e Ir versus Ni para os grupos e não grupados. A relação entre a classificação química e estrutural dos meteoritos metálicos pode ser observada na Tabela 1. Na Tabela 2, há dados sobre a concentração de gálio, germânio e irídio nos sideritos.

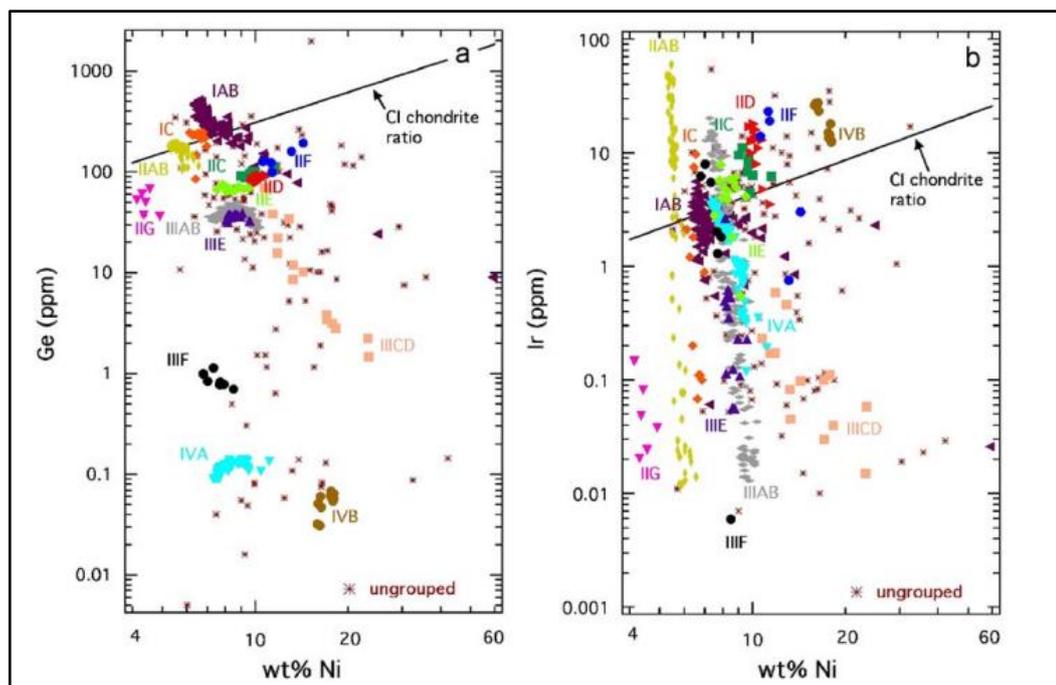


Figura 7: Plotagem logarítmica de (a) Ge versus Ni e (b) Ir versus Ni da composição em massa de todos os meteoritos metálicos

Fonte: GOLDSTEIN *et al.*, 2009

Tabela 1: Relação entre a classificação química e estrutural dos meteoritos metálicos

Grupo Químico	Número de membros	Concentração de Ni (%)	Classificação estrutural	Informações adicionais
IAB	~110	6 a 25	Og, Om, Of, Off, Opl, D	Contêm inclusões de troilita, grafita, cohenita e alguns silicatos. Ex: <i>Canyon Diablo</i> (Arizona – Estados Unidos)
IC	12	6 a 7	Ogg, Og	Contêm inclusões de cohenita, não contêm silicatos e são pobres em elementos traços como arsênio e ouro. Ex: <i>Arispe</i> (México)
IIAB	89	5,3 a 6,5	H, Ogg	Possuem uma correlação negativa entre Ni e Ir. Ex: <i>Patos de Minas</i> (Minas Gerais)
IIC	8	9,3 a 11,5	Opl	Ex: <i>Crathéus</i> (Ceará)
IID	21	9,6 a 11,1	Om, Of	Contêm inclusões de Schreibersita. Ex: <i>Hraschina</i> (Croácia)
IIE	20	7,2 a 9,5	Og, Om, Of, Off	Contêm inclusões de silicatos. Não são originados do núcleo dos corpos parentais, e foram formados por fusão parcial durante eventos de impacto. Ex: <i>Watson</i> (Austrália)
IIF	6	11 a 14	Opl, D	Contêm inclusões de Schreibersita no interior das agulhas de Kamacita. Possuem uma alta razão Ge/Ga. Ex: <i>Del Rio</i> (Texas, Estados Unidos)
IIG	6	4,1 a 4,9	H	Possuem lamelas de Schreibersita. Ex: <i>Bellsbank</i> (África do Sul)
IIIAB	~250	7,1 a 10,6	Om	O aumento de Ni neste grupo é acompanhado de inclusões de sulfeto e fosfeto e de decréscimo no teor de Ir, sendo provavelmente originado da cristalização fracionada de um núcleo fundido. Ex: <i>Balsas</i> (Maranhão)
IIICD	12	11 a 23	Of, Off, Opl, D	Devem ter sido formados por impactos com corpos parentais diferenciados. Ex: <i>Carlton</i> (Texas, Estados Unidos)
IIIE	15	8,1 a 9,6	Og	Ex: <i>Porto Alegre</i> (Porto Alegre)
IIIF	9	6,8 a 8,5	Og, Om	Ricos em cromo e pobres em cobalto. Ex: <i>Klamath Falls</i> (Oregon, Estados Unidos)
IVA	72	7,5 a 12	Of	Ex: <i>Gibeon</i> (Namíbia)
IVB	13	16 a 18	D	Ex: <i>Hoba</i> (Namíbia)
Não grupados	115	6 a 35	Ogg, Og, Om, Of, Off, Opl, D	Ex: <i>Campinorte</i> (Goiás)

Fonte: Elaborado pela autora<sup>1</sup><sup>1</sup> Número de membros, Concentração de níquel e classificação estrutural (GOLDSTEIN *et al.*, 2009); informações adicionais (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013).

Tabela 2: Propriedades diagnósticas dos diferentes grupos químicos de sideritos

Grupo Químico	Ga (ppm)	Ge(ppm)	Ir (ppm)
IAB e IIICD	100 - 2	520 - 2	6 - 0,02
IC	55 - 49	247 - 212	2,1 - 0,07
IIAB	62 - 46	185 - 107	0,9 - 0,01
IIC	37 - 39	88 - 114	11 - 4
IID	70 - 83	82 - 98	18 - 3,5
IIE	28 - 21	75 - 62	8 - 1
IIF	8,9 - 11,6	99 - 193	23 - 0,75
IIIAB	23 - 16	47 - 27	20 - 0,01
IIIE	19 - 17	37 - 34	6 - 0,01
IIIF	7,3 - 6,3	1,1 - 0,7	7,9 - 0,006
IVA	1,6 - 2,4	0,09 - 0,14	4 - 0,4
IVB	0,17 - 0,27	0,003 - 0,07	38 - 13

Fonte: Adaptado de ZUCOLOTTO *et al.*, 2013

Como discutido, os grupos químicos foram determinados pela plotagem, em escala logarítmica, das concentrações de determinados elementos químicos, principalmente germânio e irídio, versus o teor de níquel. Wasson e Kallemeyn (2002) definiram uma nova classificação química baseada na concentração de ouro dos sideritos que possuíam teor de Au maior do que 1,3µg/g.

Os autores observaram que a plotagem, em escala logarítmica, da concentração de ouro versus o teor de níquel, produzia conglomerados bem definidos. Entretanto, um grande número desses meteoritos ficou fora dos campos compactos, porém “parecem estar suficientemente relacionados para serem incluídos no complexo IAB” (WASSON e KALLEMEYN, 2002). Assim, surgiu o grupo complexo IAB, que é uma união do IAB, do IIICD e de alguns meteoritos não grupados.

Os autores dividiram o grupo complexo IAB em seis categorias:

- 1) Grupo principal com 71(setenta e um) membros, nomeado como *main group* (MG);
- 2) Cinco subgrupos nomeados de acordo com o teor de ouro e níquel: *low Au, low Ni* (sLL) com 20 (vinte) membros; *low Au, medium Ni* (sLM) com 8 (oito) membros; *low Au, high Ni* (sLH) com 6 (seis) membros; *high Au, low Ni* (sHL) com 9 (nove) membros; *high Au, high Ni* (sHH) com 6 (seis) membros;

3) *Udei Station grouplet* com 6 (seis) membros que se relacionam intimamente ao subgrupo sLL;

4) *Pitts grouplet* com 3 (três) membros que possuem características intermediárias entre os subgrupos sLL e sLM;

5) Cinco duplas (*duos*), nas quais cada membro está intimamente relacionado um ao outro: dupla Algarrabo — *Livingston* (Montana, Estados Unidos) e Algarrabo (Atacama, Chile); dupla *Mundrabilla* — *Waterville* (Washington, Estados Unidos) e *Mundrabilla* (Austrália); dupla *Britstown* — *Britstown* (África do Sul) e *Elephant Moraine* EET87506 (Antártica); dupla NWA 468 — *Grove Mountains* GRV98003 (Antártica) e *North West Africa* (ampla região desértica no noroeste da África); dupla *Twin City* — Santa Catarina ( São Francisco do Sul, Santa Catarina) e *Twin City* (Georgia, Estados Unidos);

6) Meteoritos únicos (*solos*) com 17 (dezesete) membros que estão relacionados ao grupo IAB.

O meteorito Santa Catarina, inicialmente, foi classificado como não grupado (BUCHWALD, 1975, p. 1068). Entretanto, a partir desses novos parâmetros, este siderito passou a ser incluído do grupo complexo IAB através da dupla *Twin City*. Quanto à estrutura, se trata de um ataxito (WASSOM e KALLEMEYN, 2002). Na Tabela 3, tem-se a composição principal da dupla *Twin City*. E Na Figura 8, pode-se observar a plotagem, em escala logarítmica, dos teores de ouro versus níquel dos membros do grupo complexo IAB.

Tabela 3: Composição química principal da dupla *Twin City*

	Meteorito	
	Santa Catarina	Twin City
Cr (µg/g)	9	< 14
Co (mg/g)	6,17	6,17
Ni (mg/g)	358,8	304,8
Cu (µg/g)	1440	1140
Ga (µg/g)	5,22	4,53
Ge (µg/g)	9,01	7,50
As (µg/g)	38,1	37,6
Sb (ng/g)	2760	2340
W (µg/g)	0,20	< 0,20
Re (ng/g)	< 100	< 200
Ir (µg/g)	0,023	0,019
Au (µg/g)	3,64	3,68

Fonte: WASSOM e KALLEMEYN, 2002

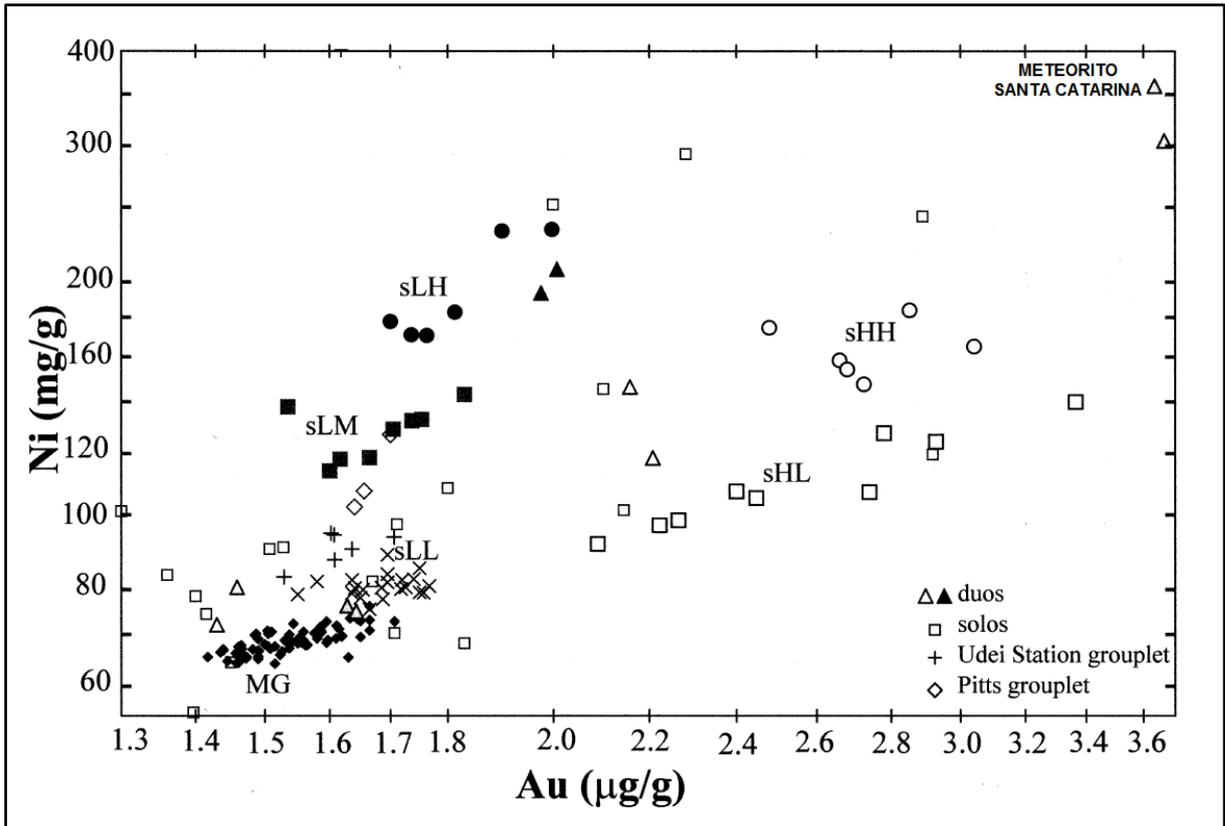


Figura 8: Plotagem, em escala logarítmica, dos teores de ouro versus níquel dos membros do grupo complexo IAB

Fonte: Adaptado de WASSOM e KALLEMEYN, 2002

Vale destacar que o meteorito Santa Catarina possui a segunda maior concentração de níquel dentre todas as massas meteoríticas já encontradas, ficando atrás apenas do meteorito Oktibbeha County<sup>2</sup> com 59,6% de Ni (WASSOM e KALLEMEYN, 2002).

No próximo capítulo serão apresentados fatos sobre a história do meteorito Santa Catarina.

<sup>2</sup> O meteorito Oktibbeha County foi encontrado em um túmulo indígena por indígenas, em 1854, no estado americano do Mississipi (BUCHWALD, 1975, p. 947).

### 3 A HISTÓRIA DO METEORITO SANTA CATARINA OU SERIA SÃO FRANCISCO DO SUL?

#### 3.1 A DESCOBERTA

O meteorito usualmente conhecido como Santa Catarina deveria, na verdade, ser intitulado de São Francisco do Sul. Isto porque é consenso na comunidade científica que a identificação destes corpos deve conter o título da cidade em que os mesmos caíram ou que foram encontrados. Segundo o *Meteoritical Bulletin* nº 57 (1980, p. 101), o nome do fragmento meteorítico deve ser claramente distinto de todas as outras designações e abreviações já existentes, e deve transmitir a localização geográfica da queda ou da descoberta.

A cidade de São Francisco do Sul, localizada na Ilha de mesmo nome, possui uma história cativante. Foi nesta localização que pela primeira vez franceses chegaram ao litoral brasileiro. No entanto, a compreensão deste episódio deve ser feita no contexto das grandes navegações que ocorriam na Europa.

Nas últimas décadas do século XV, Lisboa tornou-se um centro de referência na Europa. Os avanços da tecnologia náutica fundamentaram as conquistas dos portugueses. A descoberta de uma rota marítima para as Índias por Vasco da Gama, em 1498; a chegada ao Brasil, comandada pela esquadra de Pedro Álvares Cabral, em 1500; foram fundamentais para que o império de Portugal se expandisse rapidamente nas décadas seguintes, tendo como fio condutor de seu sucesso, o comércio de especiarias, e posteriormente, o modelo colonial (SANTOS *et al.*, 2004, p. 22).

Comerciantes e navegadores das cidades francesas de Honfleur, Dieppe e Rouen atracavam suas embarcações em Lisboa, frequentemente, para adquirir os novos produtos provenientes das terras distantes, visando abastecer aos mercados do norte da Europa. E em troca, deixavam, em Portugal, as especialidades fabris da Normandia, especialmente tecidos, louças, e armas de fogo (SANTOS *et al.*, 2004, p. 24).

Navegantes e comerciantes desses países falavam rotineiramente sobre as novas terras e suas possibilidades. Foi nesse contexto que um pequeno grupo de

comerciantes de Honfleur, liderado por Binot Paulmier de Gonneville<sup>3</sup> (navegador francês proveniente da Normandia), resolveu adquirir e equipar o navio L'Espoir para realizar uma viagem comercial para as Índias, a fim de quebrar o monopólio português sobre a rota estabelecida por Vasco da Gama. Eles partiram no dia 24 de junho de 1503, chegando ao litoral brasileiro no dia 5 de janeiro de 1504. O navio atracou na Baía de Babitonga, próximo ao que, atualmente, é o porto de São Francisco do Sul. Segundo Santos *et al.* (2004, p. 167):

Os motivos eram, como continuam a ser, as privilegiadas condições de atracação da Baía de Babitonga, cujos aspectos de profundidade, acesso e espaço para evolução favorecem o tráfego de embarcações de grande calado e conferem à área o atributo de melhor porto natural do sul do Brasil.

O capitão Gonneville, ao regressar para Honfleur, fez uma declaração de viagem no dia 19 de junho de 1505, explicando os desafios enfrentados durante a travessia que o fizeram deslocar do caminho originalmente traçado para as Índias. Tempestades, doenças, corsários, falta de alimentos, muitos dias sem ventos fizeram parte desta intrépida viagem. Este texto ficou conhecido como a Relação Autêntica.

Com sua extraordinária e penosa viagem, Gonneville e seus companheiros tiveram o indiscutível mérito de ter aberto uma rota comercial em direção ao Brasil. Como sabemos, nas décadas seguintes, as expedições francesas para o litoral brasileiro se sucederam, em busca principalmente de pau-brasil. Por sua vez, a Relação Autêntica constitui-se, ao lado da Carta de Caminha, num dos documentos fundadores da história do nosso país (SANTOS *et al.*, 2004, p. 27).

Em uma busca rápida pela internet, à São Francisco do Sul é, frequentemente, atribuída o título de terceira cidade mais antiga do Brasil. Fatos históricos revelam que entre os anos de 1553 e 1555, os espanhóis tentaram, sem sucesso, fundar uma vila na região (Santos, *et al.*, 2004, p. 78). Se esta data for aceita, então, São Francisco do Sul estaria entre os dez povoados brasileiros mais antigos.

Entretanto, a fundação oficial da cidade, inicialmente intitulada como Nossa Senhora da Graça de São Francisco, ocorreu em 1658. O fundador foi o bandeirante

---

<sup>3</sup> Não foram encontradas outras informações sobre Binot Paulmier de Gonneville.

Manoel Lourenço de Andrade<sup>4</sup>, que se estabeleceu na Ilha para o domínio rural aliado à necessidade de defender a costa e expandir a ocupação portuguesa para o Sul. Esta foi a primeira vila fundada na então Capitania de Santo Amaro e Terras de Sant'Ana, que, em 1748, se tornaria Capitania de Santa Catarina (Santos, *et al.*, 2004, p. 79). “São Francisco, desta forma, se afirmou como cidadela referência para a construção do atual Estado de Santa Catarina” (Santos, *et al.*, 2004, p. 14).

O meteorito Santa Catarina foi descoberto, no ano de 1875, em São Francisco do Sul, sendo, provavelmente, nomeado como Santa Catarina, pois esta era uma província do império brasileiro. Esse foi o primeiro de outros deslizos que rondam esta história que se iniciou com a suspeita de que existiriam naquela região reservas minerais de ferro viáveis de serem exploradas.

A primeira notícia sobre a descoberta do meteorito foi publicada, em um conhecido jornal que circulava na província de Santa Catarina, no dia 23 de janeiro de 1875. O texto foi um ofício do então presidente da província — João Thomé da Silva (1842 – 1884) — para um engenheiro chamado Etienne Donat<sup>5</sup>, requisitando que este fizesse uma avaliação técnica sobre a viabilidade de exploração de uma provável jazida de ferro na região (O CONSERVADOR, 23 de janeiro de 1875, p. 1). A íntegra da nota pode ser lida na Figura 9.

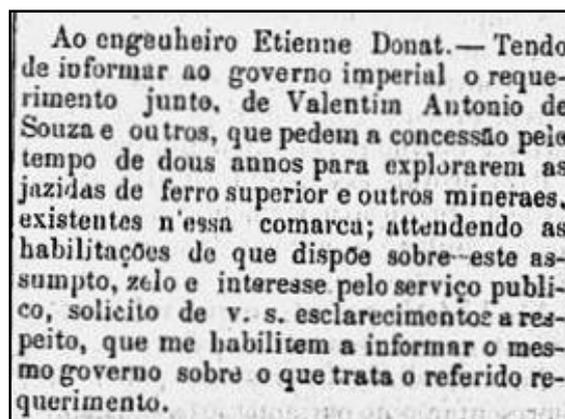


Figura 9: Ofício endereçado ao engenheiro Etienne Donat  
Fonte: O CONSERVADOR, 23 de janeiro de 1875, p. 1

<sup>4</sup> Um vereador do povoado de Desterro, atual cidade de Florianópolis, publicou um texto sobre a história de São Francisco do Sul, identificando Manoel Lourenço de Andrade como primeiro Capitão-mor da cidadela (O MENSAGEIRO, 1856, p. 2).

<sup>5</sup> As informações obtidas sobre o engenheiro Etienne Donat foram as seguintes: chefe da comissão responsável em construir a estrada Dona Francisca (A REGENERAÇÃO, 1874, p. 3); casou-se entre 07 e 12 de junho de 1880 com Luiza Jordan (O APOSTOLO, 1880, p. 2); e era um cidadão francês naturalizado no Brasil em 20 de novembro de 1885 (O CONSERVADOR, 1885, p. 1).

Segundo Hostin (1999), Etienne Donat, que estava presente em São Francisco do Sul para obras na região, relatou suas observações sobre a descoberta na Ilha através de uma carta — enviada com uma amostra da massa meteorítica — para João Thomé da Silva, enfatizando a localização privilegiada do achado (em torno de 3 Km ao sul da cidade) e as propriedades metálicas do material.

O presidente da província de Santa Catarina precisava de mais informações sobre a descoberta em São Francisco do Sul para informar ao governo imperial. Este, então, de posse de mais dados, poderia deferir ou não o pedido de requerimento que alguns habitantes da ilha fizeram para explorarem comercialmente a provável reserva de ferro.

Na carta endereçada ao João Thomé da Silva, publicada em 30 de janeiro de 1875, o engenheiro cita o nome dos senhores Valetim Antonio de Souza<sup>6</sup> e Antonio da Cunha Maciel<sup>7</sup> (proprietário de partes do terreno, onde foram encontrados os fragmentos do meteorito), que juntamente com outros habitantes da ilha, pretendiam conseguir uma autorização do governo imperial para exploração daquela área. Donat expôs suas impressões sobre o referido local, explicando que mesmo não possuindo conhecimento para identificar jazidas de ferro, acreditava que aquele depósito poderia ser uma potencial fonte de mineração. Sugeriu, assim, que o império levasse a questão a um engenheiro mineralogista para uma pesquisa mais detalhada a fim de descobrir se realmente existiria ou não uma jazida de ferro na região. Argumentou que, “a riqueza do mineral em ferro é evidente e parece prometer de 88 a 90%” (O CONSERVADOR, 30 de janeiro de 1875, p. 2). E, devido a isto, a autorização para exploração deveria ser concedida. Enfatizou a posição privilegiada em relação ao porto, falando da facilidade da exportação dos minerais extraídos e de como esta descoberta poderia revolucionar a economia de São Francisco do Sul (O CONSERVADOR, 30 de janeiro de 1875, p. 2-3). A notícia que publicou tal texto pode ser observada nas imagens destacadas das Figuras 10 e 11. No “ANEXO A” do presente trabalho, a notícia pode ser lida na íntegra.

---

<sup>6</sup> Promotor público da Comarca de São Francisco do Sul a partir de 1878 (GAZETA DE JOINVILLE, 1878, p. 4); e foi administrador da mesa de rendas geraes de São Francisco do Sul a partir de 1885 (REGENERAÇÃO, 1885, p. 1).

<sup>7</sup> Não foram encontradas outras informações sobre Antonio da Cunha Maciel.

Dia 28.  
Antonio Elias de Bittencourt.— Informe o sr. inspector da thesouraria de fazenda.  
Urbano Sabino Pessoa de Mello.— Informe o sr. inspector geral da instrucção publica.  
Francisco Joaquim da Silva Monteiro.— Deferido a vista da informação.  
João Maria Mello de Souza.— Idem.  
José Poluciano de Miranda.— Deferido a vista da informação.  
Maria Cecilia Tavares.— Idem.

Dia 29.  
Benjamin Carvalho de Oliveira.— Informe o sr. inspector geral da instrucção publica.  
Christina Popoline.— Idem.  
Domingos José da Costa Sobrinho.— Informe o sr. capitão do porto.  
David Fernandes de Lemos.— Informe o sr. inspector da thesouraria de fazenda provincial.  
João Carlos Greenhalg.— Como requer.

Frederico Pereira.— Informe o sr. inspector da thesouraria provincial.  
José Baptista da Silva, e outro.— Idem.  
José de Oliveira Bastos.— Nesta data se expede ordem a capitania do porto para licitação a venda requerida.  
Eccidiaz Felisberta da Andrade.— Pagos os direitos devidos, faça-se a transferencia requerida.

Anacleto Elias de Bittencourt.— Informe o sr. inspector da thesouraria de fazenda.  
Manoel Ferreira de Andrade.— Informe o sr. inspector da thesouraria de fazenda.  
Paulo Ferreira Alves.— Informe o chefe da commissão da medição dos terrenos do patrimonio dotal de S. A. Sr. D. Izabel.

José da Silva Ramos.— Informe o sr. delegado especial do inspector geral da instrucção publica.  
Dia 30.  
Antonio Rodrigues de Oliveira.— Passa-se.  
Francisco José Rodrigues Pereira.— Idem.  
Firmino José Corrêa.— Informe o sr. inspector da thesouraria de fazenda.  
Frederico Alberto Probst.— Idem.  
Jesuino de Oliveira Passos.— Informe a câmara municipal do Tubarão.  
Rosa Maria de Jesus.— Satisfaz a informação da thesouraria de fazenda.  
João Antonio Gonçalves.— Deferido a vista da informação.

Dia 31.  
Antonio Ferreira Ramos.— Ao sr. inspector da thesouraria para os fins devidos.  
Benjamin Carvalho de Oliveira.— Como requer.

Secretaria militar.

Expediente do dia de 2 Dezembro de 1875.

Da presidencia

Ao sr. inspector da thesouraria de fazenda.— Em cumprimento ao aviso do ministerio dos negocios da guerra de 15 de Outubro do anno findo, incluso por copia, haja v.s. de mandar chamar concurrentes ao fornecimento dos objectos constantes da inclusa nota, destinados á fortaleza de Santa Cruz, á excepção de

um sinete d'armar com presso, da caixa de retrete, lavatorios de ferro, funil de cobre de eucartubar, bacia e jorro de louça, por existirem no deposito de artigos bellicos.

Ao mesmo.—Mande v. s. ajustar contas e passar a competente guia ao sr. alferes Arthur Silveira da Veiga, que na primeira oportunidade segue á reunir-se ao 15º batalhão de infantaria, a que pertence.

Dia 5

Ao sr. major encarregado do deposito d'artigos bellicos.— Autorizo v. s. a mandar fazer os necessarios concertos em uma fechadura do xadrez da fortaleza de Santa Cruz, devendo o commando da referida fortaleza facilitar passagem de ida e volta ao operario que para essa fim for contratado.

Dia 7

Ao mesmo.—Reciba v. s. d'alfandega d'esta capital os caixos vindos da corte, no vapor Cervant-se, contendo os objectos constantes do incluso conhecimento, por copia, ficando v. s. autorizado a fazer a necessaria despesa com a condução, para esse deposito dos referidos caixos.

Dia 9

Ao sr. agente da companhia de paquetes a vapor.—Mande v. s. dar passagem abordo do vapor «Cilderon» até a corte e por conta do ministerio da guerra, ao sr. alferes do 15º batalhão d'infantaria Arthur Silveira da Veiga.

Ao sr. inspector da thesouraria de fazenda.— Em vista da informação d'essa thesouraria exarada em officio de 2 de corrente, mande v. s. abonar tres mezes do respectivo soldo ao sr. tenente do 14º batalhão d'infantaria, José da Silva de Santa Anna, ultimamente promovido á aquelle posto, devendo ser-lhe descontada essa importancia pela quinta parte do soldo.

Dia 12

Ao ex. sr. conselheiro de guerra, brigadeiro Ricardo Gomes Jardim.— Em resposta ao seu officio datado de 9 do corrente, communico a v. ex., que hontem foram dados todas as providencias por v. ex. solicitadas, em o predito officio.

Dia 13

Ao sr. inspector da thesouraria de fazenda.— Para seu conhecimento e fins devidos, incluso remetto a v. s. copias dos avisos do ministerio da guerra de 12 de outubro, e 15 de Dezembro do anno proximo preterito.

Do ajudante d'orientes.

Ao sr. capitão Fernando Antonio Cardozo.— De ordem de s. ex. o sr. doutor presidente da provincia, communico a v. s., que o mesmo ex. sr. o mandou pôr a disposição do commando do deposito d'instrucção, afim de fazer parte d'um conselho de guerra.

Idem ao sr. capitão Manoel Marques Guimarães Junior.

Ao sr. tenente coronel commandante do deposito d'instrucção.— De ordem de s. ex. o sr. doutor presidente da provincia, e em resposta ao officio de v. s. sob n. 4 de hontem datado communico a v. s. que nesta data mandou-se pôr a disposição d'esse com nando os srs. capitães, reformado Fernando Antonio Cardozo, e honorario Manoel Marques Guimarães Junior.

PARTE NÃO OFFICIAL.

SECÇÃO POLITICA.

A opposição.

Os collegas da *Regeneração* tem estado em maré de vasante: chamados á campo para discutirem a politica do paiz perante a historia, e tirarem os correlarios devidos á fundamentarem a sua argumentação, não o tem feito.

Dir-se-ha que o partido liberal desdenha de vir a arena nos torneos da publicidade, ou sente-se falho de argumentos para travar a luta?

E' o mais certo: sentir-se convicto de que não pôde combater contra o partido conservador, e muito menos contra o gabinete 7 de Março, que tantos beneficios tem prodigalizado á Nação.

Argumento-se limpo e puro de consciencia, e diga-se, se houve ministerio cuja tolerancia mais tenha causado a derrota dos adversarios.

O que nos affirmam a historia dos ultimos dias; o que nos revelou os factos do parlamento, da tribuna da publicidade, tudo é somente heroismo, que deve merecer a admiração dos contemporâneos e vindouros.

Quando a historia tiver escripto, em suas pagin's doiradas, o nome do Sr. Presidente do Conselho o venerando Visconde do Rio Branco, como o Lomen tallado para os grandes commettimentos do seu paiz e ainda acrescentar quaes os attentados, e a ingratitude daquelles que, por paixões mesquinhas, quizerão impedir, que elle prestasse seus grandes serviços á nação, terá traçado o monumento mais homerico das letras, fazendo-lhe a devida justiça.

Quando tiver descrito, com o respeito de que são dignos, outros vultos, de aquella inferior capacidade, que se achão a testa da alta administração, terá também traçado o quadro mais bello, para exemplo e veneração da posteridade.

E na verdade, a pleiade de sabios cidadãos que compõe quasi todo o Ministerio formão a nossa gloria, e attestação de esse prestigio devem a sua continuação no poder.

O que podem querer mais os brasileiros sensatos?

A governação dirigida tão sabiamente por tão distinctos estadistas, os negocios politicos, da fazenda, justiça, agricultura, guerra, marinha, e relações exteriores, tudo no melhor pé, adequado ás circumstancias e em beneficio somente do povo.

Não é feliz o povo que entregue á satisfacção da sua liberdade, tem curadores desinteressados e decididos para ampliarem a mesma, ao ponto deste povo desconheça essa mesma amplitude?

O que queremos mais? O perigo dessa doutrina do socialismo, o abismo a que nos impelle, não a liberdade justa e medida; mas a licença desenfreada que tudo transtorna e destrõe?

Falle ainda o povo sensato, brasileiro, si deseje mais do que tem tido?

Nós diremos, que já temos liberdade demasiada, liberdade que vai muito além da instrucção que recebemos.

Olhai para a lei da emancipação que tornou-se extensiva em demasia. Era uma classe ignorante, que se ia larga no centro da sociedade, sem os elementos de se poderem dirigir, e sem a educação moral, e religiosa indispensavel.

Semelhançamente, a reforma judiciaria acreceu o cidadão de regalias amplas de que pode abusar muito.

Sem a instrucção conveniente e proporcionada ao povo, não devemos querer mais liberdade; t-la para goal-a com desconhecimento do bem, é um verdadeiro mal, um automatismo estúpido que em vez de elevar-nos nas rebaixará.

SECÇÃO NOTICIOSA.

**Minas de ferro e outros metaes de S. Francisco.**— A ligera noticia que demos, em um dos numeros passados sobre a importancia d'esta nova fonte de industria, para o municipio de S. Francisco, fica plenamente demonstrado pelo que a respeito informou o Sr. Douart Engenheiro encarregado dos obres da colonia D. Francisca, diz elle: «Apesar do minha incompetencia para dar todos os esclarecimentos necessarios para habilitar a V. Ex. a informar o governo imperial sobre a pretensão de Valentim Antonio de Souza e outros, que pedem a concessão pelo tempo de dois annos para explorarem jazidas de ferro superior e outros metaes existentes na comarca de Nossa Senhora da Graça n'esta provincia, cumpre-me em resposta ao officio que V. Ex. dignou-se dirigirme com a data de 17 de Dezembro do anno p. p., vir communicar a V. Ex. o resultado do exame que tenho feito da localidade, aonde foi descoberta a jazida mineral.»

A 3 kilometros mais ou menos ao sul da cidade de S. Francisco existe um morro isolado, situado em parte nos terrenos do Sr. Antonio da Cunha Maciel. Sobre a vertente sul deste morro foi descoberta a jazida de ferro. A maior parte d'este morro está ainda em muita virgem, o que difficulta actualmente o exame. O mineral de ferro existe em duas ligunas differentes, separados por uma distancia de 100 metros mais ou menos. A jazida actualmente descoberta está constituída por 2 blocos, cujas dimensões não podem ser avaliadas sem proceder-se ás necessarias excavações e sondagens do terreno, por isso que a parte aparente constitue um bloco de forma mais ou menos espherica e com um diametro de 0, m. 90, formando sobre o terreno actual uma saliencia de 0,60 mais ou menos de altura. O mineral extrahido destes blocos e cuja amostra remette neste data á V. Ex. é formado em toda a sua totalidade de ferro magnetico, misturado com algumas substancias estranhas em muito pequena quantidade, que a analyse chimica pode facilmente determinar.

