



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GELOGIA

Janólfta Lêda Rocha Holanda

**DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS
GEORREFERENCIADO (SIG) PARA AS INFORMAÇÕES
GEOLÓGICAS DISPONÍVEIS DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL**

Fortaleza

2008

Janólfta Lêda Rocha Holanda

**DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO (SIG)
PARA AS INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS DISPONÍVEIS DO
DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, Área de Concentração: Geologia Regional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Michel Henri Arthaud

Fortaleza

2008

Holanda, Janólfta Lêda Rocha.

Desenvolvimento de um banco de dados georreferenciado (SIG) para as informações geológicas disponíveis do domínio Ceará central / Janólfta Lêda Rocha Holanda. – Fortaleza : UFC, 2008.

74 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 2008.

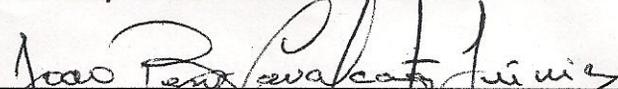
Orientador: Michel Henri Arthaud.

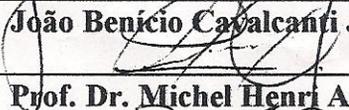
1. Geoprocessamento. 2. Sistema de Informações Geográficas. 3. Banco de dados. I. Arthaud, Michel Henri. II. Universidade Federal do Ceará. III. Título.

CDD 550.285

ATA DA REUNIÃO DO COMITÊ DE DISSERTAÇÃO PARA JULGAMENTO DO TRABALHO DA GEOLÓGA JANOLFTA LÊDA ROCHA HOLANDA, CONFORME PORTARIA N.º 13/2008 DE 16 DE OUTUBRO DE 2008.

Ao vigessimo primeiro dia do mês de outubro de dois mil e oito, às quatorze horas, no Auditório do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, reuniu-se o comitê de Dissertação, constituído pelos Professores Drs. MICHEL HENRI ARTHAUD, RENATO SILVIO DA FROTA RIBEIRO e JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO para sob a responsabilidade do primeiro (Presidente) julgarem o trabalho de Dissertação da Geóloga Janolfta Lêda Rocha Holanda, concludente do Curso de Mestrado em Geologia, área de concentração Geologia, visando a obtenção do Título de Mestre em Geologia. A reunião foi presidida pelo Professor Michel Henri Arthaud, e estando presentes os Professores: Wellington Ferreira (Chefe do Departamento de Geologia), César Ulisses Vieira Veríssimo (Coordenador Interino do Curso de Mestrado em Geologia), outros Professores do Departamento e demais convidados. O Professor Michel Henri Arthaud solicitou permissão para efetuar a leitura dos Artigos referentes à Defesa de Dissertação constantes das normas de Cursos de Mestrado. Dando continuidade aos trabalhos o Presidente da Comissão fez a leitura da Portaria N° 13/2008 de 16 de Outubro de 2008 que designa os Componentes do Comitê de Dissertação. Feito esta leitura, o Senhor Presidente apresentou a Geóloga Janolfta Lêda Rocha Holanda do qual foi orientador na elaboração do seu trabalho, conclamando-o a iniciar a exposição de sua Dissertação intitulada "DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO (SIG) PARA AS INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS DISPONÍVEIS DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL". A seguir a Geóloga Janolfta Lêda Rocha Holanda, realizou a exposição do seu trabalho. Concluída a exposição do trabalho, a concludente foi argüida pelos Componentes do Comitê de Dissertação usando a palavra seguidamente os Professores: Renato Silvio da Frota Ribeiro, José de Araújo Nogueira Neto e por ultimo o Professor Michel Henri Arthaud, os quais fizeram indagações sobre alguns aspectos do trabalho e sugeriram algumas correções no trabalho. Os membros do Comitê parabenizaram a candidata pela boa apresentação da Dissertação e pelas adequadas respostas às questões formuladas. A Banca Examinadora após reunião, considerou o trabalho apresentado com nível APROVADO. Finalizando o senhor Presidente agradeceu o comparecimento dos presentes e como nada mais havia para ser tratado, foi lavrada a presente Ata que vai assinada por mim, Secretario do Curso de Mestrado em Geologia, sendo depois lida e aprovada pelos Componentes do Comitê de Dissertação, após o que o senhor Presidente declarou encerrada a Seção. Secretaria do Curso de Mestrado em Geologia em Fortaleza, 21 de Outubro de 2008.


João Benício Cavalcanti Júnior - (Secretário do Curso)


Prof. Dr. Michel Henri Arthaud - (Presidente)


Prof. Dr. Renato Silvio da Frota Ribeiro - (Membro Externo)


Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto - (Membro)




Sônia Maria Silva Vasconcelos
Coord. do Programa de Pós-Graduação
em Geologia da UFC

Janólfta Lêda Rocha Holanda

**DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO (SIG)
PARA AS INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS DISPONÍVEIS DO
DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, Área de Concentração: Geologia Regional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia.

Aprovada em 21 de outubro de 2008.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michel Henri Arthaud (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Renato Sílvia da Frota Ribeiro
Universidade Federal do Ceará

A meu esposo Michel, com amor, admiração e gratidão
por sua compreensão, carinho, presença e incansável
apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Estado do Ceará – UFC, na pessoa do seu coordenador da pós-graduação, Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em Geologia.

A CAPES que financiou essa dissertação através da bolsa de pesquisa.

A CPRM pelas oportunidades profissionais que me trouxeram uma gama de conhecimentos valiosos.

A Universidade de Brasília – UnB por me ter aceitado como aluna especial do curso de pós-graduação em Geologia.

Ao Prof. Dr. Michel Henri Arthaud, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

Ao Prof. Dr. Reinhardt A. Fuck, por ter sido um facilitador no intercâmbio UFC/UnB.

A Prof^ª. Dra. Adalene da Universidade de Brasília por ter me recebido tão bem e por ter enriquecido o meu conhecimento.

Ao Prof. Ticiano, Prof. Neivaldo, Lobinho e outros que tão gentilmente me cederam os seus dados de campo.

Ao Marcos Leandro em memória, por ter se prontificado a me ajudar e por ter atendido todas as minhas solicitações rápida e gentilmente.

Ao Eltinho pela hospitalidade e pela amizade.

A Prof^ª. Dra. Sônia Maria Cavalcante pela paciência e amizade.

A todos os professores do Departamento de Geologia da UFC, em especial o Prof. Clóvis que tanto me incentivou a fazer o mestrado (*brigado padim*), o Prof. Afonso, o Prof. César.

SUMÁRIO

RESUMO

RÉSUMÉ

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2 – SIG E OS SOFTWARES DO ARCGIS.....	08
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	21
CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS.....	28
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DAS LINEAÇÕES DE ESTIRAMENTO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL.....	50
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	57
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	58

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um banco de dados geológicos do Domínio Ceará Central, explicitando as etapas necessárias para elaboração de um sistema de banco de dados (BD) georreferenciados utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG). No banco de dados constam informações pontuais como: descrições de afloramento e dados de análises geocronológicas que entram no SIG através de tabelas, informações vetoriais (polígonos e linhas) com arquivos geológicos e fisiográficos e imagens de sensoriamento remoto multiespectrais e aerogeofísicas. O sistema foi montado no ArcGis 9.1 com ArcMap - ArcInfo e possibilita o acesso automático de níveis de informações, de forma concomitante ou não, por meio de várias ferramentas do próprio ArcGis. Para a operação do banco, todos os dados que o integram precisam estar georreferenciados utilizando o mesmo datum. A inter-relação entre as informações acessadas permite a construção de diferentes produtos dentro do mesmo ambiente que se está operando, além de permitir a inclusão ou extração de qualquer informação que ali está para a construção de novos projetos em diversas escalas de detalhe. A atualização da base de dados é um processo bastante simples permitindo a contínua utilização e otimização do sistema. Como demonstração da aplicação do banco de dados foram analisadas todas as lineações de estiramento cadastradas no Domínio Ceará Central. Esta análise evidenciou áreas com padrões distintos e coerentes em relação às direções de transporte tectônico. Com base nessa observação, foram definidas 5 regiões com padrões de lineações de estiramento apresentando um comportamento relativamente homogêneos. Estas regiões correspondem a: 1) Complexo Tamboril-Santa Quitéria e Unidade Independência do Grupo Ceará; 2) Unidade Canindé do Grupo Ceará; 3) Complexo Cruzeta, Suite Madalena e Complexo Algodões ; 4) *Nappe* de Itatira; 5) parte sul da Unidade Canindé e parte norte do Complexo Algodões. Para cada região foi construído um diagrama de roseta representativo e estes diagramas foram interpretados em termo de unidades tectono-stratigráficas fornecendo assim uma nova visão do arcabouço tectônico do Domínio Ceará Central.

Palavras-Chave: Banco de dados, Ceará Central, Geoprocessamento, Sistema de Informações Geográficas, SIG, Geodatabase, ArcGis.

RÉSUMÉ

Ce travail a comme objectif la confection d'une base de données géologiques du Domaine Ceará Central, explicitant toutes les étapes nécessaires à la confection d'un système de base de donnée (BD) georéférencié utilisant un Système d'Information Géographique (SIG). La base de données comprend des informations ponctuelles (descriptions d'aflurements, données geochronologiques) qui rentrent dans la base sous la forme de tableau et des informations vectorielles (polygones et lignes) avec des informations géologiques et physiographiques et des images multispectrales et aerogéophysiques. Le système a été monté sur le programme Arc Gis 9.1 avec Arc Map-Arc Info et permet l'accès automatique aux différents niveaux d'information, ensemble ou séparément, au moyen de différents outils appartenant au propre Arc Gis. Pour l'opération de la base de données, toutes les données qui la constituent doivent être géoréférenciées avec le même datum. Les interrelations entre les informations permettent la confection de produits multiples dans la même ambiance et permet, par l'inclusion ou l'exclusion de n'importe quelle information, de créer de nouveaux projets à diverses échelles. L'actualisation de la base de données est relativement simple et permet son utilisation continue et son optimisation. Pour démontrer les possibilités d'application de la base de données, nous avons analysé l'ensemble des linéations d'étirement recensées dans le Domaine Ceará Central. Cette analyse a mis en évidence cinq domaines montrant des directions de transport tectonique sensiblement différentes, Ces domaines correspondent à: 1) Complexe Tamboril-Santa-Quitéria et partie de l'unité Independência du Groupe Ceará ; 2) Unité Canindé du Groupe Ceará ; 3) Complexe Cruzeta, Suite Madalena e Complexe Algodões ; 4) *Nappe* de Itatira e 5) partie sud de l'Unité Canindé et partie nord du Complexe Algodões. Pour chacune de ces régions a été construit un diagramme de rosette représentatif de la distribution des linéations. Ces diagrammes ont permis une nouvelle interprétation, en terme d'unité tectono-stratigraphiques, fournissant ainsi une nouvelle vision du contexte tectonique du Domaine Ceará Central.

Mots clefs: Banque de données, Ceará Central, Système d'informations Géographiques, SIG, Geodatabase, ArcGis

INDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.1 – Considerações Iniciais.....	01
1.2 – Objetivos do Trabalho.....	02
1.3 – Área Alvo.....	02
1.3.1 – Contexto Geológico.....	02
1.3.2 – Dados Disponíveis.....	05
1.4 – Organização do Trabalho.....	06
CAPÍTULO 2 – SIG E OS SOFTWARES DO ARCGIS.....	08
2.1 – Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	08
2.2 – Aspectos Gerais do ArcGIS	10
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	21
CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS.....	28
4.1 – Estrutura de Base do SIG	28
4.1.1 – Imagem SRTM.....	28
4.1.2 – Mosaico Landsat 7 banda 5.....	29
4.1.3 – Dados Aerogeofísicos.....	30
4.1.4 – Unidades Litoestratigráficas.....	33
4.1.5 – Links.....	34
4.1.6 – Base Planimétrica.....	36
4.1.7 – Estruturas Lineares.....	37
4.2 – Tabelas de Conteúdo	38
4.2.1 – Tabelas de Dados de Foliação	38
4.2.2 – Tabelas de Dados de Lineação	43
4.2.3 – Tabelas de Dados de Geocronologia	45
CAPÍTULO 5 – análise das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central.....	50
5.1 – Introdução.....	50
5.2 – Regiões homogêneas	50
5.2.1 – Definição das regiões	50
5.2.2 – Direções de transporte tectônico	52
5.3 – Discussão e interpretação	53
5.4 – Conclusões.....	55

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	57
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – O Domínio Ceará Central (Modificado de Cavalcante, 1999, in Arthaud, 2005).....	03
FIGURA 1.2 – Mapa Geológico simplificado do Ceará Central (Arthaud, 2005).....	04
FIGURA 1.3 – Conteúdo do CD (diretório - Projeto Ceará central).....	07
FIGURA 2.1 – Arquitetura de um Sistema de informações Geográficas (Câmara, 2005).....	08
FIGURA 2.2 – Modelo de Relacionamento: essa figura mostra duas tabelas onde o campo PONTO , comum as duas, pode ser utilizado para fazer um relacionamento entre elas possibilitando a análise do cruzamento de informações como : foliação e lineação.....	09
FIGURA 2.3 – Geodatabase pessoal (ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	12
FIGURA 2.4 – Geodatabase multiusuários (modificado de ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	12
FIGURA 2.5 – Estrutura de uma geodatabase (ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	13
FIGURA 2.6 – Visualização de um geodatabase no ArcCatalog.....	14
FIGURA 2.7 – Relacionamento de uma geodatabase (modificado de ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	15
FIGURA 2.8 – Exemplo de regra topológica.....	16
FIGURA 2.9 – Exemplo de polígonos adjacentes (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	17
FIGURA 2.10 – Exemplo de relacionamento entre tabelas utilizando um campo com formato do tipo texto. (PRC004 e PRC005).....	18
FIGURA 2.11 – Tipos de relacionamento de um geodatabase (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	19
FIGURA 2.12 – Tipos de dados vetoriais manipulados pelo ArcGis (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).....	19
FIGURA 3.1 – Captura de dados do SIG (Serra, 2003).....	21
FIGURA 3.2 – Identificação dos erros topológicos da Litologia do Mapa do Ceará (CPRM – 2003).....	23
FIGURA 3.3 – Organização dos dados em diretórios.....	26

FIGURA 4.1 – Modelo digital de terreno do Ceará Central baseado em dados radar_SRTM – 90m.....	29
FIGURA 4.2 – Mosaico da imagem Landsat 7 banda 5 do Ceará Central.....	30
FIGURA 4.3 – Localização dos projetos Rio Acaraú, Itatira (subdividido em três áreas A,B e C) e Iguatu.....	31
FIGURA 4.4 – Imagem gamaespectrométrica de composição ternária RGB (K:Th:U) projeto Rio Acaraú, projeto Itatira e projeto Iguatu.....	32
FIGURA 4.5 – Imagem da amplitude do sinal analítico de ordem zero (projetos Rio Acaraú e Itatira).....	33
FIGURA 4.6 – Unidades Litoestratigráficas do Ceará Central (segundo Cavalcante <i>et al.</i> , 2003).....	34
FIGURA 4.7 – Links.....	36
FIGURA 4.8 – Base planimétrica do Ceará Central (Corrigida a partir do Mapa do Ceará-2003).....	37
FIGURA 4.9 – Estruturas lineares do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.....	38
FIGURA 4.10 - Representação espacial das foliações do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.....	42
FIGURA 4.11 – Representação espacial das lineações do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.....	45
FIGURA 4.12 – Representação espacial dos dados geocronológicos do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.....	48
FIGURA 5.1 – Compilação das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central- 1594 medidas.....	51
FIGURA 5.2 – As cinco regiões do Ceará Central homogêneas em relação às direções de transporte tectônico.....	52
FIGURA 5.3 – Diagramas de roseta para as direções de lineação de estiramento de cada região.....	53

INDICE DE TABELAS

TABELA 1.1 – Trabalhos consultados como fonte de dados.....	05
TABELA 2.1 – Comparação do geodatabase.....	13
TABELA 2.2 – Dados reconhecidos pelo ArcGis em sua forma nativa.....	20
TABELA 3.1 – Quantidade de dados tabulares compilados que estavam em meio digital.....	24
TABELA 3.2 – Quantidade de dados passados para meio digital.....	27
TABELA 4.1 – Síntese das principais características dos aerolevamentos (modificado de Amaral W. S – 2007).....	31
TABELA 4.2 – Lista dos Mapas Geológicos que foram linkados á litologia do Ceará Central.....	35
TABELA 4.3 – Tipos de Foliação.....	39
TABELA 4.4 – Tabela de Foliação de Teixeira M. L – 2005.....	40
TABELA 4.5 – Tabela de Foliação de Cavalcante <i>et al.</i> , 2003.....	40
TABELA 4.6 – Tabela de Foliação do Projeto CPRM/UFC folha Quixeramobim – 2006.....	40
TABELA 4.7 – Modelo da Tabela de Foliação do Banco de Dados.....	41
TABELA 4.8 – Tipos de Lineação.....	43
TABELA 4.9 – Modelo da tabela de lineação do Banco de Dados.....	44
TABELA 4.10 – Modelo da Tabela Geral de Geocronologia do Banco de Dados.....	47
TABELA 4.11 – Modelo da tabela de geocronologia para o método Sm/Nd do Banco de Dados.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BD – Banco de Dados

BDR – Banco de Dados Relacional

CADD – Computer-Aided Drafting and Design

CASE – Computer-Aided Software Engineering

CI – Ciência da Informação

COGO – Coordinate Geometry

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

ESRI – Environmental Systems Research Institute

GPS – Global Positioning System

IG – Informação Geográfica

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NAD – North American Datum

NUCLEBRAS – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

PROCAD – Programa Nacional de Cooperação Acadêmica

SGBD – Sistema de Informação de Base de Dados

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SQL – Structured Query Language

SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission

UML – Unified Modeling Language

UTM – Universal Transverso de Mercator

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 1



INTRODUÇÃO



• • • • • • • •

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Iniciais

Com o passar dos anos cresceu, de maneira exponencial, a quantidade de dados novos produzidos pela comunidade geológica, utilizando as mais diversas técnicas e tecnologias. O pleno aproveitamento destes dados, a maior parte deles georeferenciados, vem exigindo uma sistematização no armazenamento e na organização das informações.

Acompanhando essa explosão de dados, desenvolveram-se rapidamente softwares de geoprocessamento capazes de gerenciar conjuntos complexos de informações georeferenciadas de natureza diversa (dados cartográficos, de sensores remotos, geofísicos, etc...). Esses softwares, em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), são susceptíveis de processar dados gráficos e não-gráficos, com ênfase nas análises espaciais e nas modelagens de superfícies, integrando dados geológicos. Além de permitir a recuperação de dados preexistentes, eles possibilitam uma atualização contínua dos bancos de dados com o acréscimo de dados novos num contexto homogêneo.

De acordo com Lazzaroto (2003) os softwares de geoprocessamento empregam pelos menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial: técnicas para coleta de informação espacial, técnicas de armazenamento de informação espacial, técnicas para tratamento e análise de informação espacial, técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS.

Os sistemas de informações geográficas (SIGs) podem ser potencializados através de um banco de dados (BD) que amaze as várias características geológicas do terreno.

A partir deste banco de dados podem ser gerados mapas temáticos como: mapa de estruturas, mapa de traços de foliação, mapa de idades geocronológicas, integrados a dados aerogeofísicos e às principais cartografias disponíveis da área.

Para a construção de um BD são necessários o levantamento dos dados de interesse disponíveis, a seleção criteriosa e a padronização desses dados. Essas etapas foram cumpridas rigorosamente nesse trabalho, tendo como produtos tabelas correlacionáveis que, posteriormente, foram introduzidas em ambiente SIG utilizando o software Arc Map - ArcView 9.0 e integradas a dados aerogeofísicos, imagens de satélite, imagens SRTM, curvas de níveis e dados planimétricos extraídos do mapa geológico do Ceará na escala de 1:500.000 produzido pela CPRM – Companhia de pesquisa de Recursos minerais – Serviço Geológico do Brasil (Cavalcante *et al.*, 2003).

Uma área alvo foi escolhida em função da sua complexidade geológica e da grande quantidade de dados existentes, visando facilitar uma interpretação global.

1.2 – Objetivos do Trabalho

Nas últimas décadas, grande quantidade de dados geológicos foram gerados no Estado do Ceará. Os levantamentos decorreram da realização de relatórios de graduação de alunos da UFC e de outras Universidades, de dissertações de mestrado, de teses de doutorado, de levantamentos aerogeofísicos da extinta NUCLEBRAS – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, de mapeamentos da CPRM e de trabalhos de projetos como Radam Brasil, PROCAD – Programa Nacional de Cooperação Acadêmica, parceria CPRM/UFC, etc.

Mas esse acervo de dados nunca foi objetivo de uma centralização, tornando difícil a sua utilização pela comunidade geológica local.

Baseado nesse fato, o objetivo principal do nosso trabalho foi desenvolver um banco de dados capaz de reunir os dados existentes em uma plataforma de sistema de informação geográfica - SIG utilizando o software Arcgis 9.0 que possui um modelo de banco de dados relacional, no formato geodatabase.

Inicialmente, a área alvo para coleta de dados e produtos foi restrita à porção do Ceará conhecida como, Domínio Ceará Central. Posteriormente, pode ser estendida ao restante do Estado do Ceará.

Partindo desse princípio temos como objetivos específicos:

1- Organizar e padronizar todos os dados disponíveis do Ceará Central em um ambiente SIG, visando à recuperação de dados e a melhoria da qualidade das informações;

2- Testar, a partir de um exemplo preciso (análise das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central), a capacidade de tal banco de dados de fornecer um acesso a um amplo acervo de dados originados de fontes variadas e de auxiliar o geólogo no tratamento desses dados, gerando interpretações novas a partir de dados e produtos existentes.

1.3 – Área Alvo

1.3.1 – Contexto Geológico

O Domínio Ceará Central representa a porção do domínio setentrional da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977) compreendida entre as Zonas de Cisalhamento de Orós e Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) (Figura 1.1).

A geologia complexa deste Domínio resulta de uma longa história geológica pré-cambriana, iniciada no arqueano e encerrada pela colisão continental Brasiliana envolvendo os Crátons São Luís-Oeste África e São Francisco-Congo.

A Figura 1.2 mostra o quadro geológico simplificado de Domínio Ceará Central.

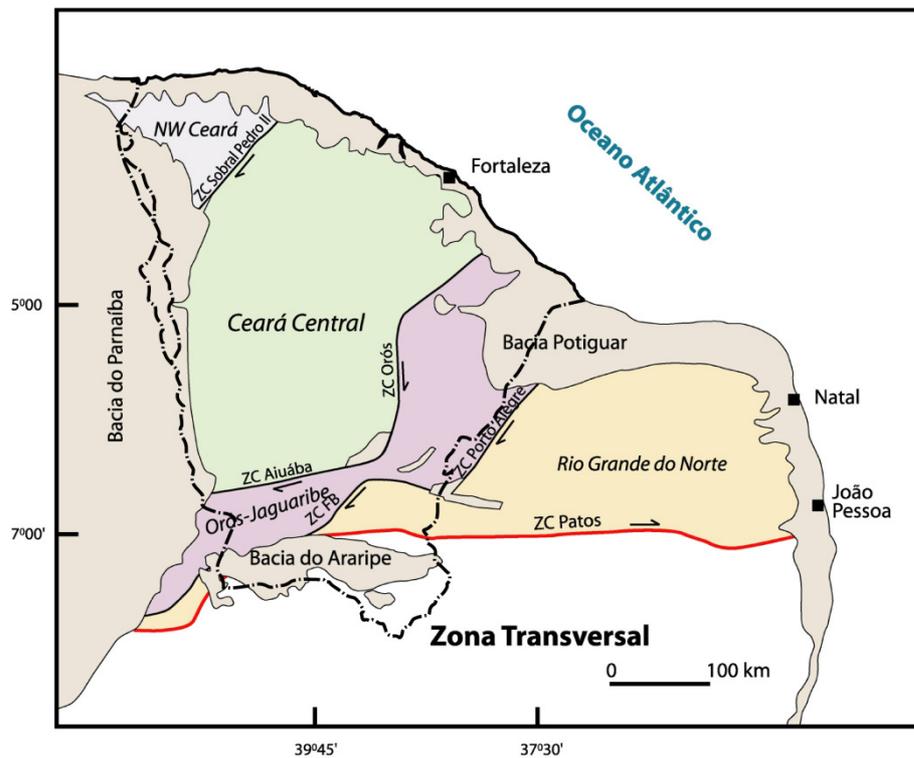


Figura 1.1 – O Domínio Ceará Central (Modificado de Cavalcante, 1999, in Arthaud, 2005).

