



# GEOLOGY, GEOCHRONOLOGY AND GOLD METALLOGENESIS OF THE SERRA DAS PIPOCAS GRANITE-GREENSTONE TERRANE, TROIA MASSIF, NORTH BORBOREMA PROVINCE, BRAZIL

Felipe Grandjean da Costa (CPRM – refo)

Evandro L. Klein (CPRM – sede)

Rafael G. Corrêa-Lima (UFPA)

João L.C. Naletto (CPRM – refo)

+ equipe DGM - refo

Serviço Geológico do Brasil - CPRM  
Residência de Fortaleza – REFO  
09 de outubro de 2016

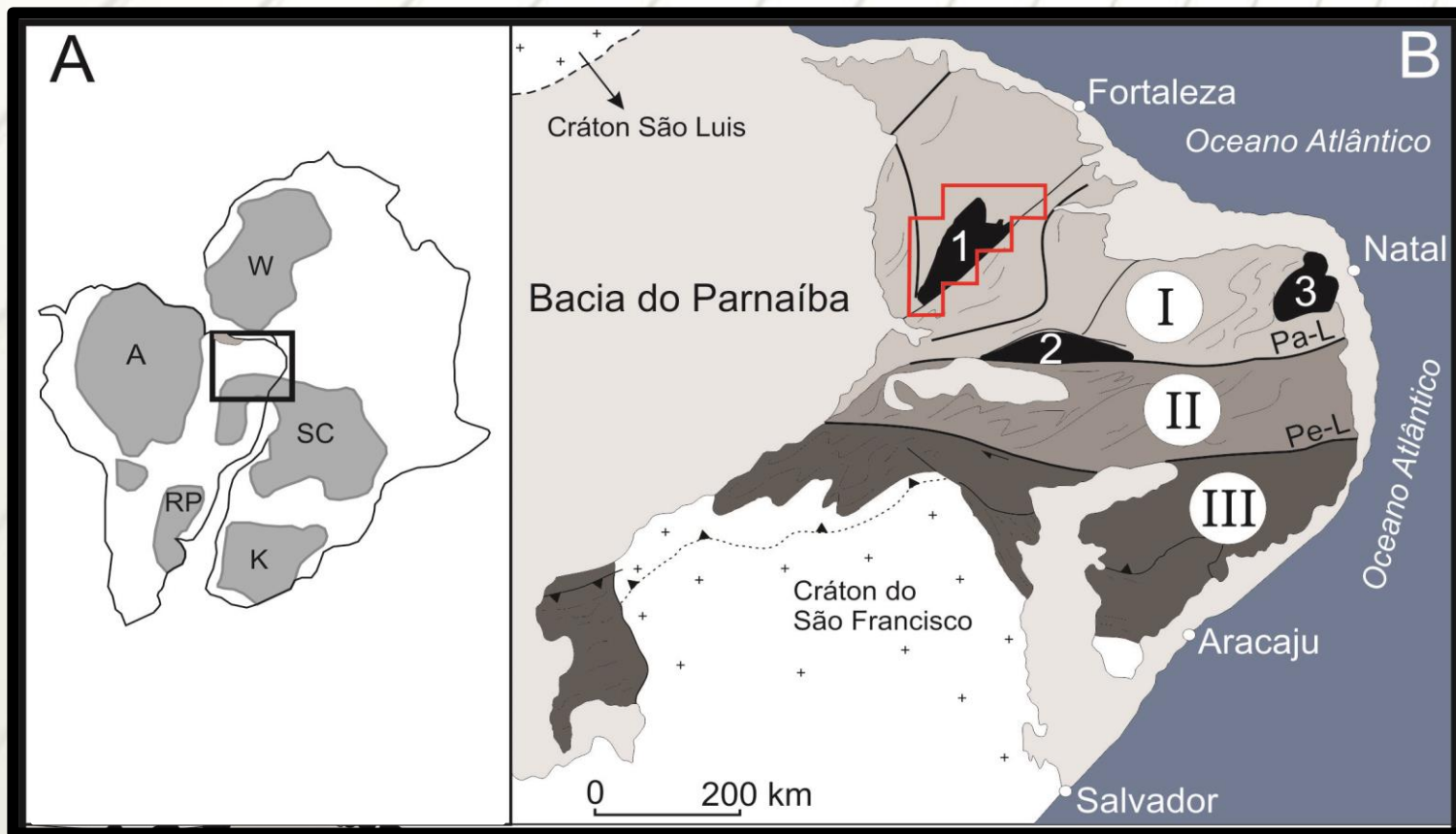
# Localização



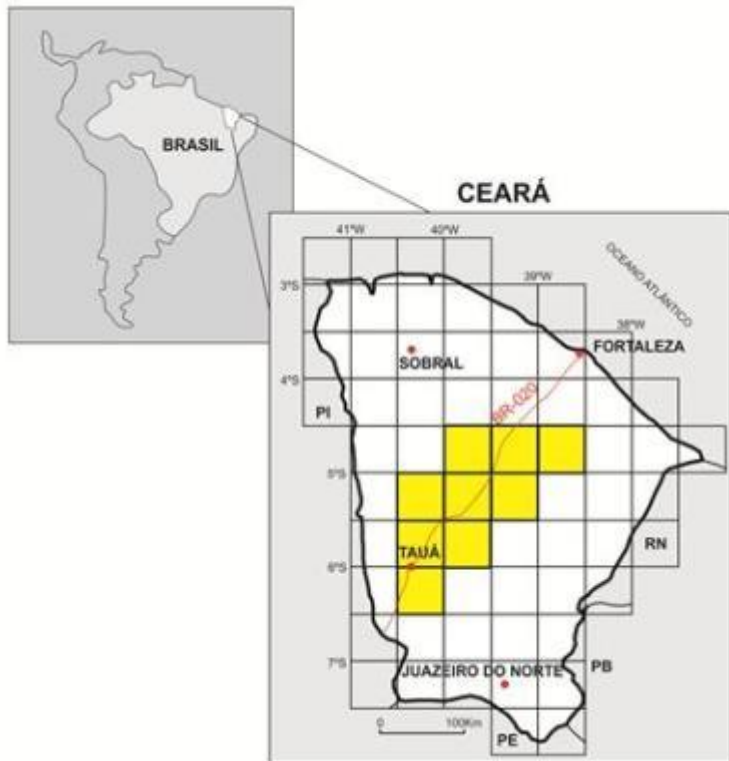
# LOCALIZAÇÃO

## Núcleos arqueanos da Província Borborema:

- 1- Maciço de Troia, 2- Complexo Granjeiro e
- 3- Maciço São José do Campestre



(modificado de [Trompette, 1999](#))



Projeto Troia-Pedra Branca , nove (9) Folhas 1:100.000.  
“Maciço de Troia” , região central do Estado do Ceará.