A riqueza do mineral em ferro é evidente e parece prometter de 88 a 90 % de ferro. Falla porém saber se este mineral constitue uma mina importante ou será o producto de algum aerolitho. A solução porém desta questão depende de explorações, que poderão talvez serem supridas pela pratica, e os conhecimentos especies de um engenheiro mineralogista, á quem o governo deveria em semelhantes occorências confiar estes exames: por isso que a mineralogia é uma das sciencias naturaes, que sem uma pratica constante passa ao dominio do esquecimento.

Apesar todavia de não se achar resolvida esta questão de saber si o mineral existirá ou não em grande quantidade, julgo que deve ser concedida a autorisação requisitada, por isso que estas explorações feitas com o fim especial de descobrir as jazidas mineras, dão muitas vezes resultados, que a sciencia não pôde prever. Além d'isso estas explorações interessam a todos, principalmente no caso actual, por isso que a abertura de uma mina importante na ilha de S. Francisco mudaria completamente o futuro, que lhe parece reservado. A pacificação da jazida em relação á sua exportação é das mais lisonjeiras, separada do litoral por uma distancia apenas de 3000 metros em terrenos formados, por taboleiros de areia que facilitam a collocação da via ferréea necessaria para ligar a mina com a navegação no porto de S. Francisco ou qualquer outro pon-

Figura 10: Correspondência entre o engenheiro Donat e o presidente da provincia de Santa Catarina — João Thomé da Silva (parte 1)  
Fonte: O CONSERVADOR, 30 de janeiro de 1875, p. 2

**CONSERVADOR**

lo mais conveniente. Grande parte dos terrenos adjacentes ao morro aonde existem as jazidas, estando ainda em mata virgem, poderia por ora fornecer o combustível necessário para a exploração, e a proximidade das colonias e principalmente da de D. Francisca do centro da exploração, facilitaria consideravelmente a aquisição de pessoal habilitado para esta industria.

Estas condições principais para esperar o desenvolvimento de uma industria importante achão-se aqui reunidas. A riqueza do mineral é evidente, convem portanto por meio de explorações ver si é abundante. Sinto que não esteja a meu alcance dar esclarecimentos mais positivos sobre este assumpto e rogo a V. Ex. desculpar-me das lacunas, que apesar de meus bons desejos, a falta de muitos conhecimentos especiaes á sciencia da mineralogia me impedem de dar a V. Ex.

Deos Guarde a V. Ex.— Illm. e Exm. Sr. Dr. João Thomé da Silva— Presidente da Provincia de Santa Catharina— E. Donat— Encarregado director.

**Noticias de Prata.**—Do *Ferro Carol* extrahimos as seguintes noticias que tem por epigraphe a ultima hora: Conhecendo a antecidade que tem o publico em conhecer com todos os detalhes as occurrencias de hontem, occuparemos hoje todas as seções do nosso pequeno diario, em referir todas as noticias, que se relacionão com os acontecimentos

**Nova estrada.**— Por aviso de 9 do corrente do ministerio dos negocios da agricultura & foi autorizada a presidencia a despendar, de duzentos a trezentos mil reis mensaes com a abertura da nova estrada, da importante freguesia do Paraty do termo de S. Francisco ao termo de Joinville.

S. Ex. acaba de encarregar ao engenheiro Donat, encarregado da estrada de D. Francisca, de dar começo sem demora a esses trabalhos.

Este importante melhoramento vai mudar a face das industrias do Paraty e Joinville.

O Rvd. padre Margal e outras pessoas distintas do lugar, dirigirão uma petição ao Sr. Dr. João Thomé que sempre solicita em promover estes melhoramentos solicitou-os do Governo.

Continúa S. Ex. a fazer prosperar esta provincia com as necessarias vias de communicacão, auz grevemente a farão sahir desse marasmo em que jazia.

Ao seu zelo de attender a bon viagem, ja se devemos melhoramentos das nossas raudas.

Restabelecido como se achava o credito da Provincia, ratamos certos que S. Ex. empregará outros melhoramentos.

**EDITAENS.**

O Illm. Sr. inspector manda fazer publico que, no dia 30 do corrente, até a uma hora da tarde, recebe esta repartição propostas, em carta feixada, para o fornecimento dos objectos abaixo declarados, que se fazem precisos ao serviço da fortaleza de Santa Cruz.

- 3 Bandeijas pequenas para copo.
- 1 Cadeira de jacaranda, com braços e assento de palhinha.
- 3 Canecas de metal branco para agua.
- 8 Canetas de pau.
- 1 Canivete.
- 5 Copos de vidro para agua.
- 4 Escarradeiras de madeira.
- 1 Espanador grande, de pennas.
- 1 Foco de óseo para papel.
- 8 Lapis para escripta.
- 1 Moça com 0,66 metros de cumprimento, e 0,33 metros de largura.
- 4 Maços de obreias encarnadas e pretas.
- 1 Resma de papel almisso, liso.
- 4 Dilas de dito pautado.
- 2 Caixas de pennas d'ago.
- 1 Raspadeira com cabo d'osso, para papel.
- 3 Regoas de madeira.
- 3 Talhas de barro, com tampa, para agua.
- 3 Tamboretos furados para as mesmas.
- 2 Garrafas de tinta preta para escrever.
- 1 Thesoura para papel.
- 3 Paços de tinteiros e azeiros de es-

1 metro de comprimento e 5 decimetros de largura.

- 1 Moinho de ferro, para café.
- 1 Oleado para paiol.
- 4 Pás de ferro.
- 1 Penceira de arame para limpar polvora.
- 1 Esqui no porta-voz.
- 2 Tinas grandes para agua.
- 12 Tijolos ingleses.
- 1 Torrador de ferro, com fogo, para café.
- 1 Tripode para assentar o oculo de alcance.
- 18 Vassouras de piassaba.

Thesouraria de Fazenda de Santa Catharina, em 25 de Janeiro de 1875.

O 1.º Escripturnario  
Luiz Carlos de Saldanha e Souza.

**Thesouraria de Fazenda Geral.**

Manda o Illm. Sr. Inspector fazer publico que, á uma hora do dia 30 do corrente, serão vendidos em hasta publica, treze reparos de campanha existentes no deposito de artigos bellicos, dados em consumo em 18 de Dezembro ultimo, bem como os materiais do antigo tropiche da albandega, que por falta de licitantes não foram vendidos no dia 19, conforme o edital d'esta thesouraria de 11 do corrente.

Thesouraria de Fazenda de Santa Catharina, em 25 de Janeiro de 1875.

O 1.º escripturnario  
Luiz Carlos de Saldanha e Souza.

De ordem de S. Ex. 2.º o Sr. Presiden-

**SEÇÃO INEDITORIAL**

o que eu amo.

Ao ILLUSTRE POETA DARIO L. M.

Figura 11: Correspondência entre o engenheiro Donat e o presidente da provincia de Santa Catarina — João Thomé da Silva (parte 2)  
Fonte: O CONSERVADOR, 30 de janeiro de 1875, p. 3

E por que relacionar esta notícia com a descoberta do meteorito? Esta relação poder ser baseada em três argumentos. Primeiro, a localização em comum – São Francisco do Sul; segundo, a data de veiculação da publicação – 1875; e terceiro, os envolvidos no caso. Este terceiro ponto merece alguns esclarecimentos: o crédito pelo achado desta massa meteorítica, que na época se configurou como uma provável jazida de ferro, foi atribuído a Manuel Gonçalves da Rosa<sup>8</sup>.

Segundo Lunay (1877, p. 84), o mineral, que na verdade era o meteorito, foi descoberto por Manoel Gonçalves da Rosa, na Comarca de Nossa Senhora da Graça, na provincia de Santa Catarina, na encosta sul de uma montanha popularmente conhecida como Rocio. Foram encontrados quatorze fragmentos espalhados pelo local. Alguns desses pedaços pesavam, respectivamente: 2250 quilogramas, 300 quilogramas, 450 quilogramas, 375 quilogramas e 1500 quilogramas.

<sup>8</sup> Era conhecido por trabalhar com comércio exterior e possuía jazidas de magnetita no continente (CAMPOS, 1888, p. 26), tendo, inclusive exportado, de uma única vez, 300 toneladas de minério de ferro para a Inglaterra (DIARIO DO COMMERCIO, 1891, P. 2).

Santa Catharina – Esta notável massa de ferro deve antes ter o nome de S. Francisco do Sul, visto ter sido achada perto da cidade d’este nome na província de Santa Catharina. É porém tão geralmente conhecido pelo nome que indica apenas a província de sua procedência, que hoje será difícil mudar esta designação por outra mais precisa. Atribui-se a sua descoberta ao sr. Manoel Gonçalves da Rosa no anno de 1875, mas parece incrível que estando apenas 3 a 4 kilometros distante de um centro populoso não era conhecido antes pelo povo. O certo é que o sr. Rosa julgando ter uma mina de ferro tirou concessão. (DERBY, 1888, p. 4).

Apesar de Manuel Gonçalves ter sido o primeiro a encontrar o meteorito, seu nome não foi citado na publicação, anteriormente exposta, que data do dia 30 de janeiro de 1875. Entretanto, Valetim Antonio de Souza e Antônio da Cunha Maciel estavam entre aqueles que pretendiam explorar a área. E analisando o decreto imperial nº 6126 de 23 de fevereiro de 1876 que concedeu a tal autorização, pode-se observar que Manuel Gonçalves da Rosa, Valetim Antonio de Souza e Antônio da Cunha Maciel foram contemplados com a respectiva concessão para sondagens minerais do terreno (BRASIL, 1876). A íntegra deste documento pode ser visualizada no “ANEXO B” deste trabalho. Logo, conclui-se que a descoberta da pretensa jazida de ferro é, na verdade, o achado do próprio meteorito.

Fica concedido o prazo de dous anos para os concessionarios Manoel Gonçalves da Rosa, Antonio Vieira de Araujo, Valentim Antonio de Souza e Antonio da Cunha Maciel explorarem jazidas de ferro e outros metaes na comarca de Nossa Senhora da Graça, da Província de Santa Catharina (Brasil, 1876, art. I, p. 240).

Satisfeitas as clausula deste decreto, ser-lhes-ha concedida autorização para lavrarem as minas por eles descobertas nos lugares designados, de acordo com as Leis e condições que o Governo julgar conveniente estabelecer no acto da concessão, no interesse da mineração, e em beneficio do Estado e dos particulares (Brasil, 1876, art. X, p. 242).

Da análise das notícias anteriores, pode-se pressupor que o presidente da província de Santa Catarina provavelmente deu prosseguimento ao estudo de tal descoberta. E a instituição brasileira que na época detinha as condições para uma pesquisa mais aprofundada era exatamente a Escola Polytechnica do Rio de Janeiro.

### 3.2 A IMPORTÂNCIA DA ESCOLA POLYTECHNICA DO RIO DE JANEIRO

A Escola Polytechnica teve um papel fundamental na pesquisa e na divulgação científica sobre a descoberta do meteorito Santa Catarina. A origem desta instituição data de 17 de dezembro de 1792 sob a identificação de Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho. Nesta primeira fase, a educação é voltada para o ensino militar, incluindo também, alguns conhecimentos iniciais sobre a construção civil (MOREIRA, 2014).

A criação da Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho teve como objetivo a exploração mais eficiente das riquezas minerais e a organização da defesa brasileira contra as invasões estrangeiras, a fim de manter a colônia sob o jugo de Portugal. Em 1810, é transformada em Academia Real Militar, passando a incluir em seu currículo, o estudo de ciências naturais, físicas e matemática. O ensino militar passou a assumir características científicas de um curso de nível superior (MOREIRA, 2014).

A academia Real Militar se tornou, em meados do século XIX, Escola Militar da Corte. Época que se iniciou intensos debates que visavam separar o ensino militar do civil, dando ênfase a uma diplomação de caráter não estritamente militar. Foi neste contexto que o curso de doutor em Ciências Matemáticas foi instituído em 1842 (MOREIRA, 2014).

Existiam muitas críticas, por parte da sociedade civil, principalmente pelos detentores do capital privado, em relação ao ensino conjunto de militares e civis. A pressão por profissionais que pudessem atender as demandas de obras e atividades de engenharia, sem serem obrigados a passar pelo regime militar foi crescente na década de 50 do século XIX (MOREIRA, 2014).

A problemática a respeito da união do ensino militar e civil foi, em parte, solucionada com a criação da Escola de Aplicação do Exército, em 1855, na Praia Vermelha. Esta instituição foi destinada, exclusivamente, ao ensino de oficiais e praças do Exército. Entretanto, os alunos militares continuavam frequentando a Escola Militar da Corte, que permaneceu funcionando no Largo de São Francisco de Paula, para cursarem as disciplinas científicas (MOREIRA, 2014).

Em 1858, a Escola Militar da Corte se tornou a Escola Central com o objetivo de instituir um curso para formar engenheiros que pudessem exercer a sua profissão e aplicar seus conhecimentos, sem estar ligados a uma estrutura militar. Neste período, os ensinamentos das engenharias militar e civil iniciaram um processo de separação institucional (MOREIRA, 2014).

A Escola Central se destinou ao ensino das matemáticas e ciências físicas e naturais, e das disciplinas próprias da engenharia civil. Entretanto, o problema sobre a formação específica de engenheiros não militares, demandada pela sociedade civil, continuava. Os alunos militares frequentavam algumas cadeiras desta instituição, enquanto que os civis continuavam submetidos a todas as regras acadêmicas, disciplinares e administrativas do regime militar (MOREIRA, 2014).

Com o esvaziamento dos alunos militares devido à Guerra do Paraguai (1864-1870), a Escola Central foi aos poucos deixando de lado os regimentos e estatutos militares, consolidando, assim, a separação entre o ensino militar e o civil (MOREIRA, 2014).

É neste contexto de separação entre o ensino militar e civil, que em 1874, nasce a Escola Polytechnica proveniente da Escola Central, que ficaria, então, responsável em ministrar o curso de engenharia civil (MOREIRA, 2014). No início da fundação desta instituição, o império brasileiro importou algumas técnicas e professores franceses, facilitando assim, a comunicação e divulgação científica entre o Brasil e a França. Charles Ernest Guignet (1829 – 1906) — professor francês, e Gabriel Ozorio de Almeida (1854 - 1926) — aluno da instituição na época (HANSEN, 2005), foram os responsáveis pela análise do fragmento do meteorito Santa Catarina.

Este fragmento foi entregue a Guignet e Ozonio por André Rebouças (1838 – 1898) — o primeiro engenheiro negro do Brasil. E pode-se pressupor que se tratava da amostra enviada por Etienne Donat ao presidente da província de Santa Catarina — João Thomé da Silva — para o aprofundamento das pesquisas. Nas palavras dos docentes:

Foi em São Francisco, Província de Santa Catarina, que conhecemos este curioso mineral. A amostra que Rebouças, engenheiro brasileiro, de boa vontade nos confiou pesa perto de 400 gramas. É praticamente cúbica e suas faces estão ligeiramente oxidadas<sup>9</sup> (MORIN, 1876, p. 917).

Os resultados de Guignet e Ozorio foram, então, publicados no *Comptes Rendus* de 1876, produzindo uma sequência de estudos sobre o meteorito Santa Catarina. Esta descoberta atraiu a atenção de pesquisadores franceses, iniciando,

---

<sup>9</sup>C'est à San-Francisco (province de Santa-Catarina) qu'on a rencontré ce curieux mineral. L'échantillon que M. Rebouças, ingénieur brésilien, a bien voulu nous confier pèse pres de 400 grammes. Il est à peu près cubique, ses faces sont légèrement oxydées.

então, um debate sobre a origem extraterrestre do achado. Vale lembrar que o meteorito, inicialmente, foi intitulado como uma pretensa jazida de ferro, principalmente, devido ao seu aspecto físico, e os próprios professores o denominaram de “curioso mineral”.

Guignet e Ozorio analisaram o fragmento de meteorito, obtendo a proporção de 64% de ferro e 36% de níquel, utilizando para tanto, ácido clorídrico, ácido nítrico e carbonato de bário (MORIN, 1876, p. 917). Em um capítulo posterior será feita uma análise comparativa das técnicas analíticas da época com as atuais no que tange ao estudo de massas meteoríticas.

Os professores Guignet e Ozorio, provavelmente, já suspeitavam que o achado se tratasse de um meteorito. No início da publicação, eles identificam o fragmento como “curioso mineral”, porém, no decorrer do texto, fazem alguns apontamentos sugestivos da origem extraterrestre da descoberta. Teriam eles a intenção de iniciar um debate?

Quando uma superfície polida é atacada com ácido clorídrico, imediatamente se percebe as figuras características dos ferros provenientes de meteoritos (figuras de Widmanstätten) [...]. A composição química do ferro niquelado nos pareceu muito notável, porque não conhecemos um ferro meteorítico tão rico em níquel<sup>10</sup> (MORIN, 1876, p. 918).

Esta publicação sobre as primeiras análises da amostra foi complementada com comentários do geólogo francês Gabriel Auguste Daubrée (1814 – 1896), que esteve ativamente envolvido em pesquisas e em debates posteriores. Este pesquisador focou suas discussões nos questionamentos levantados a respeito da origem extraterrestre do achado, citando, para tanto, o aparecimento das figuras de Widmanstätten (DAUBRÉE, 1876, p. 918). Comparou esta descoberta com a expedição do senhor Nordenskiöld, em 1870, para Ovivak, na Groelândia, que resultou no encontro, também, de uma massa de ferro. Enfatizou a necessidade de se analisar ambas as situações e evitou tirar conclusões precipitadas.

---

<sup>10</sup>Si l'on attaque par l'acide chlorhydrique la surface polie, on aperçoit aussitôt les figures caractéristiques des fer météoriques (figures de Widmanstätten) [...]. La composition chimique de ce fer niquelé nous a paru des plus remarquables, car nous ne connaissons pas de fer météorique aussi riche en nickel.

Até que os depósitos de ferro nativo da Groelândia possam ser determinados de uma maneira mais completa, e esse trabalho de exploração subterrânea possa provar a existência de massas semelhantes a profundidades maiores, com o veio, é muito importante que a localidade do Brasil em questão seja objeto de um estudo aprofundado. Provavelmente aprenderemos, em breve, se o ferro niquelado da província de Santa Catarina foi simplesmente soldado no solo no momento da queda ou depois, por ações que compreendemos a possibilidade, ou se a origem do ferro está relacionada com as rochas terrestres circundantes<sup>11</sup> (DAUBRÉE, 1876, p. 919).

À massa de ferro de Ovifak foi, posteriormente, atribuída a uma origem terrestre. E como havia similaridades entre ambas, a discussão sobre se o achado de São Francisco do Sul era ou não um meteorito permaneceu ativa por algum tempo. Essas primeiras publicações no *Comptes Rendus* foram feitas em 1876 e são atribuídas aos resultados obtidos por Guignet e Osorio, que trabalharam nos laboratórios da Escola Polytechnica. Consta em publicações do ano de 1877, expostas a seguir, que amostras do meteorito foram enviadas ao geólogo Daubrée, na França, para o aprofundamento das análises. Segundo Damour (1877, p. 478), “Daubrée, tendo recebido algumas amostras, me pediu para examiná-las<sup>12</sup>”

O mineralogista Alexis Damour (1808 – 1902) realizou estudos em amostras do meteorito Santa Catarina. Em sua publicação, descreveu a metodologia para quantificar os seguintes elementos químicos: Fe: 63,69%; Ni: 33,97%; Co: 1,48%; S: 0,16%; C: 0,20%; Si: 0,01 % e P: 0,05%. Enfatizou o aparecimento das figuras de Widmanstätten ao se tratar uma superfície polida com um ácido, porém foi cauteloso ao afirmar: “Este ferro, que presumo que seja originado de um meteorito<sup>13</sup> [...]”. Logo, observa-se através desta fala que o debate para definir se o achado é de origem terrestre ou extraterrestre ainda estava em aberto (DAMOUR, 1877, p. 478-481).

---

<sup>11</sup> En attendant que les gisements du fer natif du Groënland aient pu être déterminés d'une manière plus complete, et que des travaux d'exploration souterraine aient appris s'il existe de pareilles masses à une plus grande profondeur, dans le filon, il est très-important que la localité du Brésil dont il s'agit soit l'objet d'une étude approfondie. On apprendra sans doute bientôt si le fer nickelé de la province de Saint-Catherine a été simplement soudé au sol, au moment de la chute ou postérieurement, par des actions dont on comprend la possibilité, ou si ce fer se rattache réellement par son origine aux roches terrestres encaissantes.

<sup>12</sup> Daubrée, en ayant reçu quelques échantillons, m'a prié d'en faire l'examen.

<sup>13</sup> Ce fer, que l'on presume être d'origine météorique [...].

De acordo com os resultados acima, podemos observar que o ferro de Santa Catarina é semelhante ao ferro da melhor qualidade, obtido industrialmente, devido às pequenas quantidades de carbono e silício encontradas. A proporção de níquel contido na liga natural excede notavelmente os meteoritos conhecidos até hoje<sup>14</sup> (DAMOUR, 1877, p. 481).

Os resultados de Alexis Damour foram acompanhados de uma análise de Daubrée, que explicitou algumas observações suas sobre a descoberta: o fragmento estudado possuía uma estrutura brechiforme<sup>15</sup> similar ao verificado no siderito do Atacama, o que poderia indicar a maneira pela qual esta massa meteorítica foi formada; as figuras de Widmanstätten eram percebidas após o tratamento de uma superfície polida com ácido, apesar de apresentarem linhas muito finas, estas se pareciam com estruturas geométricas regulares, fazendo com que o estudioso concluísse que esses traços correspondiam “ao truncamento de um cubo em um octaedro regular<sup>16</sup> (DAUBRÉE, 1877, p. 483); a magnetita e a pirrotita foram descritos pelo geólogo francês (DAUBRÉE, 1877, p. 482-485). Provavelmente, o mineral identificado como pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) era troilita ( $\text{FeS}$ ), pois a pirrotita é um sulfeto terrestre, enquanto que a troilita é encontrada nos meteoritos metálicos (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 139).

Analisando um trecho específico escrito por Daubrée, observa-se que existia uma expectativa positiva de que o achado fosse realmente uma jazida. E uma reserva mineral com essa grande quantidade de níquel iria atrair o interesse de terceiros. Os próprios franceses expuseram a vontade de controlar a exploração da pretensa mina. Naquele ponto ainda não estava definido a origem extraterrestre da descoberta. Os debates e as discussões continuaram gerando, cada vez mais, pesquisas.

---

<sup>14</sup> D'après ce qui precede, on peut observer que les faibles quantités de carbone et de silicium trouvées dans le fer de Santa-Catarina approchent beaucoup de celles que l'on constate dans les meilleures qualités de fe obtenues dans l'industrie, et la proportion de nickel que referme alliage naturel dépasse notablement celle que l'on reencontre dans les fer météoriques connus jusqu'a ce jour.

<sup>15</sup> Estrutura composta por fragmentos angulosos de uma só rocha ou rochas diferentes, aglutinadas por material cimentante.

<sup>16</sup> troncatures du cube sur l'octaèdre régulier.

De acordo com a carta enviada por Guignet, cuidaríamos da exploração do ferro nativo da província Santa Catarina, no qual já foi retirado milhares de quilogramas, e poderíamos encontrar várias massas distantes umas das outras. É conveniente esperar por mais alguns detalhes para pronunciar sobre este maravilhoso depósito, seja ele terrestre ou de origem extraterrestre<sup>17</sup> (DAUBRÉE, 1877, p. 485).

Dom Pedro II recebeu notícias sobre a descoberta do meteorito em São Francisco do Sul, apresentando-as na Academia de Ciências de Paris. Vale lembrar que no momento da correspondência ainda não estava definido a origem extraterrestre do achado. O informe pode ser observado em um trecho de uma carta de Guignet para o imperador, relatando as pesquisas em andamento na Escola Polytechnica.

[...]Daubrée me fez a honra de se corresponder comigo a respeito da descoberta do ferro níquelado de Santa Catarina. Eu lamento profundamente não poder enviar-lhe uma magnífica amostra de 40 quilogramas. Um resíduo cristalizado é obtido quando uma grande quantidade deste ferro níquelado é tratada com água régia, não sendo nada mais do que o fosfato de ferro (e de níquel?), dificilmente atacável pela água régia<sup>18</sup> (GUIGNET, 1877, p. 1085).

Mas, então, quando foi definido a origem extraterrestre do achado? Como explicado anteriormente, havia uma expectativa positiva de que a descoberta na província de Santa Catarina fosse uma pequena amostra de uma jazida economicamente viável com grande quantidade de níquel. Quantas possibilidades poderiam se abrir, principalmente com o uso industrial deste elemento químico? A polêmica sobre esta massa de ferro e níquel se concentrou na porcentagem deste último, pois não se conhecia, naquela época, minerais com tais características na superfície terrestre.

É, portanto, absolutamente aceitável, que mesmos os resultados obtidos nas análises dos fragmentos estivessem apontando para a origem extraterrestre, como o aparecimento das figuras de Widmanstätten, os cientistas se mostrassem cautelosos em encerrar tal discussão. Entretanto, este posicionamento prudente mudou

<sup>17</sup> D'après la lettre qu'a bien voulu m'adresser M. Guignet, on s'occuperait d'exploiter le fer natif de la province de Sainte-Catherine, dont on aurait déjà tiré plusieurs milliers de kilogrammes, et l'on aurait trouvé plusieurs masses distinctes et éloignées-les unes des autres. Il convient d'attendre des détails plus certains pour se prononcer sur ce gisement remarquable, qu'il soit terrestre ou d'origine extraterrestre.

<sup>18</sup> [...] M. Daubrée m'a fait l'honneur de correspondre avec moi au sujet de la découverte du fer nickelé de Sainte-Catherine. Je regrette vivement de n'avoir pu lui envoyer un magnifique échantillon de 40 kilogrammes environ. Quando on traite par l'eau régale une grande quantité de ce fer nickelé, on obtient um resíduo cristallisé ressemblant à l'osmiure d'iridium, mais qui n'est autre chose qu'un phosphore de fer (et de nickel?), difficilement attaqué par l'eau régale.

completamente quando Charles Frederick Hartt (1840 – 1878) — geólogo responsável pela Comissão Científica do Império — visitou o local da descoberta.

Esta visita de Charles Hartt foi descrita em uma carta de Guignet para Daubrée. E as observa es feitas pelo naturalista foram imprescindíveis para o encerramento da pol mica. O fato das rochas das vizinhanças serem completamente diferentes da massa meteorítica; e, principalmente, a impossibilidade de se encontrar novas amostras do achado levaram os cientistas a concluir, juntamente com as análises anteriores, de que se tinha descoberto um meteorito. Foi neste informe que, pela primeira vez, a massa aproximada de 25.000 Kg foi relatada.

O depósito de ferro niquelado em Santa Catarina está agora esgotado: era um meteorito, cujo peso total não era inferior a 25.000 quilogramas; este fato   agora afirmado por Ch. Hartt, que visitou o depósito. O meteorito foi encontrado a 0,40 metros de profundidade sob uma camada de fragmentos de grãos granitos grossos<sup>19</sup> (GUIGNET, 1877, p. 1507-1508).

Como dito anteriormente, não foi possível encontrar novas amostras no local, que se supõe sejam grandes blocos, pois pequenos fragmentos foram encontrados em expedi es posteriores, então, que fim levou essa massa meteorítica? Mesmo que algumas amostras tenham sido enviadas para a Escola Polytechnica e para a França, com certeza, restaram muitos quilogramas do meteorito. Este fato será mais detalhado em um subitem posterior.

A Escola Polytechnica foi essencial na divulga o e no aprofundamento das pesquisas neste caso, e até mesmo, na preserva o da história. O estreitamento da comunica o científica entre brasileiros e franceses, ocorrido pela vinda de professores da França para a esta institui o, possibilitou um maior compartilhamento de informa es. Em rela o ao meteorito, os textos dos estudos — publicados no *Comptes Rendus* — foram as referências primárias para que o engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos<sup>20</sup> (1856 – 1925) realizasse, em 1884, uma nova expedi o para a Ilha de São Francisco do Sul. Desse novo empreendimento, outros fragmentos foram encontrados. Estes encontram-se,

---

<sup>19</sup> Le gisement de fer nickelé de Sainte-Catherine est maintenant  puis : c'etait bien une m t orite, dont le poids total n'était pas inférieur   25000 kilogrammes; ce fait est aujourd'hui affirm  par M. Ch. Hartt, qui a visitá le gisement. La m t orite a été trouv e   0<sup>m</sup>, 40 de profondeur sous une couche de fragments de granite   gros grains.

<sup>20</sup> Em 1884, Luiz Felipe Gonzaga era diretor da divisão de Mineralogia e Geologia do Museu Nacional.

atualmente, no Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro; e a massa principal foi utilizada, neste trabalho, para a realização de análises químicas e mineralógicas.

Logo, as publicações dos estudos no *Comptes Rendus* de pesquisadores franceses e brasileiros, entre os anos de 1876 a 1878, foram referências imprescindíveis para pesquisas posteriores, o que confirmou a origem extraterrestre do achado. Isto evitou que esta descoberta, tão importante para a Astronomia, fosse apagada da memória acadêmica. E a criação da Escola Polytechnica foi indispensável em todo esse processo.

### 3.3 A LOCALIZAÇÃO

Em 1884, O engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos esteve em São Francisco do Sul para aprofundar as pesquisas a respeito do meteorito. Os estudos focaram em determinar o local exato da descoberta. O texto publicado no *Comptes Rendus* diz, apenas, que a localização do achado foi na encosta sul de uma montanha popularmente conhecida como Rocio, que era a zona rural da cidade. Atualmente, o local é identificado pelo bairro Rocio Grande. Esta expedição rendeu frutos, já que novos fragmentos da massa meteorítica foram encontrados. E, no momento atual, encontram-se na coleção de meteoritos do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O engenheiro Luiz Felipe Gonzaga se referiu à descoberta do meteorito de forma duvidosa em relação a sua origem extraterrestre. Isto pode ser explicado pelo fato de que na ocasião, ou seja, em 1884, o pesquisador não tinha em mãos todas as pesquisas publicadas no *Comptes Rendus*, que apontavam para a origem sideral do achado. Vale ressaltar que somente após as observações feitas pelo naturalista Charles Hartt que esta discussão foi encerrada no meio acadêmico.

A origem do ferro nickelifero, conhecido pelo nome de ferro de Santa Catharina, encontrado próximo à cidade de S. Francisco do Sul, n'aquella provincia, tem sido objeto de opiniões diferentes baseadas sobre investigações das propriedades physicas e chimicas d'aquella substancia, a que têm procedido alguns dos mais eminentes sábios que de tal assumpto se têm occupado. Nada havia porém até então publicado sobre as condições topográficas e geológicas da localidade da jazida, circunstancias que poderiam talvez decidir da origem terrestre ou meteórica d'aquelle interessante material (CAMPOS, 1888, p. 23).

Luiz Felipe Gonzaga fez um esboço topográfico da parte da ilha na qual os grandes blocos do meteorito foram encontrados. Este desenho pode ser observado na Figura 12 juntamente com o mapa atual de São Francisco do Sul. O engenheiro utilizou uma escala na qual 3,5 cm correspondiam a 3 km. No mapa atual, obtido através do Google Maps, a escala foi de 1cm para 1 km. O rio do Monte do Trigo, o Morro do Pão açúcar e o rio Olaria foram as únicas referências que puderam ser encontradas em ambos os mapas.

Como pode ser observado pela comparação de ambos os mapas, descobrir a localização exata da queda da massa meteorítica não é uma tarefa simples. A dificuldade está, principalmente, em encontrar referências corretas em ambos os esquemas. A Ilha possui muitas elevações montanhosas, algumas das quais, existiam em 1884, e não existem mais. Quais seriam estas montanhas próximas ao meteorito?

Esses obstáculos tornaram a definição do local exato da queda do meteorito um verdadeiro mistério, pois a localização que muitos cientistas atribuem à descoberta dos fragmentos da massa meteorítica, no ano de 1875, não condiz com as características enumeradas pelo engenheiro Luiz Felipe Gonzaga, em 1884. Segundo Zucolotto (2013):

Tradicionalmente, o local da descoberta é o Morro da Mina onde o Sr. Manuel G. da Rosa tinha uma mina de magnetita e pirolusita. A área tem sido explorada nos últimos 30 anos por cientistas e aventureiros em busca de mais fragmentos, no entanto, apesar da sofisticação dos detectores de metais e até magnetômetros, os fragmentos encontrados são apenas óxidos.

Logo, o local que muitos atribuem à descoberta do meteorito é o Morro da Mina. Entretanto ao analisar a Figura 12, a massa meteorítica foi encontrada abaixo do rio Olaria, o que não corresponde à localização do Morro da Mina. Outra questão é que o Morro da Mina não possui muitas das características citadas pelo engenheiro Luiz Felipe Gonzaga, que são:

- 1) “No alto do morro, há grandes blocos de granito” (CAMPOS, 1888, p. 28);
- 2) A existência de cavas proveniente das escavações que foram feitas para obter os fragmentos que, atualmente, estão na coleção de meteoritos do Museu Nacional;

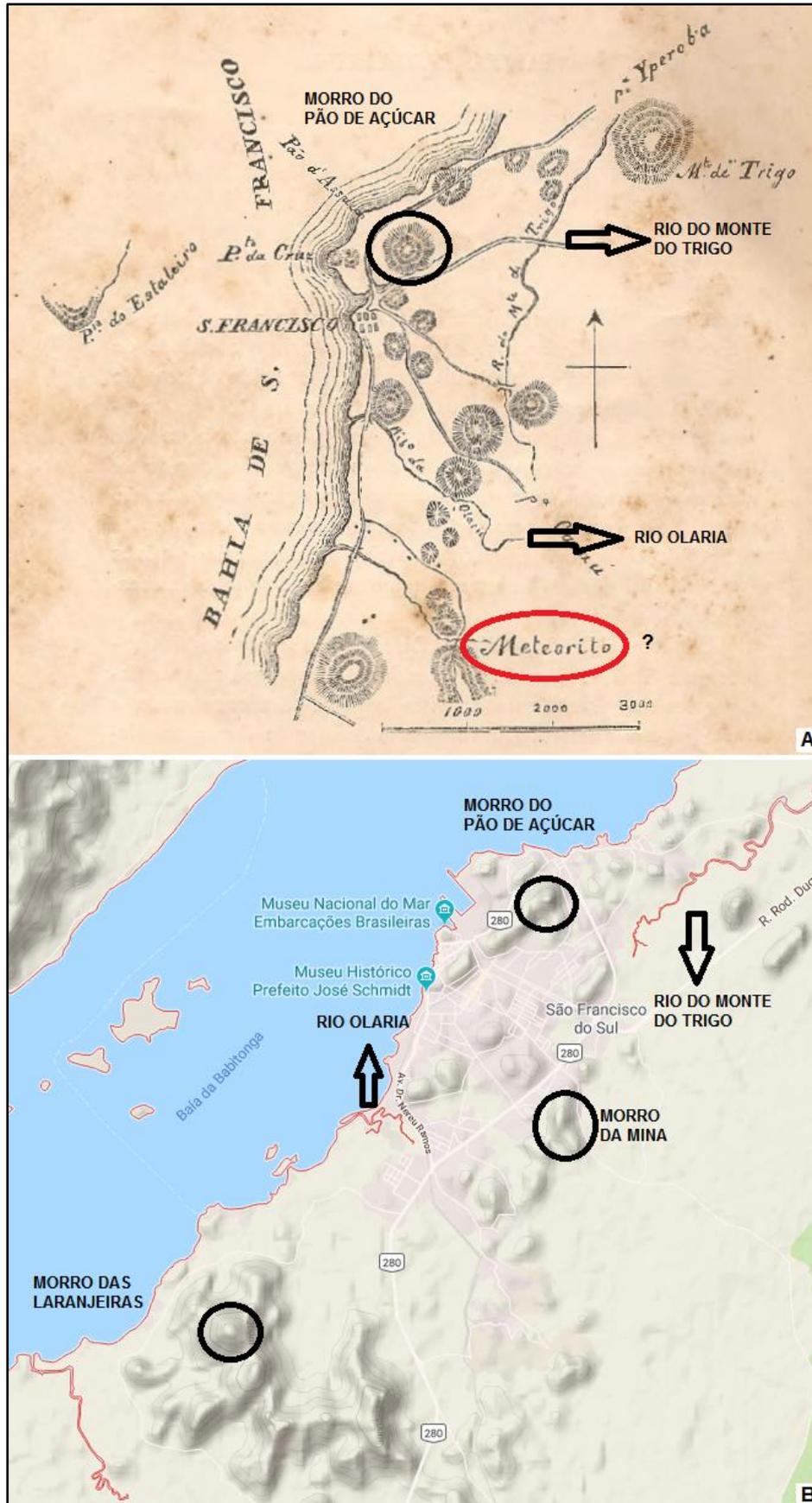


Figura 12: (A) Esboço topográfico feito pelo engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos, em 1884; (B) Mapa atual de São Francisco do Sul (1:100.000)  
 Fonte: Adaptado de Campos, 1888 e do *Google Maps*, 2018

Fizemos uma cava maior, e d'ahi foi que sahiram todas as amostras colhidas. Foi preciso levar a cava até a profundidade de 2<sup>m</sup>,80 para achar terreno não removido; mas também não foi mais possível, abaixo d'essa profundidade, achar fragmentos de ferro. (CAMPOS, 1888, p. 29).