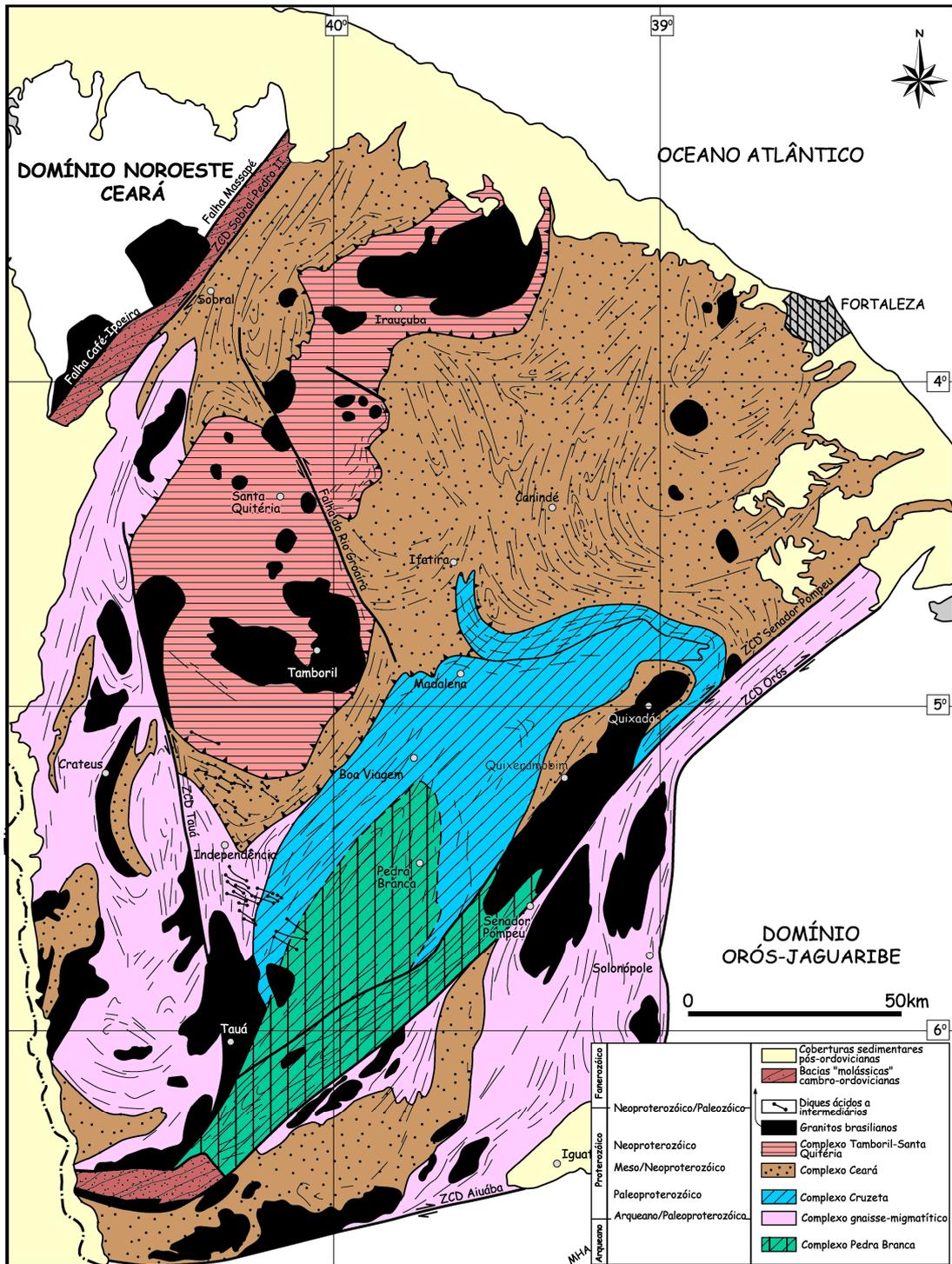


Figura.1.2 – Mapa Geológico simplificado do Ceará Central (Arthaud, 2005).

A colisão brasileira foi marcada por uma intensa tectônica tangencial, acompanhada de um importante espessamento crustal, seguida por movimentos de translação ao longo de mega zonas de transcorrência dstras (como, por exemplo, as Zonas de Cisalhamento Dúctil Sobral-Pedro II e Orós que limitam o Domínio). A compreensão desta complexa evolução tectônica passa pelo conhecimento, a nível regional, da geometria da

foliação, das direções de transporte tectônico (marcadas pelas lineações de estiramento) e da cronologia dos acontecimentos (fornecida, em parte, pela geocronologia).

1.3.2 – Dados Disponíveis

A tabela abaixo mostra as fontes dos dados do Domínio Ceará Central compilados neste trabalho.

Tabela 1.1 – Trabalhos consultados como fonte de dados:

Nº DE ORDEM	Ano	TÍTULO	AUTOR/AUTORES
01	Projeto - 2007	Mapeamento geológico e de levantamento de recursos minerais da folha Quixeramobim	Almeida A.R
02	Dissertação - 2007	Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição a evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central	Amaral W.S
03	Projeto - 2007	Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Itatira	Arthaud M.H
04	Projeto - 2007	Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da folha Boa Viagem	Arthaud M.H
05	Tese de Doutorado_2007	Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira.	Arthaud M.H
06	Boletim do Núcleo do Nordeste da SBG N°5 pp 299/318 - 1975	Contribuição a Geocronologia do Pré-cambriano Cearense	Bley B.N. et al
07	Tese de Doutorado - 2004	Evolução Geológica Proterozóica da Região entre Madalena e Taperuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema).	Castro N.A.
08	Projeto - 2003	Mapa Geológico do Estado do Ceará	Cavalcante J.C
09	Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-São Paulo - 2004	Mapeamento geológico da porção oeste do dobramento de Santa Quitéria -Borborema.	Corre Neto, D
10	Implications for the assembly of Gondwana. Degree of Doctor - 1999	U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil	Fetter A.H.
11	Tese de Doutorado - 1991	Caracterização Litoquímica e Geocronológica Rb/Sr de Rochas Granitoides e ortogneisses da Região de Santa Quitéria Sobral, NW do Ceará.	Gorayeb, P.S. S. et al. In: Tavares Jr. S.S., 1992
12	Anil-CE. XVI Simp. Geol. Nordeste. Recife. p. 274-276. - 1995.	Geocronologia Rb-Sr do Granodiorito	Gorayeb, P.S.S. & Lafon, J.M
13	Tese de Doutorado - 2000	Litogeoquímica e Controles Geológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró/Ce	Martins G.
14	Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-São Paulo - 2003	Mapeamento Geológico da Borda Leste do Arco Magmático de Santa Quitéria - Área de Juá (CE), NW da Província Borborema.	Miranda Cuoco, F. R.

15	Projeto - 1981	Radam-Brasil	Nascimento D.A.et al
16	Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, v 4, p.1721-1728 1984	Tectônica de empurrão na região de Tróia- CE.	Pessoa, R. R. and Archanju
17	.Atas do XII Simpósio de Geologia do Nordeste. João Pessoa - PB. Bol. N 10. MME/DNPM-CPRM-SBG. Núcleo Nordeste. P.75-93. -1986.	Pessoa, R.R. et al, 1986. Contribuição ao Estudo da Evolução Geocronológica do Maciço de Tróia-CE	Pessoa, R.R. et al.
18	Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas- SãoPaulo - 2005	Mapeamento e caracterização geológica da porção oeste do Batólito de Santa Quitéria, Ce.	Rosa, F. F
19	Doctoral thesis, Université de Nancy, France, 117p. - 1991	Évolution géodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil.	Sá, J.M.
20	Dissertação de Mestrado - 2003	Caracterização Litoestrutural e Geocronológica da Região Fosforo-Uranífera de Itataia - CE.	Santos, A.A.
21	Dados não publicados – 2007/2008	-----	Santos, T. J. S.
22	Dissertação de Mestrado -1998	Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea - Folha AS-V-D-V – Irauçuba - Ce	Souza Filho O. A.
23	Anais do XXXIV Congresso Brasileira de Geologia, Natal 337-338. - 1990	Petrografia e geocronologia Rb/Sr do feixe de diques da borda oeste do Granito de Meruoca (CE).	Tavares, S.S. Jr. & Gorayeb, P. S. S. & Lafon, J.M.
24	Dissertação de Mestrado -2005	Integração de Dados Aerogeofísicos, Geológicos e Isotópicos do Limite Norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria – CE (Província Borborema).	Texeira M. L.
25	Dissertação de Mestrado - 2004	Aspectos geológicos e geocronológicos da região Redenção (Ce) e adjacências - contexto regional e evolutivo: Sequência Acarape e Suite Pacatuba	Torres P. F. M.

1.4 – Organização do Trabalho

O trabalho é composto de 7 capítulos estruturados da seguinte maneira:

- no capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho;
- o capítulo 2 contempla o conceito de geoprocessamento, especificamente as definições de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), aspectos gerais do software ArcGis e Banco de Dados (BD);
- o capítulo 3 relata a metodologia aplicada nesse trabalho;
- o capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do banco de dados;
- o capítulo 5 mostra uma aplicação do banco de dados que consiste na análise das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central;

- o capítulo 6 apresentada as conclusões
- no capítulo 7 estão as referências bibliográficas;
- anexo: CD com o SIG do Banco de dados (Figura 1.3).

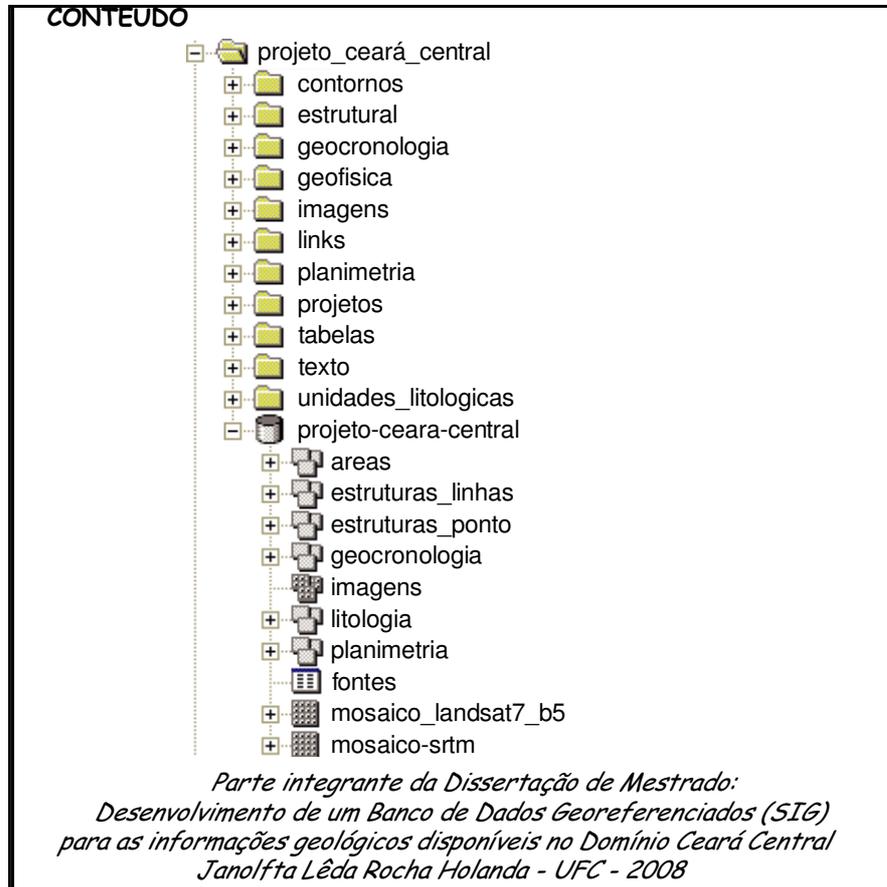


Figura1.3 – Conteúdo do CD (diretório – Projeto Ceará Central).

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 2



SIG E OS SOFTWARES DO ARCGIS



• • • • • • • •

2 – SIG E OS SOFTWARES DO ARCGIS

2.1 – Sistema de Informações Geográficas (SIG)

A função fundamental de um SIG é de trabalhar com dados que possuem uma componente espacial (uma posição geográfica definida) e uma componente não-espacial (seus atributos, suas características, suas propriedades). Os SIGs possuem componentes que se relacionam de forma hierárquica, como mostra a figura 2.1.

Segundo Câmara (2005) a principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos.

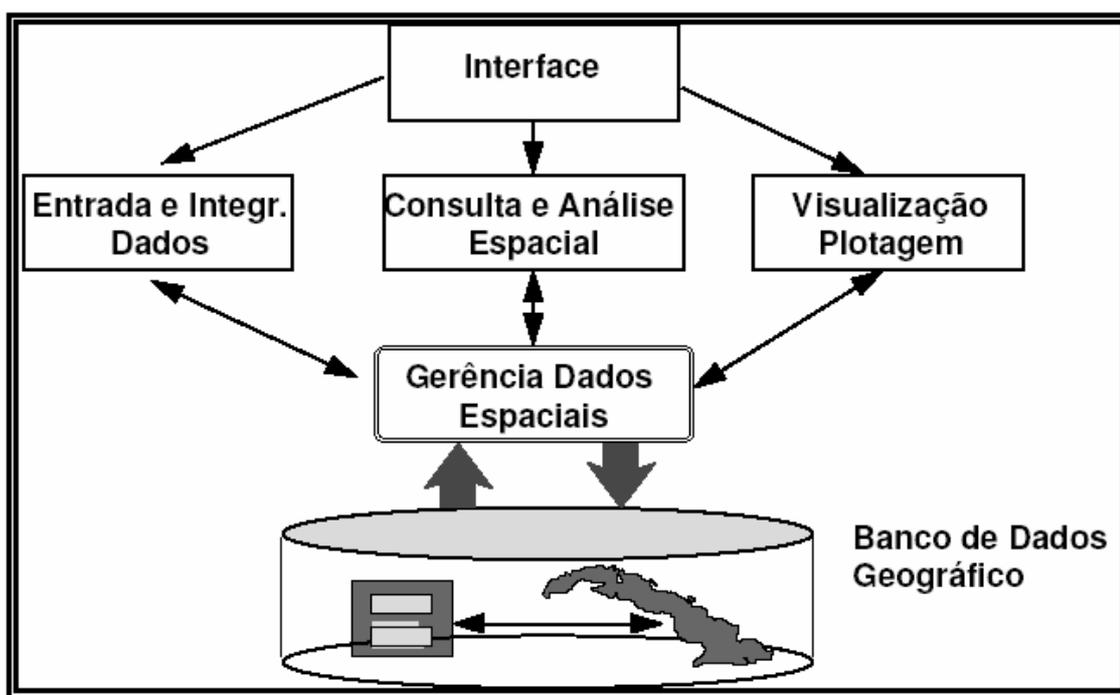


Figura 2.1 – Arquitetura de um Sistema de informações Geográficas (Câmara, 2005).

O usuário de um SIG deve ter conhecimento das ferramentas de desenho (parte gráfica) e de tabelas e relacionamentos (banco de dados).

Muito embora existam diversos modelos de banco de dados, o modelo relacional é, em geral, o mais apropriado para representar a realidade e, por esse motivo, foi utilizado nesse trabalho.

Um banco de dados relacional é composto por tabelas, nas quais são armazenadas informações sobre objetos. O conteúdo de uma linha da tabela, ou registro, representa um objeto com as suas características e, portanto, cada objeto está relacionado a um (e apenas

um) registro. Cada coluna, ou campo se refere a uma propriedade ou atributo deste objeto. É possível estabelecer relacionamentos entre diferentes tabelas, baseado em um campo comum entre as mesmas - o identificador (código, Id) - de modo que seja possível consultar atributos de um objeto que estejam armazenados em tabelas diferentes, como mostra a Figura 2.2.

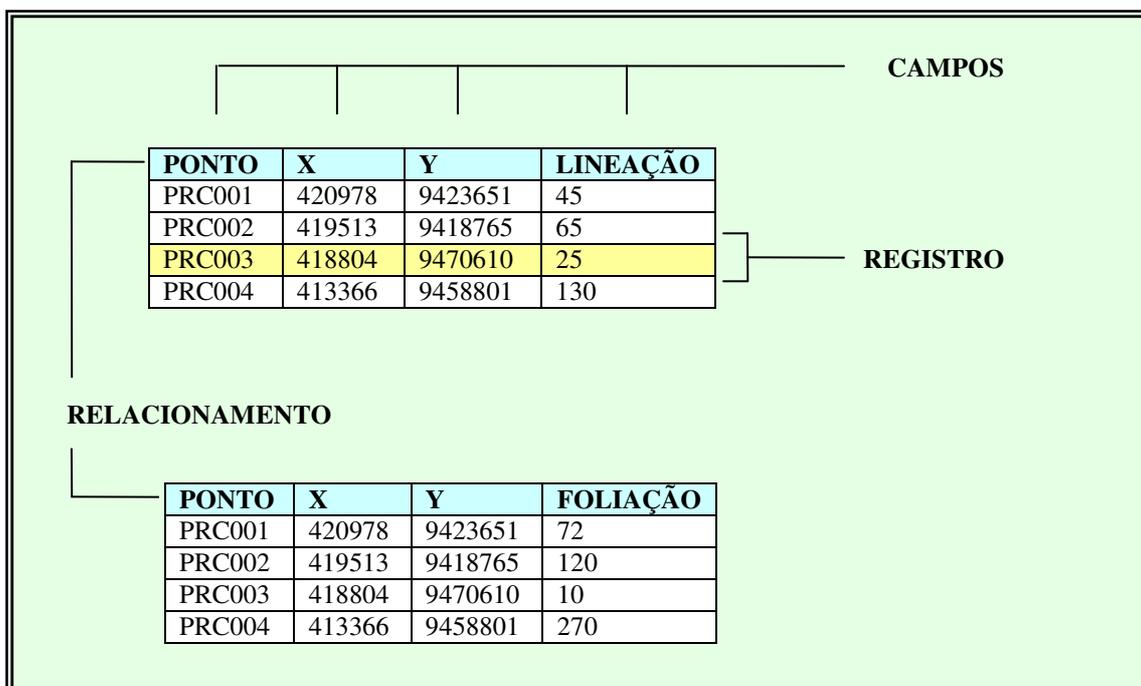


Figura 2.2 – Modelo de Relacionamento: essa figura mostra duas tabelas onde o campo **PONTO**, comum as duas, pode ser utilizado para fazer um relacionamento entre elas possibilitando a análise do cruzamento de informações como: foliação e lineação.

Qualquer SIG deve ser capaz de:

1. Representar graficamente informações de natureza espacial e de associar aos gráficos as informações alfanuméricas tradicionais.
2. Representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matrizes de pixels).
3. Recuperar informações com base em critérios alfanuméricos, à semelhança de um sistema de gerenciamento de bancos de dados tradicionais, e com base em relações espaciais topológicas, tais como disjunção, contingência e adjacência, igualdade, interseção, cruzamento.
4. Realizar operações de aritmética de polígonos, tais como união, interseção e diferença, gerar polígonos paralelos (buffers) ao redor de elementos ponto, linha e polígono.

5. Limitar o acesso e controlar a entrada de dados através de um modelo previamente construído.

2.2 – Aspectos Gerais do ArcGIS

O ArcGis é uma família de software que dá forma a um SIG desenvolvido para a criação, gestão, integração e análise de dados geográficos. Oferece uma grande flexibilidade por ser possível adquirir módulos do sistema para realizar operações específicas e por poder ser instalado num único posto de trabalho ou numa rede global de utilizadores. Os principais software do ArcGIS são:

1. ArcView: fornece visualização de dados, consulta, análise, e potencialidades de integração junto com a capacidade de criar e editar elementos geográficos simples;

2. ArcEditor: inclui as funcionalidades de ArcView e adiciona a capacidade de criar e editar elementos numa geodatabase com múltiplos utilizadores;

3. ArcInfo inclui todas as funcionalidades do ArcEditor e adiciona capacidades avançadas de geoprocessamento;

4. ArcSDE funciona como um sistema de gestão de bases de dados relacionáveis e suporta uma grande variedade de formatos.

O ArcGIS permite trabalhar com formatos de dados do tipo *Shapefiles* que possuem uma grande vantagem em relação aos CADs, porque possibilitam vínculo com banco de dados externos, apresentados de forma tabular através de sua tabela de atributos (*Attribute Table*).

As tabelas de atributos contêm todas as informações de cada feição que se quer representar em mapa. A qualquer momento é possível alterar os dados da tabela (editar), ordenar em ordem crescente ou decrescente, selecionar feições e criar novas *Shapefiles* (.shp) a partir da seleção indicada, permitindo assim que qualquer pessoa possa extrair do banco de dados às informações que são do seu interesse e, posteriormente, criar novos produtos com essas informações.

Um aspecto relevante da tabela de atributos é a possibilidade de importar dados de outra tabela dBASE (.dbf) para a tabela de atributos (shp), desde de que tenha um atributo em comum. Isso permite que feições já existentes no banco de dados possam ser enriquecidas com novas informações.

Outro formato de dados é o geodatabase que possui um banco de dados relacional que armazena dados geográficos. É um container para armazenar dados espaciais e de atributo e relacionamentos que existem entre eles. Um geodatabase possui como vantagens:

- Gerenciamento de dados SIG centralizado;
- Conjuntos de feições contínuos;
- Geometria de feições avançadas;
- Suporte COGO (geometria de coordenadas) esse suporte permite que o programa importe arquivos de coordenadas x, y, z e atributos no formato TXT, XLS;
- Subtipos de feições;
- Topologia flexível, baseada em regras;
- Edição de dados mais precisa;
- Anotações ligadas a feições;
- Feições personalizadas;
- Redes Geométricas;
- Referenciamento linear;
- Controle de Versões;
- Edição desconectada;
- Suporte a UML (Linguagem de Modelagem Unificada) e ferramentas CASE que auxiliam nas atividades de engenharia de software, desde análise de requisitos e modelagem até programação e teste.

Existem dois tipos de geodatabase: o pessoal e o multiusuários.

Um geodatabase pessoal tem a extensão .mdb (um formato usado pelo software Microsoft Access) e pode ser lido por múltiplas pessoas ao mesmo tempo, mas editado por somente uma pessoa por vez. Um geodatabase pessoal tem um tamanho máximo de 2 gigabytes (GB) e armazena dados vetoriais.