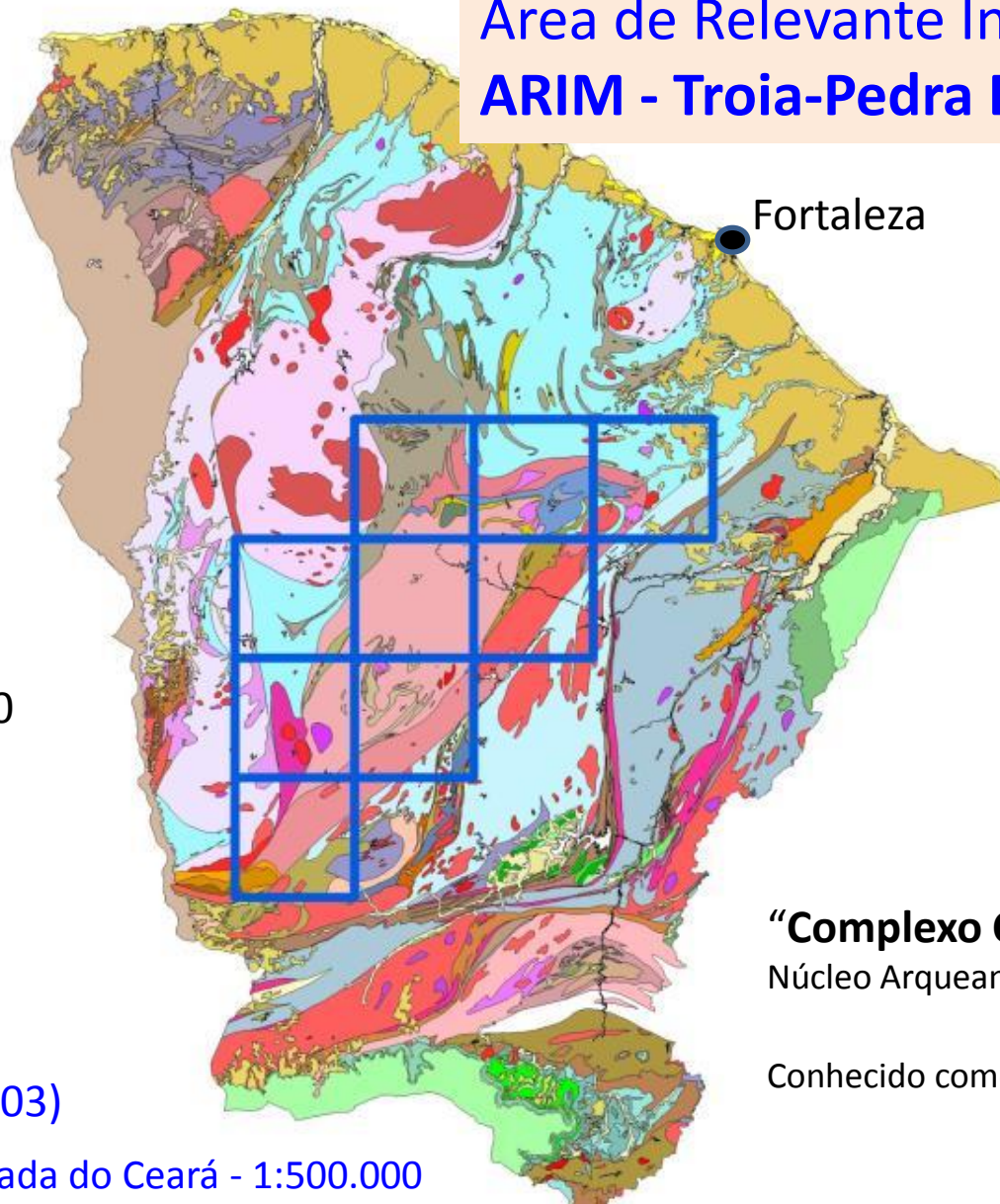
## Histórico do projeto

- Inicialmente (2013/2014), o projeto “Bloco Troia-Pedra Branca” fez parte do projeto sistemático intitulado como “Metalogenia da Província Borborema NW” vinculado ao empreendimento “**Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil**”.
- Atualmente, passou a integrar os projetos do **PAT-2015-2016**, sendo enquadrado dentro das **ARIMs (Áreas de Relevante Interesse Mineral)**.

PROJETOS TEMÁTICOS

X  
*Cartografia clássica*

# Área de Relevante Interesse Mineral ARIM - Troia-Pedra Branca



Total de  
9 folhas 1:100.000

(Cavalcante et al., 2003)

Mapa Geológico do Estado do Ceará - 1:500.000

**“Complexo Cruzeta”**

Núcleo Arqueano/Paleoproterozoico

Conhecido como **“Maciço de Troia”**  
(Brito Neves, 1975)