3) A altura do morro (58 m) e a existência de um córrego em sua base distante, em torno de 2 km, da Baía de Babitonga. “É na encosta de uma pequena elevação de 58 m de altura vertendo para o pequeno córrego que vae de SE a NO entrar na bahia apenas distante de 2 kilometros” (CAMPOS, 1888, p. 28);

4) A característica geológica do local, composta por granito e granito-gnáissica;

Todo solo é granítico; pelo leito do corrego, que subi em alguns trechos, o material era sempre o da desagregação dos gneiss ou granitos. Finalmente n'esse sitio não encontramos sequer um afloramento de rocha básica que nos servisse de orientação (CAMPOS, 1888, p. 28).

Em 1943, Beneval de Oliveira<sup>21</sup> (1916-1988) realizou um estudo geomorfológico de São Francisco do Sul, ratificando as observações geológicas feitas por Luiz Felipe Gonzaga em relação ao local da descoberta dos blocos do meteorito. Da fala do pesquisador, pode-se pressupor que ele está se referindo à um local diferente daquele do Morro da Mina.

Procedendo a novas pesquisas no local temos, apenas, a confirmar a natureza gnaisse-granítica referida pelo inolvidável cientista, pois todos os morros existentes no hoje arrabalde da cidade chamado Rocio Grande são constituídos de microclina-biotita-granito e de gnaisse de composição alcalicalcogranítica. Apenas, num prolongamento de morros que vão ter ao morro da Mina, nas imediações dos terrenos do Sr. JOÃO CURTIDOR e na chácara do Sr. TRAJANO DOS PASSOS (no alto da colina) aflora uma exposição de hornblenda-gnaisse constituída de oligoclásio, andesina, epidoto, titanita e apatita. Não se percebem diques de rochas básicas nas imediações, nem quaisquer outros afloramentos de rochas ultrabásicas como peridotitos, piroxenitos ou rochas gabróides. Pelo que endossando, aliás, as impressões de GONZAGA DE CAMPOS opinamos, também, por uma origem sideral, portanto, autêntico meteorito, para os fragmentos ferro-niquelíferos, outrora encontrados na ilha de São Francisco do Sul (OLIVEIRA, 1960, p. 150).

5) A distância do morro em relação à cidade. “A cerca de 4200 m a SSE da cidade de S. Francisco do Sul, fica o local onde foram encontrados, os fragmentos de ferro. Designam geralmente o sitio pelo nome de Rocio” (CAMPOS, 1888, p. 27). Segundo Zucolotto (2013), o Morro da Mina situa-se cerca de 3 Km a sudeste (SE)

<sup>21</sup> Beneval de Oliveira era professor de geografia e representava o governo brasileiro em vários congressos (DIÁRIO DE NOTÍCIAS, 1966, p. 12).

do centro, não coincidindo, portanto, com o local designado por Luiz Felipe Gonzaga.

Em 2012, a pesquisadora Maria Elizabeth Zucolotto — responsável pela coleção de meteoritos do Museu Nacional — organizou uma expedição de reconhecimento para São Francisco do Sul durante o evento “Meteoritos e Vulcões III”. Em março de 2013, uma nova excursão científica foi feita a fim de analisar todos os morros da região do Rocio Grande para buscar as características enumeradas no presente trabalho (ZUCOLOTTO, 2013).

Assim, utilizando ferramentas como o aplicativo Gaia GPS no Iphone, foi possível determinar as curvas de níveis de uma determinada elevação montanhosa, e compará-las com a planta do morro desenhada por Luiz Felipe Gonzaga. Na Figura 13, pode-se observar a comparação feita entre as curvas de níveis desenhadas pelo engenheiro (1884) e aquelas obtidas pelo aplicativo (2013). Segundo Zucolotto (2013), os pontos marcados em ambos os esquemas coincidem, determinando assim, a localização exata da queda do meteorito.

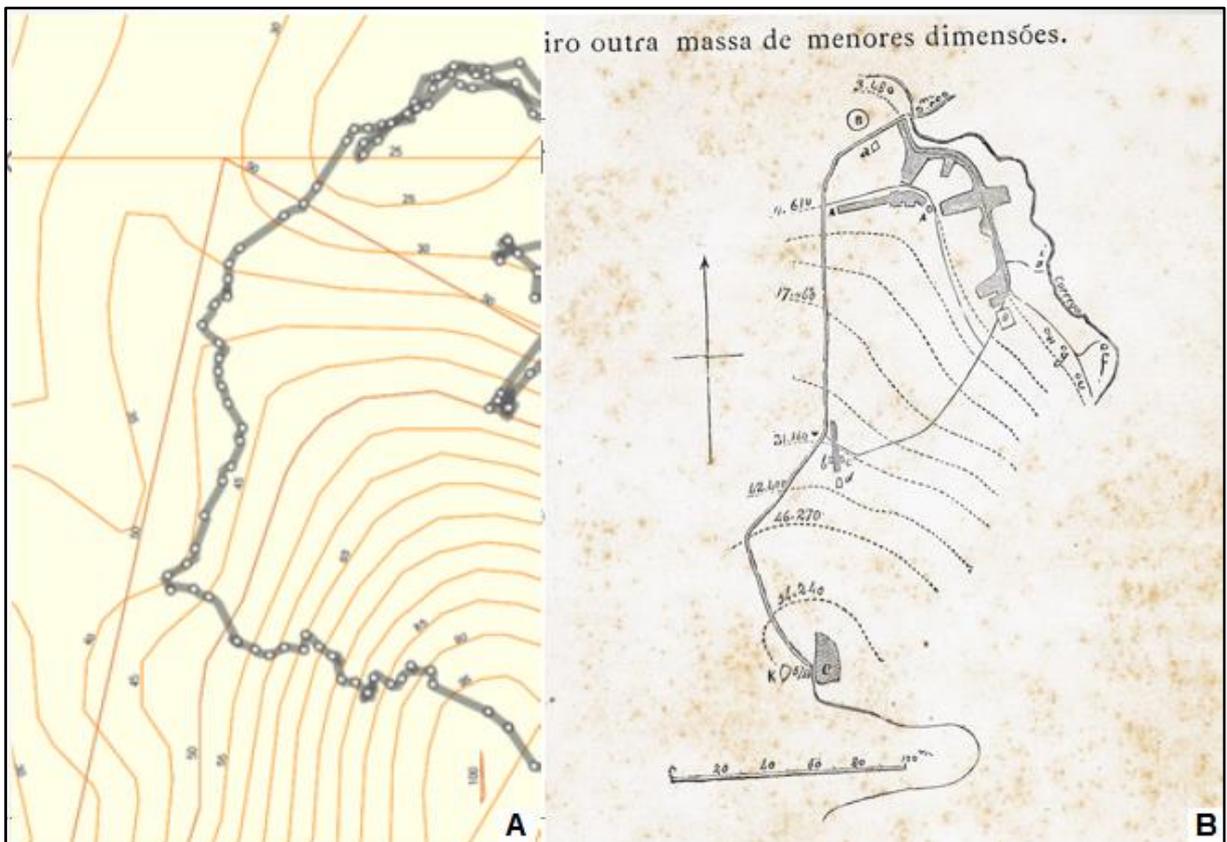


Figura 13: (A) Curvas de níveis obtidas pelo aplicativo Gaia GPS, em 2013; (B) Planta do morro desenhada por Luiz Felipe Gonzaga, em 1884  
Fonte: ZUCOLOTTO, 2013

Esta elevação montanhosa, que fica próxima ao Morro das Laranjeiras, foi escolhida por reunir algumas características enumeradas por Luiz Felipe Gonzaga. Possuía as cavas (Figura 14); os blocos graníticos que estavam no topo do morro (Figura 14); tinha um córrego em sua base que ficava a uma distância em torno de 2 Km da Baía de Babitonga; e distava do centro da cidade em torno de 4,2 Km. Entretanto este último atributo merece esclarecimentos. No esboço feito por Luiz Felipe Gonzaga, o local da queda do meteorito parece ser a sul-sudeste (SSE) do centro da cidade. Logo, baseando-se em seu desenho, o engenheiro define, erroneamente, que a posição é SSE, quando deveria ser sul-sudoeste (SSW). Segundo Zucolotto (2013), “houve equívoco na posição apontada no mapa original”. A Figura 15 mostra o local da descoberta do meteorito Santa Catarina.



Figura 14: (A) Cava; (B) Bloco granítico  
Fonte: ZUCOLOTTO, 2013

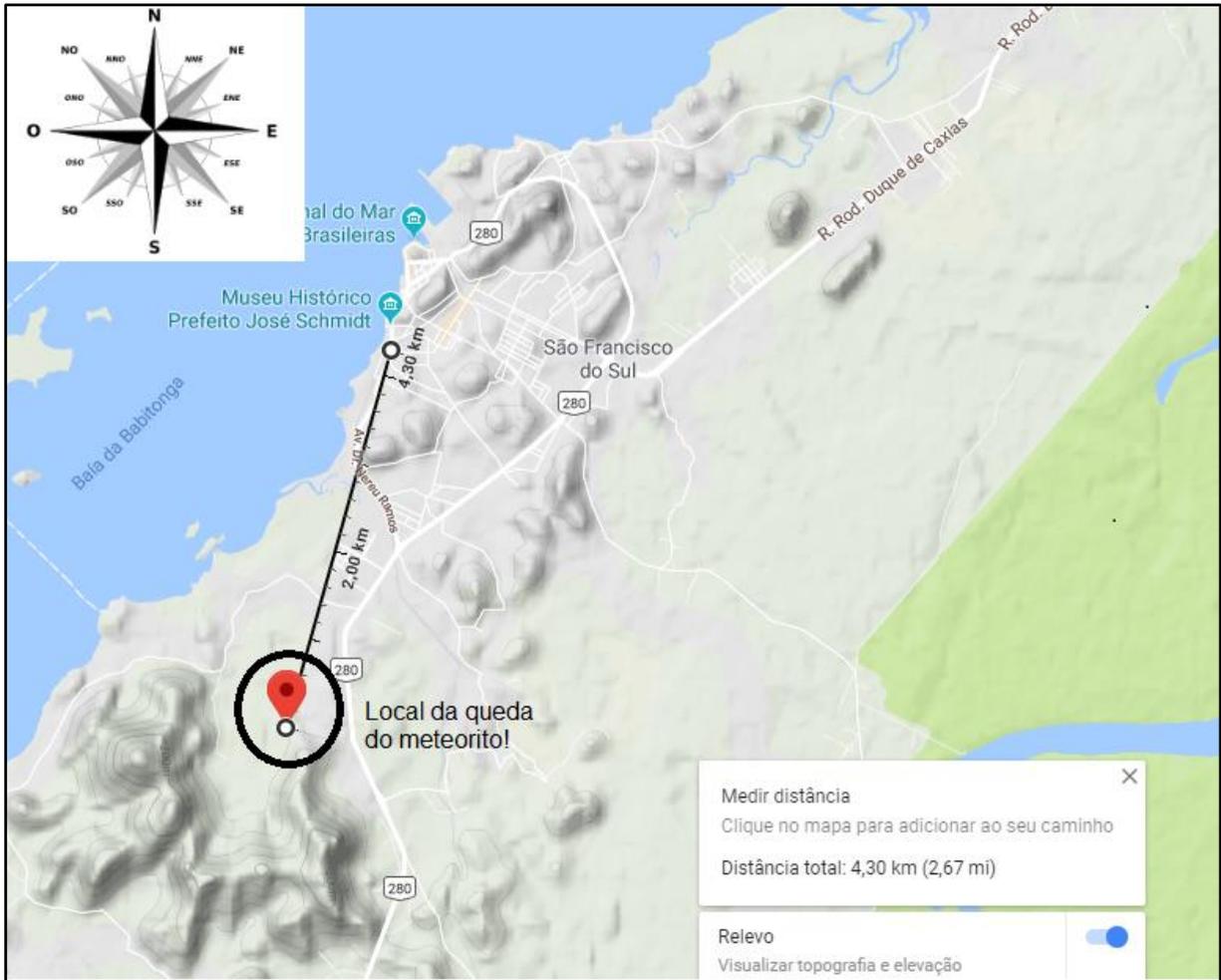


Figura 15: Mapa de São Francisco do Sul com destaque para o local da descoberta do meteorito Santa Catarina (1: 100.000)  
 Fonte: Adaptado do *Google Maps*, 2018

Na Figura 16, pode-se observar uma foto de satélite com as coordenadas geográficas do morro ( $26^{\circ} 17' 21.5''S$   $48^{\circ} 39' 10.8''W$ ) e o esboço feito por Luiz Felipe Gonzaga. Há semelhanças no formato da trilha em ambos os esquemas. As regiões demarcadas como A, B, C e D, no desenho de 1884, foram aquelas nas quais pequenas partes da massa meteorítica puderam ser encontradas. Segundo Campos (1888, p. 27-28):

O traço duplo representa o caminho já existente; o cheio as picadas que tivemos que abrir [...]. A, é o sítio de maior bloco, que, por informação, teria tido uma forma irregularmente elipsoidal, [...]. B outro bloco de cerca de  $0^m,12$ , e C no alto do outeiro outra massa de menores dimensões. D excavação d'onde extrahimos as amostras, constando de fragmentos mais ou menos arredondados [...]

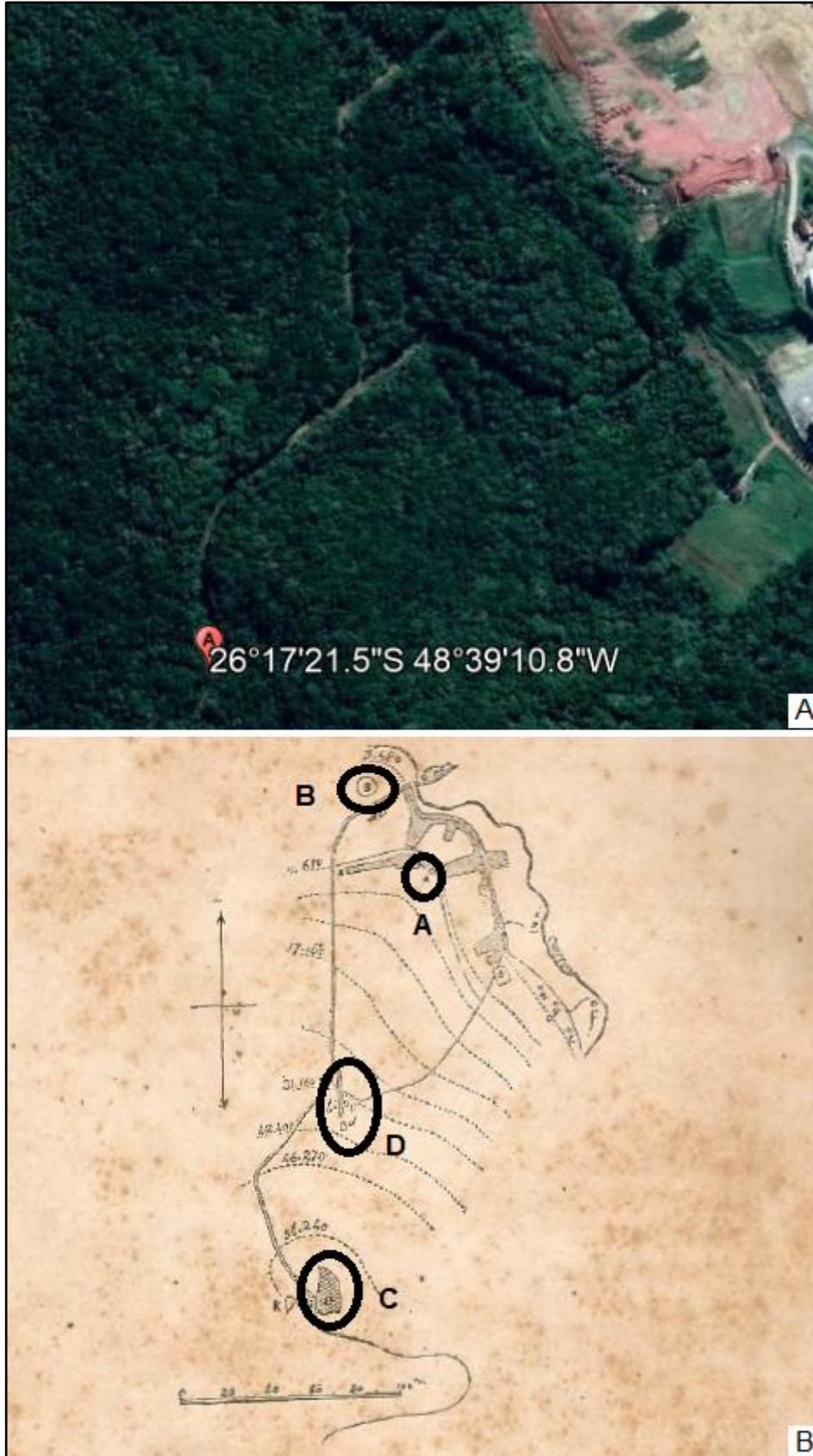


Figura 16: (A) Foto de satélite obtida através do programa de computador *Google Earth Pro*, em 20 de julho de 2018; (B) Planta do morro feita por Luiz Felipe Gonzaga  
 Fonte: Adaptado de Campos, 1888

O perfil de elevação da montanha (Figura 17) é semelhante ao perfil do morro desenhado por Luiz Felipe Gonzaga. Este fato unido a todas as outras evidências, já numeradas no presente trabalho, encerra o mistério a respeito da localização do meteorito Santa Catarina.

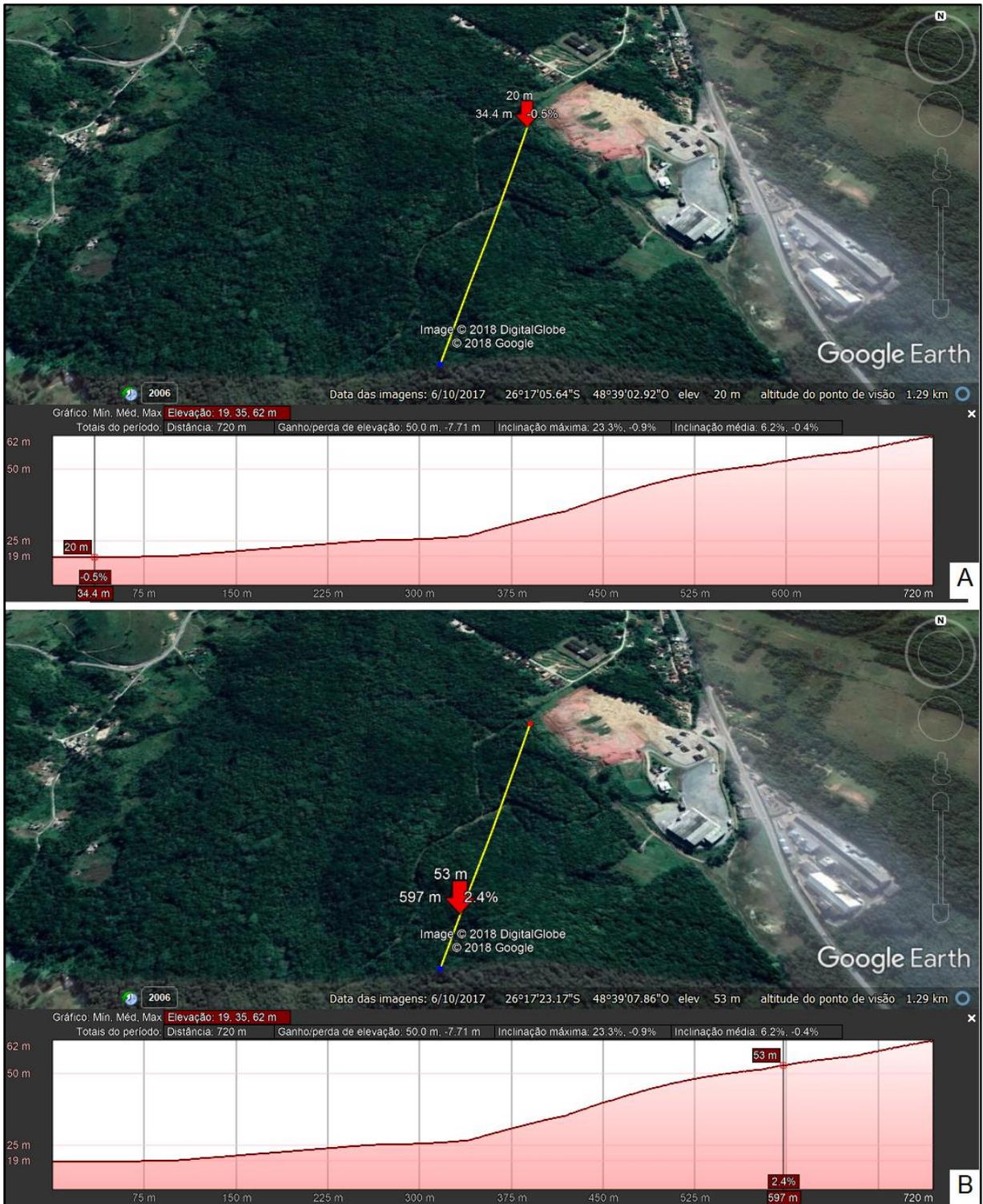


Figura 17: Perfil de elevação da montanha obtido através do programa de computador *Google Earth Pro*, em 20 de julho de 2018  
Fonte: Elaborado pela autora

Beneval de Oliveira publicou um artigo no qual resume os acontecimentos sobre a descoberta do meteorito até este ponto da história. O texto foi publicado em um jornal local da ilha, em 14 de janeiro de 1961 (Figura 18), e está disponível no acervo da Câmara Municipal de São Francisco do Sul.

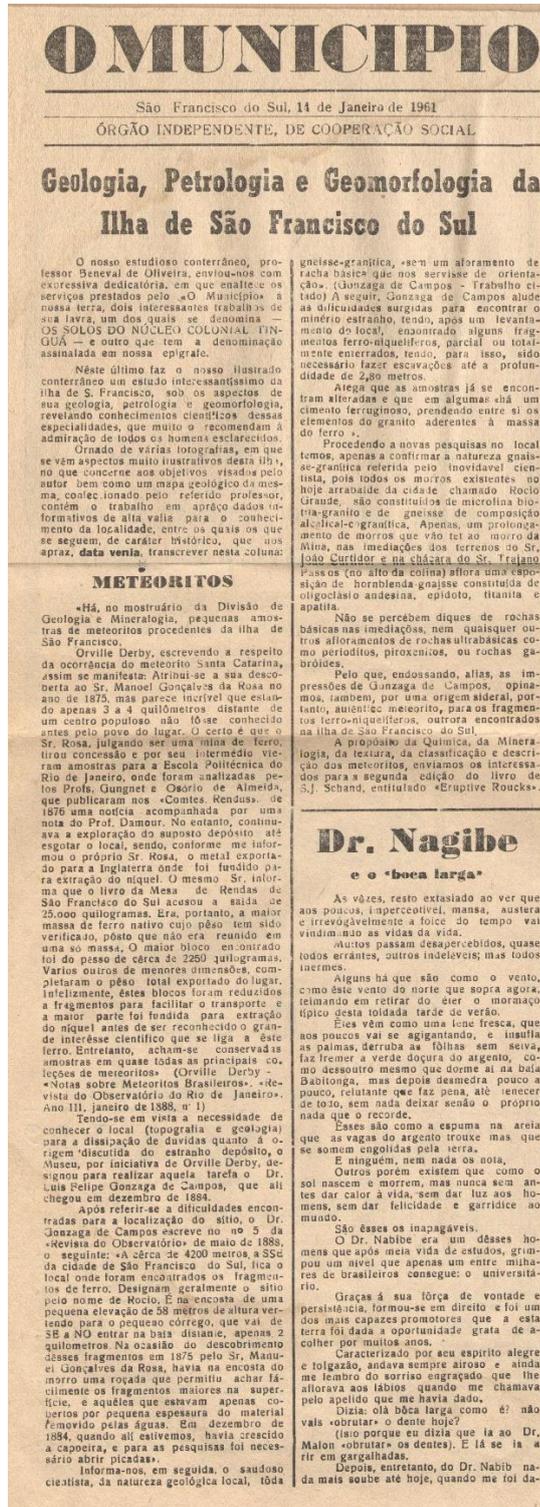


Figura 18: Artigo de Beneval de Oliveira sobre a descoberta do meteorito  
Fonte: OLIVEIRA, 1961.

### 3.4 A EXPORTAÇÃO

Há evidências suficientes que comprovam a descoberta do meteorito Santa Catarina, em São Francisco do Sul, no ano de 1875. Entretanto, os grandes blocos, que totalizavam uma massa de aproximadamente 25.000 quilogramas (Kg), não fazem parte de nenhum acervo no Brasil e no mundo. No Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro, encontra-se, apenas, uma massa principal de 744 gramas (g)<sup>22</sup> e mais alguns pequenos fragmentos, resultado da expedição realizada, no ano de 1884, pelo engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos (Figura 19).



Figura 19: Fragmento do meteorito Santa Catarina pertencente ao acervo do Museu Nacional  
Fonte: ZUCOLOTTI, 2013

O meteorito Santa Catarina foi confundido com uma pretensa jazida mineral, sendo, inclusive, liberado pelo governo imperial o direito de exploração. Este fato ocasionou na exportação, e conseqüente, destruição desta massa meteorítica. A saída deste material do Brasil foi feita pelo porto de São Francisco do Sul, que a

---

<sup>22</sup> A massa principal do meteorito Santa Catarina de 744 g foi pesada após o incêndio do Museu Nacional em 02 de setembro de 2019.

partir do Decreto nº 4130 de 28 de março de 1868 foi autorizado a praticar o comércio exterior.

Reconhecendo a necessidade de promover o desenvolvimento do commercio de importação e exportação no porto de S. Francisco, na Província de Santa Catharina, e á vista do art. 20 do Regulamento das Alfandegas do Imperio. Hei por bem elevar a Mesa de Rendas existente no referido porto à categoria de Alfandega de sexta ordem, com os empregados constantes no quadro anexo, assignado por Zacarias de Góes e Vasconcellos, do meu conselho, Senador do Imperio, Presidente do Conselho de Ministros, Ministro e Secretario de Estado dos Negocios da Fazenda e Presidente do Tribunal do Thesouro Nacional. Palacio do Rio de Janeiro em vinte e oito de março de mil oitocentos sessenta e oito, quadragésimo setimo da Independencia e do Imperio (BRASIL, 1868, p. 137).

Logo, o meteorito Santa Catarina foi exportado e destruído. Mas para onde e com qual propósito? Responder a primeira pergunta com exatidão, ou seja, o local de destino dos fragmentos meteoríticos, não é uma tarefa simples. Isto porque não foram encontrados documentos que comprovassem a saída do material do Brasil.

A jornalista Nelci Terezinha Seibel, autora do livro “História do Porto de São Francisco do Sul”, em registro oral à autora do presente trabalho, informou que todos os documentos alfandegários da época da exportação estavam em um arquivo morto dentro de um container exposto ao tempo, e devido a isto, foram perdidos.

Apesar na inexistência de documentos alfandegários, há referências bibliográficas que falam a respeito da exportação do meteorito e por qual motivo ele foi comercializado. Lunay (1877, p. 85), explicou que os fragmentos de meteorito foram destruídos porque “tudo foi enviado para diferentes países para ser entregue à indústria<sup>23</sup>”. Daubrée (1878, p. 1433) publicou que “uma quantidade considerável, de um peso de mais de 500 quilogramas, que chegou na Europa [...]”<sup>24</sup>. E segundo Derby (1888, p. 4):

O certo é que o Sr. Rosa julgando ter uma mina de ferro tirou concessão e por seu intermédio vieram amostras para a Escola Polytechnica do Rio de Janeiro onde foram analysadas pelo professor Guignet e Ozorio de Almeida que publicaram nos Comptes Rendus, de 1876 uma noticia acompanhada de uma nota do Professor Damour. No entanto continuava a exploração do supposto deposito até esgotar o lugar, sendo, conforme me informou o próprio Sr. Rosa, o metal exportado para a Inglaterra onde foi fundido para a extracção do nickel. O mesmo senhor informa que o livro da Mesa de Rendas de S. Francisco do Sul acusa sahida de 25.000 kilogrammas.

<sup>23</sup> Le tout a été envoyé dans différents pays pour être livré à l'industrie.

<sup>24</sup> Une quantité considérable, du poids de plus de 500 kilogrammes, qui est arrivée em Europe [...].

O geólogo francês Meunier Stanislas (1843 – 1925) publicou um artigo, no dia 20 de julho de 1878, em um jornal com circulação em Londres, a respeito da exportação e destruição do meteorito Santa Catarina. Uma parte do texto pode ser observado na Figura 20.

**THE METEORIC IRON OF SANTA CATARINA.**  
By M. STANISLAS MEUNIER.\*

**TOWARDS** the end of 1875 Mr. Gonçalves da Roza was making his way over the mountain called Morro do Rocio, a couple of miles from Rio San Francisco do Sul, in the province of Santa Catarina, Brazil, when his attention was attracted by some large irregular blocks lying on the ground, with which their ochreous look contrasted very strongly. Three fragments, which were deeply embedded in the earth, made up a ridge standing about 30 centimetres from its surface; the largest fragment weighed 2550 kilogrammes. A superficial examination was enough to show that the blocks were composed of mineral substances, chief of which was metallic iron, with a large proportion of nickel, and in the hope of profiting on a large scale by the mineral wealth of which such indications were given, a closer investigation was begun. The large block was embedded in a highly ferruginous clay; on digging below the large block, a second one was found, weighing 450 kilogrammes. Hopes were entertained that a first-class ironstone mine had been stumbled upon. Fourteen blocks were successively discovered in analogous situations; and the topographical indications were such as to lead to the conclusion that they marked out the direction of a lode. The blocks were

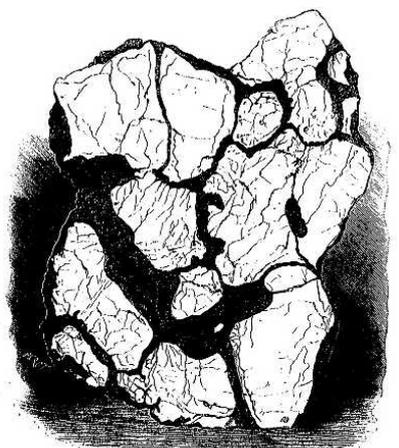


FIG. 1.

First type, in which the metallic iron alloyed with nickel occurs in corroded fragments split up and united by pyrrhotine or sulphide of iron resulting from the action of the sulphuretted hydrogen on red-hot metal.

hid at one or below the surface, under the exterior, so that the deposit seemed as if it were going to improve as it got deeper.

To all such dreams there was a speedy end. When about 25 tons of iron had been got out the supposed mine was completely exhausted; while the chemical examination of the specimens showed their analogy with various samples of meteoric iron. Their set did not indicate the lay of a lode, but the trajectory of the meteor which brought them. This is demonstrated at sufficient length in the memoir sent to the Academy of Sciences of Rio Janeiro in March, 1876, by Mr. Luchay. According to this gentleman the density varies from 7.52 to 7.775, and the composition is as mixed as its density.

During the period when the earthly origin of the ironstone was believed in, it was sent to Europe as nickel ore, and it is to M. Daubrée that science owes the preservation of a mineral which was speeding on its way to the smelting furnace. The specimens were saved for the Museum; among them are the two of which we give drawings (Figs. 1 and 2).

As first found, the blocks are very irregular, generally much rounded, and exhibiting the ochreous colours of common ironstones. The high density and the powerful action on the needles of the specimens give the first indications of their metallic nature. Still, their true constitution is not got at until they are sawn and polished, as was done with the specimens illustrated. Although they are formed by metallic fragments cemented together by a substance the principal element of which is sulphide of iron, they belong to two well-defined types. In the first, the iron rich in nickel and very poor in carbon, is remarkable by its want of solubility in acids. A drop of nitric acid on its surface immediately makes it passive, that is to say, chemically inactive. It does not precipitate the metal from the solution of nitrate of silver, &c. With aqua regia or hydrochloric acid the lineaments of the Widmannstätten figures can be called up; but they do not possess the geometric regularity frequently shown by these figures; on the contrary, they are confined, and recall those exhibited by meteoric irons after they have been strongly heated. The metal of the first type presented to Mr. Damour the following composition:—

Iron .. .. .	63.69
Nickel .. .. .	33.97
Cobalt .. .. .	1.48
Sulphur .. .. .	0.16
Phosphor .. .. .	0.05
Carbon .. .. .	0.29
Silicium .. .. .	0.01
	99.56

But we must not lose sight of the fact that these figures might have been very different if any other fragment had been analysed than that which happened to be taken.

The matter which composes together the metallic elements of the breccia of the first type is chiefly composed of a brown sulphide of iron, generally known as *troilite*. The majority of mineralogists used to consider this substance as consisting in the main of protosulphide of iron; but we have for ten years seen that it ought to be compared rather with terrestrial magnetic pyrites. This opinion, which we have taken the pains to verify by analyses of the purified mineral, and by varied experiment, has been contested. But it may now be looked upon as definitely established, M. Daubrée having recognised it as exact in reference to the iron of Santa Catarina. "This substance," says the illustrious geographer (*Comptes rendus*, December 31st, 1877), "dissolves in acids with a disengagement of sulphuretted hydrogen and a deposit of sulphur; it is, therefore, not a protosulphide but a sesquisulphide of iron, or pyrrhotine." When the pyrrhotine of the Santa Catarina irons is closely looked into, several foreign minerals are recognised in it. Firstly, in certain points, not, it is true, many in number, are fine scales of metallic interposed between them and the iron; sometimes a little

phosphide of iron and nickel (*schreibersite*), is found in contact with the graphite; finally, there are specks and blotches of a brassy yellow, the composition of which we shall discuss in the description of the second type.