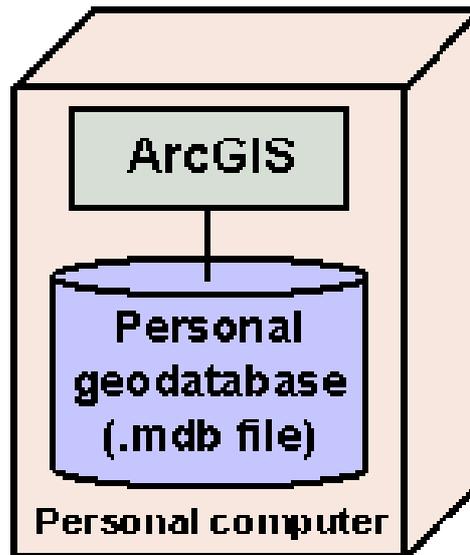


Figura 2.3 – Geodatabase pessoal (ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

Os geodatabases multiusuários (também chamados ArcSDE® ou geodatabases empresariais) são adequados para implementações em SIG para grandes grupos de trabalhos e empresas. Eles podem ser lidos e editados por múltiplos usuários ao mesmo tempo e podem armazenar tanto dados vetoriais como raster. Geodatabases multiusuários são compreendidos pelo software ArcSDE e por um SGBD (sistema gerenciador de banco de dados) tal como IBM DB2, Informix, Oracle, ou SQL Server, que é uma linguagem padrão de BDR. Os dados espaciais são armazenados no SGBD e o ArcSDE permite a visualização e o trabalho com os dados a partir dos aplicativos do ArcGis. Trabalhando com um SGBD Oracle ou SQL Server, é possível se conectar diretamente aos dados a partir do ArcCatalog ou ArcMap. Para outros SGBDs, o ArcSDE gerencia a conexão.

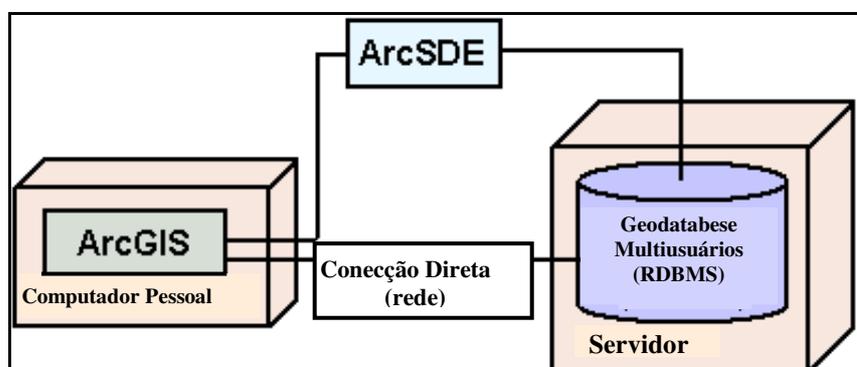


Figura 2.4 – Geodatabase multiusuários (modificado de ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

Tabela 2.1 – Comparação do geodatabase:

	Pessoal	Multiusuário
SGBD	Microsoft Access	IBM DB2, Informix, Microsoft SQL Server, Oracle
Client / Server	Não	Sim
Transações Longas	Não	Sim
Edição Desconectada	Não	Sim
Editores	1 por vez	1 ou mais ao mesmo tempo
Raster	Não	Sim
Tamanho	Ate 2 GB	Ilimitado

Um geodatabase tem na sua estrutura três componentes primários:

- **Classe de feição** que é uma coleção de feições que compartilham o mesmo tipo de geometria (ponto, linha, ou polígono).
- **Conjuntos de dados de feições** que agrupam classes de feições. Todas as classes de feições em um conjunto de dados de feições devem ter o mesmo sistema de coordenadas e estar dentro da mesma extensão geográfica.
- **Tabelas** que contêm dados não-espaciais que podem ser associados a classes de feições.

Os três componentes são criados e gerenciados no ArcCatalog.

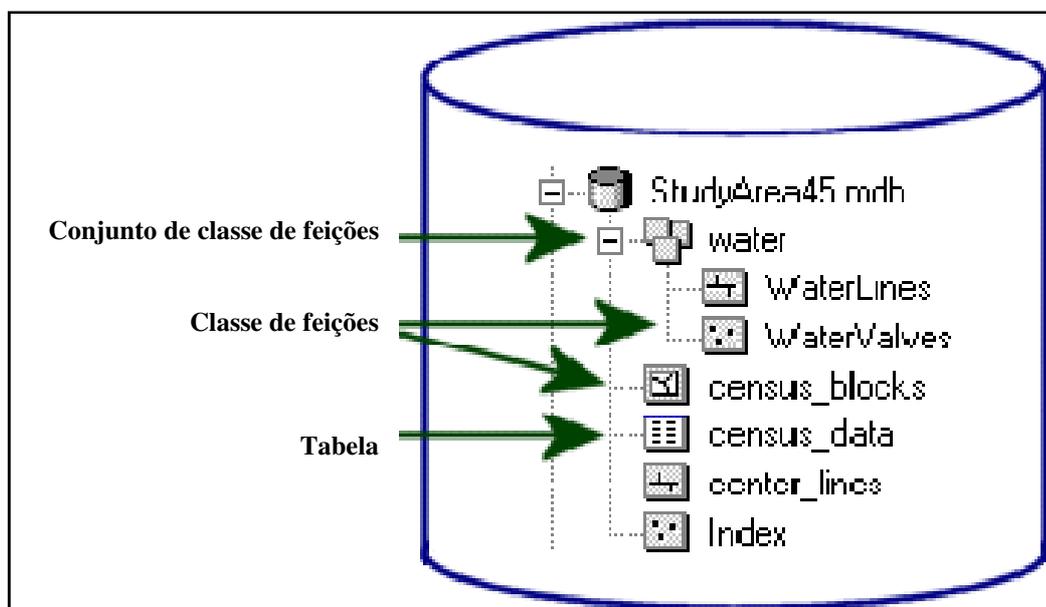


Figura 2.5 – Estrutura de uma geodatabase (ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

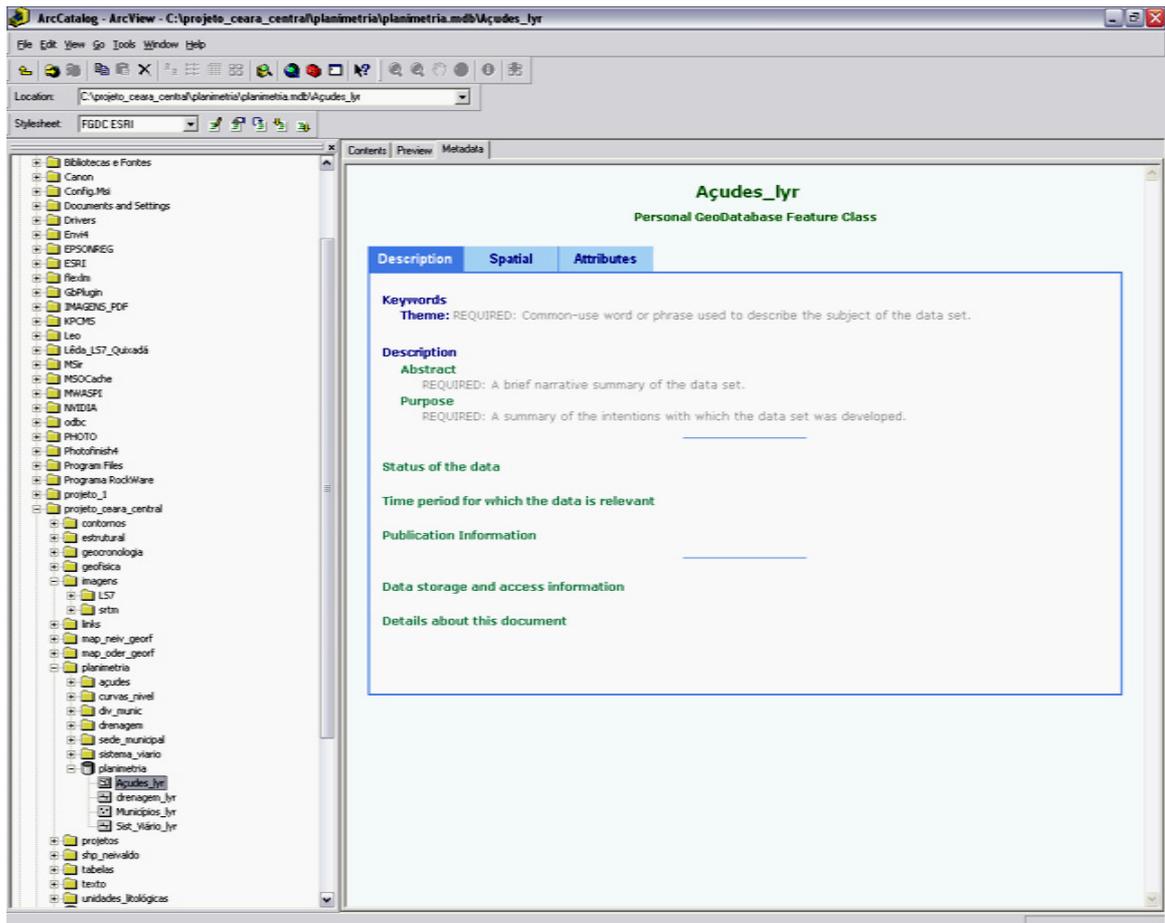


Figura 2.6 – Visualização de um geodatabase no ArcCatalog.

Os blocos de construção básicos de um geodatabase são classes de feições, conjuntos de dados de feições e tabelas. A partir desses blocos é possível construir objetos mais complexos em um geodatabase. Também é possível criar associações baseadas em relacionamentos espaciais (topologia) ou em atributos (classes de relacionamento) ou construir redes geométricas para modelar o fluxo de recursos.

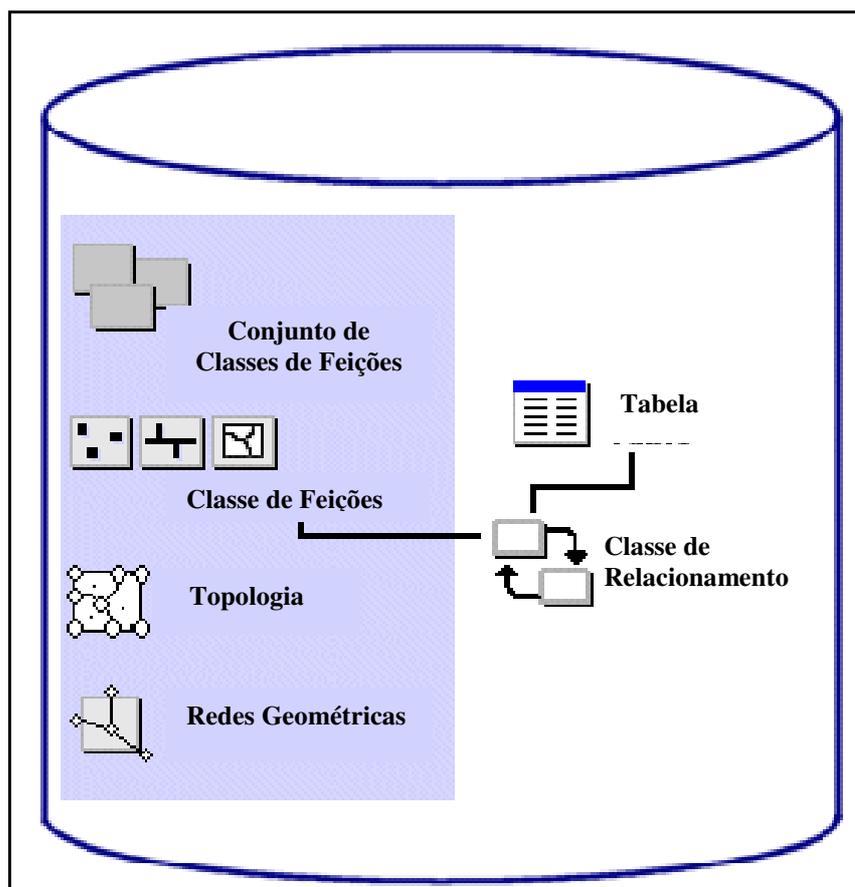


Figura 2.7 – Relacionamento de uma geodatabase (modificado de ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

Relacionamentos espaciais entre feições são definidos por topologia. A topologia determina a adjacência e conectividade de feições.

Uma topologia de geodatabase é simplificada, um conjunto de regras e propriedades que definem os relacionamentos espaciais que modelam e preservam os dados. O ArcGIS inclui mais de 20 regras de topologia. Cada regra de topologia se aplica a um tipo particular de relacionamento espacial. A figura 2.8 mostra um exemplo de regra de topologia que define um relacionamento espacial entre fronteiras de polígono. Essa regra determina que:

- Não pode haver espaço entre fronteira de polígonos;
- Não pode haver superposição entre polígonos.

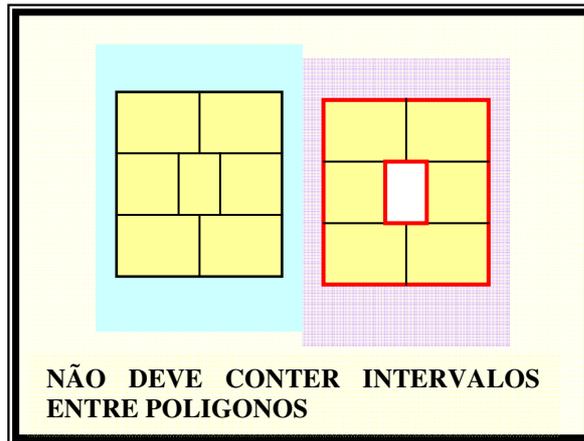


Figura 2.8 – Exemplo de regra topológica.

Uma topologia de geodatabase (topologia de linha e polígono) que também pode ser chamada de topologia de mapa consiste de feições com segmentos coincidentes. Cada feição armazena o seu conjunto de coordenadas; portanto, a geometria para segmentos coincidentes é armazenada duas vezes no geodatabase. Feições de ponto se comportam como nós quando elas são coincidentes com outras feições.

A figura abaixo mostra um exemplo de dois polígonos adjacentes: ambos têm um segmento comum, limitado pelas coordenadas 421066 / 9436694 e 462567 / 9446612. Esses pares de coordenadas são armazenados duas vezes no geodatabase.

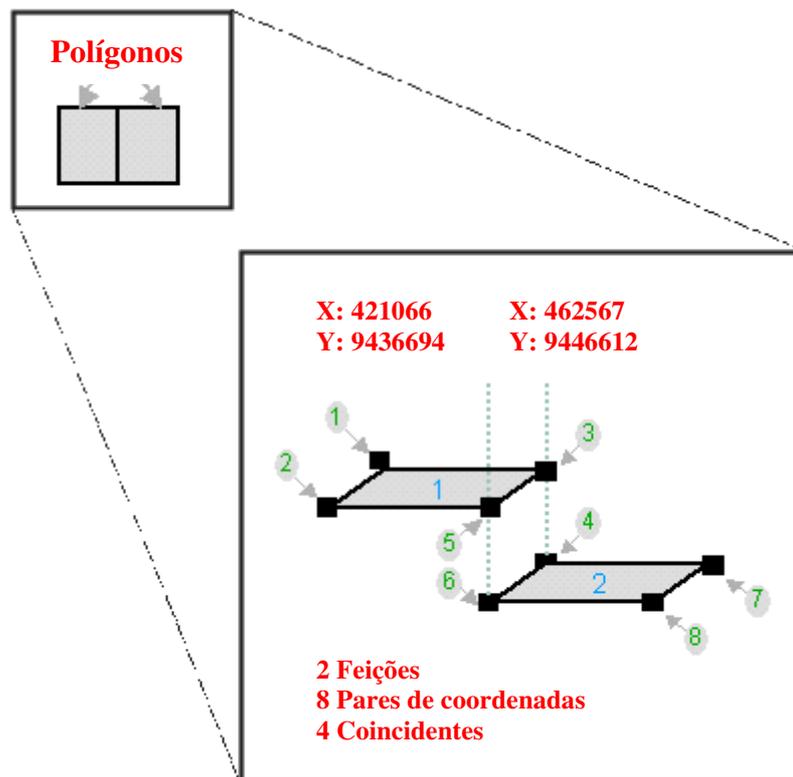


Figura 2.9 – Exemplo de polígonos adjacentes (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

Os relacionamentos espaciais primários, que podem ser modelados usando topologia são: adjacência, coincidência e conectividade. Existem três tipos de topologia disponíveis no geodatabase: topologia de mapa, topologia de geodatabase e topologia em uma rede geométrica.

Um outro relacionamento importante é o relacionamento de tabelas onde a cardinalidade é determinada pelo papel que cada tabela desempenha no relacionamento. A tabela primária em um relacionamento é chamada tabela de origem. A tabela que está relacionada à tabela de origem é chamada de tabela de destino. As tabelas relacionam-se umas as outras através de chaves. Uma chave é um conjunto de um ou mais atributos que determinam a unicidade de cada registro.

Um relacionamento entre duas tabelas deve ser criado a partir de dados do mesmo tipo. Para construir um relacionamento entre duas tabelas, ambas devem ter pelo menos um campo em comum. Os formatos de campo suportados são: inteiro curto, inteiro longo, real, duplo, texto e objeto ID. Nem todos os tipos de campo podem ser usados para criar relacionamentos: não é possível relacionar duas tabelas baseado em campos de dados do tipo data ou BLOB que são objetos binários e geralmente são arquivos especialmente largos (como

arquivos de música ou multimídia) cujo tamanho exige um tratamento peculiar para armazenar, enviar, baixar, etc.

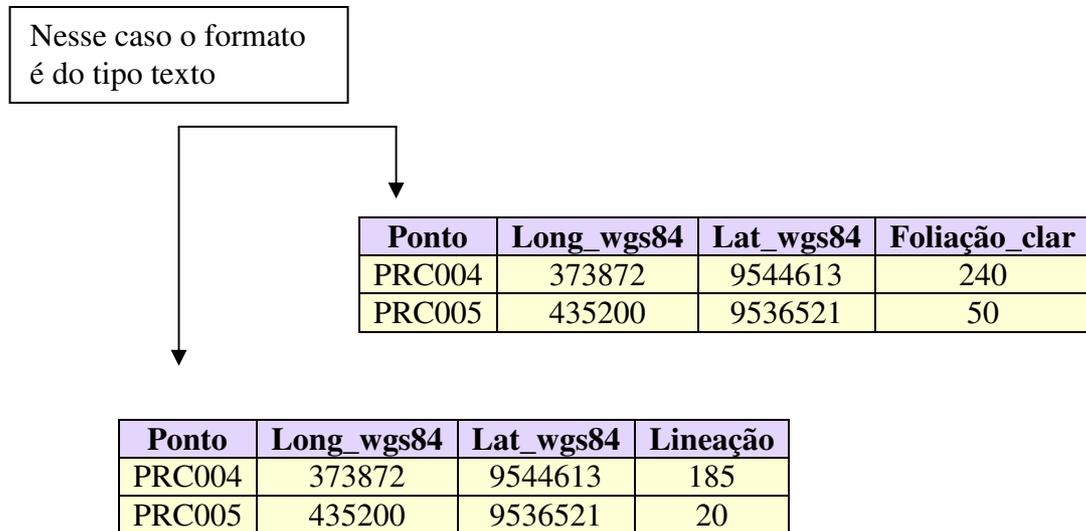


Figura 2.10 – Exemplo de relacionamento entre tabelas utilizando um campo com formato do tipo texto.
(PRC004 e PRC005).

Há quatro relacionamentos possíveis (chamados de cardinalidade): um-para-um (1-1), um-para-muitos (1-M), muitos-para-um (M-1), e muitos-para-muitos (M-M), (Figura 2.11).

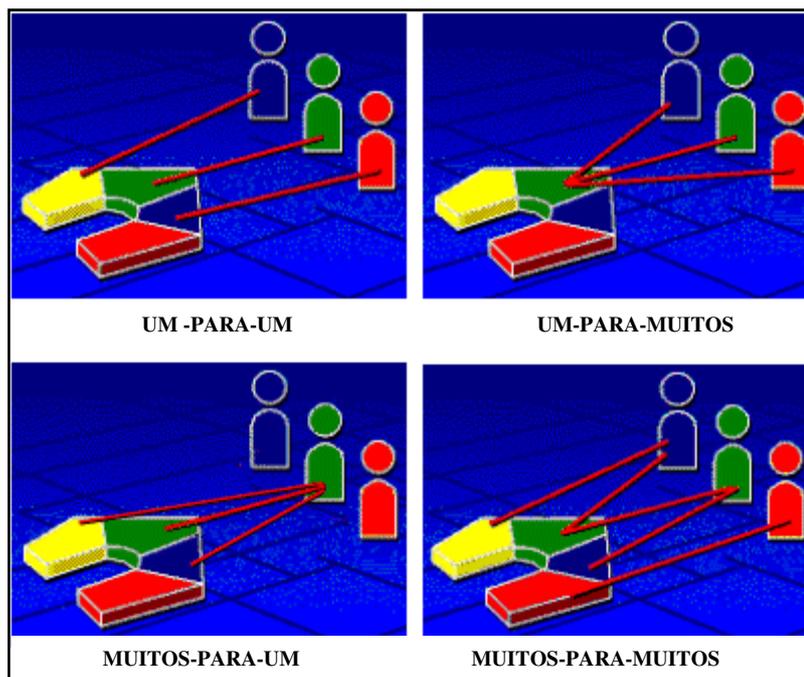


Figura 2.11 – Tipos de relacionamento de um geodatabase (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

Uma vez o relacionamento criado, os campos-chave são marcados com asterisco (*). O asterisco indica que o campo não pode ser excluído pelo usuário. Deve-se remover o relacionamento antes de excluir um campo-chave.

Três tipos de dados vetoriais podem ser manipulados em uma geodatabase: feições de ponto, linha ou polígono (Figura 2.12).

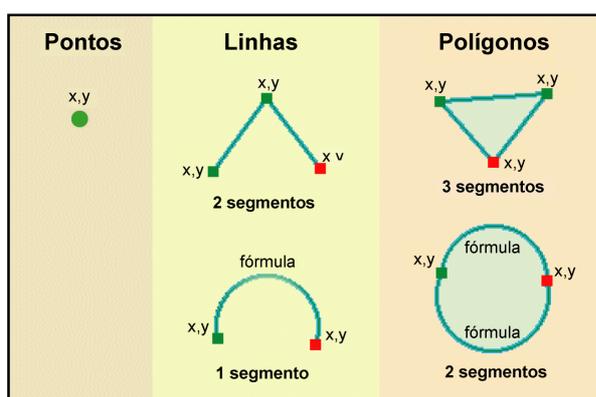


Figura 2.12 – Tipos de dados vetoriais manipulados pelo ArcGIS (modificado de: ArcGIS 9.0 Designing Geodatabase With Visio – ESRI, 2005).

A seguir estão dispostos os principais tipos de dados (e respectivas camadas) da maneira em que são representados (como ícones) pelo [ArcCatalog](#). Todos os formatos

listados abaixo são reconhecidos pelo ArcGIS em sua forma nativa, não sendo necessário nenhum procedimento de exportação/importação.

Tabela 2.2 – Dados reconhecidos pelo ArcGis em sua forma nativa.

 Shapefile (SHP, ponto)	 Layer de shapefile (ponto)
 Shapefile (SHP, polilinha)	 Layer de shapefile (polilinha)
 Shapefile (SHP, polígono)	 Layer de shapefile (polígono)
 Raster (GRID, BIL, ERS, TIF, BMP, JPG,...)	 Layer raster
 Rede triangular (TIN)	 Layer Tin
 Base de dados (Geodatabase, MDB, Conexão)	 Tabela (DBF)
 CAD (DWG, DXF, DGN)	 CAD (feições pontuais)
 CAD (feições lineares)	 CAD (áreas)
 CAD (anotações)	 Mapa (MXD) - Equivalente ao APR Não é layer

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 3



METODOLOGIA



• • • • • • • •

3 – METODOLOGIA

Com base no que foi proposto nesse trabalho, adotou-se a seguinte metodologia:

1- Levantamento e captura de todos os dados geológicos disponíveis do Ceará Central, tanto em meio digital quanto em meio analógico (dados em papel). Os dados analógicos utilizados foram aqueles que possibilitavam a recuperação e a transcrição das informações em meio digital no padrão adotado para o BD.