Folhas 1:100.000

**CPRM/UFC (2008)**

*Folha Itatira*

*Folha Boa Viagem*

*Folha Quixeramobim*

**CPRM (2011)**

*Folha Independência*

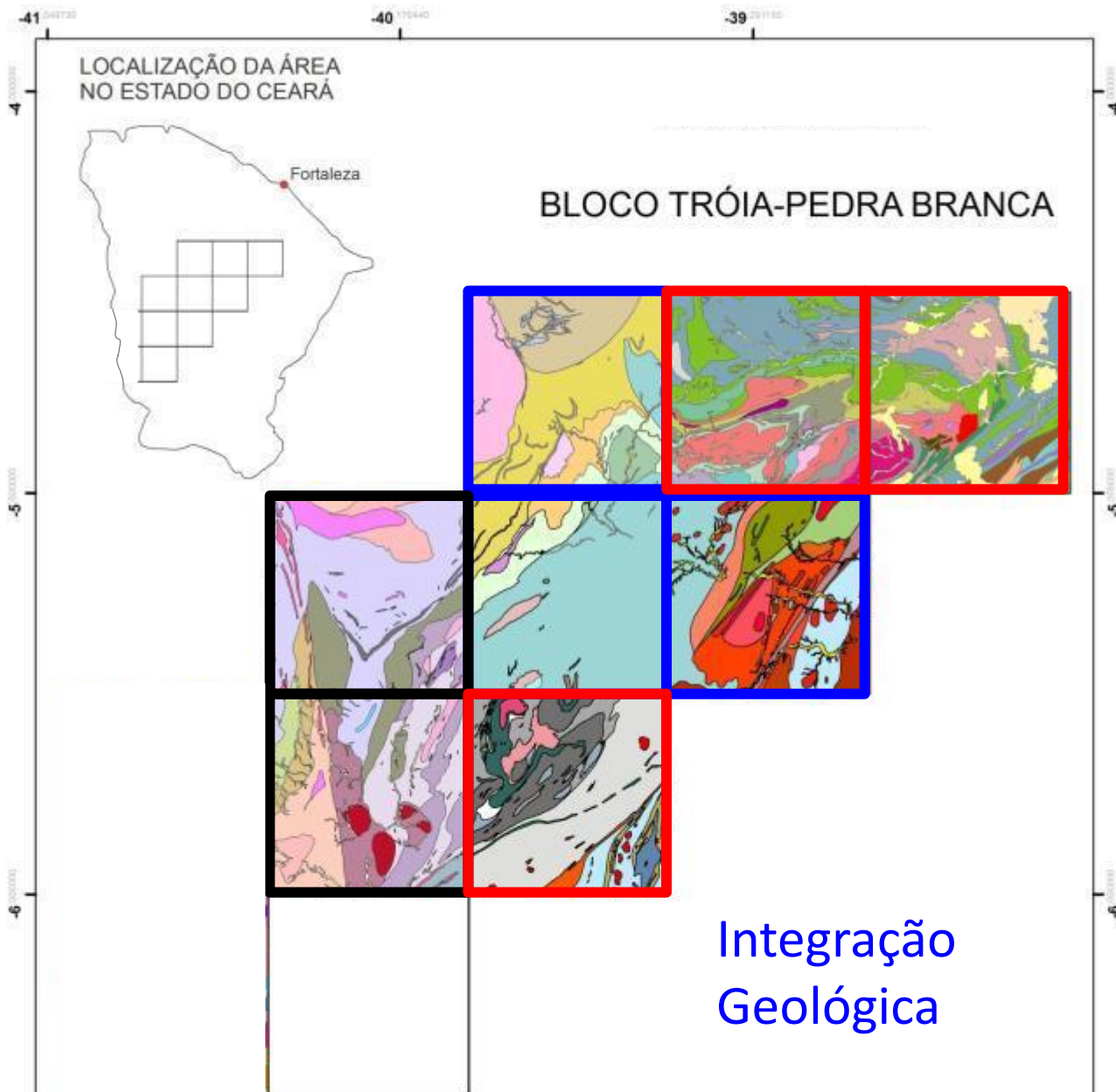