The latter is more complicated than the first, and its examination is more instructive. The metal, although not easy of attack, is slowly soluble in nitric acid. The solution of the metal is accompanied with a marked deposition of carbon. The matter which joins the metallic fragments of this second block presents only traces, more or less doubtful, of the bronzed sulphide; on the other hand the brass-yellow substance noted as incidental in the first type is here extremely abundant. Naturally we endeavoured to investigate its nature, and although our experiments could only be made on mere traces of this substance, we think we are warranted in saying that it is nothing but pyrrhotine tinged by a small proportion of millerite or nickel sulphide. The latter, which is much more soluble than the pyrrhotine, is removable by a drop of acid, and the sulphide takes again its bronzed tint, the liquid being saturated with nickel. Millerite has not been recognised in meteorites, so far as I know, and the only analogous substance that can be mentioned is the double sulphide of iron and nickel pointed out by Wöhler and Harris in the Cold-Bokkeveldt meteorite.

In the gangue of the present block the mixture of sulphides does not stand alone; it is accompanied by a very considerable quantity of a black substance, rich in graphite, which has an interesting parallelism of position with the sulphide. Certain interstices between the masses of iron are exclusively filled by sulphides, certain others by graphite; and there are several in which the two matters share the space, so as to offer the most varied relative positions. In several places we may notice a true breccia of sulphide cemented by the black matter; elsewhere the sulphur occupies the axis of the interstice, and is edged with graphite and schreibersite, &c.

In the second type the fissures are very abundant. It seems as if they were of two sorts, as doubtless they belong to two ages. The more striking are very marked fissures which traverse the specimens, and are posterior to their actual formation. A few of these fissures are empty, but probably this is owing to accident during the sawing; the others are filled with a black substance. They are remarkable for their varied anastomoses and the complicated sinuosities they sometimes offer.

The fissures of the second sort are localised in a region less split up than that of the first sort. They are finer, and they would perhaps be hardly visible but that on each of their two sides the iron has a modification of shade which makes a sort of inner framing to each of the metallic fragments. This is a phenomenon we have not remarked in any iron; it is accompanied here by the presence of almost microscopic grains, which are scattered through the metal, and give it a granular aspect which has been noticed, for example, in the specimen of meteoric iron from Tucson, Mexico. These peculiarities are confined exclusively to certain fragments of the breccia, confirming our idea that the nickelised iron is far from being all through identical with itself, and deprives the quantitative analysis of so variable a substance of any interest.

If, after this summary description, we endeavour to get at an idea of the way in which the Santa Catarina irons were formed we come without difficulty to the opinion that they constitute true metallic breccia, cemented together by the sulphide at a period subsequent to that of their formation. The supposition may even be allowed that the sulphide has been produced at the expense of the iron itself by some suitable agents; and it is, indeed, remarkable to notice the correlative state of the metallic fragments of the cosmic breccia, and the relationships in composition between the cement and the iron embedded in it. In the first type of iron it is scarcely graphitised, and in this type analysis shows traces only of carbon; while there is a great deal of black matter in the iron of the second type, which resembles our steels in composition.

The corrosive agent which we may regard as most suitable for the production of these effects is sulphuretted hydrogen acting at a high temperature. Modifying a beautiful experiment of M. Daubrée's, I had recourse to this agent in attempting a synthetic reproduction of the Santa Catarina breccia. Small fragments of pig-metal were placed in an earthen retort and submitted simultaneously to the action of a red heat and a continuous current of sulphuretted hydrogen. On cooling, the fragments of pig-metal were found incrustated with pyrrhotine, several of them even being cemented together by this substance. The formation of sulphur by corrosion of the iron has been naturally accompanied by elimination of the graphite, and the latter, so far from mixing itself irregularly with the pyrrhotine, has been uniformly interposed between the sulphide and the metal (just as in the meteorite), at the same time

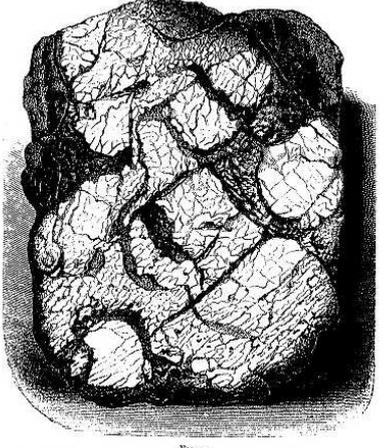


FIG. 2.

Second type, showing superposed traces of four successive stages of geological phenomena in strict correspondence with the phenomena accompanying the formation of certain samples of terrestrial minerals.

as at the surface of this sulphide. In the space between two perfectly cemented fragments of iron graphite exists only in contact with the metal; that which one would have expected to find in the middle regions has been driven towards the upper, the structure being thus exactly that of the natural specimens. The retort contained a great deal of carbon and sulphide carried over by the gases.

There are two other facts which support the theory of connection between this artificial product and the Santa Catarina specimen. The first relates to the want of definition of the figure given by the meteorite under the action of acids. This caco-graphic condition—to borrow an expression of Mr. Shepard's—is most usually due to a heating undergone by an iron of normal texture at first, and it may be therefrom concluded that the meteoric iron, like our sample of pig, has been subjected to the action of a high temperature. The second fact which is to be added is the presence of occluded hydrogen both in the pig-metal subjected to experiment, and in the meteoric iron, as may easily be determined by heating small fragments to redness in a piece of stout glass tubing.

Taking the whole mass of observations together we may conclude that the Santa

\* *La Nature*, June 8th, 1878. See also *Ibid.*, vol. II., p. 341.

Figura 20: Parte do artigo do geólogo francês Meunier Stanislas  
Fonte: MEUNIER, 1878

Do texto, destacam-se as seguintes informações:

Durante o período que se acreditava que o meteorito era de origem terrestre, este foi enviado para a Europa como minério de níquel, e foi mérito científico de Daubrée a preservação de amostras do meteorito, que seguia um caminho acelerado para o forno de fusão. As amostras foram salvas para o Museu; entre elas estão duas que fizemos os desenhos<sup>25</sup> (MEUNIER, 1878).

A ideia mais aceita no meio acadêmico sobre o destino do meteorito Santa Catarina é que este foi exportado para a Inglaterra a fim de que o níquel pudesse ser extraído e utilizado na indústria. Entretanto, como bem pode-se observar nas referências apresentadas no presente trabalho, o mais correto é pressupor que outros países, além dos ingleses, tiveram acesso aos fragmentos da massa meteorítica. Que países foram esses é a pergunta que merece ser explorada em pesquisas futuras.

Uma pergunta possível de responder diz respeito ao propósito da exportação: a extração do níquel para a utilização da indústria. Na época da descoberta do meteorito, já era de conhecimento geral, as vantagens do uso do Ni na indústria. Entretanto, as reservas minerais com potencial para atender a demanda mundial ainda não tinham sido descobertas, tornando este elemento químico cobiçado no meio industrial.

### 3.4.1 Níquel

O conhecimento a respeito da existência de ligas metálicas contendo níquel já existia na antiguidade. O homem da idade antiga desenvolveu técnicas para manusear este tipo de material a fim de criar os mais diversos objetos. O artefato mais antigo conhecido — forjado a partir de um meteorito — é a porção de um punhal que data de 3100 A.C, cujas análises comprovaram a quantidade de 10,9% de Ni (ROSENBERG, 1968). Outros exemplos de manipulações metálicas são as moedas de cobre e níquel cunhadas durante o reino Grego da Bactria (239/250 A.C.-125 A.C.) — um povoado antigo situado no que hoje é o norte do Afeganistão (ROSENBERG, 1968). A Figura 21 traz dois exemplares deste tipo de cédula

---

<sup>25</sup> During the period when the earthly origin of the ironstone was believed in, it was sent to Europe as nickel ore, and it is to M. Daubrée that science owes the preservation of a mineral which was speeding on its way to the smelting furnace. The specimens were saved for the Museum; among them are the two which we gave drawings.

fabricados durante o governo do rei grego-bactriano Eucratides I, cujo reinado durou de 171 A.C. a 145 A.C. Atualmente, estes artefatos possuem um valor estimado de 2.500,00 EUR.



Figura 21: Moedas cunhadas durante o governo do rei grego-bactriano Eucratides I

Fonte: Disponível em: <

<https://www.coinarchives.com/a/lotviewer.php?LotID=1361645&AuclD=2745&Lot=2572&Val=4cdcbad89992c365ab37042849e49a4b>>. Acesso em: 30 de agosto de 2018.

Em 1751, o níquel foi isolado pela primeira vez por Axel Fredrik Cronstedt (1722 – 1765) de um mineral conhecido como niquelina — um arsenieto de níquel (NiAs) encontrado em algumas minas de sulfeto de cobre, que tornava o processamento mineral muito árduo para os mineradores (KUCK, 1999). O Ni é um metal branco-prateado, dúctil, maleável, peso específico de  $8,5\text{g/cm}^3$ , funde a uma temperatura de aproximadamente  $1.453^\circ\text{C}$ , tem um peso atômico igual a 58,86, possuindo grande resistência mecânica à corrosão, à oxidação e a altas temperaturas, além de ser um bom condutor térmico, elétrico e magnético (SILVA, 2001). Todas essas propriedades o tornaram importantíssimo para as mais variadas aplicações industriais.

Um largo número de minerais contendo níquel foram identificados, entretanto, poucos possuem abundância suficiente para serem significativos industrialmente (ROSEMBERG, 1968). Minérios de níquel de importância econômica incluem sulfetos, geralmente misturado com sulfetos de cobre e ferro, e depósitos aluviais de silicatos e óxidos. Os minérios de Ni são usualmente classificados como sulfetados e lateríticos (oxidados). Os do tipo sulfetados dão origem à maior parte da produção mundial de níquel, pois contêm em sua composição outros metais extraídos como

subprodutos, uma vantagem competitiva. No Brasil, a produção é predominantemente de origem no minério laterítico (CARVALHO *et al.*, 2015).

Nos minérios sulfetados, o níquel ocorre principalmente como o mineral pentlandita  $[(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8]$  — em associação com uma larga quantidade de pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) e calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Em adição ao níquel, ao ferro e ao cobre, essas minas contêm frações variáveis de cobalto e metais preciosos, como: platina, ouro e prata. O Ni contido na pentlandita varia, geralmente, de 34 a 36%. Já o cobalto fica em torno de 1 a 5%. Pirrotita, que contém por volta de 57% de ferro, é responsável pela maior parte do conteúdo de minério de Fe (ROSEMBERG, 1968).

Os minérios de óxidos, conhecidos como lateríticos, são concentrados residuais devido à ação química por intemperismo em lugares de rochas que possuem altas concentrações de magnésio e ferro e pouca quantidade de níquel. Dependendo da extensão do intemperismo, dois principais tipos de minérios oxidados podem ser obtidos: o silicato em que o níquel está contido na estrutura dos silicatos hidratados de ferro e magnésio, sendo a garnierita  $[(\text{Ni},\text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$  o mineral mais comum; e a limonita liquelífera  $[(\text{Ni},\text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ , no qual o níquel está disperso. A composição química dos minérios oxidados varia em torno de 1 a 3% de níquel, contendo quantidades significativas de cobalto e cromo (ROSEMBERG, 1968). Na Figura 22 estão expostos os tipos de minerais de níquel e suas respectivas fórmulas químicas.

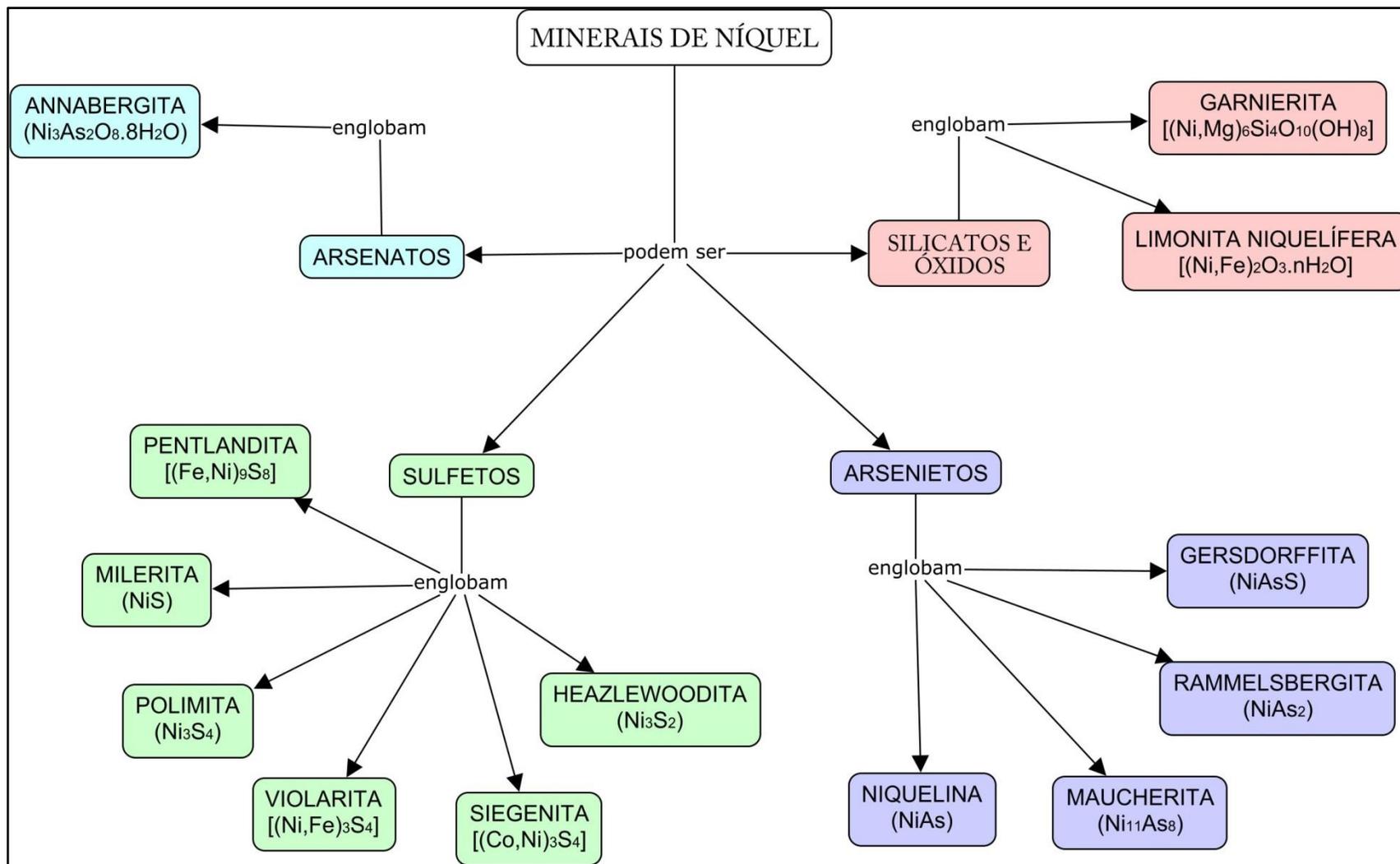


Figura 22: Minerais de níquel  
 Fonte: Adaptado de Rosemberg, 1968

O níquel foi minerado em pequena escala até os grandes depósitos de níquel laterítico, na Nova Caledônia, entrarem em produção. Os primeiros processamentos operacionais de minas sulfetados de níquel ocorreram no Canadá, Europa Central, China, Pensilvânia e Escandinávia (KUCK, 1999). As minas de níquel da Nova Caledônia foram descobertas em 1865, entretanto, o início da prospecção mineral ocorreu apenas em 1875. Nova Caledônia foi a principal fonte mundial de fornecimento de níquel até 1903, quando foi ultrapassada pela produção canadense (ROSEMBERG, 1968).

No Brasil, os minerais lateríticos contêm em torno de 10 milhões de toneladas de níquel contido distribuídos pelos seguintes estados brasileiros: 37,8% em Goiás nos municípios de Americano do Brasil, Barro Alto, Crixás, Diorama, Goianésia, Goiás, Iporá; Jaupaci, Jussara, Montes Claros de Goiás, Niquelândia e Santa Fé; 33,9% no Pará nos municípios de Marabá, Ourilândia e São Felix do Xingu; 15,9% no Piauí no município de São João do Piauí; 10,4% na Bahia no município de Itagibá; 1,6% em Minas Gerais nos municípios de Fortaleza de Minas, Ipanema e Liberdade; e 0,4% em São Paulo no município de Jacupiranga (SILVA, 2009).

O Brasil possui a segunda maior reserva de níquel, logo, este setor da economia está aberto para oportunidades, tendo espaço para se desenvolver. Provavelmente, o aumento da produtividade brasileira deve ser impulsionado por investimentos nesta área. Há muita especulação a respeito das futuras aplicações do Ni na indústria. Um exemplo disto é a difusão nos mais diversos meios de comunicação, principalmente aqueles da área econômica, a respeito de como a consolidação dos carros elétricos poderia exigir um aumento significativo da produção deste metal, o que, muito provavelmente, elevaria os preços no mercado mundial.

Segundo Burton e Farchy (2017), “o sulfato de níquel, um ingrediente fundamental das baterias íon-lítio, verá sua demanda crescer para 3 milhões de toneladas até 2030”. O Brasil poderia, então, ser beneficiado por este aumento na demanda, desempenhando um papel de destaque na produção mundial desta commodity. Entretanto, é importante frisar que estas previsões podem não se concretizar. Não há garantias que os carros elétricos irão se popularizar e deve-se, também, considerar o desenvolvimento de novas tecnologias que poderiam substituir o níquel neste tipo de aplicação. Na Tabela 4 estão os dados referentes às

reservas mundiais por país/região para o ano de 2016, assim como, a produção de Ni destes locais de 2014 a 2016

Tabela 4: Reservas mundiais de níquel, em 2016 e produção por país/região de 2014 a 2016

País/ Região	Produção (t)			Reservas (t) em 2016
	2014	2015	2016	
Austrália	254.000	222.000	206.000	19.000.000
Brasil	102.000	160.000	142.000	10.000.000
Rússia	239.000	269.000	256.000	7.600.000
Nova Caledônia	178.000	186.000	205.000	6.700.000
Cuba	50.400	56.400	56.000	5.500.000
Filipinas	523.000	554.000	500.000	4.800.000
Indonésia	177.000	130.000	168.500	4.500.000
África do Sul	55.000	56.700	50.000	3.700.000
Canadá	235.000	235.000	255.000	2.900.000
China	100.000	92.900	90.000	2.500.000
Guatemala	38.400	52.400	58.600	1.800.000
Madagascar	40.300	45.500	48.000	1.600.000
Colômbia	81.000	40.400	36.800	1.100.000
Estados Unidos	4.300	27.200	25.000	160.000
Outros países	377.000	157.000	150.000	6.500.000
<b>Total</b>	<b>2.450.000</b>	<b>2.280.000</b>	<b>2.250.000</b>	<b>78.000.000</b>

Fonte: Adaptado de USGS, 2017 e de USGS, 2016

Apesar de o níquel ter sido descoberto em 1751, este elemento químico foi insignificante econômica e industrialmente até 1822. Neste ano, Michael Faraday (1791 – 1867) conduziu diversos experimentos nos quais adicionava diferentes quantidades de metais fundidos como paládio, irídio, ósmio, cromo, prata, ouro e níquel ao ferro puro líquido a fim de criar novas ligas metálicas. Dentre estas práticas, o cientista tentou produzir meteoritos sintéticos ao adicionar Ni ao Fe.

Seria tedioso entrar nos detalhes dos experimentos feitos no Instituto Royal; um breve registro deles será suficiente. Após criarmos imitações de várias espécies de meteoritos de ferro através da fusão conjunta do ferro puro e do níquel, nas proporções de 3 a 10%, nós tentamos fazer uma liga de aço com prata, mas falhamos, devido ao excesso deste último metal<sup>26</sup> [...] (STODART e FARADAY, 1822).

As ligas de Faraday foram as precursoras do aço níquelado — uma família de ligas ferrosas que continuam desempenhando um importante papel no desenvolvimento industrial — originando, posteriormente, os mais diversos tipos de aços inoxidáveis. O aço níquelado foi primeiramente utilizado pela indústria bélica. Placas de aço níquelado foram produzidas na França em 1885. Nos Estados Unidos, entre 1890 e 1891, produziu-se, em larga escala, armas de fogo de aço níquelado para militares americanos. Os aços níquelados produzidos antes da Primeira Guerra Mundial continham entre 1,5% a 4,5% de níquel, com 0,2% a 0,5% de carbono. Outros importantes usos foram estruturas de pontes, trilhos de ferrovias, eixos de hélices de navios, partes de motores automobilísticos (KUCK, 1999).

O níquel metálico é usado em sua forma pura para proteção de peças e na aplicação em uma ampla variedade de ligas ferrosas e não ferrosas, abrangendo aproximadamente trezentos mil produtos (ANDRADE *et al.*, 2000). É utilizado nos setores industrial, militar, de transporte, aeroespacial e em aplicações voltadas para a construção civil. Ele também é utilizado para a composição de diversos tipos de aços especiais, altamente resistentes à oxidação, como os aços inoxidáveis, bem como em moedas e ligas para a fabricação de ímãs, de ligas elétricas, de ligas magnéticas, de ligas de alta permeabilidade, de ligas de cobre-níquel e em outras ligas não ferrosas (CARVALHO *et al.*, 2015).

O segmento de aço inoxidável<sup>27</sup> respondeu por cerca de 67% do consumo do metal em 2014, com aplicação na construção civil, na indústria de linha branca, na indústria de bens de capital — caldeirarias e fabricantes de máquinas e equipamentos —, destacando-se os setores de exploração de petróleo, química,

---

<sup>26</sup> It would prove tedious to enter into a detail of experiments made in the Royal Intitution; a brief notice of them will at presente be sufficient. After making imitations of various specimens of meteoric iron by fusing together purê iron and nickel, in proportions of 3 to 10 per cent, we attempted making na alloy of steel with silver, but failed, owing to a superabundance of the latter metal [...].

<sup>27</sup> Aço inoxidável é definido como uma liga de ferro-carbono (aço), que contém, ao menos, 10,5% de cromo. Aços inoxidáveis do tipo 304 e 304 L contém de 8 a 12 % de níquel; os do tipo 316 e 316 L contém de 10 a 14% de níquel. Aços inoxidáveis de níquel (aço inoxidável austenítico), geralmente, contém entre 6% a 22% de níquel (ABNT, 2011).

petroquímica, papel e celulose, fabricantes de cerveja e de suco de laranja, farmacêutico, alimentício e implementos agrícolas (CARVALHO *et al.*, 2015).

Desde a década de 90, a produção de aço inoxidável consome mais de 60% da produção mundial de níquel, desempenhando um fator determinante nas variações do preço do níquel no mercado mundial (KUCK, 1999). No gráfico da Figura 23, pode-se observar a produção mundial de níquel, em toneladas (t), no período de 1900 a 2015, e o preço comercial do mesmo no intervalo que vai do ano de 1840 a 2015, em \$/t.

Analisando o gráfico da Figura 23, existem dois picos de preços antes do ano de 1875. Em 1873, o valor comercial do níquel era 8.463,0 \$/t e em 1846, o preço foi de 6.722,0 \$/t. Isto pode ser explicado pelo fato de que naquela época, as reservas minerais da Nova Caledônia ainda não tinham iniciado a prospecção mineral do Ni, logo, este metal era considerado raro e valioso para diversas aplicações industriais.

A produção mundial de níquel foi menor do que 100 toneladas por ano até a década de 1850, não alcançando 1.000 toneladas por ano nas três décadas seguintes. A produtividade começou a se tornar importante comercialmente a partir de 1890 (ROSEMBERG, 1968). Os dados sobre a produção mundial do Ni antes do ano de 1900 correspondem a uma estimativa, logo, os valores não foram adicionados ao gráfico da Figura 23. Apenas a partir de 1900 é que o montante sobre a produtividade mundial começou a ser efetivamente contabilizado.

O período que vai de 1879 até 1950 é marcado por poucas flutuações tanto no preço quanto na produção mundial do níquel. Foi neste intervalo de tempo que muitas plantas minerais deste metal foram instaladas e começaram a funcionar. Logo, pode-se concluir que nesta época não existiam desequilíbrios entre oferta e demanda por níquel quando comparada ao momento anterior ao início do processamento mineral em Nova Caledônia.

É curioso verificar que mesmo a presença de duas grandes guerras (Primeira e Segunda Guerras Mundiais) durante o século XX não foram suficientes para alterar de maneira significativa tanto a produção do níquel quanto o seu valor comercial. Como explicado anteriormente, o preço mundial do Ni é muito afetado pela produção de aço inoxidável, já que mais de 60% do que se produz deste metal é alocado para a fabricação de tais utensílios. Logo, a taxa de produtividade de aço inoxidável é um fator preponderante da determinação dos preços mundiais, mas não

é a única. Em algumas ocasiões, eventos geopolíticos foram os principais responsáveis por flutuações de preços deste mercado.

O conflito da Coreia (1950 – 1953) é um bom exemplo de que forma o preço do níquel foi influenciado por fatores geopolíticos. Durante a transição para uma economia militarizada, a demanda por níquel excedeu a oferta disponível apesar das minas e plantas norte americanas estarem operando em capacidade total. No início do conflito, o governo norte americano controlou a distribuição de níquel, e de 1951 a 1957, todo níquel dos Estados Unidos estava sob poder do governo. Paralelamente, o governo também adquiriu níquel para um estoque estratégico nacional. A combinação dessas ações resultou em uma grave escassez de níquel para usos não-defensivos. A escassez continuou ao longo do conflito apesar da adição de uma significativa nova produção no Canadá e nos Estados Unidos e a reabilitação de um número considerável de antigas minas e plantas. Além disso, o governo americano continuou a comprar níquel para um estoque estratégico depois de terminado o conflito. Como resultado, a oferta não excedeu a demanda civil até 1957, quatro anos após o armistício. O preço do níquel — rastreando o consumo — começou a aumentar gradualmente em 1950 (992,0 \$/t), atingindo o ponto máximo em 1957 (1.630,0 \$/t). Um período de excesso de oferta se seguiu, no qual o preço do níquel se manteve, praticamente, estável (KUCK, 1999).

O preço do níquel, refletindo um aumento do consumo devido à elevação da produtividade de aço inoxidável, aumentou gradativamente de 1970 (2.840,0 \$/t) a 1975 (4.560,0 \$/t), quando o efeito acumulado da abertura de novas instalações de produção começou a ser sentido. Em 1975, a demanda americana por níquel enfraqueceu, parcialmente devido ao término das ações militares no Vietnã. Em 1977, P.T. Inco adicionou mais metal ao mercado. Uma situação de excesso de oferta e diminuição do consumo fez os preços diminuírem até a greve da Inco em 1978 (4.500,0 \$/t) -1979 (5.860,0) (KUCK, 1999).

A greve da Inco ajudou a acelerar a principal mudança no preço do níquel. Na primavera de 1979, o níquel se tornou o sétimo metal a ser negociado na *London Metal Exchange* (LME). Desde 1979, o Ni se tornou uma commodity no qual os preços são definidos pela oferta e demanda mundial, independente dos custos de produção. Muitos consumidores, assim como produtores, se opuseram a entrada do níquel na LME na época. Entretanto, a maioria agora concordaria que a LME é um fórum prático e efetivo para estabelecer uma referência no preço mundial do níquel,

melhorando a transparência, e rapidamente disseminando dados sobre preço (KUCK, 1999).

A segunda crise do petróleo (1979-82), desencadeada pela revolução no Iran, teve o principal efeito diminuidor do consumo mundial de aço e de muitos metais. A recessão resultante, que começou no verão de 1981 (5.970,0 \$/t), causou um declínio no consumo de níquel. A demanda de níquel no mundo ocidental diminuiu em torno de 8% em 1981. A recessão terminou em novembro de 1982, mas os preços continuaram fracos até 1985 (4.980,0 \$/t) devido a fraca demanda. De 1987 (4.840,0 \$/t) a 1988 (13.800,0 \$/t), o preço do níquel subiu significativamente devido a dois fatores: o primeiro foi o aumento substancial e imprevisto da demanda por aço inoxidável, um dos maiores usos para o níquel. O segundo fator foi que produtores reduziram a produção mundial de níquel devido aos baixos preços em meados da década de 80 (KUCK, 1999).

Apesar da demanda ocidental por níquel crescer continuamente entre 1985 e 1991, o preço do níquel teve um pico em 1988 e começou a declinar a cada ano até 1993 (5.290,0 \$/t). As razões para esta tendência paradoxal estão na Antiga União Soviética que começou gradualmente a aumentar os envios de níquel para o ocidente, aumentando a produção mundial de níquel. O fim da União soviética, em 1991, produziu mudanças maciças na economia russa, entre as quais uma privatização parcial da maior produtora de níquel do país, RAO Norilsk Nickel. Na mesma época, a redução do tamanho do complexo militar fez diminuir o consumo de níquel. Em 1997, a Rússia consumia apenas 20.000 toneladas de níquel, comparado com 180.000 toneladas em 1989. O consumo russo enfraqueceu mais em 1998, ficando em torno de 18.000 toneladas. Essas mudanças pressionaram para baixo o preço mundial do níquel (KUCK, 1999).

A partir de 2001 (5.950,0 \$/t), os preços do níquel começaram a se elevar de forma contínua, atingindo um pico em 2007 (37.200,0\$/t). Este fato ocorreu por influência da explosão econômica da China e o conseqüente aumento da demanda por aço inoxidável. Desde 1950, a produção de aço inoxidável no mundo ocidental cresceu a uma taxa de 6% ao ano (USGS, 2003). A demanda por aço inoxidável na China foi particularmente robusta desde 2000: em 2003, se igualou à demanda japonesa (USGS, 2004); em 2005, ultrapassou a demanda alemã (USGS, 2006); em 2006, excedeu as demandas da Alemanha e Espanha juntas (USGS, 2007); e em 2007, foi maior que as demandas do Japão e Estados Unidos juntas (USGS, 2008).

O preço do níquel esteve em um patamar altíssimo em 2007, mas gradualmente foi diminuindo devido ao enfraquecimento da economia global, causada pela crise econômica de 2008. A produção americana de aço inoxidável caiu para 1,35 milhões de toneladas, em 2007, sendo 21% menor do que o recorde de 1,71 milhões de toneladas, em 2006. A China foi a principal consumidora de níquel, com um consumo aparente de 328.000 toneladas de aço inoxidável, em 2007 (USGS, 2009).

No final de 2008, os Estados Unidos experimentavam uma severa recessão. Em fevereiro de 2009 (14.100\$/t), a economia global sentiu os efeitos da crise econômica americana, causando a diminuição do consumo de aço inoxidável, pressionando para baixo o preço mundial do níquel. A produção mundial de aço inoxidável, em 2009, foi de 10,8 milhões de toneladas, 27% menor do que em 2008 (USGS, 2010).

A partir de 2011, observa-se uma deterioração do preço do níquel devido à diminuição da atividade econômica chinesa, e também, pela criação do ferro-gusa de níquel pelos chineses. Ambos fatores causaram uma queda significativa da demanda por aço inoxidável pela China, principal consumidora deste produto (USGS, 2014).

O ferro-gusa de níquel é uma liga de ferro-níquel de baixa pureza produzida e utilizada exclusivamente pela China como uma alternativa ao níquel primário ou ao ferro-níquel convencional na indústria de aço inoxidável. É obtido a partir de processo de redução de minérios lateríticos, provenientes principalmente da Indonésia e Filipinas (CARVALHO, *et al.*, 2005).

A explosão da demanda chinesa por níquel metálico, devido à importância desse insumo para a produção de aço inoxidável, fez com que a China procurasse desenvolver uma rota alternativa de produção, utilizando o minério de níquel praticamente em sua forma bruta. Esta importante inovação da produção chinesa de aços que continham níquel ficou conhecida como ferro-gusa de níquel (*nickel pig iron*). Como consequência desta criação, grande volume deste produto foi posto no mercado, contribuindo para a contínua diminuição dos preços do níquel (CARVALHO, *et al.*, 2005). As variações de preços do níquel, explicitadas no presente trabalho, podem ser observadas no gráfico da Figura 23.

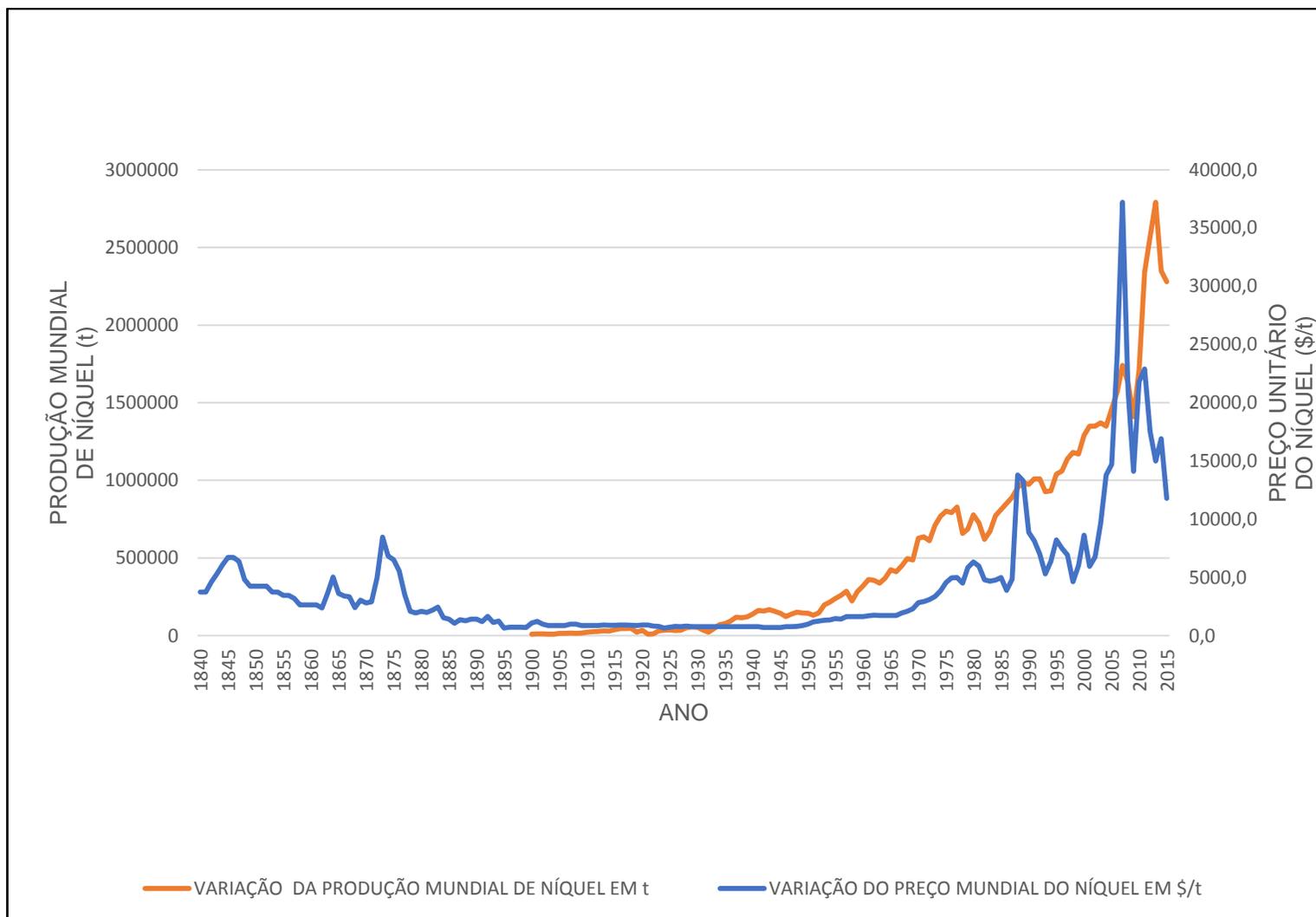


Figura 23: Gráfico anual da produção mundial de níquel, em toneladas, de 1900 a 2015; e variação do preço mundial do níquel, em \$/t, de 1840 a 2015  
 Fonte: Elaborado pela autora<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Preço do níquel de 1840 a 1899 (KUCK, 1999); preço e produção do níquel de 1900 a 2015 (GOONAN *et al.*, 2016).