Para Serra (2003) captura é a coleta das informações existentes no mundo real, e que podem ser obtidas de diversas formas (Figura 3.1).

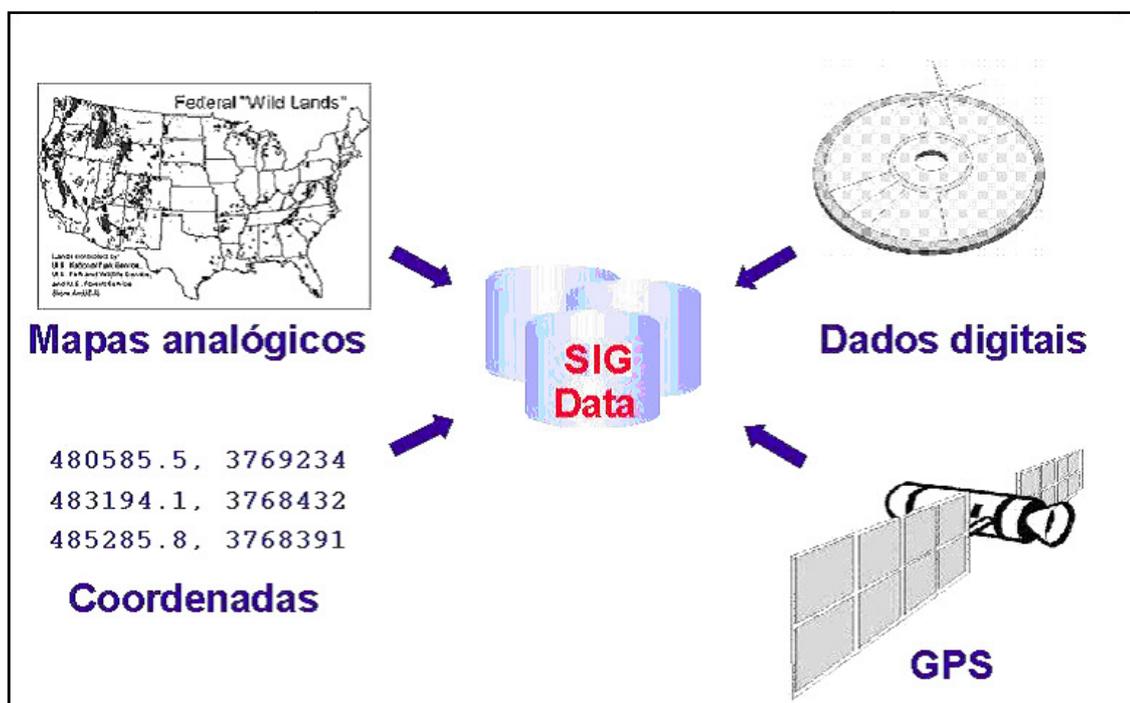


Figura 3.1 – Captura de dados do SIG (Serra, 2003).

Ao analisar os dados coletados verificou-se a existência, nos trabalhos compilados de:

- Datum horizontais diferentes (Sad 69, WGS 84, Córrego Alegre);
- Coordenadas usando sistema geográfico e coordenadas usando sistema cartográfico (UTM);
- Escalas variadas de trabalho;
- Formas diferentes de anotações de medidas de campo, sobretudo em relação à foliação (Clar, regra da mão direita, azimute);
- Mapas geológicos em formatos variados;

2- Definição da formatação de dados a ser seguida, determinando qual a melhor forma de representar em um único documento informações geológicas coletadas ao longo de vários anos e por vários autores.

- O Datum escolhido foi o WGS 84. Essa escolha foi feita por este ser um sistema de utilização mundial (datum global) que está associado ao sistema de posicionamento *Global Position System* (GPS).

- As coordenadas foram padronizadas em UTM, pois foi observada uma tendência no uso desse sistema. Para converter as coordenadas geográficas em UTM e os Datum Sad 69 e Córrego Alegre em WGS 84 (dados pontuais) foi utilizado a calculadora geográfica *on line* do INPE (<http://w.w.w.dpi.inpe.br/calcula/>) que tem, como vantagem, a facilidade de utilização e, como desvantagem, o fato de converter apenas um par de coordenadas por vez.

- A escala escolhida foi 1:500.000 (que procurou compatibilizar o tamanho da área e a densidade de informação).

- Preservou-se a anotação original das medidas de foliação, mas foi necessário criar um item onde foram colocadas todas as medidas de foliação em formato padrão. Foi escolhido o formato Clar que permite fazer a representação da simbologia em mapa.

- Foram escolhidas as informações que deveriam ser transcritas para o BD.

- Foi escolhido o ArcGis 9.0 como software para montar a plataforma do SIG, pois permite a produção de mapas com alta qualidade gráfica, tem uma visualização agradável e permite que o usuário expresse as informações relevantes de forma amigável, possui um modelo de banco de dados relacional (BDR).

Para padronizar os dados digitais e os dados analógicos foi necessário separá-los em grupos.

Dados Digitais

- Foram padronizados os dados digitais da seguinte forma: os dados que estavam em meio digital foram analisados e separados por tipos (vetoriais, tabulares e raster).

Dados vetoriais:

- Unidades litológicas – a litologia foi capturada do mapa do Ceará (CPRM – 2003, escala 1:500.000) cujo sistema de projeção (Sad 69) foi alterado para o Datum WGS 84, sendo as coordenadas geográficas substituídas por coordenadas UTM. A litologia foi recortada nos limites do Ceará Central utilizando o software ArcGis 9.0.

Foram aplicadas regras topologias visando fazer correções de digitalização, pois essa apresentava vários erros (figura 3.2). A cor vermelha na figura 3.2 representa erros que devem ser corrigidos de acordo com as regras aplicadas.

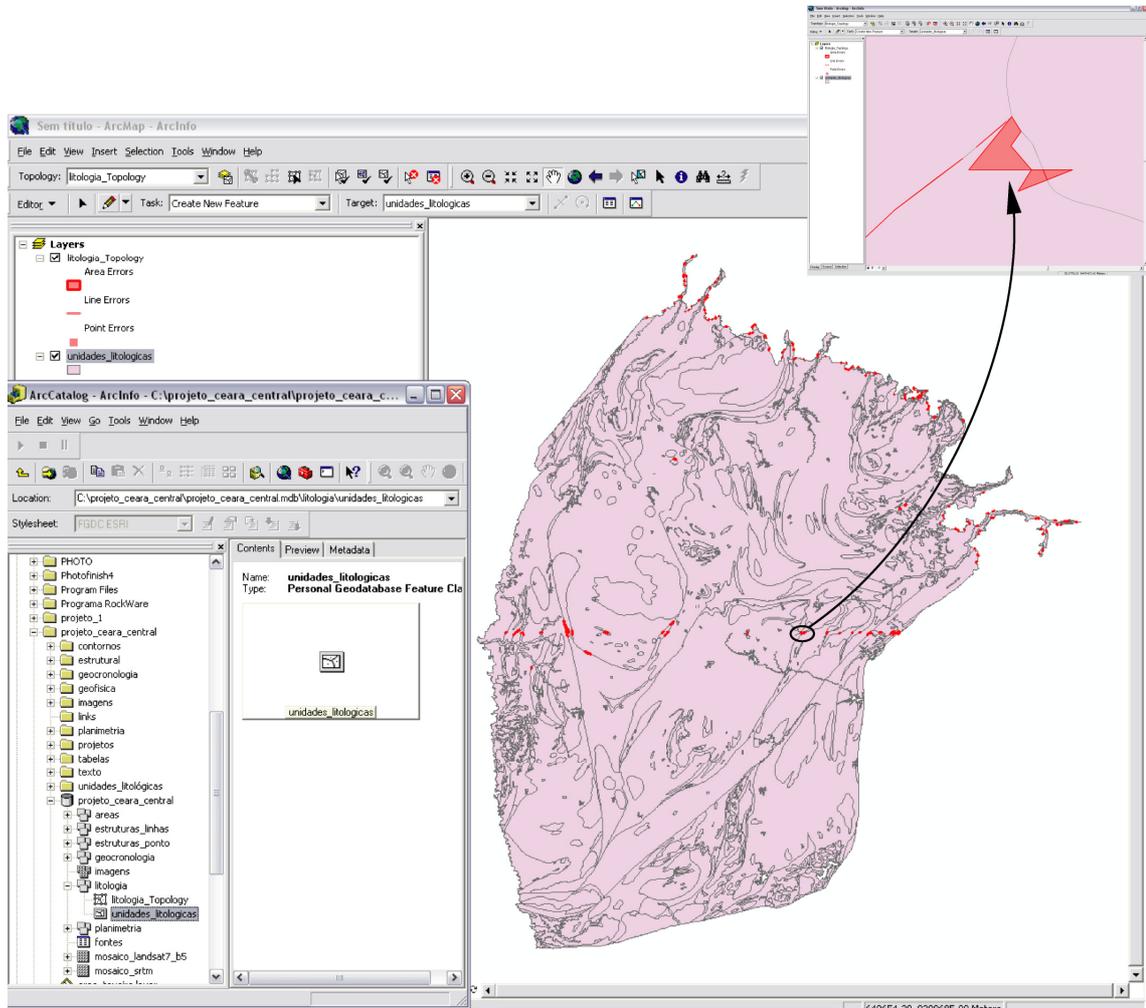


Figura 3.2 – Identificação dos erros topológicos da Litologia do Mapa do Ceará (CPRM – 2003).

Após aplicar regras de topologia, verificaram-se erros de: superposição de polígono, espaço vazio entre polígonos, erros de cruzamento de linha etc. Esses erros foram visualizados, analisados e corrigidos no ArcInfo.

- Planimetria – a planimetria foi capturada do mapa do Ceará (CPRM – 2003, escala 1:500.000) que passou por um processo de correção da digitalização, pois apresentava vários erros de topologia como: duplicação de feição e cruzamento de linhas, etc. Em algumas áreas as feições do layer de drenagem precisaram ser suavizadas. Para fazer essa correção foram utilizadas imagens Landsat 7 como suporte auxiliar na identificação espacial de

algumas feições como açudes, rios, estradas. O procedimento aplicado foi de análise de superposição.

Dados Tabulares: os dados que estavam em forma de tabela (foliações, lineações, geocronologia) foram padronizados, colocados no formato (.dbf), exportados para SIG e convertidos para (.shp).

Tabela 3.1 – Quantidade de dados tabulares compilados que estavam em meio digital.

DADOS	QUANTIDADE	FONTE
FOLIAÇÃO	244	Amaral W.S. (2007)
FOLIAÇÃO	221	Arthaud, M.H (2007)
FOLIAÇÃO	73	Holanda, J. L. R (2008) - Projeto Milênio
FOLIAÇÃO	216	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha Itatira
FOLIAÇÃO	274	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha Boa Viagem
FOLIAÇÃO	252	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha quixeramobim
FOLIAÇÃO	185	Souza filho (2005)
FOLIAÇÃO	124	Teixeira M. L. (2005)
SUBTOTAL	1589	-----
LINEAÇÃO	68	Amaral W.S. (2007)
LINEAÇÃO	182	Arthaud, M.H. (2007)
LINEAÇÃO	55	Correa Neto, D. (2004)
LINEAÇÃO	63	Holanda, J. L. R (2008) - Projeto Milênio
LINEAÇÃO	21	Miranda Cuoco, F.R. (2003)
LINEAÇÃO	194	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha Boa Viagem
LINEAÇÃO	135	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha Itatira
LINEAÇÃO	41	Projeto CPRM/UFC - 2006 Folha quixeramobim
LINEAÇÃO	107	Mapa Ceará (2003) - CPRM
LINEAÇÃO	59	Rosa, F.F. (2005)
LINEAÇÃO	193	Santos, P.J.S. (dados não publicados_2008).
LINEAÇÃO	101	Souza filho (2005)
LINEAÇÃO	45	Teixeira M. L. (2005)

SUBTOTAL	2853	-----
GEOCRONOLOGIA	37	Arthaud, M.H (2007)
GEOCRONOLOGIA	5	Bley, B. N. et al 1975
GEOCRONOLOGIA	20	Castro N. A (2004)
GEOCRONOLOGIA	6	Cavalcante, J. C. (2003)
GEOCRONOLOGIA	72	Fetter,A.H. (1999)
GEOCRONOLOGIA	1	Gorayeb, P.S.S. et al In: Tavares, S.S. Jr (1992)
GEOCRONOLOGIA	1	Gorayeb, P. S. S & Lafon J. M. (1995)
GEOCRONOLOGIA	6	Martins, G. (2000)
GEOCRONOLOGIA	2	Nascimento, D. A. et al (1981).
GEOCRONOLOGIA	2	Pessoa, R.R. (1984)
GEOCRONOLOGIA	35	Santos, A. A (2003)
GEOCRONOLOGIA	2	Tavares S. S. Jr & Gorayeb, P. S. S & Lafon J. M (1990).
GEOCRONOLOGIA	27	Teixeira M. L. (2005)
GEOCRONOLOGIA	14	Torres P. F. M. (2004)
TOTAL	3083	-----

Dados raster: esses dados foram organizados em diretórios assim como os demais (figura 3.3) depois foram levados para ambiente SIG e colocados em um único sistema de projeção.

1- Imagens Landsat 7 - foi feito um mosaico das imagens que cobriam o Ceará Central (um total de 7 cenas) utilizando o software ENVI 4.0

2- Imagens SRTM - também foi feito um mosaico das imagens SRTM que cobriam o Ceará Central (14 imagens) utilizando o software ENVI 4.0

3- Dados geofísicos – foram modificadas as projeções dos dados geofísicos e feito um mosaico dos projetos Acaraú, Iguatu, e Itatira.

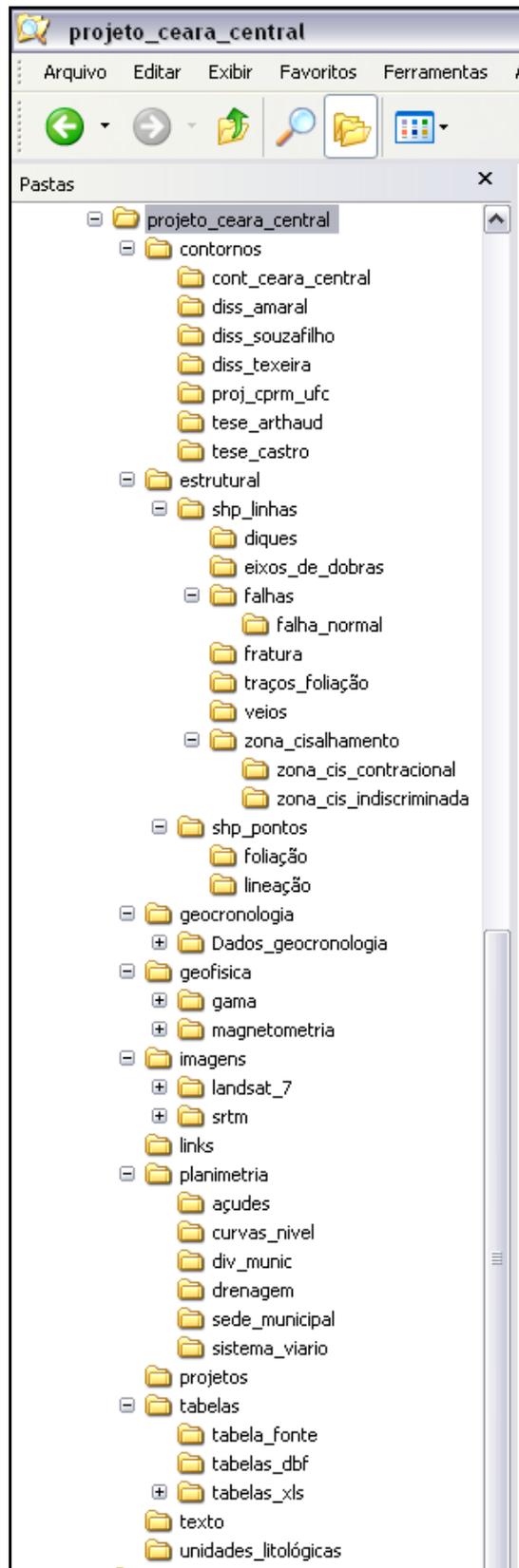


Figura 3.3 – Organização dos dados em diretórios.

Dados Analógicos

- Os dados analógicos passaram por um processo diferente, descrito abaixo:

1 – Os mapas analógicos foram escaneados e georreferenciados no *software Arc Gis*;

2 – Foi utilizado o *software Adobe Illustrator* para recuperar as atitudes de foliação e lineação que estavam em meio analógico (informações recuperadas dos mapas). Estes dados foram transcritos para tabelas. O software utilizado para construir as tabelas foi o Excel. A Tabela 3.1 mostra a quantidade de dados analógicos que foram passados para meio digital;

Tabela 3.2 – Quantidade de dados passados para meio digital.

DADOS	QUANTIDADE	FONTE
FOLIAÇÃO	185	Souza Filho O. A (1998).
FOLIAÇÃO	618	Castro N. A (2004)
SUBTOTAL	803	-----
LINEAÇÃO	234	Souza Filho O. A (1998).
LINEAÇÃO	330	Castro N. A (2004)
LINEAÇÃO	136	Mapa do Ceará (2003) - CPRM
TOTAL	1503	-----

3 – As tabelas foram convertidas para *Shapefiles* e agrupadas às informações que já estavam em meio digital e posteriormente convertidas para geodatabase.

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 4



DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS



• • • • • • • •

4 – DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS

O desenvolvimento do banco de dados foi feito a partir de uma modelagem que agrupa dados do tipo RASTER que servem de estrutura base para os dados que foram introduzidos em SIG na forma de tabelas organizadas em geodatabase que é uma base relacional que armazena dados geográficos, ou seja, uma construção de tabelas de coordenadas, de objetos espaciais e de relacionamentos entre estas tabelas, estocadas em um banco de dados relacional. Esses dados são do tipo VETOR (linhas, pontos e polígonos).

4.1 – Estrutura de Base do SIG

4.1.1 – Imagem SRTM

O SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi uma missão espacial que teve como objetivo a geração de um modelo tridimensional do terreno quase global. O sensor correspondia a um radar (SAR) transportado pelo ônibus espacial Endeavour. Adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre. O sistema SRTM contava com 2 antenas de recepção, separadas por um mastro de 60 metros, o que possibilitou a aquisição dos dados em uma mesma órbita, garantindo a melhor qualidade dos mesmos.

Basicamente o resultado da missão SRTM é um conjunto de imagens com pontos de altitudes conhecidas, dispostos numa grade horizontal e com espaçamento uniforme. Os dados utilizados no SIG possuem as seguintes características: formato GEOTIFF (16 bits), Resolução espacial 90 m e Sistema de Referência WGS 84 (Figura 4.1).

O SRTM mostra o relevo da área, ajudando realçar estruturas como zonas de cisalhamento, falhas e fraturas.

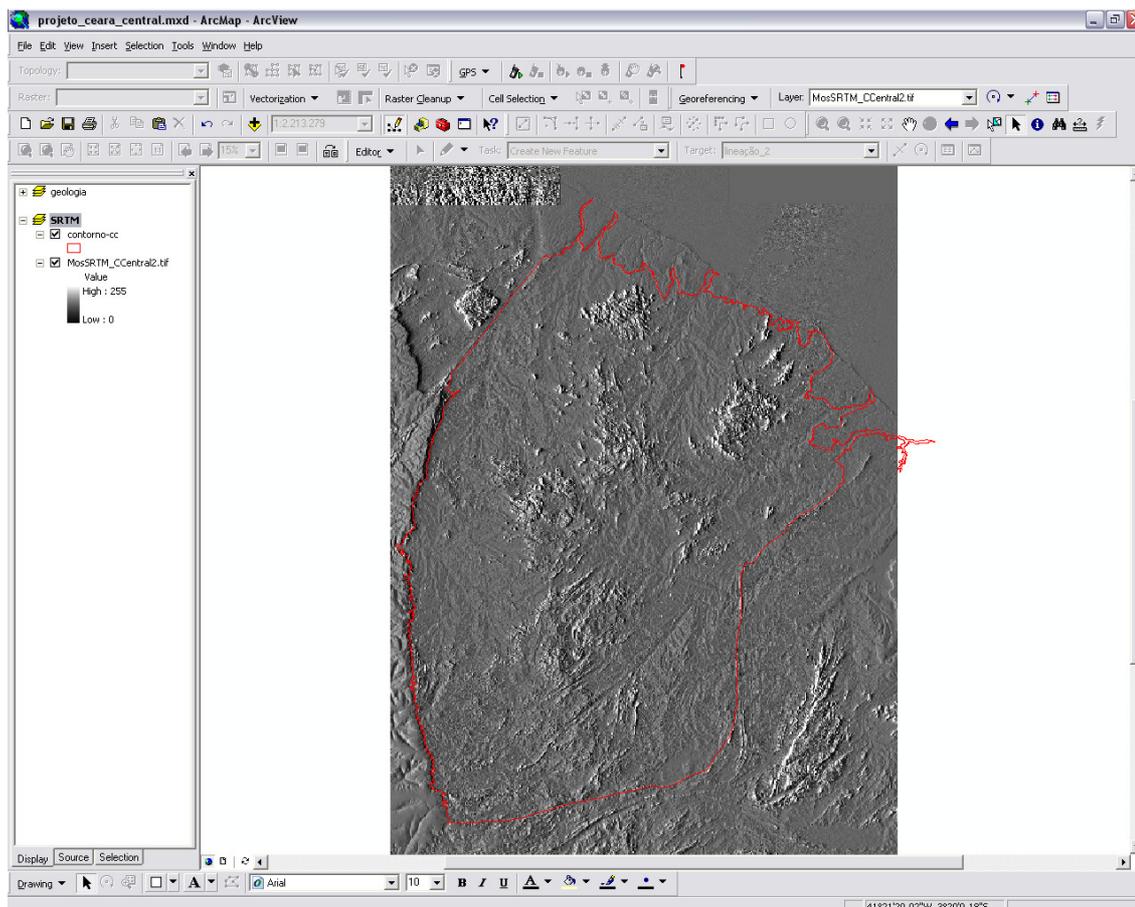


Figura 4.1 – Modelo digital de terreno do Ceará Central baseado em dados radar_SRTM – 90m.

4.1.2 – Mosaico Landsat 7 banda 5

Em 1999 foi lançado o Landsat 7, um satélite que substituiu o Landsat 5 já no final de sua vida útil. A substituição do scanner TM pelo ETM+” *Enhanced Thematic Plus*” trouxe uma série de benefícios adicionais como: gravação da banda 6 (infra-vermelho termal) em duas bandas, com resolução de 60 m; Nova banda pancromática com 15 metros de resolução;(banda 8) maior precisão radiométrica absoluta; geometria de imageamento significativamente melhorada, permitindo georreferenciamento aproximado precisão de ~ 100 a 200 metros.

A imagem Landsat 7 banda 5 (Figura 4.2) foi introduzida no SIG por ser a banda que mais se aproxima de uma foto preto e branco, permitindo interpretações gerais.