*Folha Várzea do Boi*

**CPRM (2013 - 2014)**

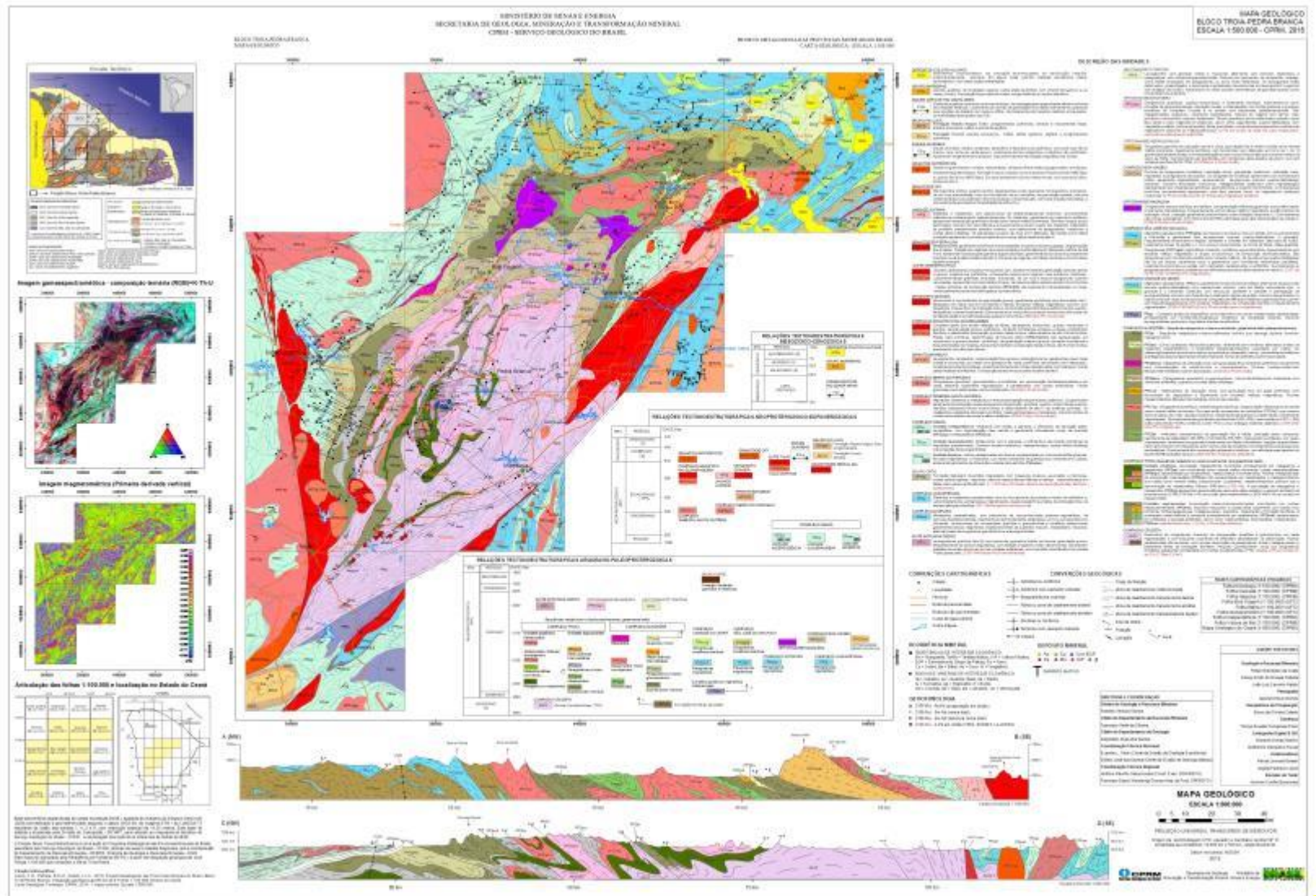
*Folha Quixada*

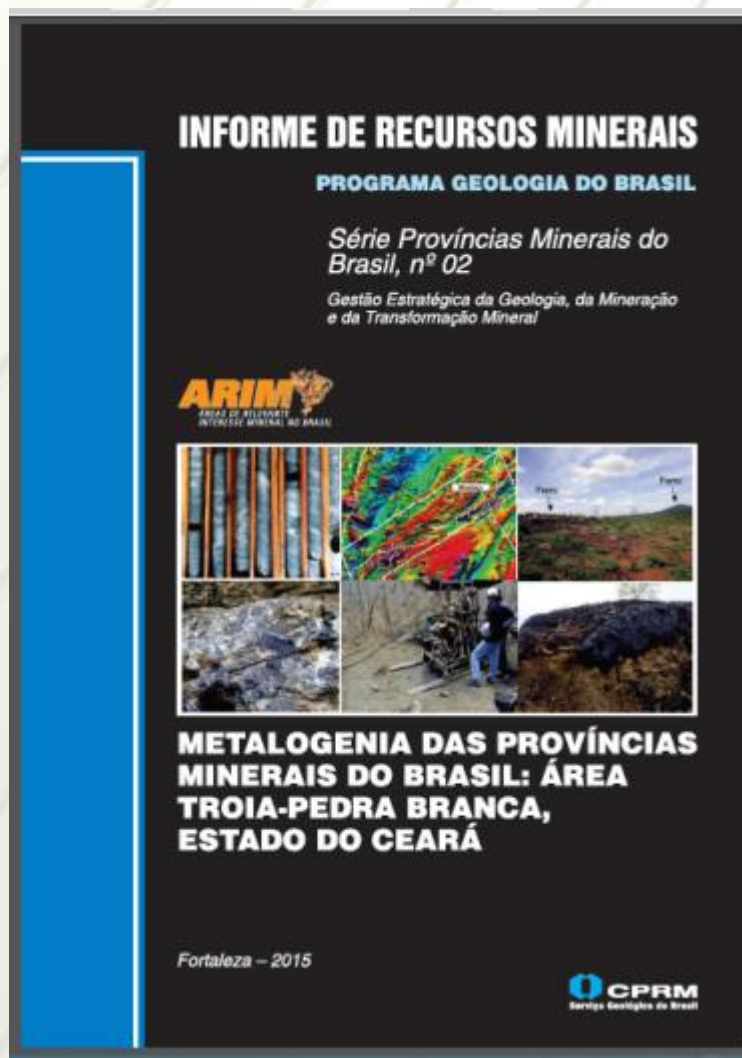
*Folha Itapiúna*

*Folha Mombaça*