### 3.5 O INCÊNDIO

A história do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro se entrelaça em muitos pontos com a historiografia brasileira. Residência da família real portuguesa e da família imperial brasileira; instituição científica mais antiga do Brasil; local da primeira Assembleia Constituinte Republicana foram algumas das funções desempenhadas por este grandioso prédio histórico. Detentora de um acervo sem igual, se dedicava, entre outras atividades, à divulgação da Ciência e à pesquisa acadêmica. Tarefas estas que foram bruscamente alteradas pela tragédia do incêndio do dia 02 de setembro de 2018.

A história do meteorito Santa Catarina mostra quão rico era o acervo perdido do Museu Nacional. Quantos eventos estavam escondidos por trás de uma única peça. Quantas histórias deixaram de ser contadas, de ser pesquisadas. A coleção de meteoritos, provavelmente, resistiu ao fogo, mas muitos, infelizmente, foram perdidos em uma montanha de escombros. Os grandes blocos, como o Bendegó, ficaram intactos.

Um breve alívio desta tragédia é informar que o meteorito Santa Catarina e alguns outros exemplares, como o famoso e valiosíssimo Angra, foram encontrados durante buscas pelos escombros do que restou do Museu Nacional. Um fato interessante é que devido ao trabalho desenvolvido pela pesquisadora Maria Elizabeth Zucolotto com a aluna de doutorado Amanda de Araújo Tosi, a maioria das lâminas que continha amostras da coleção de meteoritos foi salva. Estas estavam no laboratório de microsonda eletrônica do Departamento de Geologia da UFRJ para análises. Na Figura 24, pode-se observar o meteorito Santa Catarina após o incêndio. Vale destacar que os resultados analíticos apresentados no próximo capítulo foram realizados antes do acidente.



Figura 24: Fragmento do meteorito Santa Catarina após o incêndio  
Fonte: Elaborada pela autora

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTRUTURA DE WIDMANSTÄTTEN

O meteorito Santa Catarina é um ataxito rico em níquel, ou seja, é caracterizado pela ausência das estruturas de Widmanstätten, que estão presentes nos octaedritos e são definidos pelo aparecimento de lamelas entrelaçadas de kamacita que seguem uma orientação octaédrica quando a superfície de um meteorito metálico é atacada por nital.

Uma superfície polida do fragmento do meteorito Santa Catarina foi atacada por ácido, conforme metodologia descrita na introdução do presente trabalho, a fim de confirmar a ausência das estruturas de Widmanstätten e a classificação estrutural como um ataxito. Como pode ser analisado na Figura 25, não foram encontrados tais desenhos, pois este siderito apresenta uma concentração de níquel alta, fazendo com que a fase metálica seja composta por cristais de taenita ( $\gamma$ ) e tetrataenita, estando assim, ausente a kamacita ( $\alpha$ ).

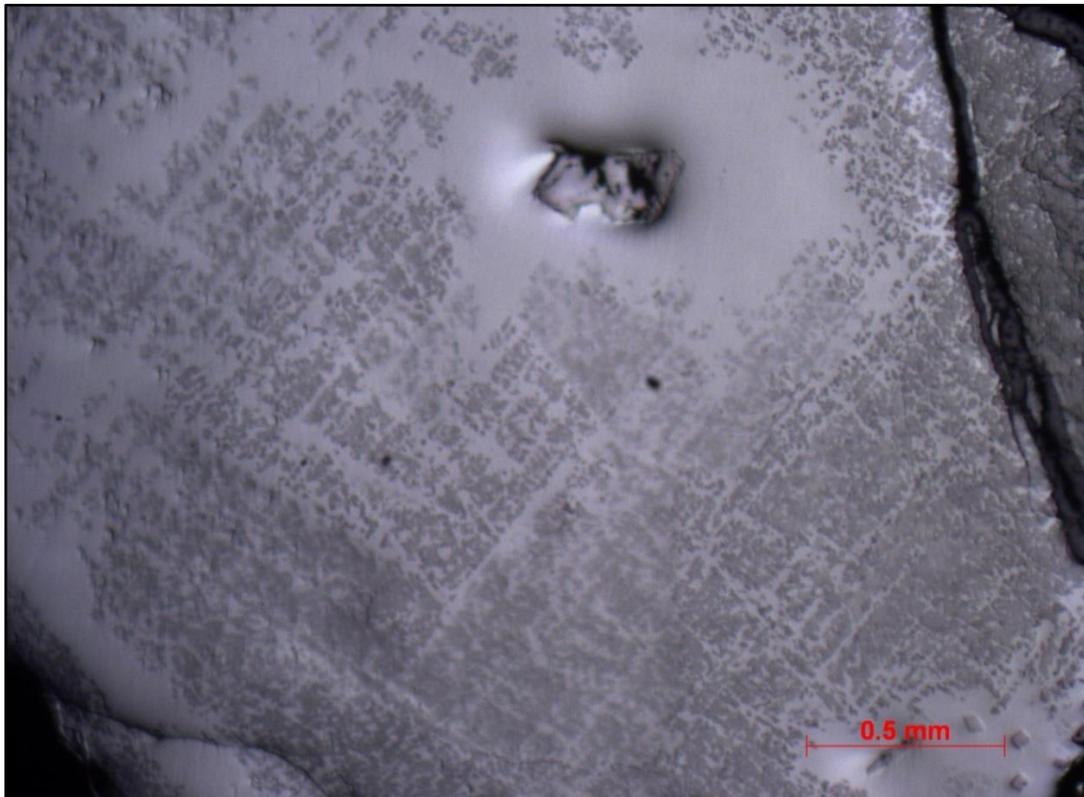


Figura 25: Foto feita em microscópio óptico, feita com luz refletida, da fase metálica polida do meteorito Santa Catarina  
Fonte: Elaborada pela autora

Apesar do meteorito Santa Catarina ser um ataxito, alguns estudos publicados no Comptes Rendus sugerem o aparecimento das estruturas de Widmanstätten após o ataque ácido de uma superfície polida. Na carta de Guignet para Daubrée, relatando a visita do naturalista Charles Hartt ao local da descoberta, há um indício que pode explicar este fato.

As últimas porções eram muito pobres em níquel; alguns fragmentos não continham. O cobalto também parece ter sido distribuído de forma muito desigual. Endereço a você duas pequenas amostras que escolhi, uma das partes ricas, outra das partes pobres. As partes ferruginosas pobres em níquel estavam no exterior, de modo que este depósito parecia se enriquecer com a profundidade<sup>29</sup> (GUIGNET, 1877, p. 1507-1508).

Conforme o relato acima, existiam fragmentos de meteoritos mais pobres em níquel. Segundo Miller e Russel (1989), “o meteorito Santa Catarina é altamente intemperizado e varia em composição de uma região para outra”. Nos textos publicados no Comptes Rendus, não há uma especificação se o ataque foi feito nas amostras pobres em Ni ou nas ricas. Admitindo-se que a superfície atacada por ácido continha uma concentração menor de níquel, as estruturas de Widmanstätten poderiam realmente surgir devido à presença das lamelas entrelaçadas de kamacita seguindo uma orientação octaédrica.

Análises realizadas pelo químico Damour demonstraram uma concentração de níquel igual a 33,97%. Nesse teor de níquel, não se espera a presença de kamacita. Entretanto, deve-se frisar que as técnicas analíticas da época se limitavam a resultados composicionais da química total dos fragmentos analisados, enquanto as técnicas atuais fornecem a composição química pontual, em uma escala de 1 micrômetro ( $\mu\text{m}$ ).

Outra hipótese que pode ser aventada para explicar o aparecimento das estruturas de Widmanstätten nos textos publicados no final do século XIX diz respeito à inexistência da classificação estrutural para os sideritos como a conhecida atualmente. Ou seja, os cientistas da época não tinham condições de determinar se as estruturas de Widmanstätten poderiam ser classificadas como grosseiras, médias ou finas. Como também, desconheciam os parâmetros que diferenciavam meteoritos

---

<sup>29</sup> Les dernières portions étaient très-pauvres en nickel; quelques fragments n'en contenaient pas. Le cobalt paraît aussi y avoir été très-inégalement reparti. Je vous adresse deux petits échantillons que j'ai choisis, l'un dans les parties riches, l'autre dans les parties pauvres. Les parties ferrugineuses pauvres en nickel étaient l'extérieur, de sorte qu'à l'origine ce gisement paraissait s'enrichir avec la profondeur.

plessíticos (largura da Kamacita < 0,2 mm) de ataxitos. Logo, o que poderia ser identificado como estruturas de Widmanstätten, atualmente não o é.

Um meteorito metálico pode ser um ataxito e apresentar cristais de kamacita, como pode ser observado pelos resultados obtidos pela análise de um fragmento do meteorito Santa Catarina pertencente à coleção do Museu Britânico. Segundo Axon e Smith (1972):

Na maioria dos casos, a kamacita existe como bandas envolventes em torno dos fosfetos, mas ocasionalmente é encontrada como agulhas orientadas de forma octaédrica, crescendo para fora da kamacita circundante. No Santa Catarina, a kamacita é rara e altamente localizada e a estrutura é mais complexa devido à presença de diversos graus de oxidação<sup>30</sup>.

Segundo Lovering e Parry (1962), a ausência das estruturas de Widmanstätten, nos ataxitos ricos em níquel, não pode ser explicada pelo diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 1 atmosfera (atm), representado pela linha cheia da Figura 26. De acordo com os mesmos autores, ao se considerar esta pressão, uma liga de Fe-Ni com 15% de níquel deveria começar a transformação  $\gamma \rightarrow \alpha$  em 620°C, ressaltando que há uma forte resistência a esta mudança em temperaturas iguais ou menores que 460°C.

Lovering e Parry (1962) sugerem que os meteoritos metálicos devem ter sido resfriados sob consideráveis pressões, logo, aqueles com concentrações de níquel entre 15% e 27% não entrariam no campo  $\alpha + \gamma$  (coexistência da kamacita e da taenita) até que suas temperaturas atingissem 460°C. E a esta temperatura, a quantidade de transformação da fase- $\gamma$ , mesmo considerando um intervalo de tempo da ordem de  $10^9$  anos, seria muito pequena. Considerando o diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 25 atm, representado pela linha tracejada da Figura 26, uma liga com 13% de níquel começaria a transformação  $\gamma \rightarrow \alpha$  em 510°C, enquanto uma de 27% a 360°C, explicando assim, a formação dos ataxitos ricos em níquel.

Ataxitos com teores de níquel menores do que 27% contêm alguma kamacita, enquanto aqueles com concentrações maiores, não. Entretanto, o diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 1 atm determina que a transformação  $\gamma \rightarrow \alpha$  para ligas com 27% de Ni deveria ser a uma temperatura em torno de 500°C. O resfriamento

<sup>30</sup> In most cases the kamacite exists as a swathing banda round the phosphide but occasionally it is found as octahedrally oriented spindles growing outward from the swathing kamacite. In Santa Catharina kamacite is rare and highly localized and the structure is further complicated by variable amounts of oxidation.

subsequente da liga deveria, então, permitir a coexistência da kamacita e da taenita nestes meteoritos. Porém, o que se constatou através de diversas pesquisas é a ausência da kamacita. O diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 25 atm explica a ausência de ligas- $\alpha$  em meteoritos com teores de níquel maiores do que 27%, pois sob tal pressão, a liga está inteiramente na fase- $\gamma$ , ou seja, na fase da taenita até uma temperatura de 360°C, que está abaixo daquela em que a transformação subsequente ocorreria com o resfriamento do meteorito. “Os núcleos metálicos dos corpos parentais devem ter sido submetidos a pressões consideravelmente altas” (LOVERING e PARRY, 1962).

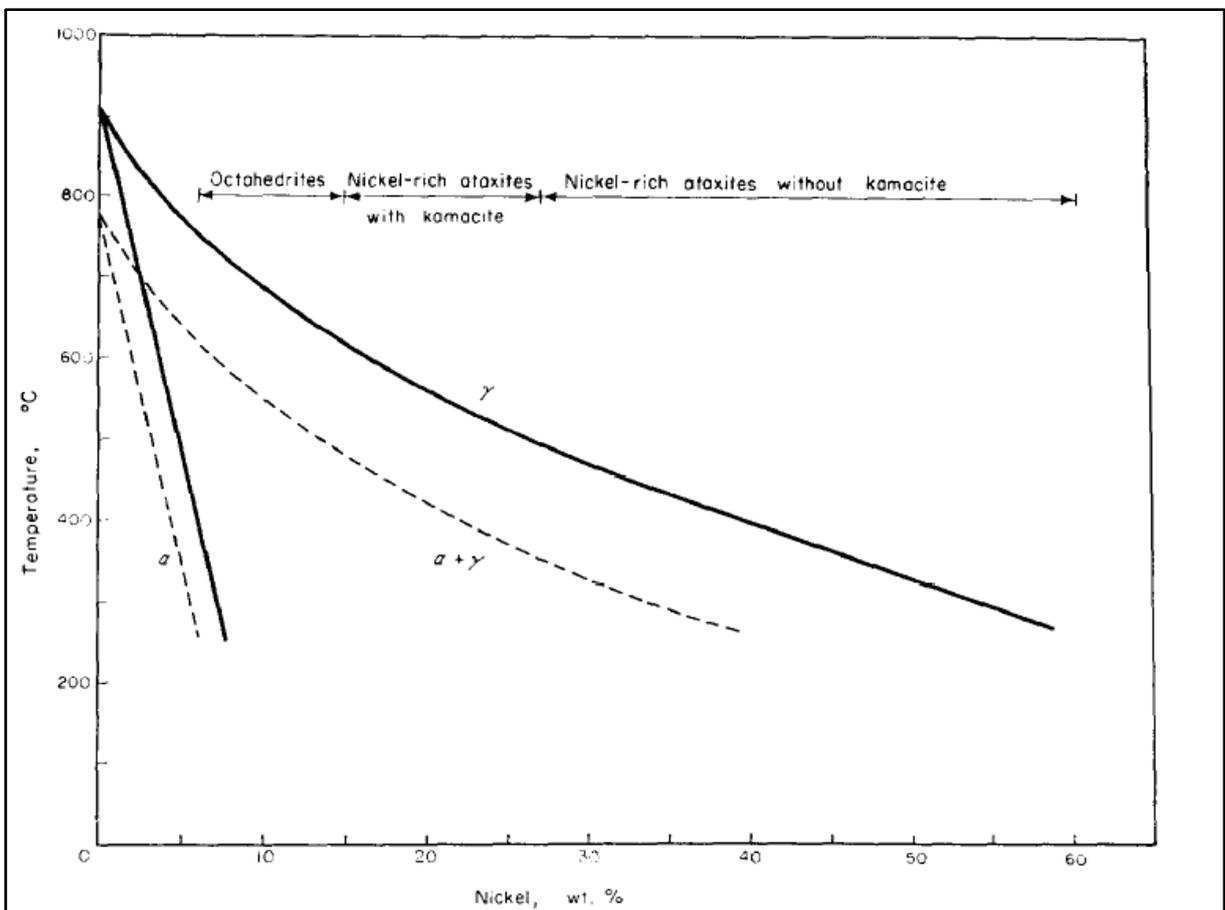


Figura 26: Diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni a 1 atm (linha cheia) e a 25 atm (linha tracejada)  
Fonte: (LOVERING e PARRY, 1962)

De acordo com Lovering e Parry (1962), em temperatura menores ou iguais a 460°C, há uma resistência na transformação na taenita para a Kamacita. Logo, pesquisas foram feitas a fim de elucidar o diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni abaixo de 400°C. Segundo Reuter *et al.*, (1989), a altas temperaturas as regiões Fe-Ni nos meteoritos são compostas por duas fases estáveis: a kamacita ( $\alpha$ ) e taenita

(denominada pelos autores de  $\gamma_1$ ). Abaixo de  $400^\circ\text{C}$ , a fase  $\gamma_1$  se torna instável e se decompõe para formar regiões contendo diferentes produtos de transformação. Pode-se observar na Figura 27, que abaixo de  $320^\circ\text{C}$ , a taenita ( $\gamma_1$ ) se transforma em um mineral conhecido como tetrataenita, representado pelo símbolo  $\gamma''$ . Os campos da Figura 27 correspondem às seguintes substâncias: kamacita ( $\alpha$ ), taenita paramagnética ( $\gamma_1$ ), taenita ferromagnética ( $\gamma_2$ ), tetrataenita ( $\gamma''$ ),  $\text{Ni}_3\text{Fe}$  ordenado ( $\gamma'$ ) e transformação martensítica<sup>31</sup> ( $M_s$ ).

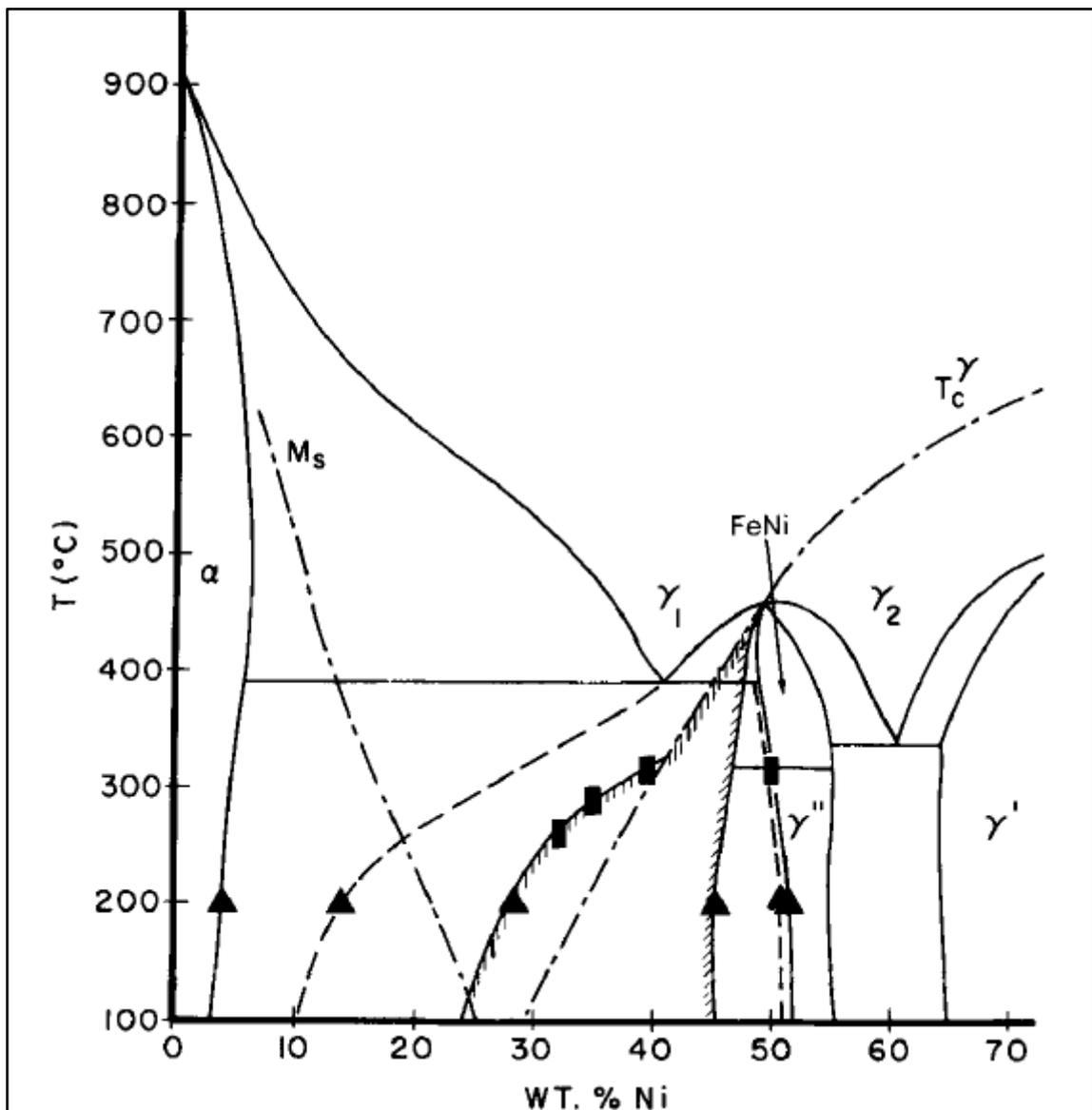


Figura 27: Diagrama binário de equilíbrio Fe-Ni abaixo de  $400^\circ\text{C}$   
 Fonte: (REUTER et al., 1989)

<sup>31</sup> Transformação de fase rápida da taenita para a kamacita originando uma estrutura assemelhada à estrutura de Widmanstätten.

O meteorito Santa Catarina analisado pela técnica de microsonda eletrônica no presente trabalho apresentou uma fase metálica constituída de tetrataenita e taenita. Rachaduras foram encontradas na fase metálica, preenchidas com magnetita. Minerais sulfetados, como a troilita e a pentlandita puderam ser identificados. Cristais de schreibersita e rhabdita também foram reconhecidos, os primeiros como inclusões na fase metálica, enquanto que os segundos estavam próximos da troilita e da pentlandita. A seguir são expostos os resultados das análises químicas feitas com espectrômetro *wavelength-dispersive system* (WDS)<sup>32</sup>, as imagens por elétrons retroespalhados<sup>33</sup> dos minerais e algumas fotos feitas em microscópio óptico.

#### 4.2 FASE METÁLICA

A fase metálica dos sideritos é composta por uma liga de ferro e níquel que são os elementos químicos constituintes dos minerais kamacita e taenita. A concentração de Ni nos meteoritos metálicos é um dos fatores determinantes para presença de ambos os minerais ou apenas um deles. Análises de microsonda eletrônica na amostra do Santa Catarina não identificaram a kamacita. Resultado este que está de acordo com o esperado, pois o meteorito analisado possui um alto teor de níquel.

Meteoritos metálicos com uma grande concentração de níquel podem apresentar, além da taenita, um outro mineral, a tetrataenita, resultando em duas fases metálicas distintas. A taenita e a tetrataenita se diferem em relação a concentração de níquel e ao ordenamento cristalino dos átomos de ferro e níquel, além da primeira ser isotrópica e a segunda ser anisotrópica<sup>34</sup> (CLARKE e SCOTT, 1980).

A taenita possui uma estrutura cristalina cúbica de face centrada, na qual um átomo, seja de ferro ou de níquel, se localiza de forma desordenada em cada vértice

---

<sup>32</sup> A análise por microsonda eletrônica utiliza dois espectrômetros distintos: o WDS e o *energy-dispersive system* (EDS)

<sup>33</sup> Na análise por microsonda eletrônica, quando o feixe eletrônico atinge a amostra são produzidos, além da radiação do característico, elétrons secundários e retroespalhados. Estes últimos são gerados quando os átomos desviam os elétrons incidentes sem perda de energia, formando assim, as imagens por elétrons retroespalhados.

<sup>34</sup> Anisotrópica significa que certas propriedades físicas, como dureza, resistência mecânica, refração da luz, dependem da direção em que são medidas, enquanto a isotrópica independe da direção.

e em cada face de um cubo, conforme exemplificado na Figura 28. Já a tetrataenita se formou pelo ordenamento dos átomos de Fe e Ni da taenita rica em níquel em planos alternados, conforme pode ser visto na Figura 29 (CLARKE e SCOTT, 1980).

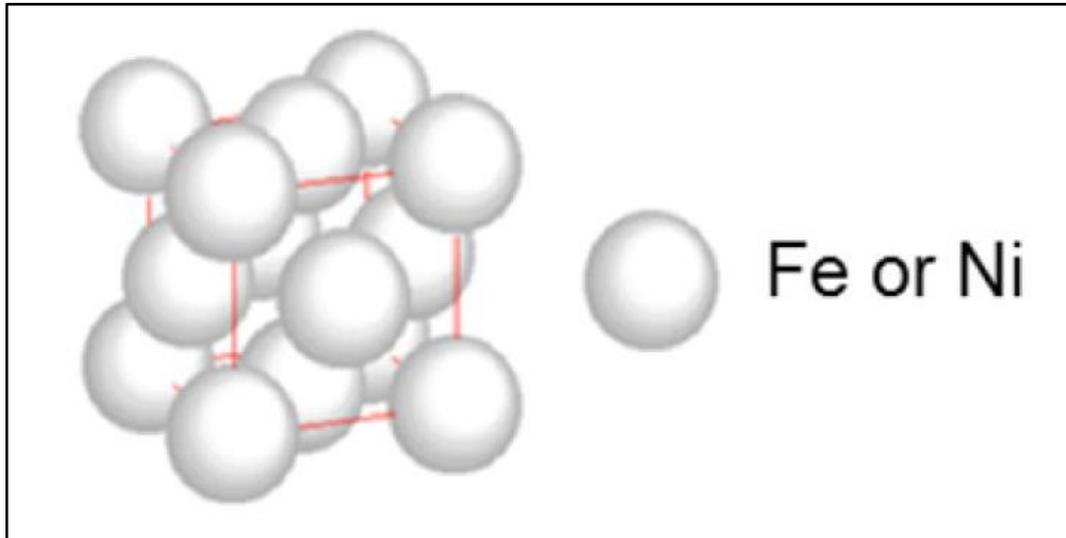


Figura 28: Célula unitária da taenita  
Fonte: LEWIS *et al.*, 2014

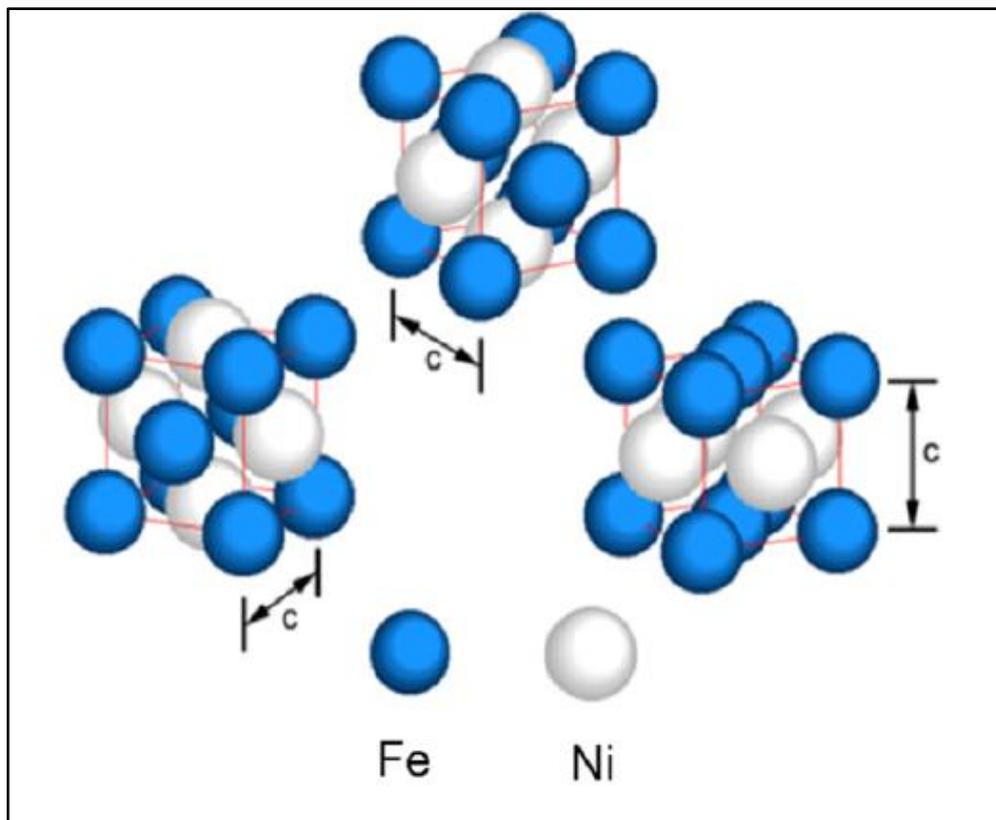


Figura 29: Célula unitária da tetrataenita  
Fonte: LEWIS *et al.*, 2014

Idealmente, a liga ordenada (tetrataenita) é composta de ferro e níquel na proporção de 50-50, logo, o esperado é que em ocorrências de tetrataenita se encontre uma concentração de Ni por volta de 50%. Porém, este mineral pode ser encontrado com variações de 40-52% de níquel. O ordenamento dos átomos de Fe e Ni levou a uma mudança de simetria de cubo de face centrada para uma estrutura conhecida como  $L1_0$ , que é uma rede cristalográfica derivada da cúbica de face centrada, ocorrendo, geralmente, em fases de baixas temperaturas (LAUGHLIN *et al.*, 2005). Nos meteoritos metálicos, a tetrataenita se formou durante o resfriamento lento abaixo de  $320^\circ\text{C}$  a partir de cristais de taenita com concentrações de níquel de 28 a 52% (ALBERTSEN, 1981).

Uma importante característica cristalográfica da estrutura  $L1_0$  é a razão  $c/a$ , que deve ser próxima de 1, pois é derivada de uma rede cristalina cúbica (LAUGHLIN *et al.*, 2005). Segundo Albertsen (1981), análises de difração de raios X determinaram os valores de  $a$  e  $c$  para a tetrataenita, concluindo-se que a estrutura cristalina é tetragonal, pois  $c$  é diferente de  $a$ , conforme observado na Figura 30.

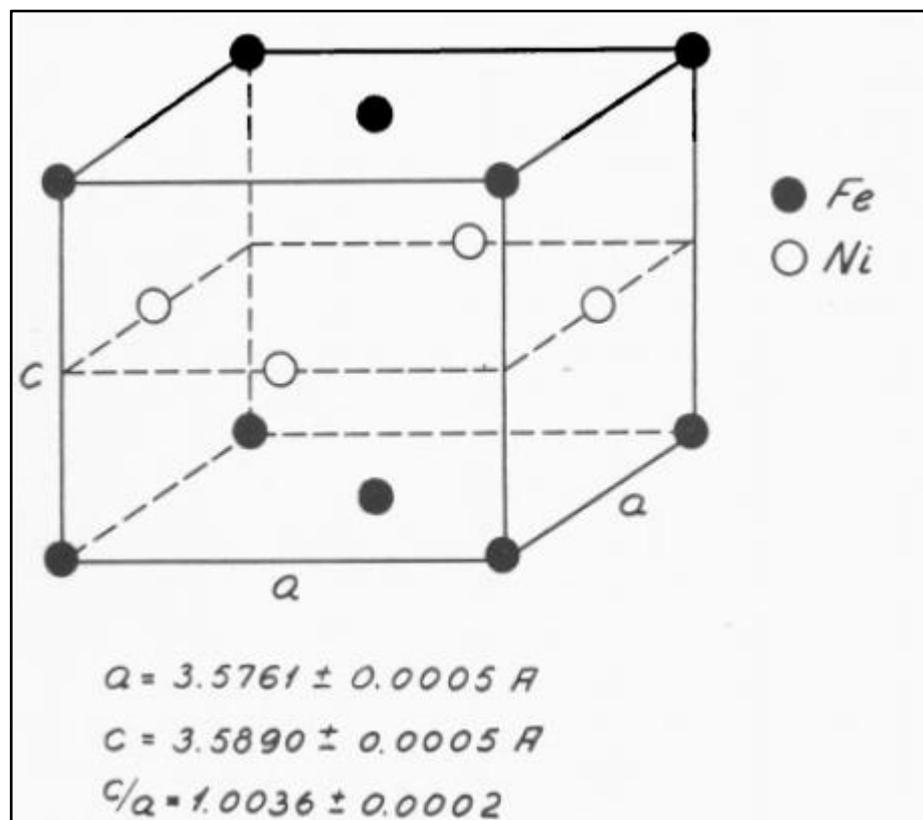


Figura 30: Parâmetros da estrutura cristalográfica da tetrataenita  
 Fonte: ALBERTSEN, 1981

A fase metálica do fragmento meteorítico analisado pode ser observada na Figura 31. É perceptível a presença de partes mais claras e outras mais escuras, indicando a presença de duas fases: a mais escura com uma maior concentração de níquel, representada pelo mineral tetrataenita; e a mais clara com um teor de níquel menor, sendo a taenita. Estudos anteriores já apontavam para a presença destas duas fases (LOVERING e PARRY, 1962). Segundo Danon *et al.* (1978), a presença da tetrataenita no Santa Catarina foi confirmada por espectroscopia de Mössbauer e difração de raios X.

Resultados preliminares de microsonda eletrônica demonstraram que os pontos analisados nas partes mais escuras da fase metálica não tiveram um bom fechamento, indicando, que, talvez, algum elemento químico estivesse faltando para a complementação das análises. Os resultados podem ser vistos na Tabela 5.

Baseando-se nos estudos de Lovering e Anderson (1965), nos quais foi adicionado o oxigênio para estudar a fase metálica do Santa Catarina, as análises foram refeitas, considerando, portanto, o O. Estes autores encontraram 31,8% de níquel e 67,3% de ferro para a fase mais clara e 45,2% de níquel, 46,1% de ferro e 8,4% de oxigênio para a fase mais escura, utilizando a técnica de microsonda eletrônica. Já os resultados do presente trabalho podem ser observados na Tabela 7, e confirmam a presença de grandes quantidades de oxigênio na tetrataenita, assim como, os estudos dos autores citados. Na Tabela 6 e 8 estão as análises da taenita sem e com o oxigênio, respectivamente.