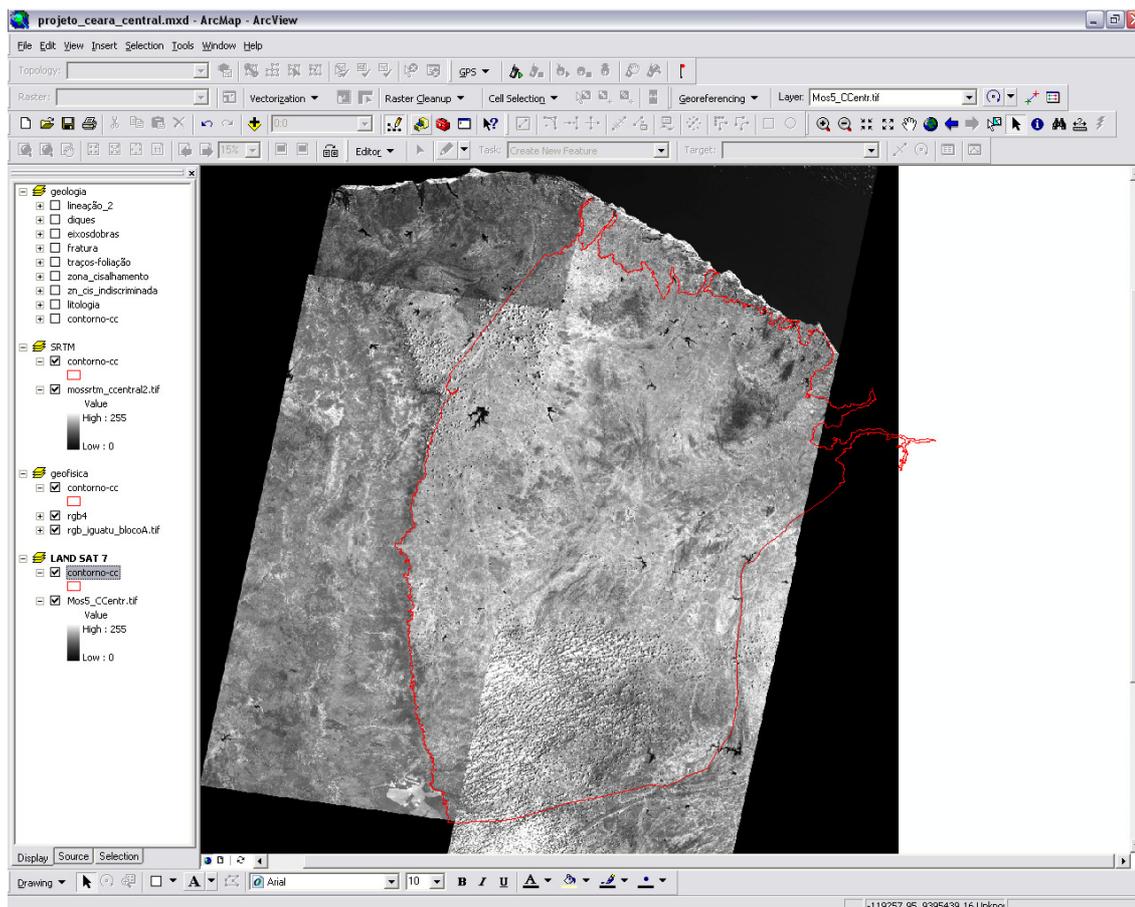


Figura 4.2 – Mosaico da imagem Landsat 7 banda 5 do Ceará Central.

4.1.3 – Dados Aerogeofísicos

Os dados aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) incorporados nesse trabalho foram adquiridos dos Projetos Rio Acaraú (1975), Itatira (1977) e Iguatu (1976 e 1977). O processamento foi feito pela Professora Dra. Adalene Moreira Silva da Universidade de Brasília - Unb que cedeu os produtos no formato GeoTIFF com Datum Córrego Alegre. Eles foram posteriormente convertidos para o Datum WGS84.

O Projeto Itatira subárea A tinha sido processado anteriormente por Texeira (2005), Amaral (2007) também processou o Projeto Itatira e o Projeto Acaraú.

A figura 4.3 mostra a localização das áreas dos projetos e a tabela 4.1 mostra uma síntese das principais características dos aerolevantamentos.

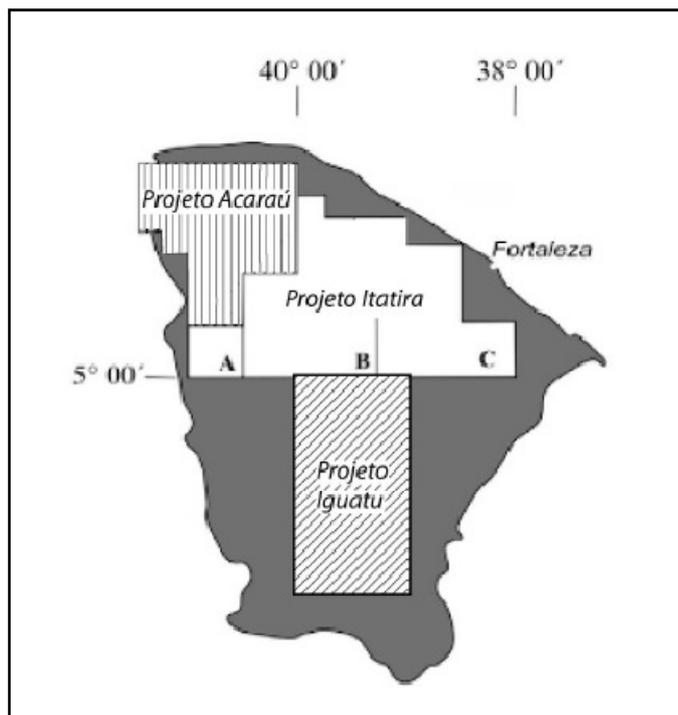


Figura 4.3 – Localização dos projetos Rio Acaraú, Itatira (subdividido em três áreas A,B e C) e Iguatu.

Tabela 4.1 – Síntese das principais características dos aerolevanteamentos (modificado de: Amaral W.S – 2007).

PROJETOS:	RIO ACARAÚ	ITATIRA	IGUATU
Métodos:	Magnetometria e Gamaespectrometria	Magnetometria e Gamaespectrometria	Magnetometria e Gamaespectrometria
Contratante:	CPRM	NUCLEBRÁS	NUCLEBRÁS
Contratado:	PROSPEC S.A.	LASA	
Contrato:	213/DA/74 – 05/08/74		
Período:	08 a 12/1975	10 a 11/1977	
Número de Áreas:	01	03	01
Total de Perfis:	23.720 km	80.000km	55.000km
Intervalo (AM):	2s	1s	1s
Altura do Vôo:	150m	150m	150m
Área Total:	21.000km ²	38.000km ²	55.000km ²
Direção(LV):	N - S	N - S	NW - SE
Espessamento(LV):	1000m	500m	1000m
Direção(LC):	E - W	E - W	NE - SW
Espessamento(LC):	20km	20km	20km
Tamanho de Integração Gama(s):	2	1	2
Produtos:	Registros analógicos; Filmes de rasteiro; Fotomosaicos com posicionamento do perfis; Fitas magnéticas de campo.	Registros analógicos; Filmes de rasteiro; Fotomosaicos com posicionamento do perfis; Fitas magnéticas de campo.	Registros analógicos; Filmes de rasteiro; Fotomosaicos com posicionamento do perfis; Fitas magnéticas de campo.

O reprocessamento de dados dos levantamentos aerogeofísicos antigos utilizando software avançados como o GeoSoft- Oasis Montaje mostra que ainda existem muitas informações a serem extraídas de dados gamaespectrométricos (Figura 4.4) e magnetométricos como relações de assinaturas litológicas, profundidade dos corpos, limites litológicos e feições estruturais. Por esse motivo, é imprescindível a inclusão desses dados no SIG.

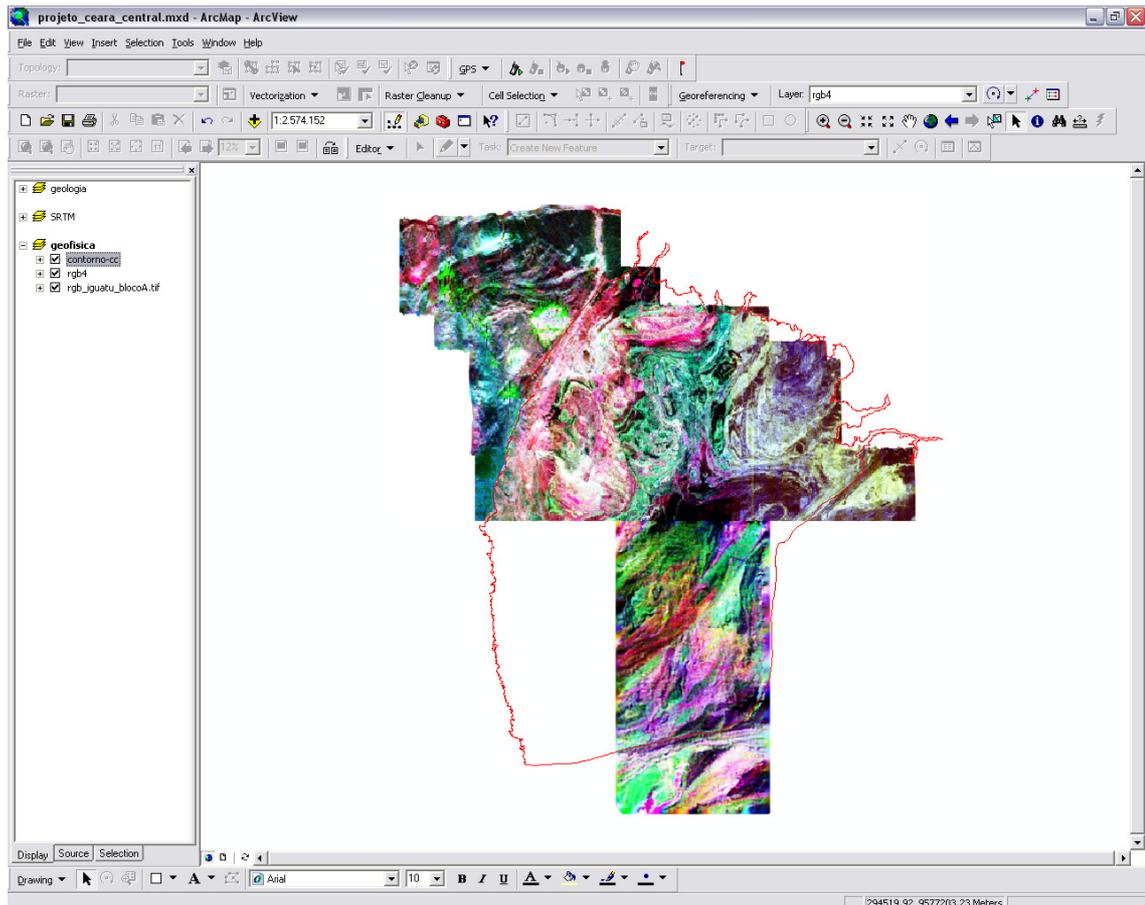


Figura 4.4 – Imagem gamaespectrométrica de composição ternária RGB (K:Th:U) projeto Rio Acaraú, projeto Itaitira e projeto Iguatu.

Composições coloridas RGB e CMY são composições em falsa-cor dos canais de potássio, tório e urânio micronivelados, possibilitando a visualização das concentrações dos três elementos, facilitando a distribuição dos domínios gamaespectrométricos. Na composição colorida RGB atribui-se aos rádios elementos uma cor vermelho para o Urânio, amarelo para rochas ricas em potássio e tório, ciano para rochas ricas em tório e urânio e o magenta para rochas ricas em potássio e urânio; o branco para rochas em ricas em potássio, tório, urânio; e o preto para a ausência dos três radioelementos.

O processamento de dados magnéticos (filtros, derivadas, sinal analítico, continuação ascendente, entre outros) permite um melhor entendimento da distribuição e da natureza das fontes magnéticas.

Devido à quantidade elevada de dados magnéticos optou-se por representar em SIG apenas a ASA (amplitude do sinal analítico), mas sem desconsiderar a importância dos demais dados. Esses poderão ser mantidos em arquivos de consulta.

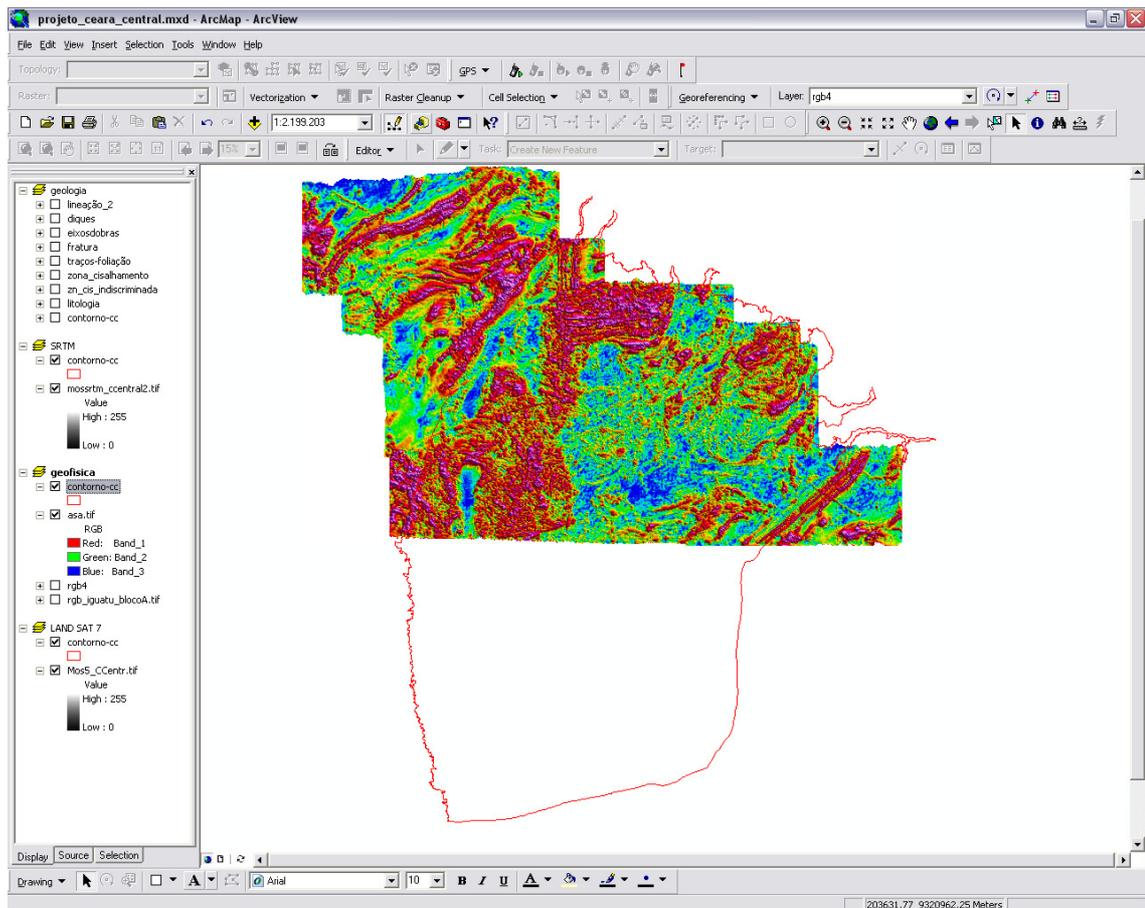


Figura 4.5 – Imagem da amplitude do sinal analítico de ordem zero (projetos Rio Acaraú e Itaitira).

4.1.4 – Unidades Litoestratigráficas

Além de litoestratigrafia básica (Figura 3.5) retirada do Mapa Geológico do Ceará, escala 1:500.000 (Cavalcante *et al.*, 2003), foram associados por Hyperlinks (atalho para acessar um determinado tipo de arquivo clicando diretamente nas feições de um mapa) mapas geológicos mais recentes.

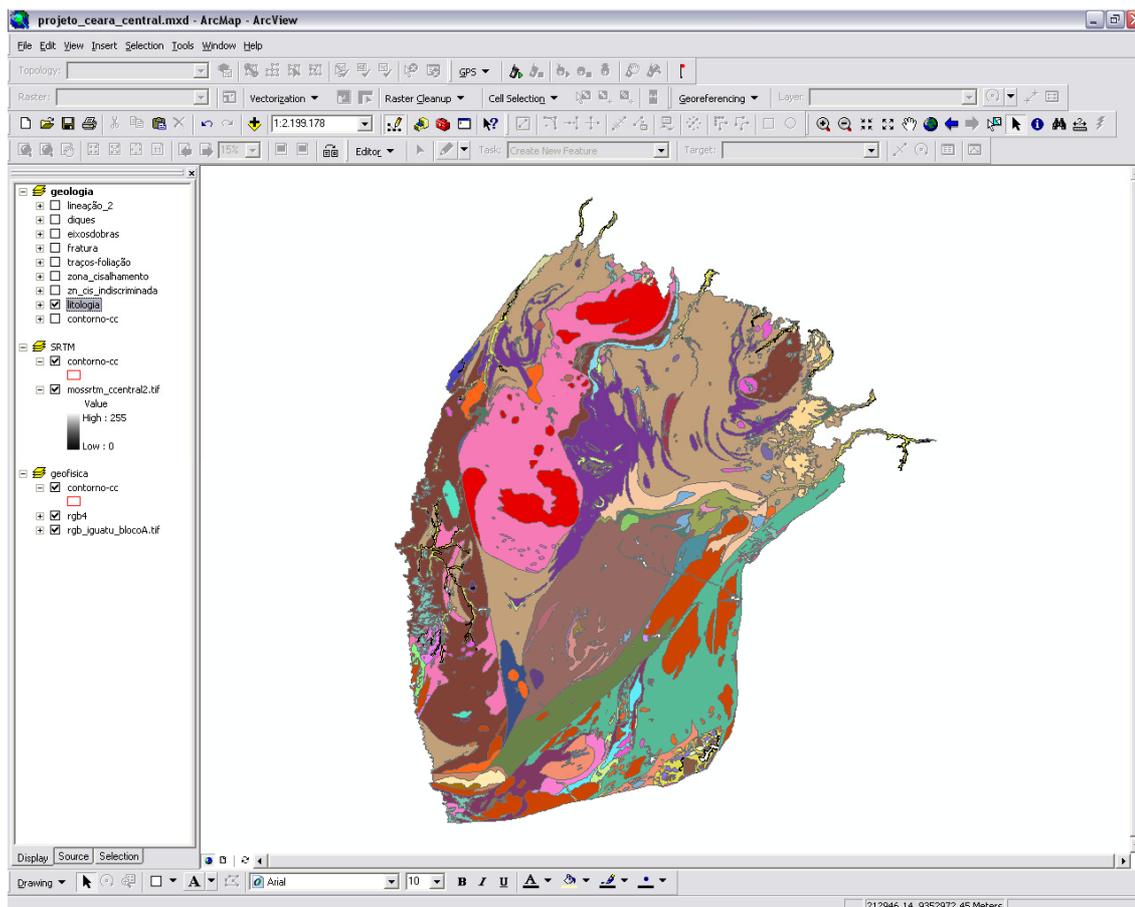


Figura 4.6 – Unidades Litoestratigráficas do Ceará Central (segundo Cavalcante *et al.*, 2003).

4.1.5 – Links

Foram representados por hyperlink alguns mapas geológicos de autores diferentes (tabela 4.1). Em certos casos esses mapas se superpõem, mostrando interpretações geológicas diferentes de uma mesma área. Com o hyperlink o usuário pode visualizar de maneira rápida essas interpretações e fazer uma análise das informações.

Para cada mapa foi criado um polígono que limita a área mapeada. Clicando com o ícone do hyperlink em cima desses polígonos aparecerá uma janela do Adobe Reader mostrando os mapas linkados em formato .pdf (figura 4.7).

Tabela 4.2 – Lista dos Mapas Geológicos que foram linkados a litologia do Ceará Central.

Nº DE ORDEM	ANO	TÍTULO	ESCALA DO MAPA	AUTOR/AUTORES
01	Projeto - 2007	Mapeamento geológico e de levantamento de recursos minerais da Folha Quixeramobim	1:100.000	Almeida A.R
02	Dissertação - 2007	Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição à evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central	1:100.000	Amaral W.S
03	Projeto - 2007	Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Itatira	1:100.000	Arthaud M.H
04	Projeto - 2007	Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Boa Viagem	1:100.000	Arthaud M.H
05	Tese de Doutorado - 2007	Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira.	1:150.000	Arthaud M.H
07	Tese de Doutorado - 2004	Evolução Geológica Proterozóica da Região entre Madalena e Taperuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema).	1:100.000	Castro N.A.
12	Dissertação de Mestrado - 1998	Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea - Folha AS-V-D-V – Irauçuba - Ce	1:100.000	Souza Filho O.A
13	Dissertação de Mestrado - 2005	Integração de Dados Aerogeofísicos, Geológicos e Isotópicos do Limite Norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria – CE (Província Borborema).	1:50.000	Texeira M. L.

Os mapas em formato .pdf contém todas as informações dos mapas geológicos: são os documentos no formato original de cada autor que foi citado na tabela 4.2.

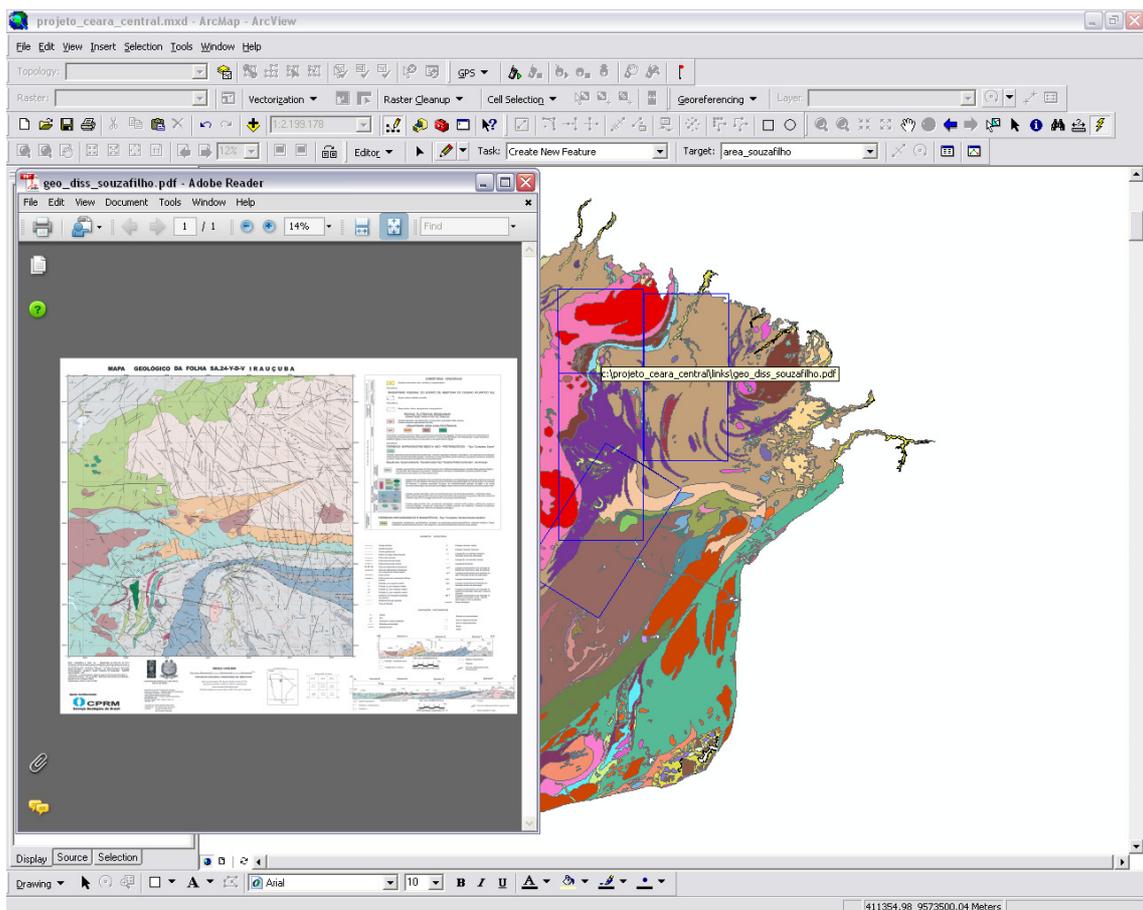


Figura 4.7 – Links.