# Mapa Geológico (1:500.000) “Maciço de Troia”





## *Série Províncias Minerais do Brasil, nº 2*

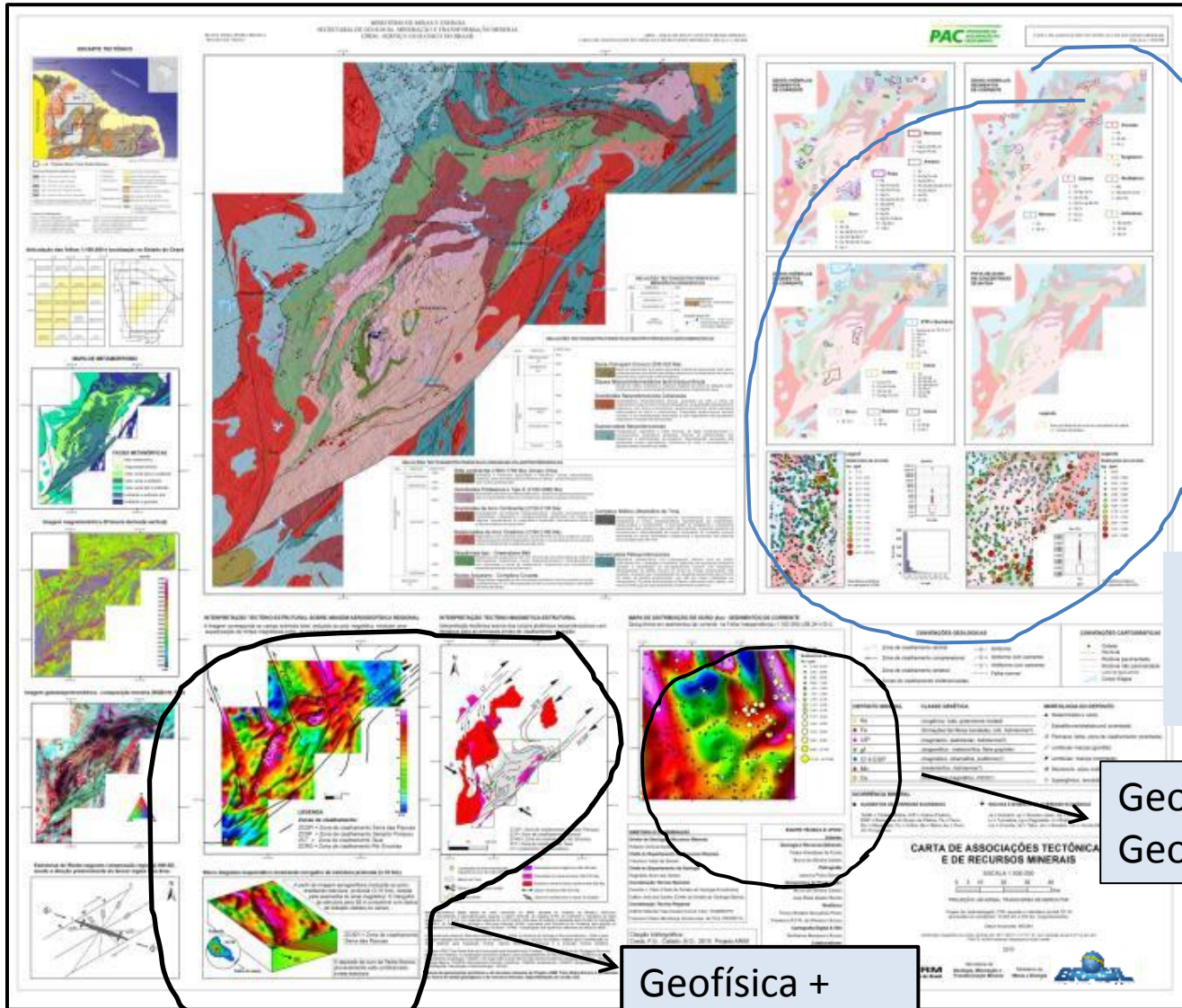
### **Troia-Pedra Branca Estado do Ceará**