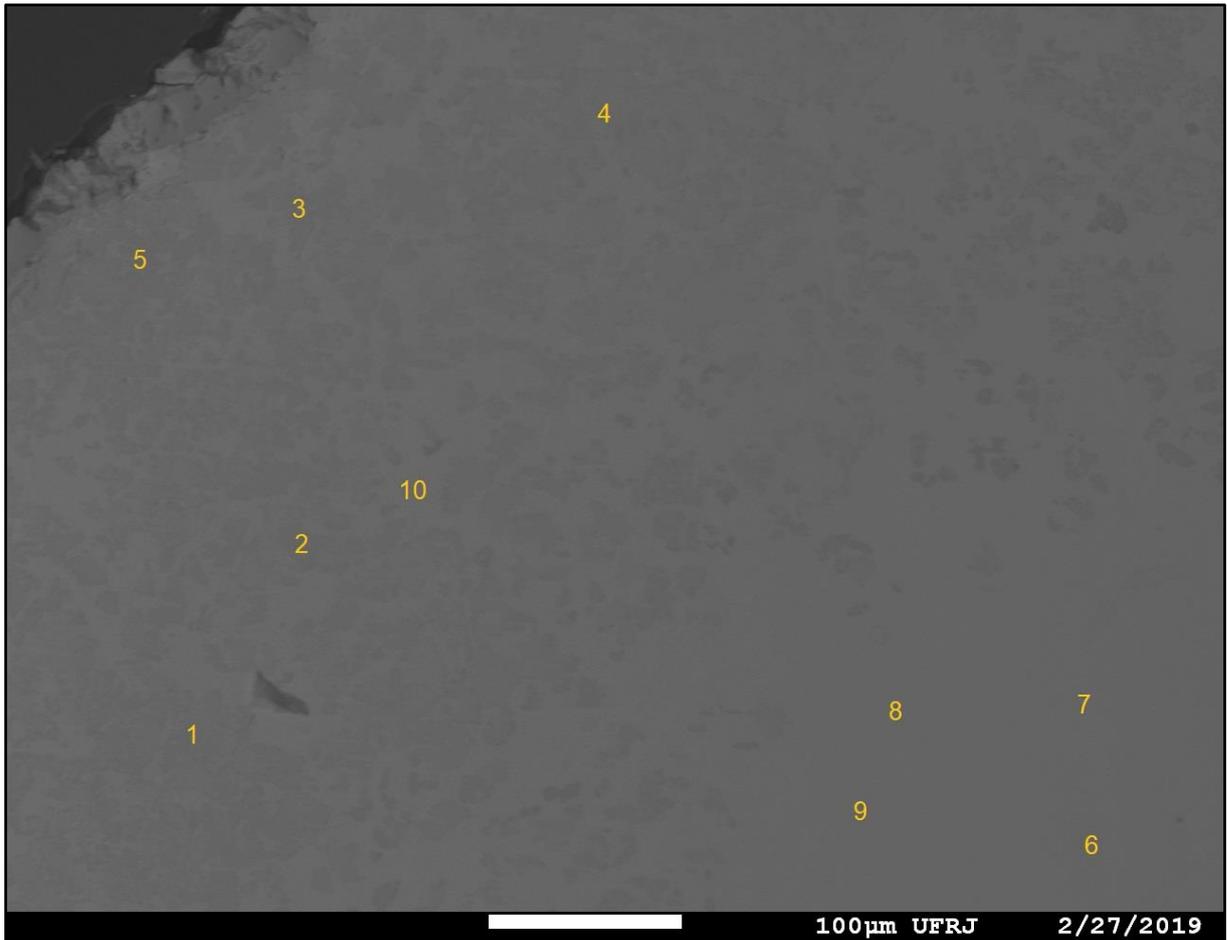


Figura 31: Imagem por elétrons retroespalhados da fase metálica contendo taenita e tetrataenita  
 Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 5: Análises químicas da tetrataenita sem o oxigênio

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
1	0,023	42,286	0,003	44,443	0,199	0,388	0	87,342
2	0,03	46,219	0,002	37,257	0,212	0,37	0,003	84,093
3	0,025	43,332	0,027	43,305	0,209	0,379	0,011	87,288
4	0,001	42,535	0,004	40,452	0,226	0,346	0	83,564
5	0,008	42,421	0	41,763	0,185	0,38	0	84,757

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 6: Análises químicas da taenita sem o oxigênio

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
6	0	65,634	0,011	32,27	0,006	0,477	0	98,398
7	0,046	65,512	0	32,767	0	0,473	0	98,798
8	0,04	65,844	0	32,516	0,001	0,545	0,006	98,952
9	0	65,754	0	32,738	0	0,486	0,002	98,98
10	0,039	64,991	0,003	32,599	0,008	0,515	0,004	98,159

Fonte: elaborada pela autora

Tabela 7: Análises químicas da tetrataenita com o oxigênio

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
1	0,023	8,773	43,023	0,003	44,997	0,199	0,395	0	97,413
2	0,03	12,54	47,344	0,002	37,883	0,212	0,379	0,003	98,393
3	0,025	8,979	44,101	0,027	43,853	0,209	0,385	0,011	97,59
4	0,001	11,511	43,508	0,004	41,104	0,226	0,353	0	96,707
5	0,008	10,447	43,304	0	42,379	0,185	0,387	0	96,71

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 8: Análises químicas da taenita com o oxigênio

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
6	0	0,532	65,702	0,011	32,293	0,006	0,478	0	99,022
7	0,046	0,741	65,605	0	32,799	0	0,474	0	99,665
8	0,04	0,667	65,929	0	32,545	0,001	0,545	0,006	99,733
9	0	0,823	65,858	0	32,773	0	0,487	0,002	99,943
10	0,039	0,781	65,089	0,003	32,633	0,008	0,516	0,004	99,073

Fonte: Elaborada pela autora

A presença do oxigênio na fase metálica do meteorito Santa Catarina não pôde ser confirmada pelos estudos de Danon *et al.* (1978). Segundo estes autores, análises de microsonda eletrônica em amostras polidas mostraram, claramente, a presença de, ao menos, duas fases. Microanálises nas duas fases indicaram que a fase escura tinha uma composição homogênea de 51-50% de níquel e 49-48% de ferro, e a fase mais clara tinha uma composição mais heterogênea em torno de 30% de níquel. A presença de oxigênio em quantidades máximas de 1 a 2% foram encontradas unicamente na fase rica em níquel.

No presente trabalho, os pontos analisados na parte mais escura (tetrataenita) contêm de 37 a 44% de níquel, enquanto que a parte mais clara

(taenita) apresenta teores em torno de 32% de níquel. Analisando estes resultados, a fase da taenita parece ser a mais homogênea, já que há uma variação muito pequena nos teores de Ni. Enquanto a tetrataenita demonstrou se a mais heterogênea devido à variação nos teores de níquel.

Pode-se observar que os resultados obtidos pelo mineralogista Alexis Damour, publicados no *Comptes Rendus*, para Fe (63,69%) e Ni (33,97%), estão muito próximos dos valores encontrados para a taenita. Assim como a confirmação da presença de elementos em menores quantidades, como enxofre, fósforo, silício e cobalto. O carbono não é analisado pela técnica de microsonda eletrônica, sendo o único elemento químico que não pôde ser confirmado como constituinte do meteorito Santa Catarina.

Os resultados do presente estudo, nos quais as partes mais escuras da fase metálica estão associadas com o mineral tetrataenita e com a presença de grandes quantidades de oxigênio, enquanto que as partes claras são cristais de taenita, confirmam as análises de Saito e Takeda (1988) e Zhang *et al.* (1990) sobre o meteorito Santa Catarina.

Saito e Takeda (1988) analisaram uma amostra do meteorito Santa Catarina fornecida pelo *American Museum of Natural History*. As análises químicas foram feitas por EPMA. Na fase metálica, identificaram duas áreas diferentes: nas partes mais claras, uma matriz de taenita com 33% de Ni; e nas partes mais escuras, cristais de tetrataenita em uma proporção de Fe:Ni = 1:1, que continham de 3 a 10% de oxigênio. Os autores também detectaram a presença de oxigênio da fase da taenita, porém, não especificaram valores. No presente trabalho, pode-se verificar que se distinguiu O na taenita, porém em concentrações menores do que 1%.

Tomando como hipótese de que o oxigênio pode ter sido adsorvido<sup>35</sup> na tetrataenita, pois não foi detectado óxidos de ferro através da técnica de difração de raios X — potenciais produtos de oxidação, Saito e Takeda (1988) conduziram um experimento no qual submeteram a taenita e a tetrataenita a um aquecimento de 195°C no vácuo. O oxigênio contido nas áreas claras (taenita) diminuiu drasticamente, enquanto que o O das áreas mais escuras (tetrataenita) continuou constante. Após exposição da mesma amostra à atmosfera por dois dias, os teores

---

<sup>35</sup> Adsorção é um fenômeno físico-químico onde um componente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida.

de oxigênio das áreas mais claras aumentaram novamente próximas dos valores originais.

Segundo Saito e Takeda (1988):

A observação acima e o comportamento de adsorção durante o experimento de aquecimento sugere que o oxigênio pode ter sido adsorvido na estrutura da tetrataenita. A origem da adsorção do oxigênio pode ter sido devido ao ambiente terrestre, mas a propriedade de adsorção pode ter sido adquirida por eventos extraterrestres<sup>36</sup>.

Zhang *et al.* (1990) analisaram quatro amostras do meteorito Santa Catarina obtidas, respectivamente, dos seguintes locais: *Nacional Museum of Natural History* (Washington), *British Museum* (Londres), *American Museum of Natural History* (Nova York) e *Museum National d'Histoire Naturelle* (Paris). Observou-se que a fase metálica apresentava regiões claras e escuras, semelhante ao resultado do presente trabalho. Análises por microsonda eletrônica determinaram que a região escura continha 48% Ni e 8,6% O, enquanto que a mais clara apresentava 34,9% Ni.

Segundo Zhang *et al.* (1990), a grande variação composicional das análises da região escura mostra que esta fase é heterogênea, enquanto que a fase clara é homogênea. A região escura continha de 7 a 12% de oxigênio e 45 a 50% de níquel. E na clara, a variação de níquel foi de 34,3% a 36,5%. Os estudos destes autores confirmaram também, além da identificação do oxigênio, a presença da taenita nas regiões claras e da tetrataenita nas regiões escuras. O oxigênio seria, então, fruto de oxidação terrestre pela formação de um óxido.

Este estudo confirma que existe em torno de 8% de O nas regiões escuras do meteorito Santa Catarina. A presença do óxido foi confirmada por microscópio de transmissão eletrônica. Entretanto, como os óxidos existem como partículas muito finas, um padrão difratográfico eletrônico indexável somente pode ser observado em determinadas orientações cristalográficas. A necessidade de condições cristalográficas específicas pode explicar o motivo pelo qual investigações anteriores não observaram padrões difratográficos consistentes com a presença de óxidos<sup>37</sup> (ZHANG *et al.*, 1990).

<sup>36</sup> The above observation and adsorption behavior during the heating experimente suggest that the oxygen may be adsorbed in the tetrataenite structure. The origino of the adsorbed oxygen may be due to terrestrial environment, but the adsorbing property may have been acquired by some preterrestrial events.

<sup>37</sup> This study confirms that there is about 8% O in the dark region of Santa Catharina. The presense of oxide in the dark regions was confirmed by TEM observations. However, since the oxide exits as very fine particles, an indexable electron diffraction can only be obtained in certain crystallographic orientations. The need for specific diffraction conditions may explain why the previous investigators did not observe oxide diffraction spots.

Sobre a natureza do óxido, Zhang *et al.* (1990) concluem:

Existe forte evidência da presença de óxido na região escura do meteorito Santa Catarina, mas sua natureza é ainda desconhecida. O óxido ocorre em partículas muito pequenas (< 5nm), tornando difícil determinar a estrutura cristalina e composicional usando técnicas de microscopia eletrônica. O padrão difratográfico eletrônico da área selecionada é consistente com  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$  ou  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . A média composicional das regiões escuras, medidas por microsonda eletrônica, mostra uma grande variação tipicamente de 45%Fe – 45%Ni a 40%Fe – 50%Ni, sendo o restante oxigênio. Este tipo de composição química não pode ser obtida por nenhuma combinação de estequiometria FeNi e  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ . É possível que a fase oxidada é uma forma não estequiométrica de  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$  ou pode ser um novo óxido rico em níquel que apresenta os mesmos padrões cristalográficos de  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ <sup>38</sup>.

A identificação de oxigênio na tetrataenita no meteorito Santa Catarina abre um leque de possibilidades em relação a novas pesquisas para tentar compreender tal fenômeno, entretanto, no presente trabalho esta questão ficará em aberto. Como bem frisado por Zhang *et al.* (1990), a natureza do óxido é ainda desconhecida, podendo, inclusive ser um nova substância. A hipótese de que a origem do oxigênio é terrestre está condizente com as características encontradas nos meteoritos metálicos. Entretanto, talvez, um questionamento que precise ser feito é o motivo pelo qual o processo oxidativo ocorra apenas na tetrataenita. Será que a estrutura cristalográfica deste mineral facilita a reação seja do ferro ou do níquel com o oxigênio para formar um óxido? E por que não se observa tal evento da taenita?

Meteoritos metálicos representam sistemas extremamente reduzidos e anidros, exibindo misturas de troilita, grafita e minerais livres de hidroxila com ferro nativo e níquel em solução sólida. Eles evidentemente tiveram origem em lugares onde água e oxigênio eram extremamente baixos, ambientes comparáveis a um ultra vácuo e a um excesso de hidrogênio<sup>39</sup> (BUCHWALD, 1977).

#### 4.3 MINERAIS SULFETADOS E MAGNETITA

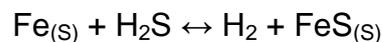
<sup>38</sup> There is strong evidence that oxides exists in the dark region of Santa Catharina but its nature is still unknown. The oxide occurs in very small particles (<5nm), making it difficult to determine the crystal structure and composition using AEM techniques. The selected area electron diffraction pattern is a lattice parameter of  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$  or  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . The average composition of the dark region, measured by EPMA, shows a large variation typically from 45%Fe – 45%Ni to 40%Fe – 50%Ni, remainder oxygen. Such compositions cannot be obtained by any combination of stoichiometric FeNi and  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ . It is possible that the oxide phase is nonstoichiometric form of  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$  or it may even be a new Ni-rich oxide of the same lattice type as  $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ .

<sup>39</sup> Iron meteorites represent extremely reduced and anhydrous systems, displaying mixtures of troilite, graphite and hydroxyl-free minerals with native iron, carrying nickel in solid solution. They evidently have had na origem where the oxygen and water pressures were extremely low, either comparable to an ultra-high vacuum or with an excess of hydrogen.

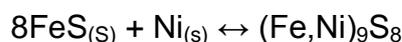
Os sulfetos formam uma importante classe de minerais acessórios nos sideritos. A troilita (FeS) é um dos componentes mais comuns dos meteoritos metálicos. Este sulfeto de ferro é hexagonal e semelhante ao mineral terrestre conhecido como pirrotita (Fe<sub>1-x</sub>S), porém não é magnética e não possui deficiência de ferro (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 114).

Segundo Buchwald (1977), o enxofre está presente na solução sólida das fases metálicas na forma de troilita e outros sulfetos. Nódulos de FeS são geralmente envoltos de cristais de schreibersita, e muitos autores consideram que esses minerais foram formados por exsolução<sup>40</sup> do resfriamento da troilita. Muitas linhas de evidências sugerem, entretanto, que eles foram formados por exsolução da fase metálica e que a troilita serve principalmente para prover núcleos heterogêneos para a precipitação de carbeto e fosfeto.

Segundo Lewis (2004), em temperaturas próximas a 2000K (~1727°C), o enxofre (S) é largamente encontrado como sulfeto de silício (SiS) e o radical sulfidril (SH). Sulfetos sólidos de silício são muito instáveis, e por isso, SiS não condensa. Durante o resfriamento SiS e SH são convertidos em gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). O primeiro e mais importante sulfeto a se formar é a troilita, que é produzida pela reação do ferro metálico com o H<sub>2</sub>S em temperaturas abaixo de 680K (~407°C). Troilita — ferro e enxofre na proporção 1:1 — não deve ser confundida com o mineral terrestre pirrotita, no qual há deficiência de Fe, pois FeS é formada na presença de ferro e não pode apresentar tal deficiência. A reação pela qual a troilita se forma é:



A pentlandita ((Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>) é um outro sulfeto comum encontrado nos meteoritos metálicos, geralmente associado à troilita, pois é um mineral secundário do FeS (BUCHWALD, 1975). O níquel da fase metálica reage com o FeS, formando a pentlandita (LEWIS, 2004), segundo a seguinte reação:




---

<sup>40</sup> Processo em que um sólido originalmente homogêneo em solução sólida se separa em um ou mais minerais cristalinos.

No momento em que os meteoritos metálicos chegam na Terra, começa o processo de corrosão, que depende da profundidade em que o fragmento meteorítico está enterrado, a homogeneidade e porosidade do solo, entre outros fatores. A magnetita ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é um dos minerais secundários mais comuns encontrados em massa meteoríticas devido ao processo de oxidação (BUCHWALD, 1977). Este mineral se forma por pressão superficial e oxidação dos sideritos durante a passagem atmosférica, criando a crosta de fusão. O óxido penetra pelas trincas que surgem na massa em consequência das fortes pressões atmosféricas sofridas pelo meteorito (ZUCOLOTTO *et al.*, 2013, p. 142). Este efeito pode ser observado pela foto, em microscópio óptico, do meteorito. Na Figura 32 é possível visualizar a magnetita — caracterizada pela coloração mais escura — penetrando na fase metálica do fragmento meteorítico.

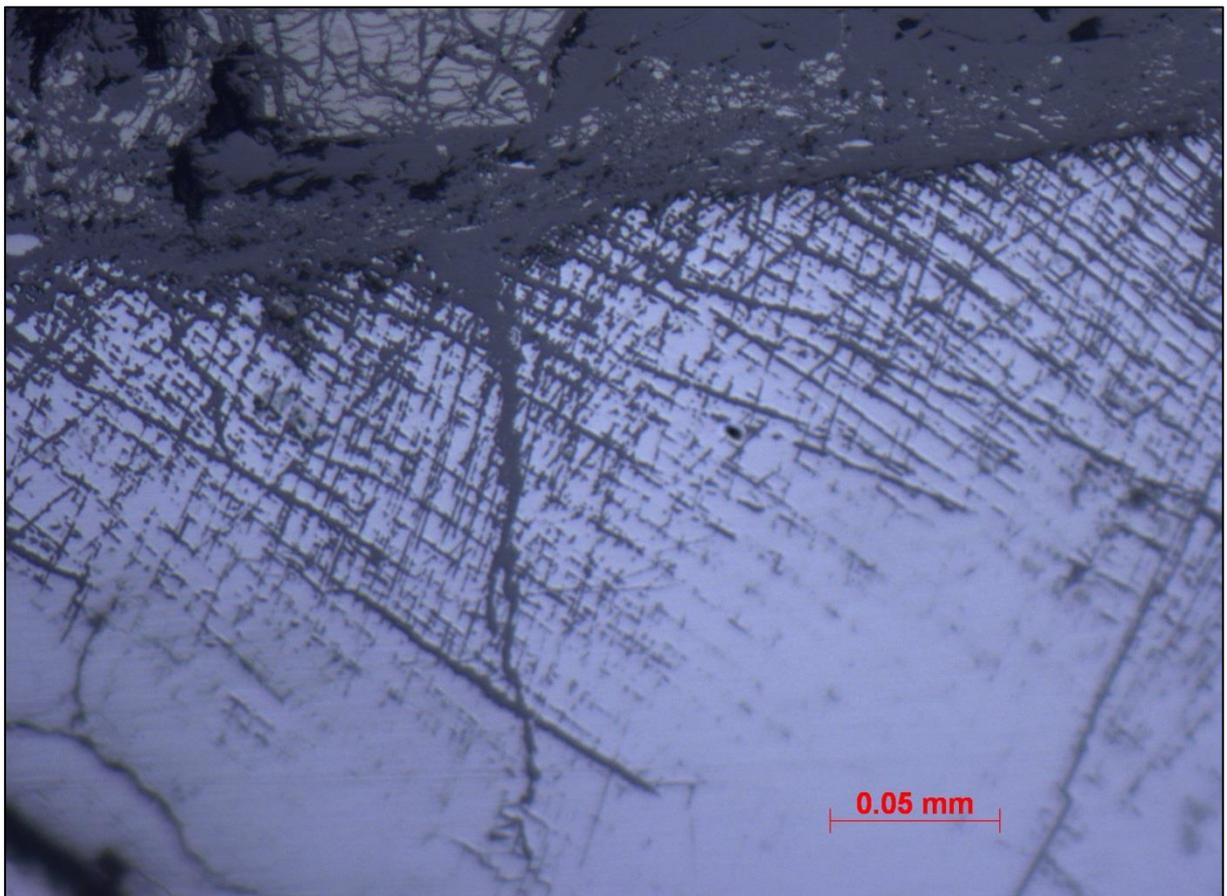


Figura 32: Foto em microscópio óptico da magnetita penetrando na fase metálica  
Fonte: Elaborada pela autora

No fragmento do meteorito Santa Catarina analisado foi identificado cristais de pentlandita — resultados analíticos na Tabela 11 — associados à troilita —

resultados na Tabela 10 —, em meio a magnetita — resultados na Tabela 9. A Figura 33 contém a imagem desses três minerais. A Figura 34 é uma foto comparativa desta mesma região em microscópio óptico.

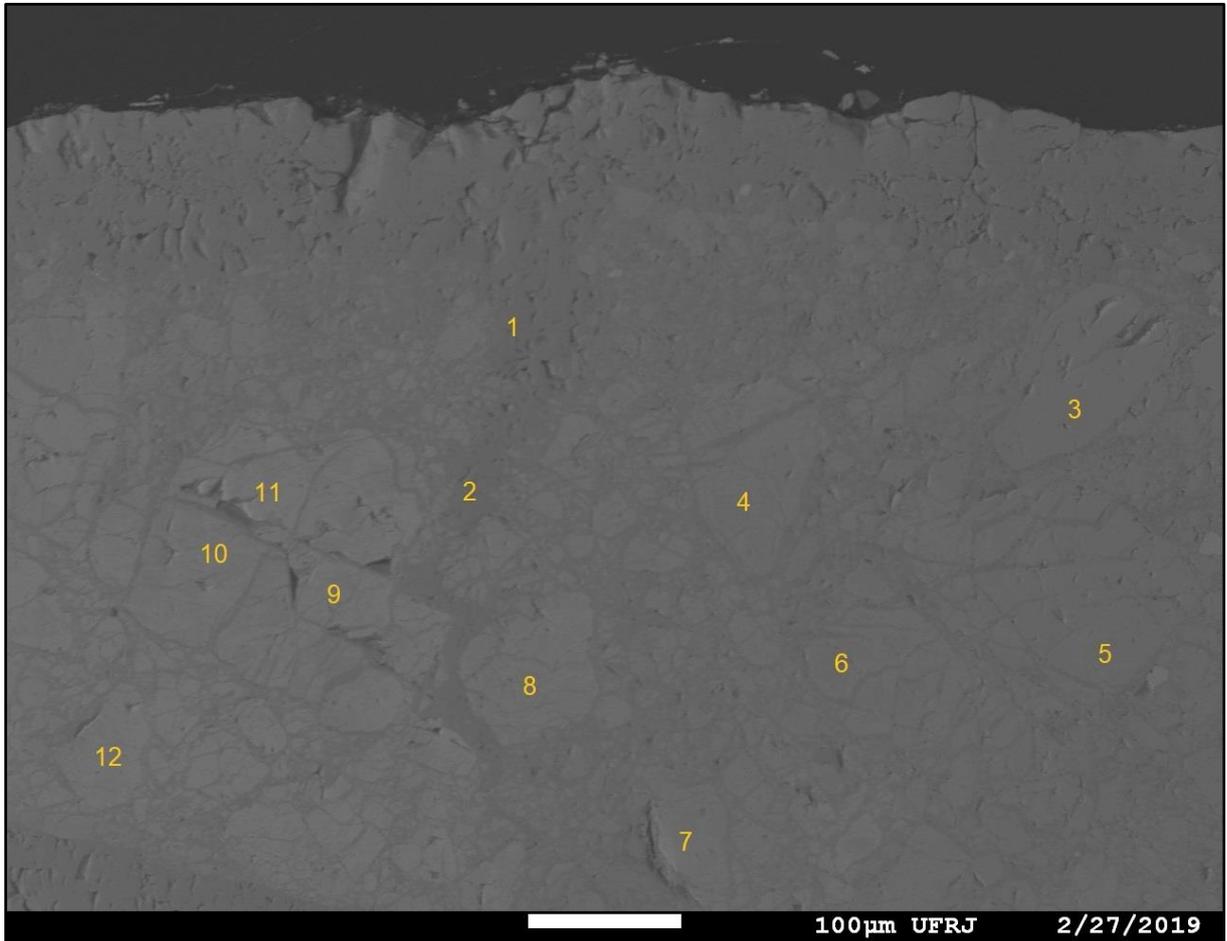


Figura 33: Imagem por elétrons retroespalhados contendo troilita, pentlandita e magnetita  
Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 9: Análises químicas da magnetita na forma de óxido

Nº	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	SO <sub>3</sub>	CoO	SiO <sub>2</sub>	Total
1	0	90,44	0	0,284	1,59	0,519	0,005	92,838
2	0	92,416	0	0	0,126	0,039	0	92,581

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 10: Análises químicas da troilita

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
3	0,008	0,368	62,458	0	0,02	36,161	0,031	0,007	99,053
5	0,004	0,28	61,918	0,001	0,181	35,911	0,102	0,001	98,398
11	0	0,432	62,421	0	0,48	35,764	0,045	0,003	99,145

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 11: Análises químicas da pentlandita

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
4	0	0,581	32,71	0,02	28,365	32,668	4,409	0	98,753
6	0	0,703	44,295	0,003	17,212	33,683	2,292	0	98,188
7	0	0,54	35,447	0,006	25,938	32,521	3,893	0,005	98,35
8	0	1,059	6,948	0,001	60,752	28,184	3,123	0,003	100,07
9	0	1,143	15,412	0	52,428	28,918	1,051	0,005	98,957
10	0	0,723	14,861	0,008	51,162	29,95	2,877	0	99,581
12	0	0,753	5,183	0,003	65,751	27,953	1,159	0	100,80

Fonte: Elaborada pela autora

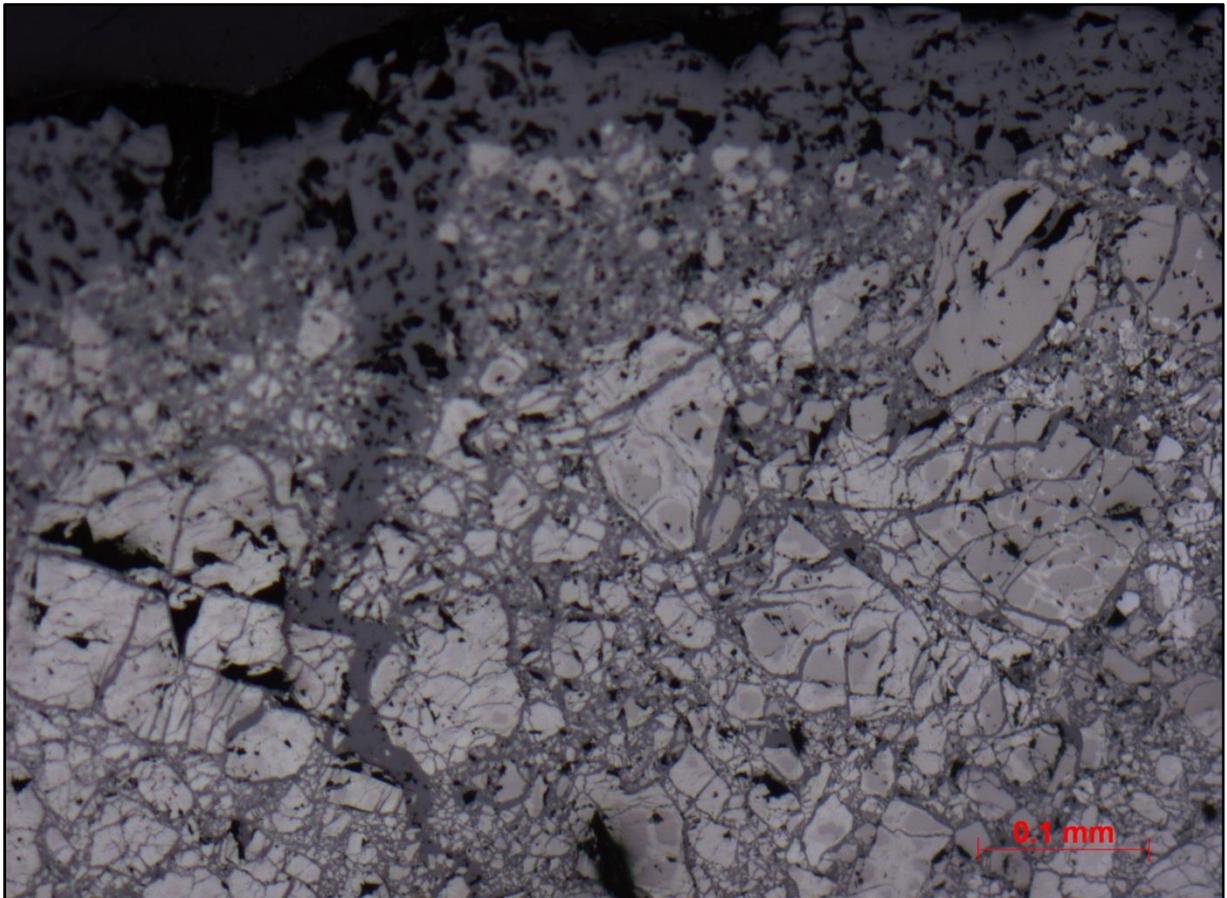


Figura 34: Foto em microscópio óptico contendo troilita, pentlandita e magnetita  
 Fonte: Elaborada pela autora

A magnetita também foi encontrada como um veio em uma fase contendo apenas troilita — imagem na Figura 35 e resultados analíticos nas Tabelas 12 (magnetita) e 13 (troilita) — e preenchendo rachaduras na fase metálica — imagem na Figura 36 e resultados na Tabela 14. Segundo Tassel *et al.* (1992), veios de troilita e rachaduras preenchidas por magnetita foram identificados na fase metálica

do meteorito Santa Catarina. A Figura 37 é uma foto comparativa feita em microscópio óptico do veio de magnetita em troilita.

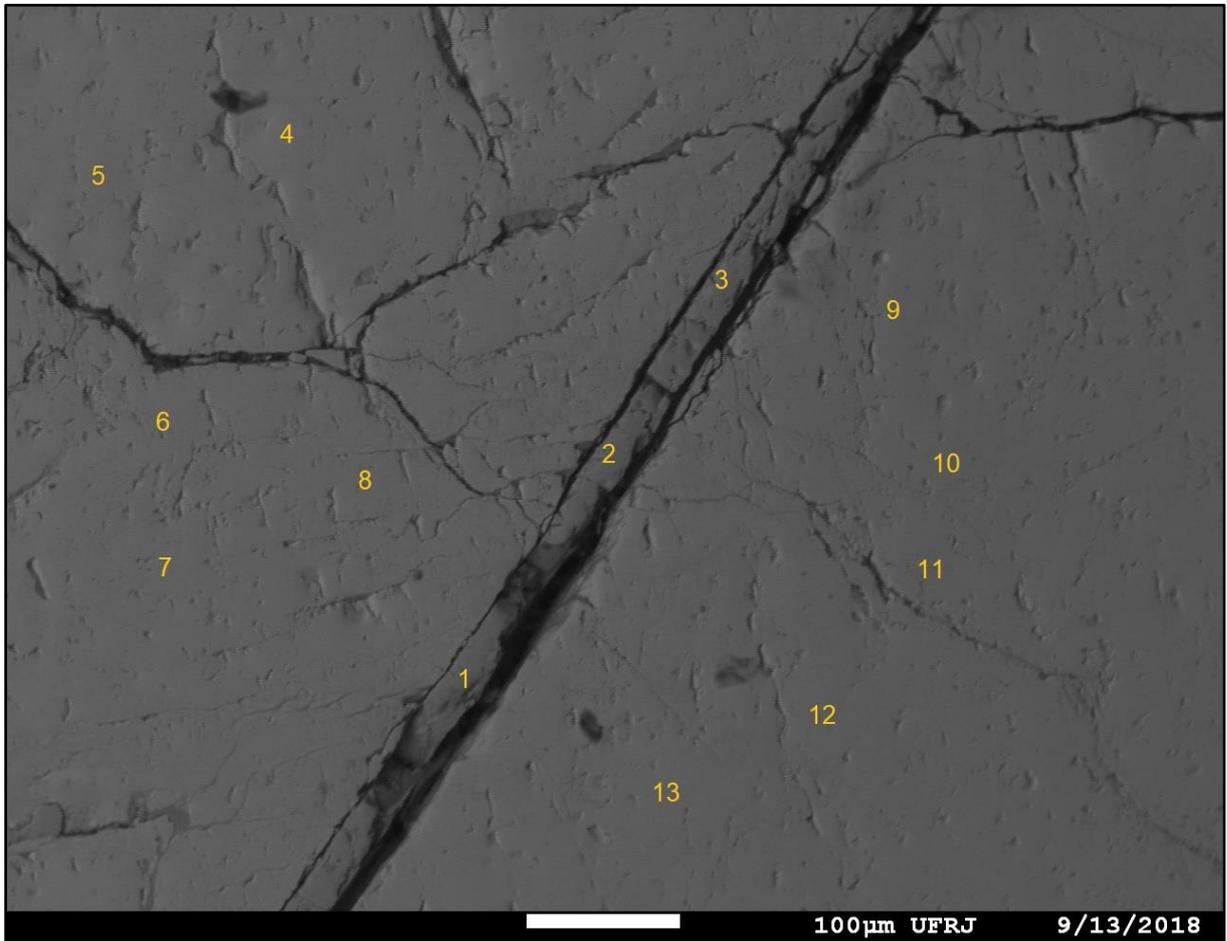


Figura 35: Imagem por elétrons retroespalhados contendo veio de magnetita na troilita  
Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 12: Análises químicas da magnetita em forma de óxido em uma fase de troilita

Nº	P2O5	FeO	Cr2O3	NiO	SO3	CoO	SiO2	Total
1	0,075	91,421	0	0,03	0,253	0	0	91,779
2	0,058	91,726	0,024	0,024	0,276	0,076	0,02	92,204
3	0,017	92,629	0,007	0	0,213	0,023	0	92,889

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 13: Análises químicas da fase de troilita

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
4	0	62,668	0,001	0	35,964	0,011	0	98,644
5	0	62,37	0,004	0	35,773	0,006	0,005	98,158
6	0,005	62,508	0,01	0,001	35,518	0	0,004	98,046
7	0	62,664	0,022	0	35,778	0	0,004	98,468
8	0	62,083	0	0,01	36,221	0	0,005	98,319
9	0	62,75	0	0,029	36,063	0,039	0	98,881
10	0,014	61,919	0	0	35,872	0,02	0	97,825
11	0	62,395	0	0,01	35,998	0,021	0	98,424
12	0	61,727	0,013	0	35,964	0	0,002	97,706
13	0	62,359	0	0	35,866	0,037	0,006	98,268