4.1.6 – Base Planimétrica

Aqui temos o resultado das correções que foram feitas na planimetria.

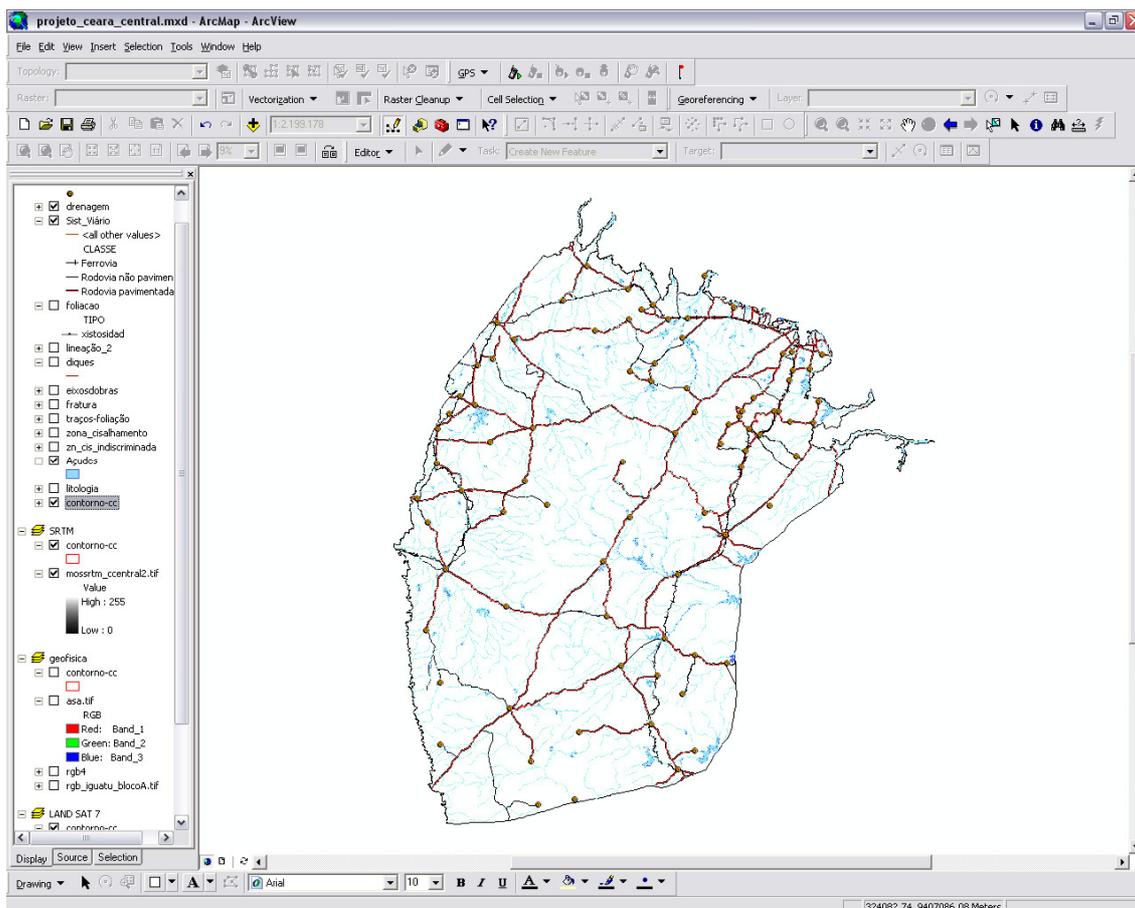


Figura 4.8 – Base planimétrica do Ceará Central (Corrigida a partir do Mapa do Ceará – 2003).

4.1.7 – Estruturas Lineares

Todas as estruturas lineares, produtos da integração de dados de campo e interpretação de imagens, como falhas, eixo de dobras, fraturas, traços de foliação e zonas de cisalhamento, compiladas de trabalhos anteriores, fazem parte da estrutura de base do SIG e se encontram no formato *shapefile* (*.shp). Podem ser manipuladas de acordo com a necessidade do usuário, podendo ser classificadas, selecionadas e recortadas em áreas de escala menor.

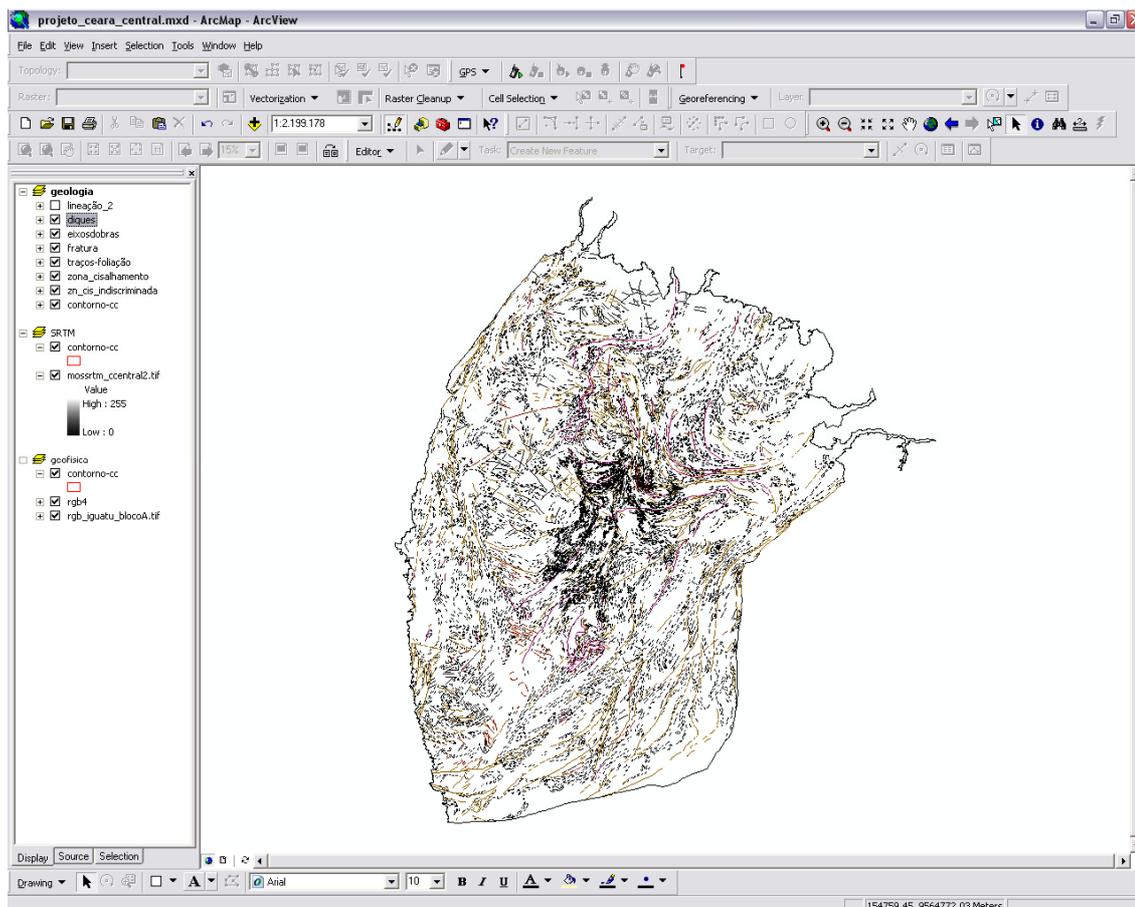


Figura 4.9 – Estruturas lineares do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.

4.2 – Tabelas de Conteúdo

As tabelas foram desenvolvidas no software EXCECEL 2003 com o formato *.xls e, depois, foram exportadas para o formato *.dbf, o qual é suportado pelo software ArcView.

As tabelas em sua estrutura definitiva com todos os seus elementos descritos, elas são introduzidas no software Arc Map – ArcView e entram como evento. Os eventos podem ser visualizados pelo *Map Display* (área de visualização do Arc Map – ArcView) mas não podem ser editados. Isso implica que essas tabelas precisam ser convertidas para *Shapefile* (*.shp), pois o *Shapefile* (*.shp) é a única extensão que pode ser editada no ArcView.

Para cada tipo de informação de campo foi desenvolvida uma estrutura de tabela procurando contemplar e de forma clara, com fidelidade, as informações.

4.2.1 – Tabelas de Dados de Foliação

Para montar a tabela de dados de foliação foi feito, inicialmente, uma análise de tabelas de dados existentes em trabalhos anteriores, motivando uma reestruturação no modo de representar as informações, pois não havia uma homogeneização na representação das atitudes que horas

estavam com anotação *Clar*, outras com anotação *Brunton* e outras com a regra da mão direita, o que torna impossível representar em um mesmo documento essas informações.

Cada geólogo tem metodologia própria de fazer suas anotações de campo, alguns usam o método *Clar*, outros usam a regra da mão direita e outros usam o azimute, mas, na hora de representar os dados em tabela, não indicam qual foi o método aplicado em campo, o que torna impossível para o leitor a reutilização dessas informações em SIG, pois cada método exige uma representação específica.

Para efeito de representação, as foliações devem ser subdivididas em xistosidade e clivagens (fratura, crenulação, ardoseana, dissolução) que devem ser representadas por simbologias diferentes (para definição desses termos se reportar à Arthaud M. H. - 2002). Também para efeito de representação, é necessário diferenciar graficamente foliações com mergulhos horizontais e verticais das demais foliações. Isso implica na criação de 15 classes cada uma correspondendo a uma simbologia específica como mostra a tabela abaixo.

Tabela 4.3 – Tipos de Foliação.

Tipo de Foliação	Código da Foliação
Xistosidade	X
Xistosidade Horizontal	XH
Xistosidade Vertical	XV
Clivagem de Crenulação	CC
Clivagem de Crenulação Horizontal	CCH
Clivagem de Crenulação Vertical	CCV
Clivagem de Fratura	CF
Clivagem de Fratura Horizontal	CFH
Clivagem de Fratura Vertical	CFV
Clivagem Ardoseana	CA
Clivagem Ardoseana Horizontal	CAH
Clivagem Ardoseana Vertical	CAV
Clivagem de Dissolução	CD
Clivagem de Dissolução Horizontal	CDH
Clivagem de Dissolução Vertical	CDV

Observando os dados de Foliação de algumas tabelas citadas abaixo é possível perceber o quanto é complicado entender o que o autor quis dizer ao exibir determinadas informações.

Tabela 4.4 – Tabela de Foliação de Teixeira M. L. – 2005.

PONTO	LESTE	NORTE	ROCHA	SN(clar)	DIP	Foliacao	Foliacao
SQM-004	373872	9544612	granito porfírico	20	5	20 5	20,50
SQM-014	359880	9539335	granito porfírico foliado	160	10	160 10	160,10
SQM-014	359880	9539335	granito porfírico foliado	220	10	220 10	220,10
SQM-183	354557	9547916	biot-gn grosso	200	11	200 11	200,11
SQM-138	378691	9555188	granito migmatítico	355	12	355 12	355,12
SQM-184	355227	9546258	biot-gn grosso	335	12	335 12	335,12
SQM-002	375999	9550018	biot-gn-migmatítico	30	15	30 15	30,15
SQM-012	365762	9536044	granito porfírico foliado	280	15	280 15	280,15
SQM-027	349359	9546876	granito porfírico foliado	80	15	80 15	80,15
SQM-180	350113	9554762	migmatito granítico	70	15	70 15	70,15
SQM-061	359776	9550130	biot-gn-migmatítico	210	16	210 16	210,16
SQM-167	364512	9545114	granito migmatítico + dique anfibolítico	135	16	135 16	135,16
SQM-119	353415	9553497	alcali-granito	190	20	190 20	190,20

Tabela 4.5 – Tabela de Foliação de Cavalcante *et al.*, 2003.

ID	STRIKE	DIP	SYMBOLTYPE	AZIMUTH	BEARING	AV RH RULE	AV LH RULE	AV DIP DIR	AV DIP 180	MERGULHO
45	20	40	Fol cv	0	N20E	250	70	340	160	40
0	30	5	Lin cv	0	N30E	240	60	330	150	5
0	75	55	Fol cv	0	N75E	195	15	285	105	55
0	60	10	Lin cv	0	N60E	210	30	300	120	10
0	198	35	Fol cv	0	S18W	72	252	162	342	35
0	196	25	Fol cv	0	S16W	74	254	164	344	25
0	315	10	Lin cv	0	N45W	315	135	45	225	10
0	330	50	Fol cv	0	N30W	300	120	30	210	50
0	250	45	Fol cv	0	S70W	20	200	110	290	45
0	240	15	Fol cv	0	S60W	30	210	120	300	15
0	32	57	Fol cv	0	N32E	238	58	328	148	57
0	105	8	Lin cv	0	S75E	165	345	255	75	8
0	65	40	Fol cv	0	N65E	205	25	295	115	40
0	250	75	Fol cv	0	S70W	20	200	110	290	75

Tabela 4.6 – Tabela de Foliação do Projeto CPRM/UFC Folha Quixeramobim – 2006.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	DIRECAO	MERGULHO	ANG_NORTE	TIPO
CQ002	9446894	487248	25	30	115	Foliação
CQ003	9446804	486867	355	45	85	Foliação
CQ004	9446824	483901	315	20	45	Foliação
CQ009	9428040	466134	165	50	75	Foliação
CQ010	9430000	465257	20	78	110	Foliação
CQ011	9430174	464925	190	40	100	Foliação
CQ012	9430290	464817	25	35	115	Foliação
CQ013	9433398	464730	0	39	90	Foliação
CQ014	9441358	464312	15	14	105	Foliação
CQ019	9444284	475935	0	35	3	Foliação
CQ020	9437300	478621	42	40	4	Foliação
CQ022	9428502	464291	33	60	4	Foliação
CQ023	9428714	463923	30	34	4	Foliação

Levando em consideração a importância de deixar claro para o leitor cada informação contida em um banco de dados, optou-se por representar os dados de forma simplificada para facilitar a compreensão desses dados, como observado na tabela abaixo.

Tabela 4.7 – Modelo da Tabela de Foliação do Banco de Dados.

FID	Shape*	POIITO	LONG_WGS84	LAT_WGS84	FOL_MD	FOL_CL	FOL_AZ	MERG	QUADR	TIPO	CADIGO	FONTE
14	Point	prc0088	428469	9484226	20	110		80		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
16	Point	prc0125	428895	9475706	334	64		62		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
45	Point	prc0222	413587	9457290	150	240		90		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
54	Point	prc0280	423747	9492791	164	254		75		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
57	Point	prc0286	433443	9479358	172	262		90		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
59	Point	prc0291	435933	9481136	290	20		80		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
61	Point	prc0295	440502	9484126	340	70		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
64	Point	prc0302	443958	9484498	330	60		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
66	Point	prc0311	430073	9491649	210	300		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
70	Point	prc0317	433371	9490772	320	50		80		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
72	Point	prc0320	434092	9489617	350	80		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
78	Point	prc0336	431429	9484530	180	270		70		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
99	Point	prc0392	426176	9470751	115	205		65		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
102	Point	prc0395	433904	9477690	194	284		90		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
115	Point	prc0430	410977	9472961	90	180		90		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
122	Point	prc0464	427475	9489553	110	200		65		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
129	Point	prc0630	427754	9450263	210	300		65		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
170	Point	prc0857	428510	9474325	310	40		65		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
179	Point	prc0879	441930	9461872	260	350		75		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
180	Point	prc0881	443804	9460636	294	24		64		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
182	Point	prc0904	446820	9479561	330	60		110		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
198	Point	prc1250	431863	9487020	180	270		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
203	Point	prc1273	435637	9484522	0	90		60		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
211	Point	prc1320	393834	9494766	310	40		70		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
314	Point	SQM-002	375999	9550018	120	210		60		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
315	Point	SQM-023	341735	9545924	20	110		60		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
316	Point	SQM-164	368954	9533340	165	255		60		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
317	Point	SQM-177	344885	9551708	10	100		60		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
318	Point	SQM-049	336948	9553337	158	248		62		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
319	Point	SQM-003	374762	9545915	155	245		63		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
320	Point	SQM-101	341688	9541885	30	120		65		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
321	Point	SQM-148	368377	9541470	155	245		65		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
322	Point	SQM-216	368280	9549222	150	240		65		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
323	Point	SQM-223	340434	9541582	80	170		65		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
324	Point	SQM-024	342111	9546626	10	100		66		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
325	Point	SQM-156	366429	9549792	150	240		66		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
326	Point	SQM-068	367019	9556478	160	250		68		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
327	Point	SQM-024	342111	9546626	20	110		70		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
328	Point	SQM-222	341056	9541286	35	125		70		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
329	Point	SQM-108	342477	9548079	10	100		72		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
330	Point	SQM-176	342075	9551402	10	100		75		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
331	Point	SQM-221	340882	9541006	30	120		75		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
332	Point	SQM-082	343749	9551569	35	125		78		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
333	Point	SQM-149	367595	9543506	170	260		80		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
334	Point	SQM-093	343798	9544564	20	110		84		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
335	Point	SQM-203	367516	9544614	185	275		85		xistosiad	X	Teixeira M. L. (2005)
345	Point	A11	429342	9483898	32	122		90		xistosiad	X	Projeto CPRMUJFC - 2006 Folha Itatiaia
352	Point	prc0006	459688	9503050	350	80		80		xistosiad	X	Arthaud, M. H. (2007)
357	Point	prc0102	460320	9496084	150	240		90		xistosiad	X	Arthaud, M. H. (2007)

Quando existe mais de um tipo de foliação em um afloramento, esse ponto deve ser repetido na tabela (ponto e coordenadas) para que todos os tipos de foliação possam ser representados (exemplo na tabela 4.5).

A coluna que indica o quadrante (Quadr) da tabela 4.5 serve para checar a coerência das medidas.

Um aspecto importante do banco de dados é o código do ponto (número do afloramento) que muitas vezes só faz sentido para o geólogo que coletou os dados. Para que essa informação também possa fazer sentido para o usuário do banco de dados é sugerido que os próximos dados coletados sigam uma sistemática de anotação. O código deverá conter em primeiro lugar as duas letras iniciais do município, depois as duas letras do geólogo que as coletaram em seguida uma seqüência numérica (ex: BVJH01; BV – Boa Viagem, JH – Janólfta Holanda).

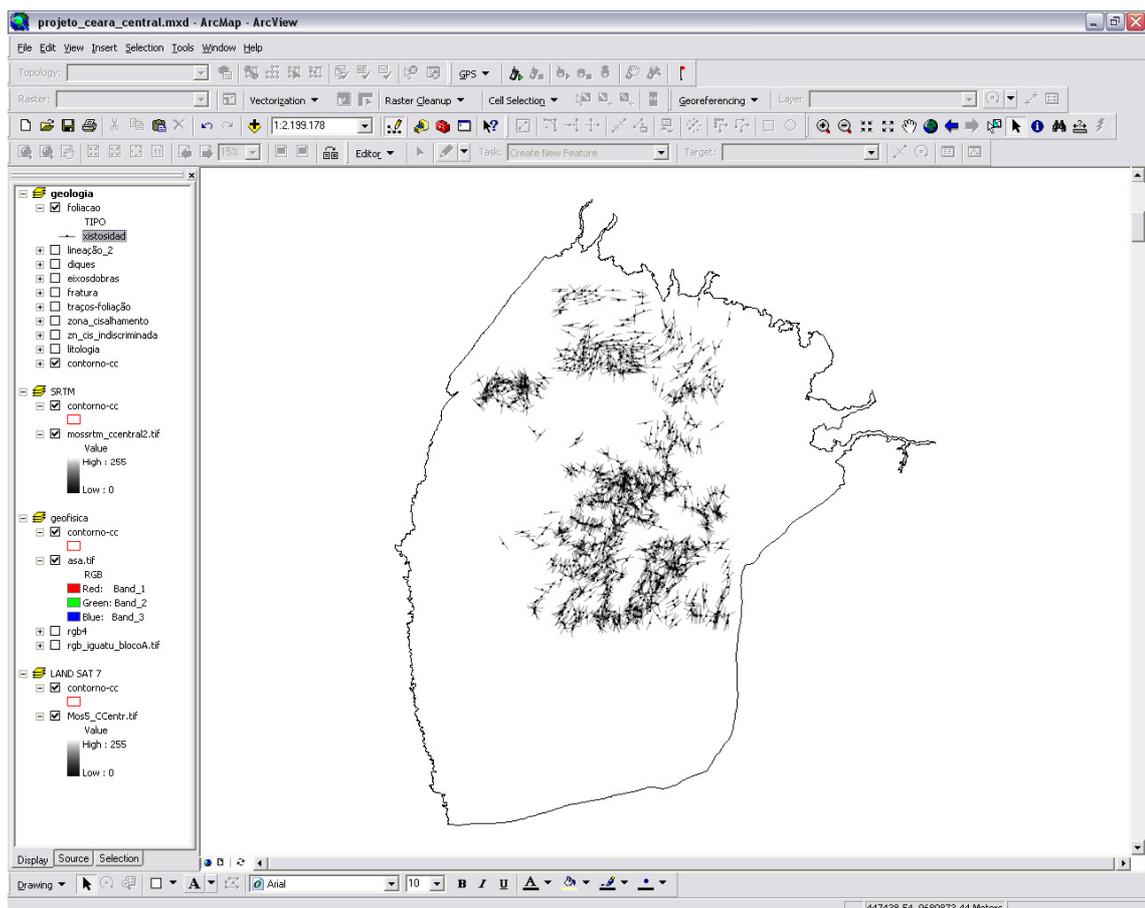


Figura 4.10 – Representação espacial das foliações do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.

A representação em mapa da foliação é feita por uma simbologia, determinada na biblioteca do ArcView, que deve ser rotacionada (colocada na posição que indica a direção da foliação) a partir da coluna Fol_CL (foliação Clar). Se, no campo, a medida da direção da foliação foi feita por outro método, a coluna Fol_CL deverá ser calculada e preenchida pelo usuário.

A tabela de foliação está atualmente com 2088 pontos cadastrados.

4.2.2 – Tabelas de Dados de Lineação

Assim como a foliação, a lineação deve ser subdividida em classes (lineação de interseção, lineação de estiramento e lineação de crenulação) para que a representação dessa informação fique coerente. A tabela abaixo mostra os códigos sugeridos para cada classe de lineação.

Tabela 4.8 – Tipos de Lineação.

Tipo de Lineação	Código da Lineação
Lineação de Interseção	LI
Lineação de Estiramento	LX
Lineação de Crenulação	LC

Levando em consideração essa subdivisão, foi elaborada uma tabela para as lineações que contem as informações necessárias para sua representação em mapa.

Tabela 4.9 – Modelo da tabela de lineação do Banco de Dados.

FID	Shape	PONTO	LONG_WGS84	LAT_WGS84	LINEAÇÃO	LIN_90	MERG	QUADR	TIPO	CADINCO	FONTE
0	Point	A01	412181	9494023	80	150			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
1	Point	A02	413391	9493145	80	170			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
2	Point	A03	415131	9492665	60	150			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
3	Point	A04	416428	9491741	65	155			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
4	Point	A06	417358	9491459	60	150			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
5	Point	A07	417890	9491155	65	155			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
7	Point	A09	427063	9485104	25	115			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
8	Point	prc0001	466322	9517002	160	250			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
9	Point	prc0002	466111	9516652	175	265			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
10	Point	prc0003	464780	9513726	175	265			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
11	Point	prc0004	463132	9510496	14	104			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
12	Point	prc0005	462843	9506876	20	110			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
13	Point	prc0006	459688	9503050	155	245			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
14	Point	prc0007	459382	9500372	117	207			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
15	Point	prc0008	458652	9490420	35	125			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
16	Point	prc0009	396535	9491174	60	150			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
17	Point	prc0101	460221	9497503	150	240			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
18	Point	prc0103	460153	9494566	25	115			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
19	Point	prc0017	408642	9485202	110	200			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
20	Point	prc0018	410477	9494186	70	160			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
21	Point	prc0023	445285	9474042	112	202			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
22	Point	prc0027	426363	9485548	170	260			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
23	Point	prc0029	427084	9485107	10	100			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
24	Point	prc0033	431211	9482064	10	100			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
25	Point	prc0034	435520	9476314	160	250			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
26	Point	prc0037	438585	9463282	170	260			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
27	Point	prc0038	441173	9462728	88	178			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
28	Point	prc0039	441551	9462370	90	180			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
29	Point	prc0045	454631	9457000	85	175			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
30	Point	prc0071a	363375	9466366	82	172			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
31	Point	prc0073	368741	9454582	15	105			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
32	Point	prc0074	369773	9453688	134	224			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
33	Point	prc0075	390620	9449998	110	200			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
34	Point	prc0077	392288	9447370	135	225			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
35	Point	prc0080	406004	9438034	120	210			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
36	Point	prc0081	408295	9437782	54	144			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Boa Viagem
37	Point	prc0089	430048	9483772	0	90			lineações de estratamento	LE	Projeto CPRM/JFC - 2006 Folha Itaitira
38	Point	prc0090	446503	9473874	165	255			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
39	Point	prc0093	450264	9480944	128	218			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
40	Point	prc0095	463662	9490780	10	100			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
41	Point	prc0104	461285	9492464	70	160			lineações de estratamento	LE	Arthaud, M. H. (2007)
42	Point	terr0105	458866	9493023	140	230			lineações de estratamento	IF	Arthaud, M. H. (2007)

A coluna **Lin+90** da tabela de lineação é utilizada para rotacionar a simbologia que representa a lineação que, no ArcView, encontra-se horizontal. Por esse motivo o programa precisa acrescentar 90° ao valor da medida para que a rotação fique correta em mapa.

A tabela de lineação tem 1594 pontos cadastrados.

A figura abaixo mostra a distribuição espacial das lineações que foram cadastradas no BD do Projeto Ceará Central.

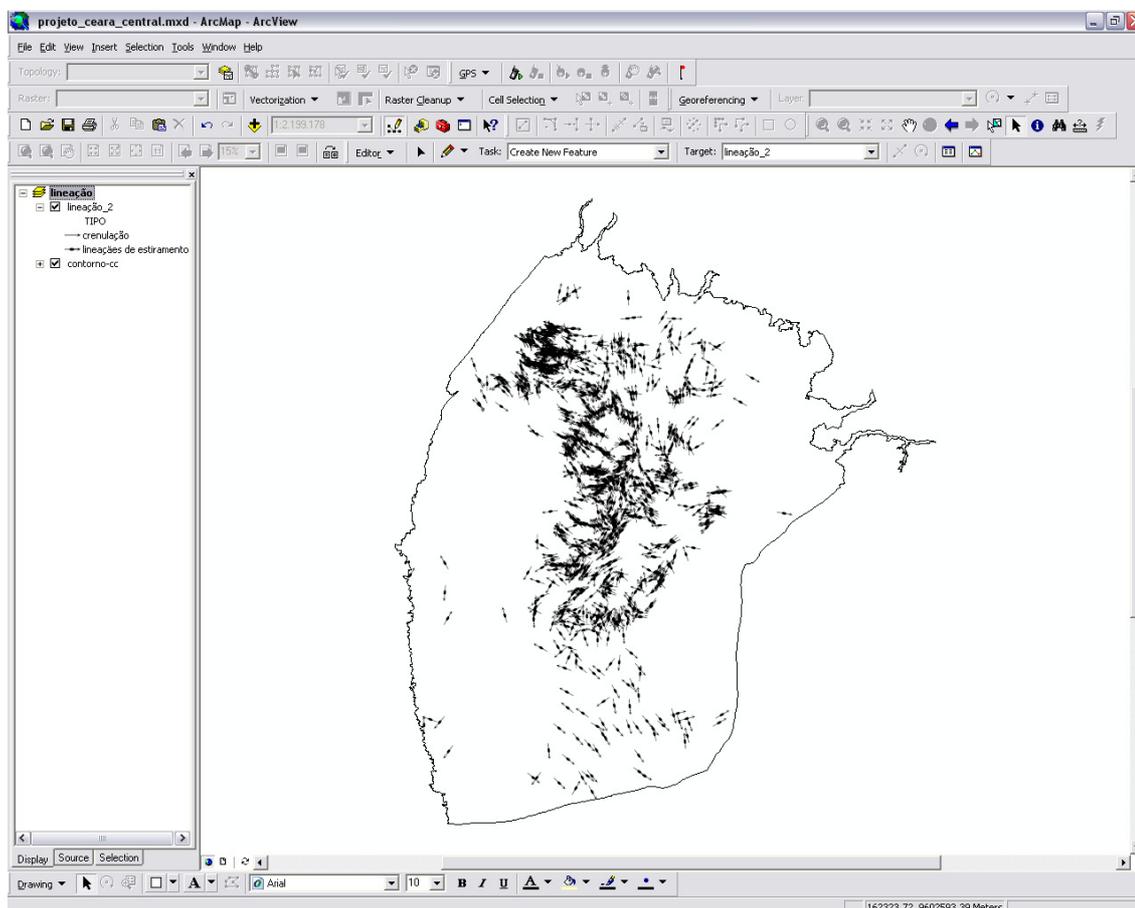


Figura 4.11 – Representação espacial das lineações do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.

4.2.3 – Tabelas de Dados de Geocronologia

Os dados de geocronologia são muito complexos e exigem certo conhecimento para serem manuseados. Diante da diversidade de métodos e da quantidade de parâmetros envolvidos nas análises que permitem interpretações da história geológica da amostra, se faz necessário selecionar grupos de dados em tabelas diferenciadas para facilitar a apreciação dessas informações. Tendo em vista a quantidade de métodos analíticos e a quantidade de dados para cada método, uma tabela comportando todos os dados apresentaria uma quantidade de colunas que dificultaria o seu manuseio. Por isso propomos três tipos de tabelas para a geocronologia: uma tabela geral com todos os métodos; tabelas específicas para os métodos U-Pb e Sm-Nd com as informações básicas e tabelas com todos os dados analíticos para os métodos U-Pb e Sm-Nd.

A tabela geral de geocronologia tem como objetivo fornecer, para o usuário, uma análise regional, uma vez que possibilita a representação em mapa de todos os pontos com dados geocronológicos, contendo todos os métodos de datação e as idades obtidas, mas não permite que o usuário faça análise dos parâmetros. Essa informação permite, entre outras coisas, identificar possíveis áreas alvos para futuras datações (tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Modelo da Tabela Geral de Geocronologia do Banco de Dados.

FID	Shape	Ilo_AMOST	LAT_WGS84	LONG_WGS84	RB_SR	K_AR	AR_AR	U_PB_COINV	PB_PB_EVAP	SM_ID	FONTE
76	Point	BRCE94-39	9537638	336900						2,43	Fetter, A.H., (1999)
77	Point	BRCE94-42	9572845	365762						1,2	Fetter, A.H., (1999)
78	Point	BRCE94-43	9544333	374172						1,92	Fetter, A.H., (1999)
79	Point	BRCE94-44	9463023	360651						1,54	Fetter, A.H., (1999)
80	Point	BRCE94-45	9479514	360621						1,34	Fetter, A.H., (1999)
81	Point	BRCE94-46	9477583	317852						1,69	Fetter, A.H., (1999)
82	Point	BRCE94-21	9530285	404029				2,11		2,3	Fetter, A.H., (1999)
83	Point	BRCE94-40	9552035	350537				0,62		1,57	Fetter, A.H., (1999)
84	Point	BRCE94-49	9398937	375366				2,15		2,22	Fetter, A.H., (1999)
85	Point	BRCE94-50	9399778	407126				2,78		2,81	Fetter, A.H., (1999)
86	Point	BRCE94-51	9392463	426553				2,77		2,92	Fetter, A.H., (1999)
87	Point	BRCE95-16	9538429	534087				0,62		1,52	Fetter, A.H., (1999)
88	Point	BRCE95-17	9450411	489938				0,59		1,83	Fetter, A.H., (1999)
89	Point	BRCE95-52	9473803	446370				2,13		2,44	Fetter, A.H., (1999)
90	Point	BRCE96-44	9318391	368517				2,86		3,04	Fetter, A.H., (1999)
91	Point	BRCE96-53	9405123	355900				0,77		1,09	Fetter, A.H., (1999)
92	Point	BRCE96-57	9398508	399649				2,88		2,69	Fetter, A.H., (1999)
93	Point	BRCE96-61	9358601	432343				2,79		2,96	Fetter, A.H., (1999)
94	Point	BRCE96-67	9430168	484966				1,88		2,23	Fetter, A.H., (1999)
95	Point	ZC09	9572492	334123				0,57		1,73	Fetter, A.H., (1999)
96	Point	ZC11-(Z)	9573383	334461				2,11		2,22	Fetter, A.H., (1999)
97	Point	ZC16-A	9577020	342013				2,10		2,31	Fetter, A.H., (1999)
98	Point	ZC66B	9577378	335441				0,55		1,39	Fetter, A.H., (1999)
99	Point	BRCE94-48	9409732	343084						1,9	Fetter, A.H., (1999)
100	Point	BRCE94-52	9389199	446587						1,86	Fetter, A.H., (1999)
101	Point	BRCE94-53	9377695	464070						2,4	Fetter, A.H., (1999)
102	Point	BRCE94-68	9429405	474971						1,73	Fetter, A.H., (1999)
103	Point	BRCE95-10	9589473	437074						1,18	Fetter, A.H., (1999)
104	Point	BRCE95-18	9452835	513396						2,2	Fetter, A.H., (1999)
105	Point	BRCE95-24	9473926	479577						2,36	Fetter, A.H., (1999)
106	Point	BRCE95-25	9484149	474583						2,37	Fetter, A.H., (1999)
107	Point	BRCE95-28	9520404	460455						2,25	Fetter, A.H., (1999)
108	Point	BRCE95-31	9535865	424594						2,31	Fetter, A.H., (1999)
109	Point	BRCE95-32	9528131	407769						0,86	Fetter, A.H., (1999)
110	Point	BRCE95-33	9526766	395439						1,01	Fetter, A.H., (1999)
111	Point	BRCE95-34	9524418	384529						1,02	Fetter, A.H., (1999)
112	Point	BRCE95-35	9522126	371368						1,86	Fetter, A.H., (1999)
113	Point	BRCE95-36	9536266	353894						1,21	Fetter, A.H., (1999)
114	Point	BRCE95-39	9526544	410605						1,91	Fetter, A.H., (1999)
115	Point	BRCE95-40	9623417	416378						2,29	Fetter, A.H., (1999)
116	Point	BRCE95-45	9581605	357554						2,17	Fetter, A.H., (1999)
117	Point	BRCE95-47	9584354	360689						1,35	Fetter, A.H., (1999)
118	Point	BRCE95-48	9609921	370475						1,61	Fetter, A.H., (1999)
119	Point	BRCE95-49	9489431	370602						1,47	Fetter, A.H., (1999)
120	Point	BRCE95-54	9436950	421179						2,33	Fetter, A.H., (1999)

A tabela geral de geocronologia está atualmente com 332 pontos cadastrados.

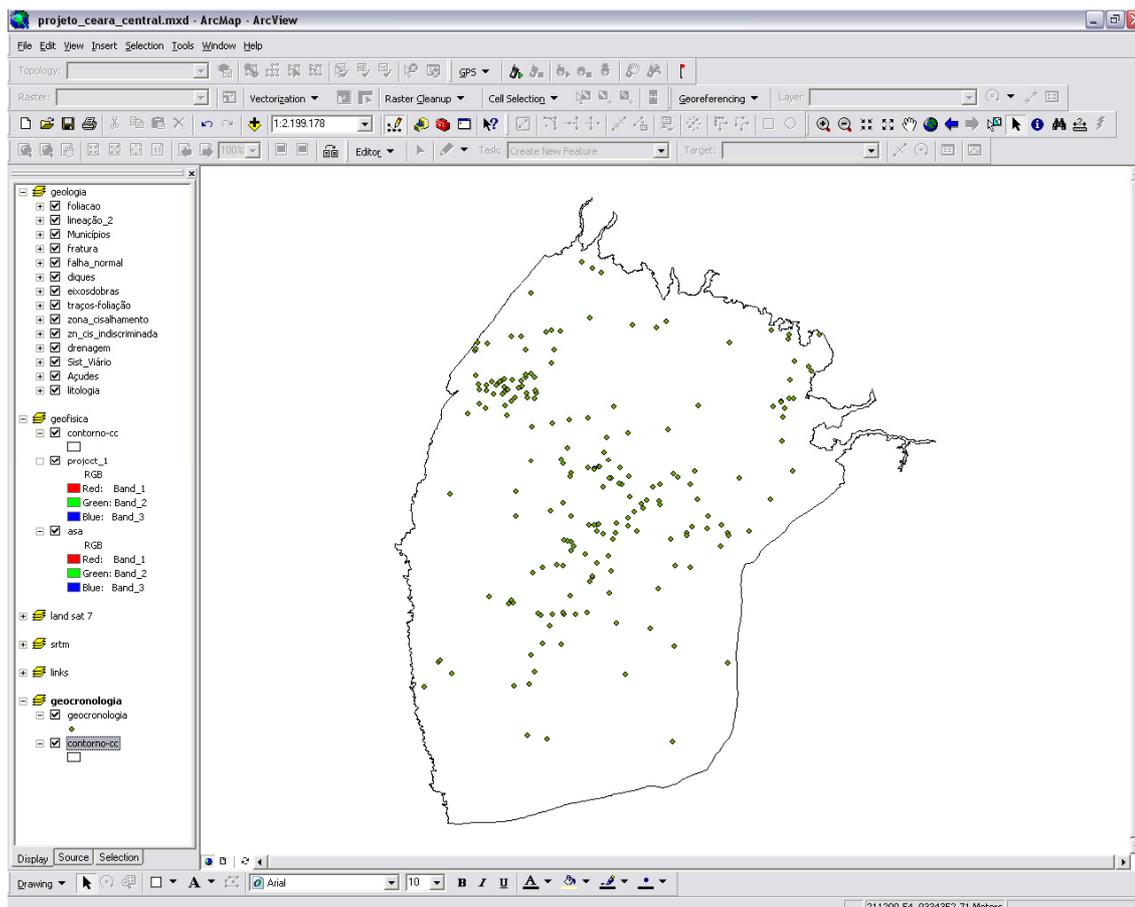


Figura 4.12 – Representação espacial dos dados geocronológicos do Ceará Central compiladas de trabalhos anteriores.

Para ter mais detalhe sobre cada datação considerando apenas os isótopos U/Pb e Sm/Nd, que são atualmente as técnicas específicas de datações mais utilizadas, torna-se necessário fazer uma tabela independente para cada um desses dois métodos uma vez que os métodos K/A (Potássio / Argônio)r e Rb/Sr (Rubídio / Estrôncio) são menos utilizados. Na tabela geral ou nas tabelas específicas não podem ser incluídos os dados de zircão detríticos, pois, nas análises de zircão detríticos pelo método Shrimp ou ICPM-S a quantidade de análises determinadas para cada amostra torna inviável a sua inclusão num SIG. Estas tabelas devem ser conservadas em um arquivo separado.

Numa análise de Sm/Nd, a razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ permite saber se uma amostra é fracionada ou não e, nas análises U/Pb, a razão $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ permite avaliar se um zircão é metamórfico ou ígneo, tornando-se imprescindível representar esses dados, assim como outros dados analíticos nas tabelas do SIG. A tabela 4.11 mostra os parâmetros básicos de análises realizadas pelo método Sm/Nd.

Tabela 4.11 – Modelo da tabela de geocronologia para o método Sm/Nd do Banco de Dados.

FID	Shape	No_AMOST	LAT_WGS84	LONG_WGS84	RB_SR	K_AR	AR_AR	U_PB_CONV	PB_PB_EVAP	SM_ID	FONTE
0	Point	VC-02	9457104	485226						2,49	CPRMPLGB
1	Point	BRCE94-23	9594098	409245						1,35	Fetter, A
2	Point	BRCE94-25	9585010	386696						1,15	Fetter, A
3	Point	BRCE94-36	9550445	336445						1,63	Fetter, A
4	Point	BRCE94-39	9537638	336900						2,43	Fetter, A
5	Point	BRCE94-42	9572845	385762						1,2	Fetter, A
6	Point	BRCE94-43	9544333	374172						1,92	Fetter, A
7	Point	BRCE94-44	9463023	380651						1,54	Fetter, A
8	Point	BRCE94-45	9479514	380621						1,34	Fetter, A
9	Point	BRCE94-46	9477593	317852						1,69	Fetter, A
10	Point	BRCE94-48	9409732	343084						1,9	Fetter, A.H., 1999.
11	Point	BRCE94-52	9389199	448587						1,86	Fetter, A.H., 1999.
12	Point	BRCE94-53	9377695	464070						2,4	Fetter, A.H., 1999.
13	Point	BRCE94-68	9429405	474971						1,73	Fetter, A.H., 1999.
14	Point	BRCE95-10	9569473	437074						1,16	Fetter, A.H., 1999.
15	Point	BRCE95-18	9452835	513396						2,2	Fetter, A.H., 1999.
16	Point	BRCE95-24	9473926	479577						2,36	Fetter, A.H., 1999.
17	Point	BRCE95-25	9484149	474583						2,37	Fetter, A.H., 1999.
18	Point	BRCE95-28	9520404	460455						2,25	Fetter, A.H., 1999.
19	Point	BRCE95-31	9539885	424594						2,31	Fetter, A.H., 1999.
20	Point	BRCE95-32	9529131	407769						0,86	Fetter, A.H., 1999.
21	Point	BRCE95-33	9526766	385439						1,01	Fetter, A.H., 1999.
22	Point	BRCE95-34	9524418	384529						1,02	Fetter, A.H., 1999.
23	Point	BRCE95-35	9522126	371368						1,86	Fetter, A.H., 1999.
24	Point	BRCE95-36	9536296	353894						1,21	Fetter, A.H., 1999.
25	Point	BRCE95-39	9626544	410605						1,91	Fetter, A.H., 1999.
26	Point	BRCE95-40	9623417	416378						2,29	Fetter, A.H., 1999.
27	Point	BRCE95-45	9581805	357554						2,17	Fetter, A.H., 1999.
28	Point	BRCE95-47	9584354	380689						1,35	Fetter, A.H., 1999.
29	Point	BRCE95-48	9609921	370475						1,61	Fetter, A.H., 1999.
30	Point	BRCE95-49	9499431	370602						1,47	Fetter, A.H., 1999.
31	Point	BRCE95-54	9436950	421179						2,33	Fetter, A.H., 1999.
32	Point	BRCE95-57	9396361	384754						2,34	Fetter, A.H., 1999.
33	Point	BRCE95-58	9397560	377153						2,28	Fetter, A.H., 1999.
34	Point	BRCE95-60	9405805	358854						2,47	Fetter, A.H., 1999.
35	Point	BRCE95-62	9407522	357681						2,39	Fetter, A.H., 1999.
36	Point	BRCE95-64	9423027	410635						2,5	Fetter, A.H., 1999.
37	Point	BRCE95-67	9442011	494796						1,99	Fetter, A.H., 1999.
38	Point	BRCE95-68	9474170	527416						2,27	Fetter, A.H., 1999.
39	Point	BRCE95-69	9492371	541719						2,26	Fetter, A.H., 1999.
40	Point	BRCE96-1	9561693	552022						1,69	Fetter, A.H., 1999.
41	Point	BRCE96-18	9366375	499077						2,42	Fetter, A.H., 1999.
42	Point	BRCE96-42	9316453	381216						2,78	Fetter, A.H., 1999.
43	Point	BRCE96-49	9352421	369212						3,04	Fetter, A.H., 1999.
44	Point	BRCE96-64	9415240	453564						2,4	Fetter, A.H., 1999.
45	Point	BRCE96-69	9485206	506994						2,4	Fetter, A.H., 1999.

Existe ainda a necessidade de apresentar, para cada método, uma tabela analítica completa que não irá para o banco de dados e será apenas de consulta. Essa tabela terá todos os parâmetros analíticos para permitir a avaliação dos significados dos resultados obtidos.

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 5



ANÁLISE DAS LINEAÇÕES DE ESTIRAMENTO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL



• • • • • • • •

5 – ANÁLISE DAS LINEAÇÕES DE ESTIRAMENTO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL

5.1 – Introdução

As lineações de estiramento, em particular as lineações minerais, representam, nos terrenos de alto grau de metamorfismo, o principal indicador geométrico da deformação. Ao contrário das dobras, cujas relações com os eixos do elipsóide da deformação são variáveis e difíceis de serem determinadas, as diferentes formas de lineações marcadas por minerais (mineral s.s., *pull apart*, *pressure shadows* etc.) indicam sistematicamente a direção do eixo X do elipsóide da deformação. Esta direção corresponde, localmente, à direção de transporte tectônico.

Na confecção do Banco de Dados do Ceará Central, foram cadastradas um total de 1594 lineações de estiramento (Figura 5.1), parte baseadas em dados digitais, parte recuperadas diretamente de mapas geológicos, conforme tabelas 3.1 e 3.2. A maior parte são lineações minerais, freqüentemente marcadas pela sillimanita ou cianita, além de outras espécies minerais (micas, anfibólios, feldspatos, etc.). Geralmente representam marcadores do transporte em condições de alta temperatura (fácies anfibolito alto, com ou sem migmatização, ou mesmo fácies granulito ou eclogito – Arthaud, 2007).

5.2 – Regiões Homogêneas

5.2.1 – Definição das regiões

Uma análise visual preliminar das lineações mostra que, apesar da sua aparente complexidade elas apresentam padrões coerentes de distribuição, podendo ser agrupadas em cinco regiões relativamente homogêneas. Cada um destas regiões apresenta fronteiras correspondendo a feições geológicas já conhecidas (Figura 5.2).

Região 1: engloba as unidades conhecidas como Complexo Tamboril-Santa Quitéria (Cavalcante *et al.*, 2003), Migmatitos Lagoa Caiçara (Castro, 2004), *Nappe* de Guia (Arthaud, 2007), Unidade Independência – Iqx (Cavalcante, 2003) e Unidades Canindé e Independência a oeste do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (Cavalcante *et al.*, 2003).

Região 2: corresponde aproximadamente à parte norte da Unidade Canindé (Cavalcante *et al.*, 2003), a leste do Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

Região 3: corresponde ao embasamento arqueano/paleoproterozóico, representado pelo Complexo Cruzeta, pela Suíte Madalena e pelo Complexo (ou Unidade) Algodões (Arthaud, 2007).

Região 4: corresponde à *Nappe* de Itatira (Arthaud, 2007).