Fonte: Elaborada pela autora

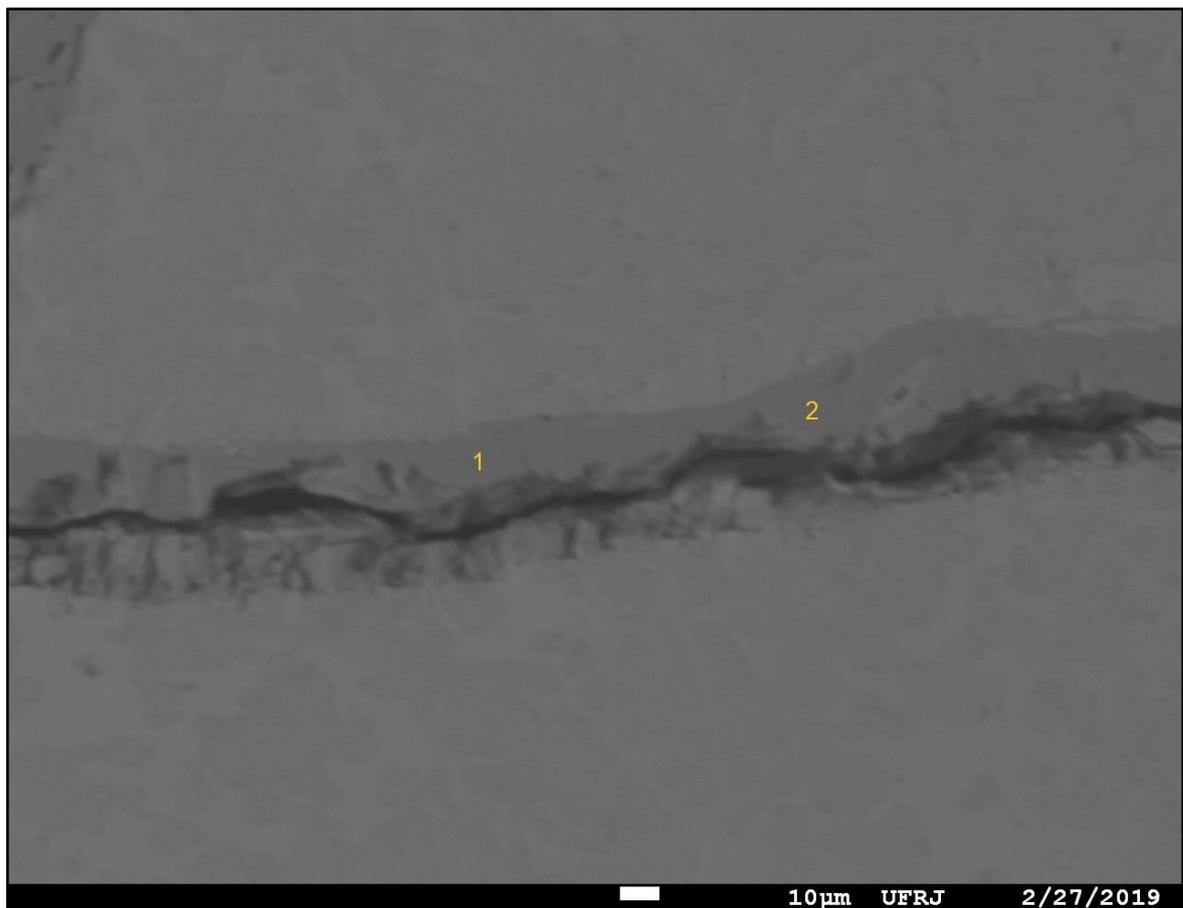


Figura 36: Imagem por elétrons retroespalhados de rachaduras na fase metálica preenchidas com magnetita

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 14: Análises químicas da magnetita em forma de metal

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
1	0,052	30,863	69,034	0	0,221	0,151	0,016	0	100,34
2	0	29,233	69,651	0	0,387	0,067	0,015	0	99,353

Fonte: Elaborada pela autora

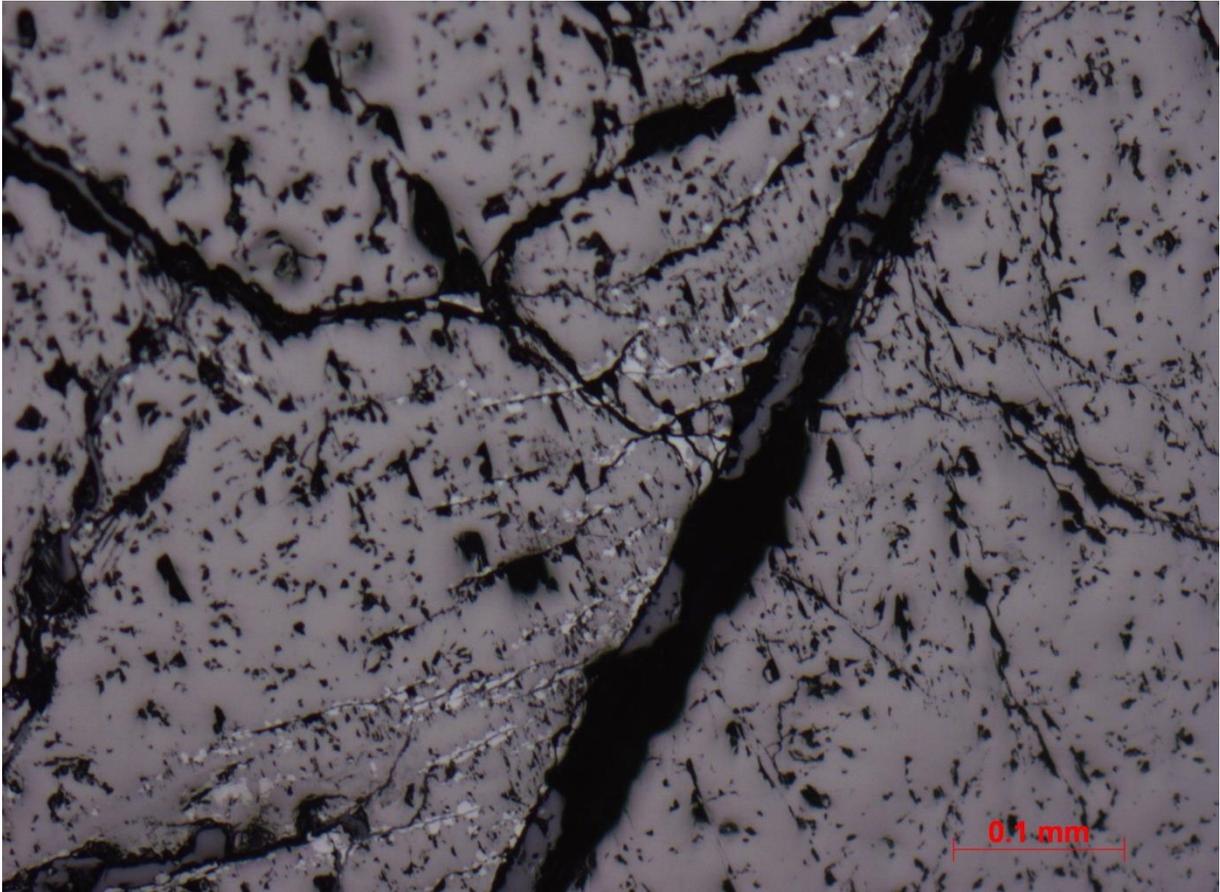


Figura 37: Foto em microscópio óptico do veio de magnetita em troilita

Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se observar que as análises químicas da magnetita nas Tabelas 9 e 12 foram feitas na forma de óxidos. A fórmula da magnetita é  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  e os resultados ficam disponíveis apenas na forma de óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ). A conversão dos resultados de  $\text{Fe}^{+3}$  para  $\text{Fe}^{+2}$  pelo software da microsonda eletrônica faz com que se tenha um fechamento em torno de 92%, ao invés de 100%.

Já na Tabela 14 os resultados da magnetita estão na forma de metais, e por isso, apresentam um fechamento próximo de 100%. Estas análises foram feitas após a adequação da microsonda para analisar oxigênio, com as devidas padronizações, a fim de identificar o oxigênio da tetrataenita, conforme discutido anteriormente.

As porcentagens obtidas para os elementos químicos na troilita e na pentlandita não representam as razões entre os números dos diferentes átomos, pois os elementos químicos têm diferentes pesos atômicos (KLEIN e DUTROW, 2009). Por exemplo, a troilita possui ferro e enxofre na proporção de 1:1, logo, as proporções atômicas dos resultados obtidos para a troilita devem ter a razão de Fe/S igual a 1.

As proporções atômicas são obtidas dividindo a porcentagem obtida para cada elemento químico por seu peso atômico (KLEIN e DUTROW, 2009). As razões Fe/S para os cristais de troilita analisados ficaram todas próximos de 1, confirmando, portanto, a presença de FeS no meteorito Santa Catarina.

Para a pentlandita, cuja fórmula mais comum é  $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ , a soma das proporções atômicas dos átomos de ferro e níquel dividida pela proporção atômica do enxofre deve ser próxima de 1,125, pois a razão  $\text{Fe}+\text{Ni}/\text{S}$  é 1,125, ou seja, 9/8. Entretanto, segundo Anthony *et al.* (1990), o cobalto pode estar presente na pentlandita, modificando a fórmula para  $(\text{Fe,Ni,Co})_9\text{S}_8$ , logo a proporção atômica do Co deve ser considerada.

Os cristais de pentlandita da Tabela 11 numerados com 4, 6 e 7 obtiveram a razão esperada em torno de 1,1. Já os números 8, 9 e 10 apresentam uma razão de 1,3 e o cristal de número 12 ficou com uma razão de 1,4. Apesar de algumas razões estarem acima da média, pode-se verificar que parte da troilita do meteorito Santa Catarina foi alterada para a pentlandita. Segundo Buchwald (1975), análises no meteorito Santa Catarina identificaram que a troilita estava fortemente alterada para pentlandita.

Análises feitas no final do século XIX também identificaram a troilita, que foi confundida com pirrotita, e a magnetita.

Uma outra característica muito notável das amostras que chegaram até a mim, é que o ferro nativo está envolvido, em grande parte em sua superfície natural, por um revestimento escuro, muito fino, que se forma como a crosta e que tem as características do óxido de ferro magnético ou magnetita. A pirrotita está também recoberta por um revestimento semelhante à magnetita, que apresenta as mesmas características cristalinas aplicadas no ferro<sup>41</sup> (DAUBRÉE, 1877, p. 485).

---

<sup>41</sup> Um autre caractere très-remarquable des échantillons qui me sont parvenus, c'est le fer natif est enveloppé, sur une grande partie de sa surface naturelle, par un enduit noir, très-mince, qui em forme comme la croûte et qui a les caracteres de l'oxyde de fer magnétique ou magnetite. La pyrrhotine est également recouverte d'un enduit semblable de magnetite, que presente le même caractere cristallin que celui qui s'est appliqué sur le fer.

#### 4.4 MINERAIS FOSFATADOS

Os minerais schreibersita e rhabdita são os fosfetos mais comuns encontrados nos meteoritos metálicos, ambos possuem a fórmula química  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ , mas se distinguem em relação ao formato dos cristais. As schreibersitas apresentam um formato irregular, enquanto que as rhabditas são romboédricas regulares (ZUCOLOTTO et al., 2013, p. 140). Segundo Doan e Goldstein (1969), esses minerais se formam quando os meteoritos se resfriam dentro de seus corpos parentais.

Foram identificados cristais de rhabdita e schreibersita, expostos nas Figuras 38 e 39, respectivamente. As rhabditas — resultados na Tabela 15 — estavam próximas aos cristais de troilita e magnetita — resultados na Tabela 16. Segundo Buchwald (1975), “a troilita é um substrato para a precipitação de fosfetos”. As schreibersitas — resultados na Tabela 18 —, por sua vez, estavam inclusas na fase metálica, em meio a taenita — resultados na Tabela 17. As Figuras 40 e 41 são fotos comparativas feitas em microscópio ópticos dos cristais de rhabdita e schreibersita, respectivamente.

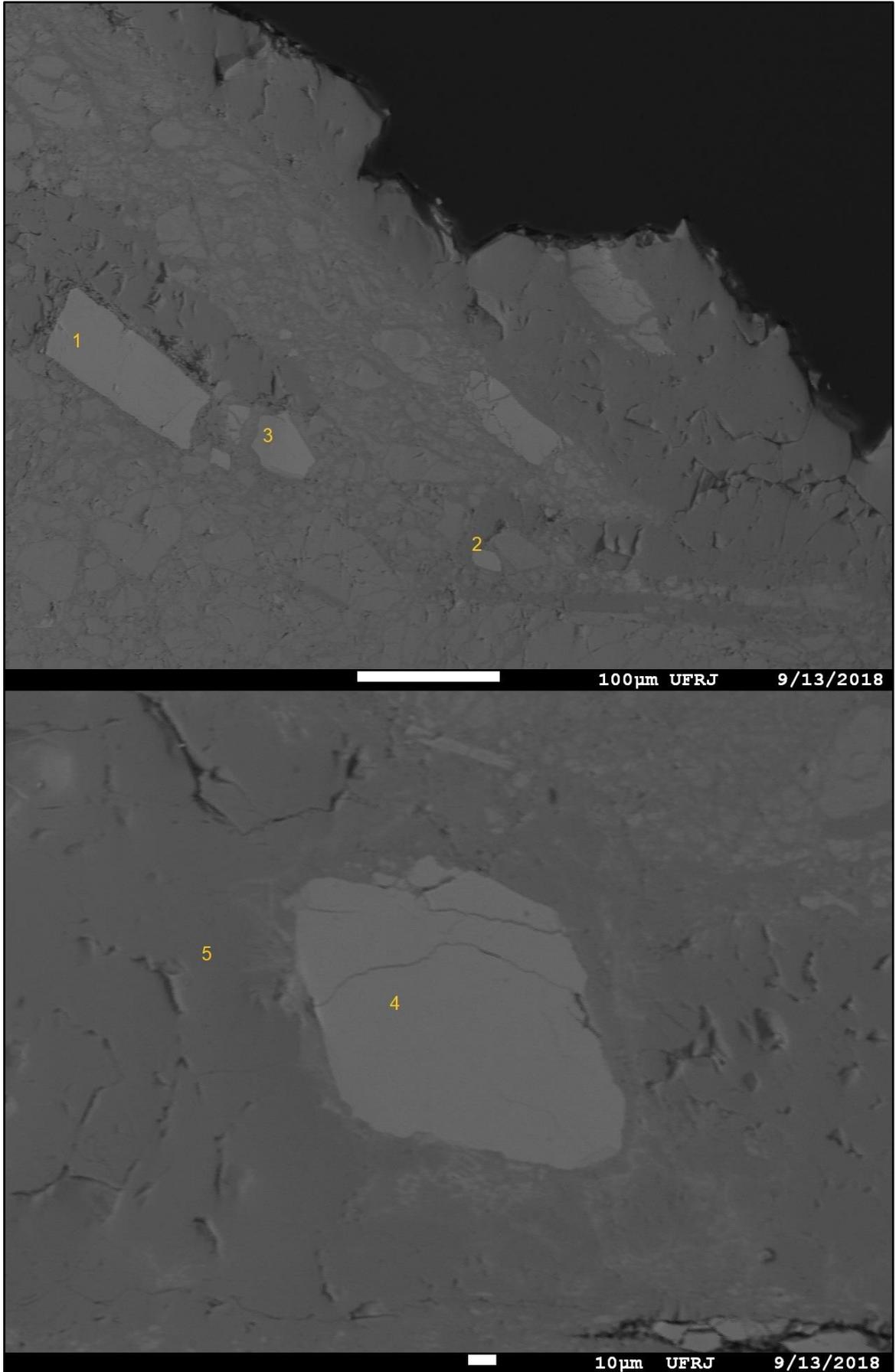


Figura 38: Imagem por elétrons retroespalhados contendo cristais de rhabdita  
Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 15: Análises químicas dos cristais de rhabditas

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
1	14,732	51,065	0	33,438	0,07	0,372	0,002	99,679
2	14,727	48,965	0,007	35,319	0,043	0,383	0	99,444
3	14,828	50,646	0	33,827	0,053	0,447	0,004	99,805
4	14,927	45,99	0,008	39,349	0,039	0,347	0,003	100,66

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 16: Análise química da magnetita próxima à rhabdita

Nº	P	O	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
5	0	28,827	70,391	0	0,031	0,016	0,01	0,002	99,277

Fonte: Elaborada pela autora

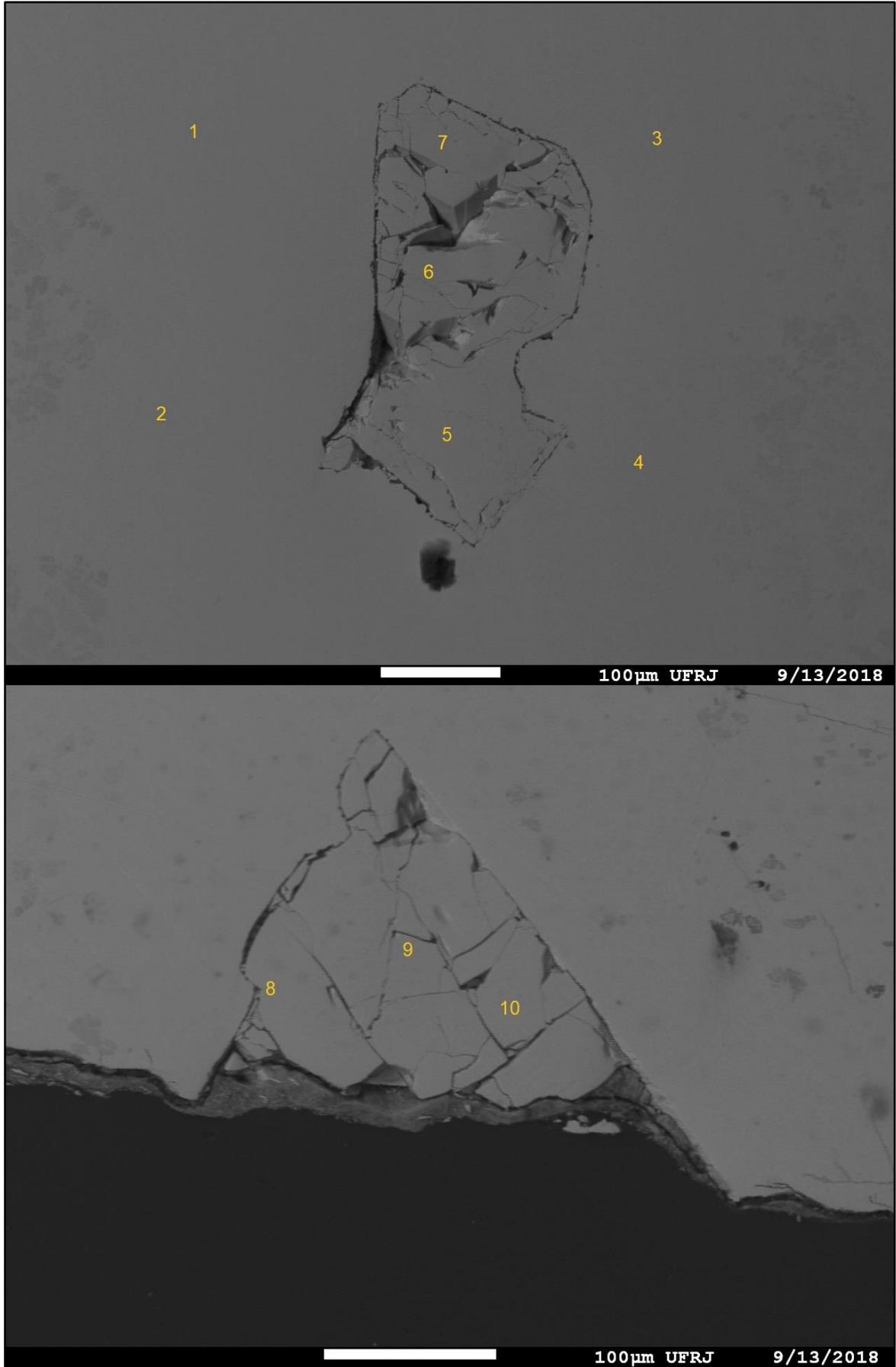


Figura 39: Imagem por elétrons retroespalhados contendo cristais de schreibersita  
Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 17: Análises químicas da fase metálica (taenita) próxima à schreibersita

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
1	0,034	65,817	0,004	32,774	0,012	0,323	0	98,964
2	0,002	66,525	0	33,213	0,009	0,334	0,003	100,086
3	0,098	65,981	0	33,16	0,008	0,365	0	99,612
4	0,043	65,788	0	33,108	0,005	0,385	0	99,329

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 18: Análises químicas dos cristais de schreibersita

Nº	P	Fe	Cr	Ni	S	Co	Si	Total
5	14,69	52,075	0,019	31,908	0,037	0,39	0	99,119
6	14,741	52,391	0	32,089	0,046	0,34	0,005	99,612
7	14,799	52,582	0	32,168	0,044	0,299	0	99,892
8	15,017	52,251	0	31,718	0,027	0,332	0	99,345
9	14,652	52,268	0	31,821	0,04	0,377	0	99,158
10	14,508	51,024	0,011	33,562	0,042	0,39	0	99,537

Fonte: Elaborada pela autora

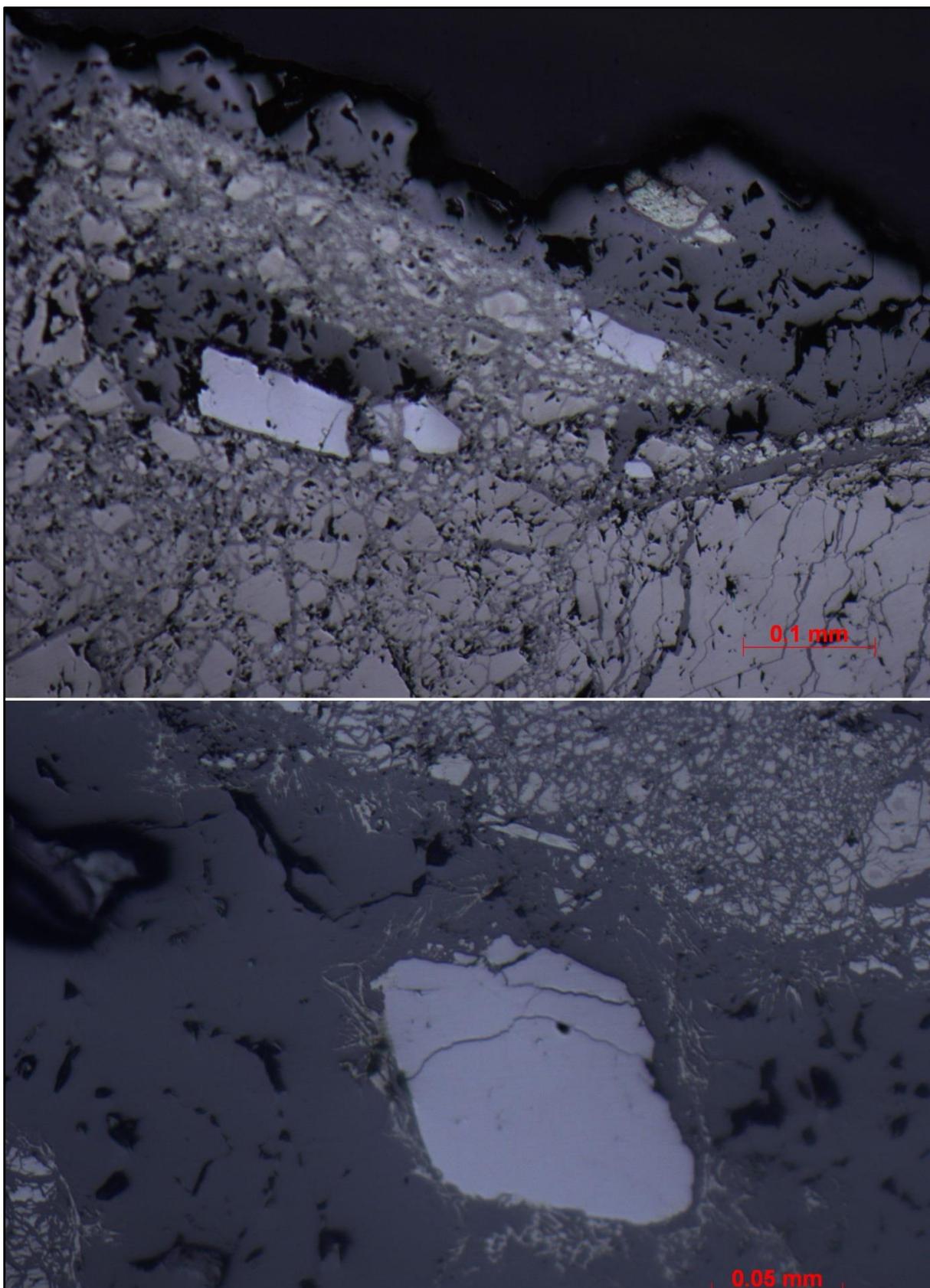


Figura 40: Foto em microscópio óptico dos cristais de rhabdita  
Fonte: Elaborada pela autora

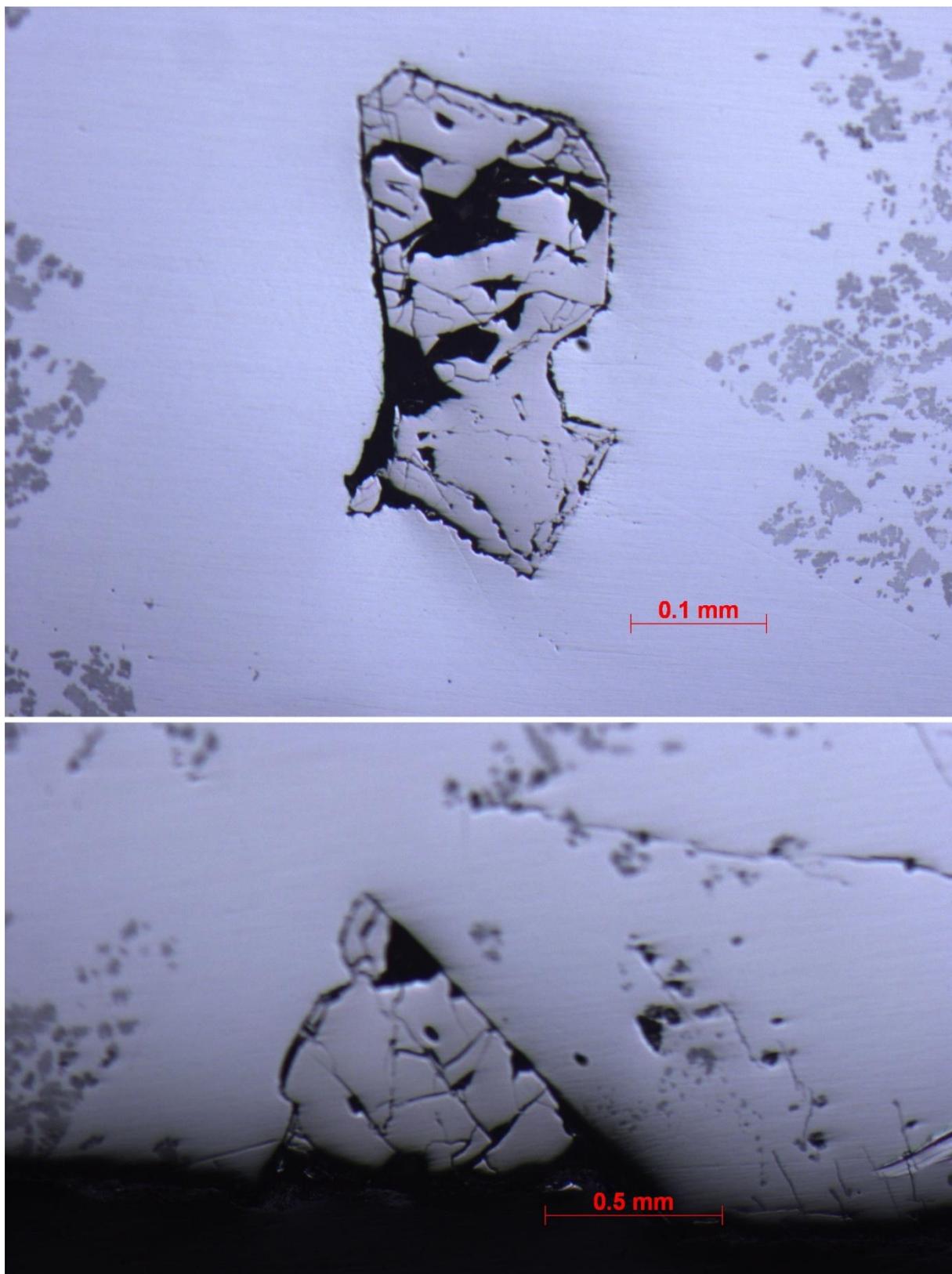


Figura 41: Foto em microscópio óptico dos cristais de schreibersita  
Fonte: Elaborada pela autora

Outros estudos também identificaram a precipitação de fosfetos na matriz da taenita do meteorito Santa Catarina. Zhang *et al.* (1990) e Tassel *et al.* (1992),

identificaram schreibersitas, enquanto que Axon e Smith (1972) revelaram a presença de rhabditas na matriz metálica. Analisando os resultados químicos obtidos, tanto para os cristais de schreibersita quanto para as rhabditas, observa-se que a soma das proporções atômicas dos átomos de Fe e Ni dividida pela proporção atômica do fósforo foi três (3) em todos os pontos analisados, conforme previsto pela fórmula química destes minerais:  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ .

Segundo Buchwald (1975), o mineral rhabdita foi descoberto por Gustav Rose (18/03/1798 – 15/07/1873). Nos textos publicados no *Comptes Rendus* sobre pesquisas do meteorito Santa Catarina, Daubrée resalta a descoberta de um fosfeto de ferro e níquel. Provavelmente, o fosfeto sinalizado pelo estudioso correspondia aos cristais de schreibersita e rhabdita.

O fosfeto de ferro e de níquel que Guignet, também, me enviou, embora em pouca quantidade, é o resíduo do tratamento de vários quilogramas de ferro. O fosfeto, um branco prateado e muito fortemente atraído por uma barra magnética, parece estar sendo, no Rio de Janeiro, assunto de análise, não estou me ocupando de sua composição. Só vou apontar que algumas partes presentes nas formas cristalinas estão mal definidas. Sabemos que este é também o sistema cristalino do fosfeto de ferro e de níquel disperso em alguns ferros meteoríticos, que Gustav Rose denomina de rhabdita<sup>42</sup> (DAUBRÉE, 1877, p. 1509).

A literatura considera que um erro de  $\pm 2\%$  representa um valor realístico para as análises em WDS por microsonda eletrônica (GOMES, 2015, p. 165).

No próximo capítulo será tratado as diferenças entre as técnicas analíticas atuais (microsonda eletrônica) e as utilizadas no final do século IX para análises químicas de meteoritos.

---

<sup>42</sup> Le phosphore de fer et de nickel que M. Guignet a également bien voulu m'adresser, quoique em faible quantité, est le résidu du traitement de plusieurs kilogrammes de fer. Ce phosphore, d'un blanc d'argent et très-fortement attirable au barreau aimanté, paraissant devoir être, à Rio-de-Janeiro, l'objet d'une analyse, je n'ai pas à m'occuper de sa composition. Je ferai seulement remarquer que certaines parties présentent des formes cristallines assez mal définies. On sait que tel est aussi le système cristallin du phosphore de fer et de nickel disseminé dans certains fers météoriques, auquel Gustave Rose a donné le nom de rhaddite.

## 5 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA ANÁLISE QUÍMICA DE METEORITOS: VIA ÚMIDA E EPMA

### 5.1 COMPARAÇÃO ENTRE A TÉCNICA ANALÍTICA DE VIA ÚMIDA E EPMA

A técnica analítica de microsonda eletrônica nasceu com os estudos de Castaing (1952), nos quais o estabelecimento de muitos dos princípios analíticos e teóricos da técnica permitiu a construção do primeiro equipamento. O início da comercialização se deu na década de 60, impactando tremendamente as pesquisas em materiais geológicos, inclusive de origem extraterrestre (MCGEEN & KEIL, 2001).

Antes da disponibilidade da microsonda eletrônica, as análises químicas eram feitas através da separação dos minerais de suas rochas matrizes, e então, analisadas por via úmida por gravimetria (MCGEEN & KEIL, 2001). Este método analítico foi utilizado pelo mineralogista Alexis Damour para análise química de amostras do meteorito Santa Catarina, publicadas no *Comptes Rendus* de 1877.

Os métodos gravimétricos são quantitativos e se baseiam na determinação da massa de um composto puro ao qual o analito está quimicamente relacionada. Na gravimetria por precipitação, o analito é separado de uma solução da amostra como um precipitado e é convertido a uma espécie de composição conhecida que pode ser pesada (SKOOG *et al.*, 1997). A seguir são expostas as análises químicas por gravimetria para o fósforo e níquel feitas por Damour em fragmentos do meteorito Santa Catarina.

Na pesquisa do fósforo, o metal foi dissolvido em ácido nítrico. O nitrato férrico foi evaporado até a secura em uma cápsula de platina, e o resíduo foi aquecido até que apresentasse uma coloração vermelha: em seguida o misturamos com carbonato de sódio e potássio. O sólido resultante foi lavado com água quente. Os óxidos de ferro e níquel permaneceram insolúveis: a solução alcalina manteve o fósforo na forma de fosfato. A solução foi supersaturada com ácido nítrico, e adicionamos molibdato de amônia. O precipitado formado serve para determinar a proporção de fósforo contido no metal<sup>43</sup> (DAMOUR, 1877, p. 481).

---

<sup>43</sup> Quant à la recherche du phosphore, on a dissous le métal dans l'acide nitrique. Le nitrate ferrique a été évaporé à siccité dans une capsule en platine, et le résidu chauffée jusqu'au rouge naissant: puis on l'a mêlé avec du carbonate de soude et de potasse. On a repris la massa par l'eau chaude. Les oxydes de fer et de nickel sont restés insolubles: la liqueur alcaline retenait le phosphore à l'état de phosphate. On a sursaturé cette liqueur avec l'acide nitrique, et l'on y a versé du molybdate d'ammoniaque. Le phosphate amoníaco-molybdique, qui s'est déposé, a servi à déterminer la proposition du phosphore contenue dans le metal.

O níquel foi separado do ferro, dissolvendo-se a liga de ambos metais em água régia. A solução ácida foi saturada com carbonato de sódio e óxido férrico foi precipitado. Aquecemos até o ponto de ebulição. O óxido de níquel permaneceu na solução, após filtração e separação do óxido férrico. O óxido de níquel reduzido por hidrogênio nos dá a proporção de níquel metálico contido na liga analisada<sup>44</sup> (DAMOUR, 1877, p. 481).