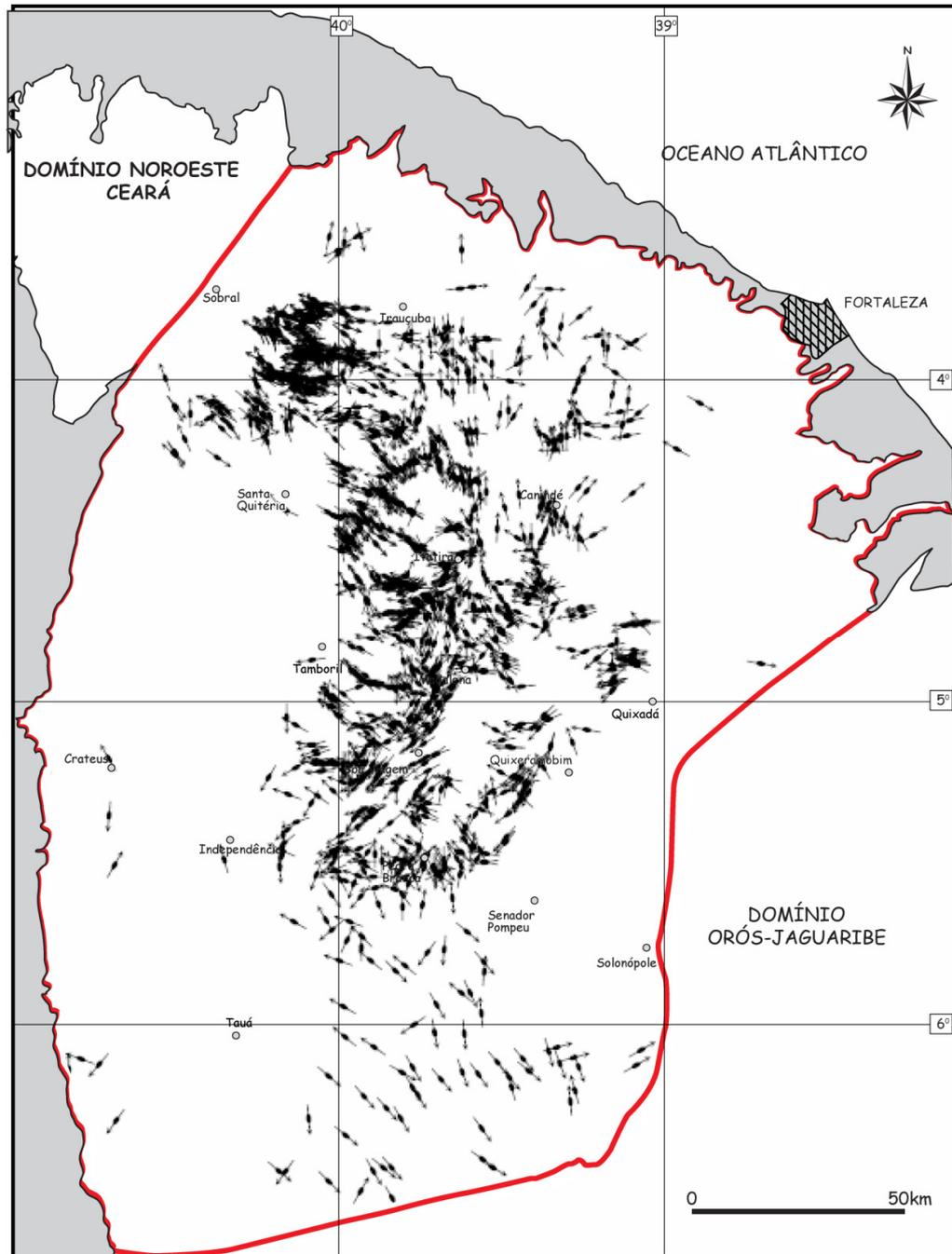


Figura 5.1 – Compilação das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central- 1594 medidas.

Região 5: engloba a parte sul da unidade Canindé a leste do Complexo Tamboril-Santa Quitéria e a parte norte do embasamento arqueano/paleoproterozóico.

Estas cinco regiões englobam 1354 lineações, ou seja, 85% das lineações que constituem o acervo atual do banco de dados. No restante do Domínio Ceará Central, a quantidade de dados disponíveis é ainda insuficiente para permitir uma análise.

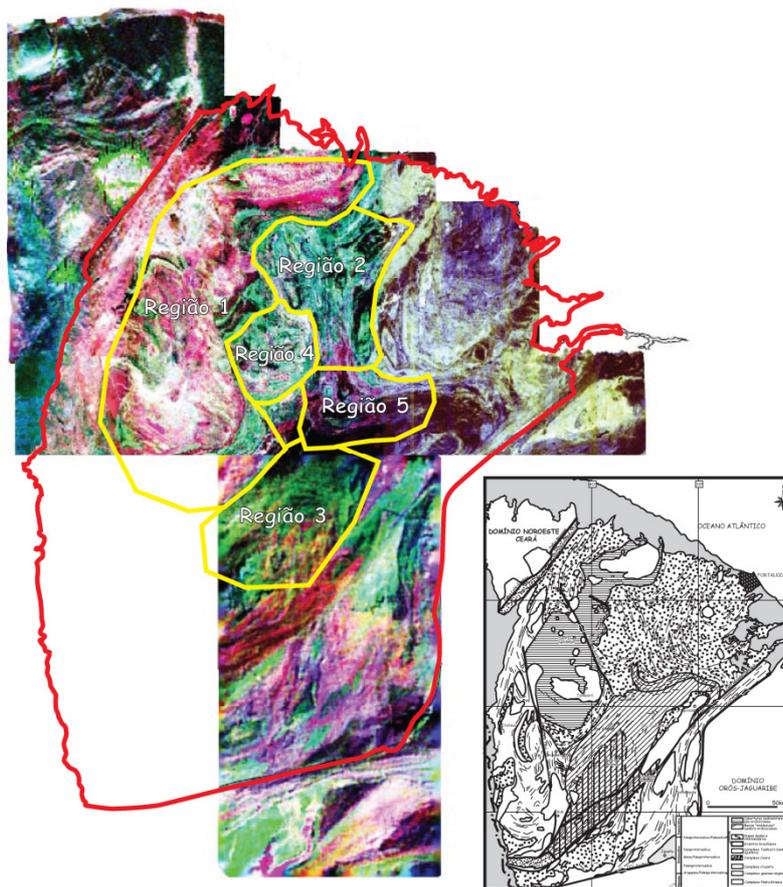


Figura 5.2 – As cinco regiões do Ceará Central homogêneas em relação às direções de transporte tectônico.

5.2.2 – Direções de transporte tectônico

As cinco regiões apresentam características nitidamente contrastantes de direções de transporte tectônico que podem ser visualizadas nos diagramas de roseta da (Figura 5.3):

Na Região 1, foram plotadas 577 lineações, a grande maioria apresenta direção WNW-ESE com média na direção N112.

Na Região 2, com 166 medidas, predomina a direção N-S com média N172.

Na Região 3, com 244 medidas, a direção principal é NE-SW, com média N42.

Na Região 4, com 224 lineações, duas direções principais podem ser evidenciadas: uma NW-SE com média em torno de N145 e outra, menos marcada ENE-WSW com média em torno de N70.

Enfim, na Região 5, as 143 lineações apresentam uma distribuição menos concentrada, apresentando três direções principais mal definidas: E-W, NW-SE e NS.

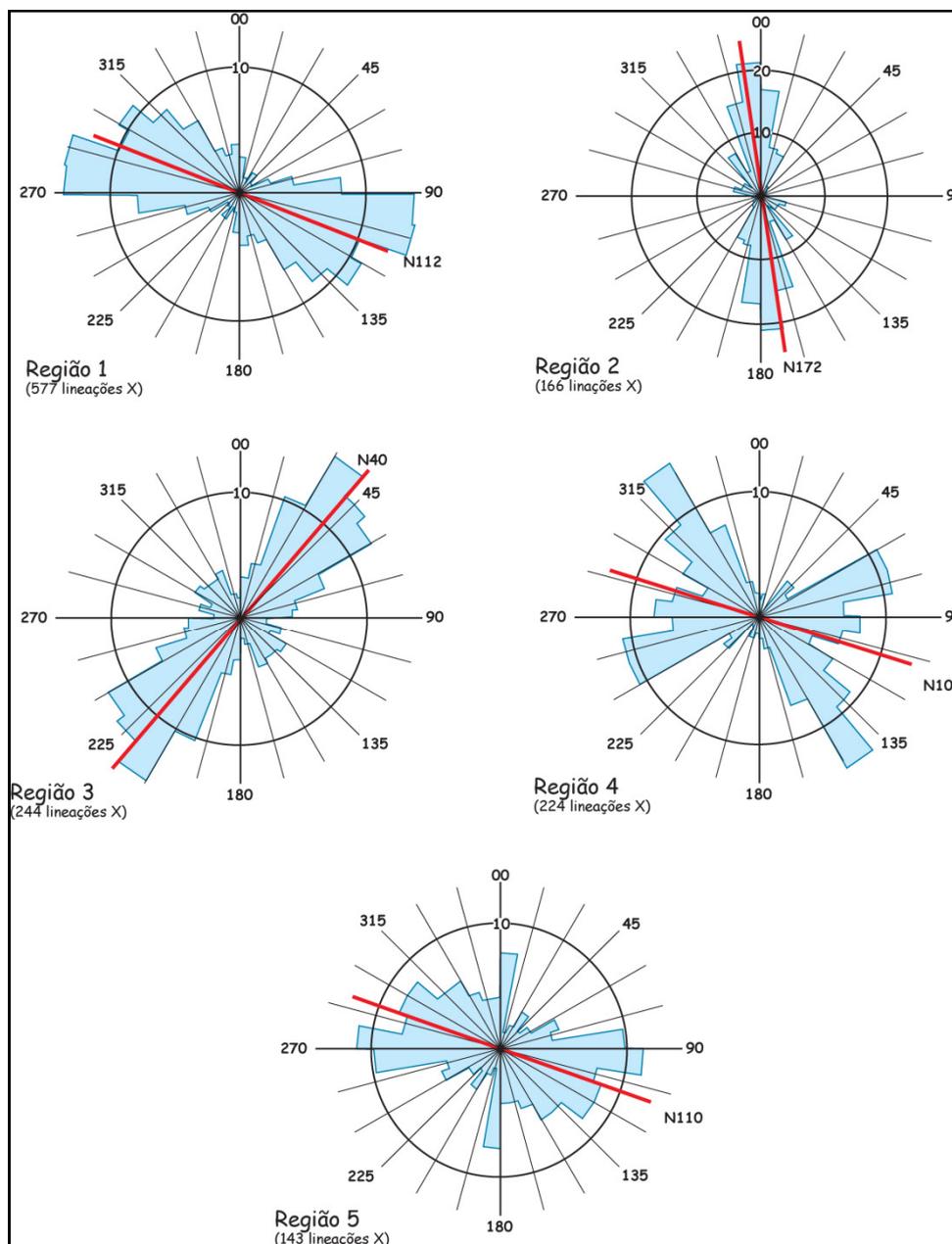


Figura 5.3 – Diagramas de roseta para as direções de lineação de estiramento de cada região.

5.3 – Discussão e interpretação

A Região 1 é representada essencialmente por metassedimentos do Grupo Ceará e rochas migmatíticas diversas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria, interpretado por Fetter *et al.* (2003) como possível arco magmático continental associado à colisão brasileira. A maioria dos autores (Castro, 2004; Arthaud, 2007; Santos *et al.*, 2008) admite que grande

parte das rochas destas unidades são de idade neoproterozóica e que a direção WNW-ESE das lineações de estiramento é associada à fase principal de espessamento crustal brasileira com idade de c.a. 610 Ma. Não há unanimidade acerca das direções de transporte tectônico: uns autores (p. ex, Arthaud, 2007) admitem, para toda a região, transporte para SE enquanto outros autores (p. ex. Santos T. J. S *et al.*, 2008) consideram uma dupla vergência: transporte para SE a leste do Complexo Tamboril-Santa Quitéria e para NW a oeste do mesmo.

A Região 2 corresponde basicamente à Unidade Canindé do Grupo Ceará, considerada como sendo de idade paleoproterozóica por Cavalcante et al. (2003). Sousa Filho (1998) sugere, para esta unidade na folha Irauçuba, uma direção de transporte NS com movimento inicial para S numa fase de espessamento crustal seguido de movimentos para N.

É possível observar, na (Figura 5.3), que as direções de transporte tectônico são efetivamente quase ortogonais. Uma situação semelhante foi observada por Arthaud (2007) na região de Madalena/Boa Viagem, onde foi interpretada como evidência da existência de um contato tectônico fundamental entre coberturas neoproterozóicas, com direções de transporte WNW-ESE e embasamento arqueano/paleoproterozóico (que corresponde à Região 3 deste trabalho) com direções de transporte NE-SW. A mesma interpretação pode ser feita em relação ao contato entre as regiões 1 e 2, que é de natureza obviamente tectônico. Entretanto, ao contrário da região de Madalena/Boa Viagem, onde o autóctone é constituído por um embasamento arqueano/paleoproterozóico policíclico, a idade da Região 2, que serve de autóctone para a Região 1, é ainda objeto de conjecturas. Para Cavalcante et al. (2003), a Unidade Canindé do Grupo Ceará é de idade paleoproterozóica e poderia ser policíclicas enquanto que Arthaud (2007) considera que é parte integrante do Grupo Ceará, considerado por ele como monocíclico e de idade neoproterozóica .

A escassez de dados geocronológicos disponíveis acerca da Região 2, tanto U/Pb em zircão ou monazita, como Sm/Nd, torna impossível optar entre os vários modelos possíveis: terreno paleoproterozóico com metamorfismo e deformação policíclicos; terreno paleoproterozóico com metamorfismo e deformação monocíclica brasileira ou terreno neoproterozóico com metamorfismo e deformação brasileira.

Apesar desta indefinição, fica claro que a história geológica das regiões 1 e 2 é fundamentalmente diferente e que elas devem ser consideradas como entidades tectonoestratigráficas independentes: a *mise en place* final da (ou das) *nappe* que constitui a Região 1 foi feito sobre uma Região 2 já estruturada e fria, uma vez que a direção WNW-ESE, que caracteriza o alóctone, quase não está registrado no autóctone.

A Região 3 corresponde à parte sul do embasamento arqueano/ paleoproterozóico (Complexo Cruzeta, Suite Madalena e Complexo Algodões - Arthaud, 2007), com transporte tectônico na direção NE-SW. É provável que o contato tectônico que separa Regiões 1 e 3 é o prolongamento, a sul, do contato que separa as Regiões 1 e 2.

A Região 4 corresponde à *Nappe* de Itatira, que representa uma escama de terrenos neoproterozóicos pertencentes ao Grupo Ceará (Arthaud, 2007). O padrão apresentado pelas lineações de estiramento é perturbado por deformações de baixa temperatura associadas à *mise en place* final das *nappes*, que se materializam pelo encurvamento dos eixos e planos axiais de dobras e das lineações de estiramento (Arthaud, 2007).

A Região 5 é um domínio complexo englobando a parte norte do embasamento e a parte sul da Unidade Canindé: o aspecto complexo do diagrama de roseta é consequência do envergamento progressivo da lineação de estiramento: na parte sul da Região 2, a lineação inicialmente N-S sofre uma inflexão e passa progressivamente para uma direção ENE-WSW e, na parte N da Região 3 a lineação passa progressivamente de uma direção NE-SW para a mesma direção ENE-WSW, se tornando paralela a lineação da Região 2. Esta paralelização das lineações (e das foliações) das Regiões 2 e 3 indica a existência entre ambas, de um contato tectônico de grande porte, possivelmente de natureza transcorrente, de direção ENE-WSW. Este contato, parcialmente obliterado pelos terrenos alóctones da Região 1, é necessariamente anterior à *mise en place* final das *nappes* da Região 1. Entretanto, em função do detalhamento ainda insuficiente da cartografia na região de contato e da escassez de dados geocronológicos, de novo ficam abertas várias possibilidades: a zona de contato entre as Regiões 2 e 3 pode ser paleoproterozóica reativada no brasileiro ou pode corresponder a um evento brasileiro anterior à tectônica tangencial com transporte WNW-ESE.

5.4 – Conclusões

Baseado nos dados cadastrados no Banco de Dados do Ceará Central é possível subdividir este domínio em 5 regiões caracterizadas pelo comportamento das suas direções de transporte tectônico:

- Região 1: constituída por rochas neoproterozóicas do Grupo Ceará (essencialmente metassedimentos) e do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (Granitos e migmatitos diversos). É caracterizada por lineações muito concentradas em torno da direção WNE-ESE.

- Região 2: constituída por rochas de idade ainda não estabelecida de maneira inequívoca pertencentes à Unidade Canindé do Grupo Ceará. Apresenta lineações de estiramento concentradas em torno da direção N-S.

-Região 3: corresponde a terrenos de idade arqueana e paleoproterozóica atribuídos ao Complexo Cruzeta, Suíte Madalena e Complexo Algodões. Nesta região, a direção das lineações está concentrada em torno de NE-SW

- Região 4: corresponde à *Nappe* de Itatira, com idade neoproterozóica. O padrão de lineação é complexo devido à influência das deformações tardias de menor temperatura.

- Região 5: é caracterizada pelo encurvamento tanto das lineações da Unidade Canindé como do embasamento que tendem a se paralelizar, adotando uma direção ENE-WSW.

As Regiões 1 e 4 são alóctones em relação às demais regiões, sendo separadas delas por um importante contato tectônico de baixo ângulo. A Região 3 representa uma escama tectônica.

As Regiões 2 e 3 estão separadas por um contato tectônico provavelmente transcorrente, anterior à colocação das *nappes* das regiões 1 e 4, responsável pelo encurvamento e paralelização das lineações (e foliações) na região 5.

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 6



CONCLUSÕES



• • • • • • • •

6 – CONCLUSÕES

A experiência de construção do banco de dados mostra-se válida pelo fato de ter permitido um redimensionamento dos dados geológicos levantados ao longo dos anos nesta região, tornando-os disponíveis em um ambiente de cadastro unificado. A partir deste estudo temos um banco de dados atualizado que retrata o conhecimento geológico do Ceará Central de maneira global.

Diante da quantidade de dados geológicos existentes acerca do Ceará Central e do grande volume de informações geradas, a implementação de um SIG, que pode aglutinar todas as informações obtidas em um sistema único e, sobretudo, simples, com interação entre os diversos componentes geológicos, proporcionou a realização de uma ferramenta bastante útil para os geólogos que tenham interesse nessa região.

A análise das lineações de estiramento do Domínio Ceará Central, realizada neste trabalho com os dados cadastrados a partir de múltiplas fontes, tanto na forma digital como analógica, obteve resultados inovadores e esclarecedores sobre as direções de transporte tectônico da região, podendo servir de base para uma nova proposta de compartimentação tectono-estratigráfica comprovando que, a partir do banco de dados, é possível analisar e interpretar esses dados de maneira integrada, oferecendo uma visão mais regional.

Outro ponto favorável é a dinâmica do sistema, permitindo que se realizem atualizações à medida que novos dados sejam coletados. Desta forma, faz-se necessário, para o funcionamento do SIG, a atualização do banco de dados, bem como a adição de novas informações como: novos métodos de datações, novos levantamentos aerogeofísicos e seus diversos tipos de processamento visando ter uma cobertura completa do Ceará Central, resultados de análises químicas, descrição petrográficas, ocorrências minerais, outros tipos de imagens de sensoriamento remoto (ASTER, CBERS 2, QUICKBIRD,...) etc.

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•

CAPÍTULO 7



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



• • • • • • • •

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. Brito Neves, B. B. & Fuck, R. A. 1977: **Províncias Estruturais Brasileiras**. Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, p. 363-391.
- Almeida, A. R. 2007: **Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Quixeramobim**, CPRM/UFC.
- Alvarenga, L. 2001: **A Teoria do Conceito Revisitada em Conexão com Ontologias e Metadados no Contexto das Bibliotecas Tradicionais e Digitais**. DataGramZero, v.2, n.6, 21 p., dez. 2001. Disponível em: <http://www.dgz.org.br/dez01/Art_05.htm>.
- Amaral, W. S. 2007: **Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição à evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central**. Dissertação de mestrado, Instituto de geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- ArcGIS 9.0 2005: **Designing Geodatabase With Visio**. Redlands, Enviromental Systems Research Institute Inc, 45p.
- ArcGIS 9.0 2005: **Introduction to CASE tools**. Redlands, Enviromental Systems Research Institute Inc, 12p.
- Arthaud, M. H. 2002: **Noções de Geologia estrutural – Notas de aula**.
- Arthaud, M. H. 2005: **Tectônica de *nappes* e espessamento crustal brasileiro na região de Madalena, Boa Viagem, Ceará Central**. Exame de Qualificação (não publicado) IG UNB. 76p.
- Arthaud, M. H. 2007: **Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Itatira**, CPRM/UFC.
- Arthaud, M. H. 2007: **Mapeamento Geológico e de Levantamento de Recursos Minerais da Folha Boa Viagem**, CPRM/UFC.

- Bertin, J. A. 1986: **Neografia e o Tratamento Gráfico da Informação**, Editora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986 (273 p).
- Bley, B. N. *et al.*, 1975: **Contribuição a Geocronologia do Pré-cambriano Cearense**. Boletim do Núcleo do Nordeste da SBG N°5 pp 299/318.
- Castro, N. A. 2004: **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 221p + anexos.
- Cavalcante, J. C. 1999: **Limites e evolução do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Cavalcante, J. C., Vasconcelos, A. M., Medeiros, M. F., Paiva, I. P., Gomes, F. E. M., Cavalcante, S. N., Cavalcante, J. E., Melo, A. C. R., Duarte Neto, V. C. & Benevides, H. C. 2003: **Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000**. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Correa Neto, D. 2004: **Mapeamento geológico da porção oeste do batólito de Santa Quitéria - Região de Aracatiaçu, Província Borborema**. Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-São Paulo.
- Dias, E. J. W. 2001: **Contexto digital e tratamento da informação**. Datagramazero, v. 2, n. 5,out.. Disponível em: <http://www.dgz.org.br/out01/F_I_art.htm>.
- Fetter, A. H. 1999: **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana**. PhD. Thesis, Dept. of Geology, Kansas University, USA, 164p.
- Gorayeb, P. S. S. & Lafon, J. M., 1995: **Geocronologia Rb-Sr do Granodiorito Anil-CE**. XVI Simp. Geol. Nordeste. Recife. p. 274-276.

Gorayeb, P.S. S. *et al.*, 1991: In: Tavares Jr. S.S., 1992: **Caracterização Litoquímica e Geocronológica Rb/Sr de Rochas Granitóides e ortognaisses da Região de Santa Quitéria Sobral, NW do Ceará.** Tese de Doutorado.

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). **Dados de temperatura do posto Petrolina (PE).** Disponível em: www.cptec.inpe.br.

Lazzarotto, D. R. 2002: **O que são geotecnologias.** Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br/>>.

Martins, G. 2000: **Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró.** Doctoral Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.

Miranda Cuoco, F. R., 2003 - **Mapeamento Geológico da Borda Leste do Arco Magmático de Santa Quitéria - Área de Juá (CE), NW da Província Borborema.** Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-São Paulo.

Nascimento, D. A. *et al.*, 1981: **RADAM-BRASIL.**

Pessoa, R. R. and Archanju, 1984: **Tectônica de empurrão na região de Tróia – CE.** Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, v 4, p.1721 – 1728.

Rosa, F. F. 2005: **Mapeamento e caracterização geológica da porção oeste do Batólito de Santa Quitéria, Ce.** Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-SãoPaulo.

Sá, J. M. 1991: **Évolution géodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil.** Doctoral thesis, Université de Nancy, France, 117p.

Serra, G. 2003: **Arcview 8.2. Imagem - Soluções de Inteligência Geográfica:** São José dos Campos, 120p. (Material de Aula).

- Souza Filho, O. A. 1998: **Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea Folha SA.24-V-D-V – Irauçuba – Ceará.**
- Tavares, S. S., Jr. & Gorayeb, P. S. S. & Lafon J. M. 1990: **Petrografia e geocronologia Rb/Sr do feixe de diques da borda oeste do Granito de Meruoca (CE).** XXXIV Congresso Brasileira de Geologia, Natal, Anais, 337-338.
- Teixeira, M. L. A. 2005: **Integração de dados aerogeofísicos, geológicos e isotópicos do limite norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria – CE (Província Borborema).** Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Brasília, 91 p.
- Torres P. F. M. 2004: **Aspectos geológicos e geocronológicos da região Redenção (Ce) e adjacências - contexto regional e evolutivo: Sequência Acarape e Suíte Pacatuba.** Dissertação de mestrado, Departamento de geologia da UFC, 188p.