A técnica de microsonda eletrônica impactou tremendamente as pesquisas em materiais geológicos. A aplicação desta técnica analítica apresentava diversas vantagens em relação às análises por via úmida, fazendo com que um grande número de minerais pudesse ser descoberto (MCGEEN & KEIL, 2001). De 1962 até 1997, o número de minerais descobertos em meteoritos passou de 38 para 295 (RUBIN, 1977)

Dentre algumas vantagens da microsonda eletrônica em relação à análise por via úmida, destacam-se:

1) Em relação à análise química: a EPMA permite análises qualitativas e quantitativas de grãos de minerais individuais em escala de micrômetros de diâmetro, enquanto análises por via úmida fornecem a química total (MCGEEN & KEIL, 2001);

2) Em relação aos recursos complementares: a EPMA fornece alta resolução das imagens por elétrons retroespalhados, permitindo contraste de acordo com o número atômico, facilitando a identificação de áreas de diferentes composições (MCGEEN & KEIL, 2001). Análises por via úmida não fornecem nenhum recurso complementar;

3) Em relação à preservação da amostra: a EPMA é uma técnica analítica não destrutiva, permitindo que a amostra possa ser analisada por outros métodos, como a microsonda iônica. E a por via úmida é destrutiva (MCGEEN & KEIL, 2001);

4) Em relação ao tempo de análise: a EPMA pode realizar um grande número de análises quantitativas em um tempo relativamente curto, uma única análise de um mineral pode ser obtida em minutos. A análise por via úmida passa por várias etapas, podendo demorar horas ou até dias (MCGEEN & KEIL, 2001);

5) Em relação ao custo: este parâmetro é o único que a microsonda eletrônica apresenta desvantagem em comparação à técnica de via úmida, pois para

---

<sup>44</sup> Le nickel a été séparé du fer en dissolvant l'alliage des deux métaux dans l'eau régale, saturant la liqueur acide par le carbonate de soude et précipitant l'oxyde ferrique. On a chauffé jusqu'au degré d'ébullition. L'oxyde de nickel resté dans la liqueur, après filtration et séparation de l'oxyde ferrique. L'oxyde de nickel réduit par l'hydrogène a donné la proportion de nickel métallique contenue dans l'alliage analysé.

a implementação da EPMA é necessário um investimento inicial alto para compra da instrumentação, assim como, adequação do espaço físico e dos recursos humanos. Já a metodologia por via úmida depende principalmente de recursos humanos qualificados, ou seja, da experiência do analista, podendo ser realizada com reagentes e materiais usuais de um laboratório de química analítica.

## 5.2 TÉCNICA ANALÍTICA DE MICROSSONDA ELETRÔNICA

A técnica analítica de microsonda eletrônica se baseia na identificação das linhas de emissão de raios X produzidas pelo impacto de um feixe de elétrons. Cada elemento químico emite diversas linhas de comprimento de onda bem definidas, denominados de radiação do característico (GOMES, 2015, p. 27).

Raios X são radiações eletromagnéticas de alta intensidade formadas a partir da excitação de átomos (ou íons) no interior de uma fonte selada e mantida em alto vácuo, que consiste essencialmente em um filamento aquecido (catodo) funcionado como fonte de elétrons, e de um alvo (anodo) de natureza diversa (cobre, molibdênio, etc.). Se for aplicada uma diferença de potencial entre eles, os elétrons gerados do catodo serão acelerados em direção ao anodo, havendo a transformação de energia cinética em calor e, em menor proporção, em raios X (GOMES, 2015, p. 28).

Na análise por microsonda, a amostra é bombardeada por um feixe de elétrons com energia suficiente para criar vacâncias na estrutura do átomo, provocando a ejeção de um elétron das camadas mais internas. Este processo faz com que o átomo fique instável, provocando transições eletrônicas de diferentes níveis, levando à formação de linhas de emissão de raios X (GOMES, 2015, p. 31).

Como no interior do átomo os elétrons ocupam níveis energéticos bem definidos, a energia do fóton emitido (comprimento de onda) é fixa, e portanto, todos os átomos do mesmo elemento emitirão radiação correspondente a um dado valor de comprimento de onda para a mesma transição eletrônica. Contudo, como a carga positiva do núcleo é variável de um elemento para outro, tem-se que diferentes elementos emitirão valores distintos de comprimento de onda para a mesma transição eletrônica. A análise química com a microsonda eletrônica requer a determinação do comprimento de onda e da intensidade da radiação do característico de raios X gerado na amostra (GOMES, 2015, p. 32).

Na figura 42, observa-se um esquema dos componentes necessários para o funcionamento de um equipamento de microsonda eletrônica, são eles:

- 1) Revólver eletrônico (RE), onde ocorre a geração dos elétrons;
- 2) Lentes eletromagnéticas (LE), que controlam o diâmetro do feixe eletrônico, a intensidade da sua corrente e a focalização do feixe na superfície da amostra;
- 4) Microscópio óptico (MO), sendo fundamental para aplicações da área de geologia;
- 5) Espectrômetro de dispersão de comprimentos de onda (WDS: *wavelength-dispersive system*) e de dispersão de energia (EDS: *energy-dispersive system*), que são definidos como sistema de análise e detecção de dados, com base nos valores de comprimento de onda e intensidade da radiação gerada, respectivamente;
- 6) Detectores de imagens de elétrons secundários (ES) e de elétrons retroespalhados (ER), sendo o sistema de apresentação de imagens;
- 7) Bomba de vácuo iônica (BI) e bomba de vácuo termomolecular (BTM), que compõem o sistema de vácuo;
- 8) Válvula de isolamento (V), cristal analisador (C), câmara de amostra (CA), amostra (A) e detector (D) completam os componentes necessários para o funcionamento de um equipamento de microsonda eletrônica (GOMES, 2015, p. 39-40).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho sobre o meteorito Santa Catarina revelou diversos documentos históricos, como as notícias de jornais e as publicações do *Comptes Rendus*, que ao serem analisados, fornecem os elementos essenciais para a compreensão dos fatos envolvidos da sua descoberta a sua destruição.

Da sua descoberta até a sua destruição, alguns personagens importantes da história brasileira estiveram envolvidos com o meteorito Santa Catarina, dentre os quais, destacam-se: o presidente da então província de Santa Catarina — João Thomé da Silva — que requisitou maiores informações sobre os fragmentos a fim de repassá-las ao governo imperial para a liberação da exploração mineral; o primeiro engenheiro negro do Brasil — André Rebouças — que entregou amostras aos professores da Escola Polytechnica do Rio de Janeiro; e o imperador Dom Pedro II, que tomou conhecimento do achado através de uma carta do professor Guignet. Além desses, cientistas franceses renomados, como o geólogo Gabriel Auguste Daubrée, estiveram ativamente envolvidos nas pesquisas e publicações a respeito dessa massa meteorítica.

A história do meteorito Santa Catarina está rodeada por alguns enganos, como confundi-lo com uma jazida mineral, o que originou a requisição para a exploração do minério. Este erro, provavelmente, foi facilitado devido à natureza ocupacional do senhor Manuel Gonçalves da Rosa — um dos descobridores — que já possuía experiência com o comércio exterior de minerais. Outra questão que deve ser contextualizada é a presença de um porto internacional na região — o atual Porto de São Francisco do Sul — que contribuiu para a ida dessa massa meteorítica para a Europa, a fim de retirar o níquel para ser utilizado industrialmente.

O senhor Manuel Gonçalves da Rosa possuía jazidas minerais em São Francisco do Sul, o que, possivelmente, originou um outro erro a respeito do meteorito Santa Catarina: a sua localização. Durante muitos anos, pesquisadores pensaram erroneamente que o Morro da Mina era o local da descoberta por ser uma área de conhecida exploração mineral de um dos descobridores dos fragmentos meteoríticos. Entretanto, através de estudos compilados no presente trabalho, a localidade correta pôde ser identificada.

Os estudos da Escola Polytechnica do Rio de Janeiro revelaram uma quantidade extraordinária de níquel, despertando a curiosidade da comunidade científica sobre a origem terrestre ou extraterrestre do achado. É neste momento que cientistas franceses se interessam pelo meteorito Santa Catarina, promovendo intensos debates e o aprofundamento das pesquisas.

O níquel se tornou importante industrialmente e economicamente, a partir das pesquisas de Faraday, em 1822, que ao tentar reproduzir em laboratório as ligas metálicas de Fe-Ni dos sideritos, criou as ligas de Fe-Ni precursoras do aço inoxidável. Atualmente, cerca de 67% da produção mundial do níquel está alocada para a fabricação dos mais variados tipos de aços inoxidáveis.

A concentração de níquel no meteorito Santa Catarina desempenhou um papel dúbio na sua história. É o teor deste elemento químico que faz com que este siderito seja tão importante cientificamente, já que é a segunda massa meteorítica encontrada na Terra com a maior concentração de Ni. E foi devido a esta mesma quantidade de níquel que os fragmentos foram destruídos no final do século XIX.

As pesquisas realizadas na época da descoberta terminaram tão logo confirmou-se a origem extraterrestre do achado. Porém, os textos publicados no *Comptes Rendus* foram ferramentas essenciais para que o presente estudo pudesse comparar os resultados obtidos no final do século XIX com os atuais, assim como, as técnicas analíticas.

Esta comparação demonstrou que alguns resultados obtidos no presente trabalho ficaram bem próximos daqueles atingidos pelos cientistas franceses, como a concentração do Ni, e que a técnica analítica de microsonda eletrônica é, sem dúvida, a mais adequada para análises químicas de meteoritos, por ser pontual e não destrutiva.

Apesar de a microsonda eletrônica ser, atualmente, a técnica analítica mais adequada para análise química de meteoritos. A comparação entre os resultados obtidos pelos cientistas do final do século XIX e os do presente estudo evidencia o esforço empreendido pelos pesquisadores da época frente a enormes desafios metodológicos. Afinal, eles não tinham acesso a uma gama de conhecimentos disponíveis hoje, e, mesmo assim, seus resultados ficaram semelhantes aos da técnica analítica mais moderna do que tange às análises de fragmentos meteoríticos. Este fato merece ser destacado e enaltecido!

O meteorito Santa Catarina necessita de estudos futuros em relação à presença de quantidades significativas de oxigênio na tetrataenita, que ficaram em aberto no presente trabalho, sendo de natureza ainda desconhecida pela comunidade científica. O que o aprofundamento das pesquisas poderá revelar?

A história do meteorito Santa Catarina mostra quão rico era o acervo original do Museu Nacional. Quantos eventos estavam escondidos por trás de uma única peça. Quantas histórias deixaram de ser contadas, de ser pesquisadas. Análises químicas posteriores ao incêndio são necessárias para determinar se houve algum comprometimento da estrutura cristalina dos fragmentos meteoríticos devido à exposição ao fogo.

Apesar da massa total não existir mais, a pesquisa bibliográfica do presente trabalho sugere que esta é a maior massa meteorítica brasileira com 25.000Kg. E devido a sua grande importância histórica e científica, merece um lugar de destaque na história científica do Brasil. O meteorito Santa Catarina possui as condições necessárias para ser considerado um patrimônio geológico brasileiro, já que a presente investigação é uma contribuição importante para a História das Coleções Meteoríticas do Museu Nacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A REGENERAÇÃO:** JORNAL DA PROVINCIA DE SANTA CATHARINA. Santa Catarina, 26 de abril de 1874, n. 568, p. 3 Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=709603&pesq=Etienne%20Donat>>. Acesso em: 18 de junho de 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5601:** aços inoxidáveis – classificação por composição química. Rio de Janeiro, 2011.

ALBERTSEN, J. F. Tetragonal lattice of tetrataenite (ordered Fe-Ni, 50-50) from 4 meteorites. **Physica Scripta**, v. 23, n. 3, p. 301, 1981.

ANDRADE, Maria Lúcia Amarante de; CUNHA, Luiz Maurício da Silva; GANDRA, Guilherme Tavares e RIBEIRO, Caio Cesar. Níquel – Novos Parâmetros de Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, 2000. Disponível em: [https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/niquel.pdf](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/niquel.pdf). Acesso em: 30 de agosto de 2018.

ANTHONY, John W. et al. **Handbook of mineralogy**. Tucson: Mineral Data Publishing, 1990.

AXON, H. J.; SMITH, P. L. A metallographie study of some iron meteorites of high nickel content. **Mineralogical Magazine**, v. 38, n. 298, p. 736-755, 1972.

BRASIL. Decreto nº 4130 de 28 de março de 1868. Eleva à categoria de Alfangeda a Mesa de Rendas de S. Francisco. **Coleção das Leis do Império do Brasil**. Rio de Janeiro: Typographia Nacional, parte II, p. 137-138, 1868.

BRASIL. Decreto nº 6126 de 23 de fevereiro de 1876. Concede a Manuel Gonçalves da Rosa, Antônio Vieira de Araújo, Valentim Antônio de Souza e Antônio da Cunha Maciel autorização para explorarem ferro e outros metais na Província de Santa Catharina. **Coleção das Leis do Império do Brasil**. Rio de Janeiro: Typographia Nacional, parte II, v. I, p. 239-242, 1876.

BUCHWALD, Vagn Fabritius. **Handbook of iron meteorites: their history, distribution, composition and structure**. University of California Press, vol.1, 1975.

BUCHWALD, Vagn Fabritius. **Handbook of iron meteorites: their history, distribution, composition and structure**. University of California Press, vol.3, 1975

BUCHWALD, Vagn Fabritius. The mineralogy of iron meteorites. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences**, v. 286, n. 1336, p. 453-491, 1977.

BURTON, Mark e FARCHY, Jack. Carros elétricos podem impulsionar boom no mercado de níquel. **Bloomberg L. P.**, 31 de outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/carros-eletricos-podem-impulsionar-boom-no-mercado-de-niquel/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2018.

CAMPOS, Luiz Felipe Gonzaga. Nota sobre a localidade do ferro nativo de Santa Catharina. In: DERBY, Orville A. **Meteoritos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Impressa a vapor H. Lombaerts & Comp., 1888, p. 23-29.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; OGANDO, Laura Duarte; OLIVEIRA, Romualdo Paz de e ARAÚJO, Elizio Damião Gonçalves de. Panoramas e tendências do mercado de níquel: estudo realizado em junho de 2015. In: BNDES SETORIAL. Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, 2015, p. 245-396. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9374/2/BS42\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9374/2/BS42_BD.pdf)>. Acesso em: 23 de agosto de 2018.

CASTAING, Raymond. Application des sondes électroniques à une méthode d'analyse ponctuelle chimique et cristallographique. **These Université de Paris 1951**, 1952.

CLARKE, Roy S.; SCOTT, Edward RD. Tetrataenite—ordered FeNi, a new mineral in meteorites. **American Mineralogist**, v. 65, n. 7-8, p. 624-630, 1980.

DAMOUR, A. Sur un fer métallique trouvé à Santa-Catarina. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 84, p. 478-481, 1877.

DANON, J. *et al.* Iron-nickel 50-50 superstructure in the Santa Catharina meteorite. Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, 1978.

DAUBRÉE, G. A. Observations de M. Daubrée au sujet de la communication precedente. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 83, p. 918-919, 1876.

DAUBRÉE, G. A. Observations relatives à la Communication précédente. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**. Paris, Tome 84, p. 1508-1509, 1877.

DAUBRÉE, G. A. Observations sur le fer natif de Sainte-Catherine, sur la pyrrhotine et la magnétite. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 84, p. 482-485, 1877.

DAUBRÉE, G. A. Sur le grand nombre de joints, la plupart perpendiculaires entre eux, qui divisent le fer météorique de Sainte-Catherine (Brésil). **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**. Paris, Tome 86, p. 1433-1434, 1878.

DERBY, Orville A. **Meteoritos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Impressa a vapor H. Lombaerts & Comp., 1888.

**DIÁRIO DE NOTÍCIAS**. Rio de Janeiro, p. 12, 28 de agosto de 1966. Disponível em: <[http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=093718\\_04&PagFis=36450&Pesq=beneval%20de%20oliveira](http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=093718_04&PagFis=36450&Pesq=beneval%20de%20oliveira)>. Acesso em: 23 de julho de 2018.

**DIARIO DO COMMERCIO.** Rio de Janeiro, 17 de dezembro de 1891, n. 14, p. 2. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=248070&PagFis=4987&Pesq=Manuel%20Gon%C3%A7alves%20da%20Rosa>>. Acesso em: 19 de junho de 2018.

Disponível em: <<https://www.coinarchives.com/a/lotviewer.php?LotID=1361645&AuclD=2745&Lot=2572&Val=4cdcbad89992c365ab37042849e49a4b>>. Acesso em: 30 de agosto de 2018.

Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/educacao/voce-sabia/qual-a-diferenca-entre-um-asteroide-e-um-cometa,c008c087e60ea310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.

DOAN, Arthur S.; GOLDSTEIN, J. I. The formation of phosphides in iron meteorites. In: **Meteorite research**. Springer, Dordrecht, 1969. p. 763-779.

**GAZETA DE JOINVILLE:** ORGAM DOS INTERESSES AGRICOLAS, MERCANTIS E INDUSTRIAES DESTA PROVINCIA E ESPECIALMENTE DA COMARCA DE S. FRANCISCO. Santa Catarina, p. 4, 28 de maio de 1878. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=711608&PagFis=137&Pesq=Valentim%20Antonio%20de%20Souza>>. Acesso em: 18 de junho de 2016.

GOMES, Celso de Barros. **A microsonda eletrônica na geologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2015.

GOOGLE MAPS. Escala 1: 100.000. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/S%C3%A3o+Francisco+do+Sul+++SC/@-26.2638387,-48.6400368,13z/data=!4m5!3m4!1s0x94d930f53ed3138f:0x6279e151065f3a98!8m2!3d-26.2420583!4d-48.6356496!5m1!1e4>>. Acesso em: 19 de julho de 2018.

GOONAN, T. G; KUCK, P.H. e SCHNEBELE, E. K. Nickel Statistics. In: USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the Unites States**. Reston, Virgínia, 2016. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/#data>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

GRADY, Monica; PRATESI, Giovanni; CECCHI, Vanni Moggi. Atlas of meteorites. **Atlas of Meteorites**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.

GUIGNET, E. Note sur le fer nickelé de Sainte-Catherine au Brésil. Extrait d'une Lettre de M. Guignet à M. Daubrée. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 84, p. 1507-1508, 1877.

GUIGNET, E. Note sur les travaux de Chimie à l'École Polytechnique de Rio-de-Janeiro. Extrait d'une Lettre de M. E. Guignet, présenté par S. M. don Pedro

d'Alcantara. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 84, p. 1085, 1877.

HANSEN, Cláudia Regina Salgado de Oliveira. A companhia brasileira de energia elétrica e o clube de engenharia: uma abordagem sobre o estado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, XXIII, 2005, Londrina. **Anais...**Londrina: Associação Nacional de História, 2005.

HOSTIN, Geraldo J. S. The Santa Catarina meteorite: old papers, new facts. **Meteorite**, v. 5, n. 2, p. 36-37, 1999.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. **Manual de ciência dos minerais**. Bookman Editora, 2009.

KROT, A. N.; KEIL, K. e SCOTT, E. R. D. Classification of meteorites and their genetic relationships. **Meteorites and Cosmochemical Processes**, p. 1-63, 2014.

KUCK, Peter H. Nickel. In: **Metal prices in the United States through 1998**. Washington: United States Government Printing Office, 1999.

LAUGHLIN, David E. *et al.* Crystallographic aspects of L1<sub>0</sub> magnetic materials. **Scripta Materialia**, v. 53, n. 4, p. 383-388, 2005.

LEWIS, John. **Physics and chemistry of the solar system**. Academic Press, 2004.

LOVERING, J. F.; ANDERSEN, C. A. Electron microprobe analysis of oxygen in an iron meteorite. **Science**, v. 147, n. 3659, p. 734-736, 1965.

LOVERING, J. F.; PARRY, L. G. Thermomagnetic analysis of co-existing nickel-iron metal phases in iron meteorites and the thermal histories of the meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 26, n. 3, p. 361-382, 1962.

LUNAY. Sur le fer nickelé de Sainte-Catherine. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences**, Paris, Tome 85, p. 84-85, 1877.

MCGEE, James J.; KEIL, Klaus. Application of electron probe microanalysis to the study of geological and planetary materials. **Microscopy and Microanalysis**, v. 7, n. 2, p. 200-210, 2001.

Meteoritical Bulletin N° 57. **Meteoritics**, v. 15, p. 93-104, 1980. Disponível em: <<http://adsbit.harvard.edu/full/1980Metic..15...93G/0000102.000.html>>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

MEUNIER, Stanislas. The meteoric iron of Santa Catarina. **Iron: The Journal of Science, Metals & Manufacture**, London, n° 288, 20 de julho de 1878.

MILLER, M. K.; RUSSELL, K. F. An atom probe field-ion microscopy study of phase separation in the Twin City and Santa Catharina meteorites. **Le Journal de Physique Colloques**, v. 50, n. C8, p. C8-413-C8-418, 1989.

MOREIRA, Heloi José Fernandes. **Escola Central**: a academia do Largo de São Francisco de Paula que consolidou o ensino de engenharia civil no Brasil. 2014. 264 f. Tese (Doutorado em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MORIN. Sur un fer météorique très-riche em nickel, trouvé dans la province de Santa-Catharina (Brésil). **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences.**, Paris, Tome 83, p. 917-918, 1876.

**O APOSTOLO**. Rio de Janeiro, p. 2, 13 de junho de 1880. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=343951&pesq=Etienne%20Donat>>. Acessado em 18 de junho de 2018.

**O CONSERVADOR**. Santa Catarina, 20 de novembro de 1885, n. 260, p. 1 Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=767700&pesq=Etienne%20Donat>>. Acesso em: 18 de junho de 2018.

**O CONSERVADOR**: JORNAL POLITICO, NOTICIOSO E COMMERCIAL DA PROVINCIA DE SANTA CATARINA, Santa Catarina, 23 de janeiro de 1875, n. 203, p. 1. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=767050&pesq=Donat>>. Acessado em 30 de abril de 2018>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

**O CONSERVADOR**: JORNAL POLITICO, NOTICIOSO E COMMERCIAL DA PROVINCIA DE SANTA CATARINA. Santa Catarina, 30 de janeiro de 1875, n. 203, p. 2-3. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=767050&pesq=JAZIDA%20D E%20FERRO&pasta=ano%20187>>. Acesso em: 09 de março de 2018.

**O MENSAGEIRO**. Santa Catarina, 5 de novembro de 1856, n. 117, p. 2. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=767158&pesq=Manoel%20Loren%20de%20Andrade&pasta=ano%20185>>. Acesso em: 9 de julho de 2018.

OLIVEIRA, Beneval de. Geologia, petrologia e geomorfologia da ilha de São Francisco do Sul. **O Município**, São Francisco do Sul, 14 de janeiro de 1961.

OLIVEIRA, Beneval. Geologia, petrologia e geomorfologia da ilha de São Francisco do Sul. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 2, 1960.

**REGENERAÇÃO**: FOLHA DIARIA, NOTICIOSA, COMMERCIAL E FILIADA ÀS IDÉAS LIBERAES. Santa Catarina, 4 de agosto de 1885, n. 167, p. 1. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=709603&pesq=Valentim%20Antonio%20de%20Souza>>. Acesso em: 18 de junho de 2018.

REUTER, K. B.; WILLIAMS, David B.; GOLDSTEIN, J. I. Determination of the Fe- Ni phase diagram below 400 C. **Metallurgical Transactions A**, v. 20, n. 4, p. 719-725, 1989.

ROSENBERG, Samuel J. **Nickel and its alloys**. Washington: United States Department of Commerce, 1968.

RUBIN, Alan E. Mineralogy of meteorite groups. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 32, n. 2, p. 231-247, 1997.

SAITO, Jun; TAKEDA, H. " Adsorbed" Oxygen in the Santa Catharina Ataxite. **Meteoritics**, v. 23, p. 299, 1988.

SANTOS, Sílvio Coelho dos; NACKE, Aneliese e REIS, Maria José. **São Francisco do Sul: muito além da viagem de Gonneville – Bien au-delà Voyage de Gonneville**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

Scorzelli, R. B.; Varela, M. E.; Zucolotto, M. E. **Meteoritos: cofres da nebulosa solar**. São Paulo: Livraria da Física: CBPF, 2010.

SILVA, Cristina Socorro da. Níquel. In: **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>. Acesso em: 30 de agosto de 2018.

SILVA, Cristina Socorro da. Níquel. In: **Economia Mineral do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-5-niquel>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

SKOOG, Douglas A.; WEST, Donald M.; HOLLER, F. James. **Fundamentos de química analítica**. Reverté, 1997.

STODART, J e FARADAY Michael. On the alloys of steel. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 112, p. 253-270, 1822.

TASSEL, R. Van et al. An overlooked fragment of the Santa Catharina ataxite. **Meteoritics**, v. 27, n. 4, p. 467-469, 1992.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2017**. Reston, Virgínia, 2017. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2016**. Reston, Virgínia, 2016. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2003**. Reston, Virgínia, 2003. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2003/mcs2003.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2004**. Reston, Virgínia, 2004. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2004/mcs2004.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2006**. Reston, Virgínia, 2006. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2006/mcs2006.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2007**. Reston, Virgínia, 2007. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2007/mcs2007.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2008**. Reston, Virgínia, 2008. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2009**. Reston, Virgínia, 2009. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2009/mcs2009.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2010**. Reston, Virgínia, 2010. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010/mcs2010.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

USGS – UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2014**. Reston, Virgínia, 2014. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2014/mcs2014.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

WASSON, J. T.; KALLEMEYN, G. W. The IAB iron-meteorite complex: A group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 66, n. 13, p. 2445-2473, 2002.

WASSON, J. T. **Meteorites: Classification and properties**. Springer Science & Business Media, 2012.

WEISBERG, M. K.; MCCOY, T. J.; KROT, A. N. Systematics and evaluation of meteorite classification. **Meteorites and the Early Solar System II**, v. 19, 2006.

YANG, C.-W.; WILLIAMS, D. B.; GOLDSTEIN, J. I. A revision of the Fe-Ni phase diagram at low temperatures (< 400 C). **Journal of Phase Equilibria**, v. 17, n. 6, p. 522-531, 1996.

ZHANG, J. et al. Electron microscopy study of the iron meteorite Santa Catharina. **Meteoritics**, v. 25, n. 3, p. 167-175, 1990.

ZUCOLOTTO, Christian. O emprego de tecnologias de uso cotidiano na determinação do local de queda do famoso meteorito Santa Catarina. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA, ARTÍSTICA E CULTURA, XXXV, 2013, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013

ZUCOLOTTO, Maria Elisabeth; FONSECA, Ariadne, Carmo e ANTONELLO, Loiva Lízia. **Decifrando os meteoritos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2013.

## **ANEXO A – TRANSCRIÇÃO DA NOTÍCIA DO JORNAL O CONSERVADOR DE 30 DE JANEIRO DE 1875**

Minas de Ferro e outros metaes em S. Francisco do Sul – A ligeira noticia que demos, em um dos numeros passados sobre a importancia d’esta nova fonte de indústriã, para o município de S. Francisco, fica plenamente demonstrado pelo que a respeito informou o Sr. Dounat Engenheiro encarregado das obras da colônia D. Francisca, diz ele:

Apezar da minha incompetência para dar todos os esclarecimentos necessarios para habilitar a V. Ex. a informar o governo imperial sobre a pretensão de Valentim Antonio de Souza e outros, que pendem a concessão pelo tempo de dois anos para explorarem jazidas de ferro superior e outros mineraes existentes na comarca de Nossa Senhora da Graça n’esta provincia, cumpre-me em resposta ao officio que V. Exc. Dignou-se dirigir-me com a data de 17 de dezembro do anno p. p., vir communicar a V. Exc. O resultado do exame que tenho feito da localidade, aonde foi descoberta a jazida mineral.

A 3 kilometros mais ou menos ao Sul da cidade de S. Francisco existe um morro isolado, situado em parte dos terrenos do Sr. Antonio da Cunha Maciel. Sobre a vertente sul deste morro foi descoberta a jazida de ferro. A maior parte d’este morro está ainda em matta virgem, o que dificulta actualmente o exame. O mineral de ferro existe em dous lugares diferentes, separados por uma distancia de 100 metros mais ou menos. A jazida actualmente descoberta está constituída de 2 blocos, cujas dimensões não podem ser avaliadas sem proceder-se as necessarias excavações e sondagens do terreno, por isso que a parte aparente constitue um bloco de forma mais ou menos esférica e com um diametro de 0,m90, formando sobre o terreno actual uma saliencia de 0,60 mais ou menos de altura. O mineral extrahido destes blocos e cuja amostra remeto n’esta data á V. Exc. É formado em toda a sua totalidade de ferro magnetico, misturado com algumas substancias estranhas em muito pequena quantidade, que a analyse chimica pode facilmente determinar.

A riqueza do mineral em ferro é evidente e parece prometer de 88 a 90%. Falta porém saber se este mineral constitui uma mina importante ou será o produto de algum aerolitho. A solução porém desta questão depende de explorações, que poderão talvez serem supridas pela pratica, e os conhecimentos especiaes de um

engenheiro mineralogista, a quem o governo deveria em semelhantes occurrencias confiar estes exames: por isso que a mineralogia é uma das sciencias naturaes, que sem uma pratica constante passa ao dominio do esquecimento.

Apezar todavia de não de achar resolvida esta questão de saber si o mineral existirá ou não em grande quantidade, julgo que deve ser concedida a autorisação requisitada, por isso que estas explorações feitas com o fim especial de descobrir as jazidas mineraes, dão muitas vezes resultados, que a sciencia não pode prever. Além d'isso estas explorações interessão a todos, principalmente no caso actual, por isso que a abertura de uma mina importante na ilha de S. Francisco mudaria completamente o futuro, que lhe parece reservado. A posição da jazida em relação a sua exportação é das mais lisonjeiras, separada do litoral por uma distancia apenas de 3000 metros em terrenos formados, por taboleiros de areia que facilitarão a colocação de via ferrea necessaria para ligar a mina com a navegação do porto de S. Francisco ou qualquer outro ponto mais conveniente. Grande parte dos terrenos adjacentes ao morro aonde existem as jazidas, estando ainda em matta virgem, poderia por ora fornecer o combustivel necessario para a exploração, e a proximidade das colonias e principalmente da de D. Francisca do centro da exploração, facilitaria consideravelmente a aquisição de pessoal habilitado para esta industria.

Estas condições principaes para esperar o desenvolvimento de uma industria tão importante achão-se aqui reunidas.

A riqueza do mineral é evidente, convem portanto por meio de explorações ver si é abundante. Sinto que não esteja a meu alcance dar esclarecimentos mais positivos sobre este assumpto e rogo a V. Exc. Desculpar-me das lacunas, que apezar de meus bons desejos, a falta de muitos conhecimentos especiaes a sciencia da mineralogia me impendem a dar a V. Exc.

Deos Guarde a V. Exc. — Ilm. E Exm. Sr. Dr. João Thomé da Silva —  
Presidente da Provincia de Santa Catharina — E. Donat — Encarregado director.

## ANEXO B - Decreto nº 6126 de 23 de fevereiro de 1876

240

ACTOS DO PODER

por Thomaz José Coelho de Almeida, do Meu Conselho, Ministro e Secretario de Estado dos Negocios da Agricultura, Commercio e Obras Publicas, que assim o tenha entendido e faça executar. Palacio do Rio de Janeiro em vinte e tres de Fevereiro de mil oitocentos setenta e seis, quinquagesimo quinto da Independencia e do Imperio.

Com a rubrica de Sua Magestade o Imperador.

*Thomaz José Coelho de Almeida.*

**Clausulas a que se refere o Decreto n.º 6126 desta data.**

## I.

Fica concedido o prazo de dous annos para os concessionarios Manoel Gonçalves da Rosa, Antonio Vicira de Araujo, Valentim Antonio de Souza e Antonio da Cunha Maciel explorarem jazidas de ferro e outros metaes na comarca de Nossa Senhora da Graça, da Provincia de Santa Catharina.

## II.

As explorações poderão ser feitas por qualquer dos modos recommendados pela sciencia.

As que se tiverem de fazer em terrenos possuidos, por meio de sondagens, cavas, poços, galerias subterraneas ou a céu aberto, não poderão ser executadas sem autorização escripta dos proprietarios.

Se esta, porém, lhes fôr negada, poderá ser supprida pela Presidencia da Provincia, mediante fiança prestada pelos concessionarios, que responderão pela indemnização de todos os prejuizos, perdas e danos causados aos proprietarios.

Para concessão de semelhante supprimento, o Presidente da Provincia mandará, por editaes, intimar os proprietarios para dentro do prazo razoavel que marcar, apresentar os motivos de sua opposição e requererem o que julgarem necessario a bem de seu direito.

## III.

O Presidente da Provincia concederá ou negará o supprimento requerido á vista das razões expendidas pelos

proprietarios, ou á revelia destes, declarando os fundamentos de sua decisão, da qual poderão os interessados recorrer para o Ministerio da Agricultura, Commercio e Obras Publicas. Este recurso, porém, sómente será recebido no effeito devolutivo.

## IV.

Deliberada a concessão do supprimento da licença, proceder-se-ha immediatamente á avaliação da fiança de que trata a clausula 2.<sup>a</sup>, ou da indemnização dos prejuizos allegados pelos proprietarios, por meio de arbitros que serão nomeados: dous pelos concessionarios, e dous pelos proprietarios.

Se houver empate será decidido por um 5.<sup>o</sup> arbitro, nomeado pelo Presidente da Provincia.

Se os terrenos pertencerem ao Estado o 5.<sup>o</sup> arbitro será nomeado pelo Juiz de Direito. Proferido o laudo, os concessionarios serão obrigados a effectuar no prazo de oito dias o deposito da fiança ou pagamento da importancia em que fór arbitrada a indemnização, sem o que não lhes será concedido o supprimento da licença.

## V.

A indemnização de que trata a clausula precedente será devida ainda quando as explorações forem feitas em terrenos de propriedade dos concessionarios ou do Estado, uma vez que della possa provir damno ou prejuizo aos proprietarios confrontantes.

## VI.

Serão igualmente obrigados a restabelecer á sua custa o curso natural das aguas que tiverem de desviar de seu leito, pela necessidade dos trabalhos da exploração. Se o desvio dessas aguas prejudicar a terceiro, não poderão fazer sem licença deste, que poderá ser supprida mediante indemnização, na fórma estabelecida na clausula 4.<sup>a</sup>

## VII.

Se dos trabalhos da exploração resultar a formação de pantanos ou estagnação de aguas que possam prejudicar a saúde dos moradores da circumvizinhança, os concessionarios serão obrigados a deseccar os terrenos alagados, restituindo-os a seu antigo estado.

## VIII.

As pesquisas de minas por meio de cavas, poços ou galerias, no territorio desta concessão, não terão lugar :

1.º Sob os edificios, e a 15 metros de circumferencia, salvo na ultima hypothese, sómente com consentimento expresso e por escripto do respectivo proprietario.

Este consentimento não poderá ser supprido pela Presidencia da Provincia.

2.º Nos caminhos e estradas publicas e a 10 metros de cada lado delles.

3.º Nas povoações.

## IX.

Os concessionarios farão levantar plantas geologica e topographica dos terrenos explorados, com perfis que demonstrem, tanto quanto permittirem os trabalhos que tiverem feito, a superposição das camadas mineaes, e remetterão as ditas plantas, por intermedio do Presidente da Provincia, á mencionada Secretaria, acompanhadas: 1.º, de amostras dos mesmos mineraes e das variedades das camadas de terras; 2.º, de uma descripção minuciosa da possança das minas dos terrenos de dominio publico e particular, necessarios á mineração, com designação dos proprietarios, das edificações nelles existentes e do uso ou emprego a que são destinados.

Outrosim, indicarão qual o meio mais apropriado para o transporte dos productos da mineração, e qual a distancia entre cada uma das minas e os povoados mais proximos.

## X.

Satisfeitas as clausulas deste Decreto, ser-lhes-ha concedida autorização para lavrarem as minas por elles descobertas nos lugares designados, de accôrdo com as Leis e condições que o Governo julgar conveniente estabelecer no acto da concessão, no interesse da mineração, e em beneficio do Estado e dos particulares.

Palacio do Rio de Janeiro em 23 de Fevereiro de 1876. — *Thomas José Coelho de Almeida.*