- Principais recursos minerais
- Descrição dos depósitos
- Atualização cartográfica
- Interpretação geofísica
- Interpretação estrutural
- Geoquímica prospectiva



# CARTA DE ASSOCIAÇÃO TECTÔNICA E RECURSOS MINERAIS (1:500.000)

2016



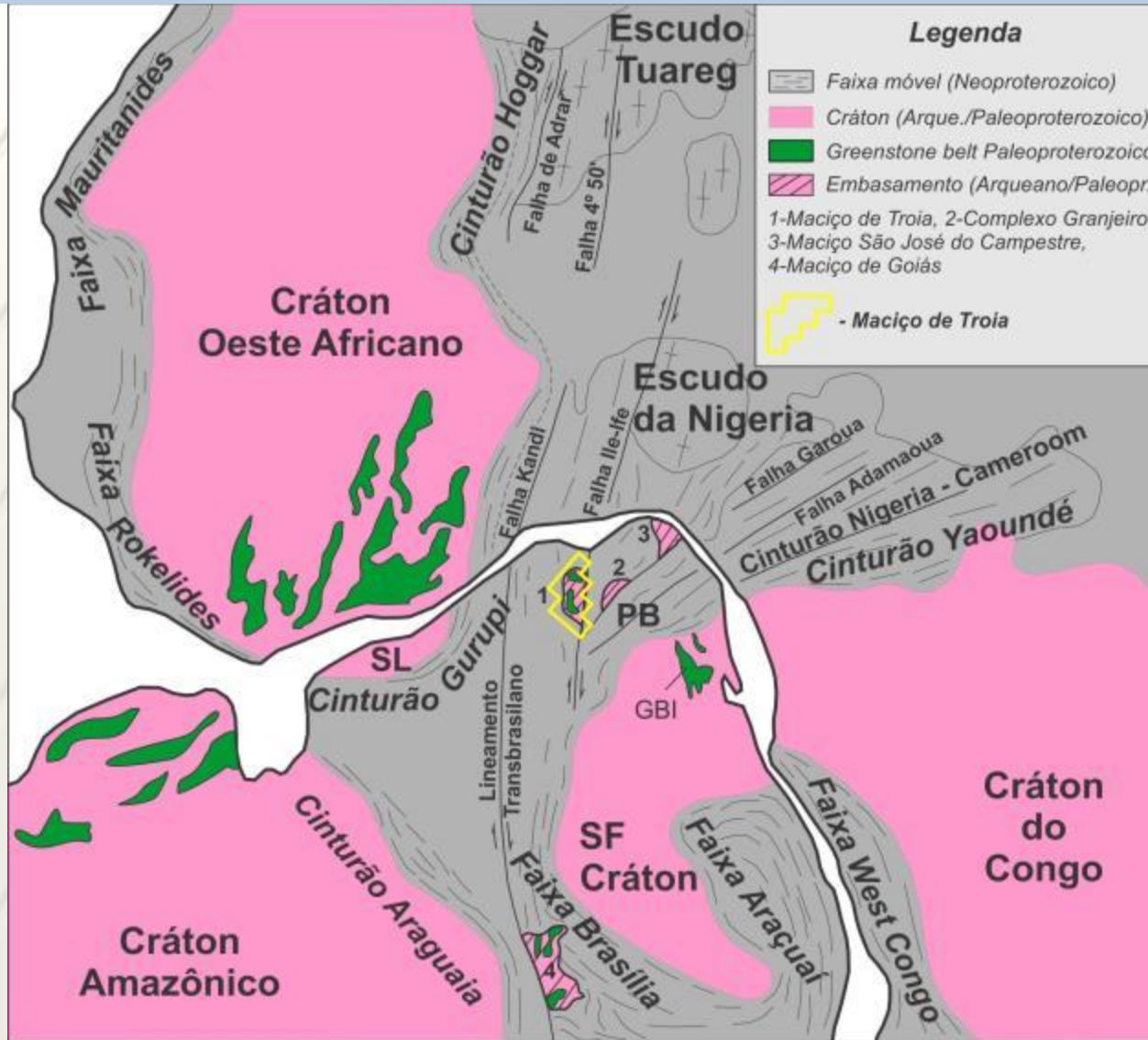
Geoquímica de Prospecção

Geoquímica + Geofísica

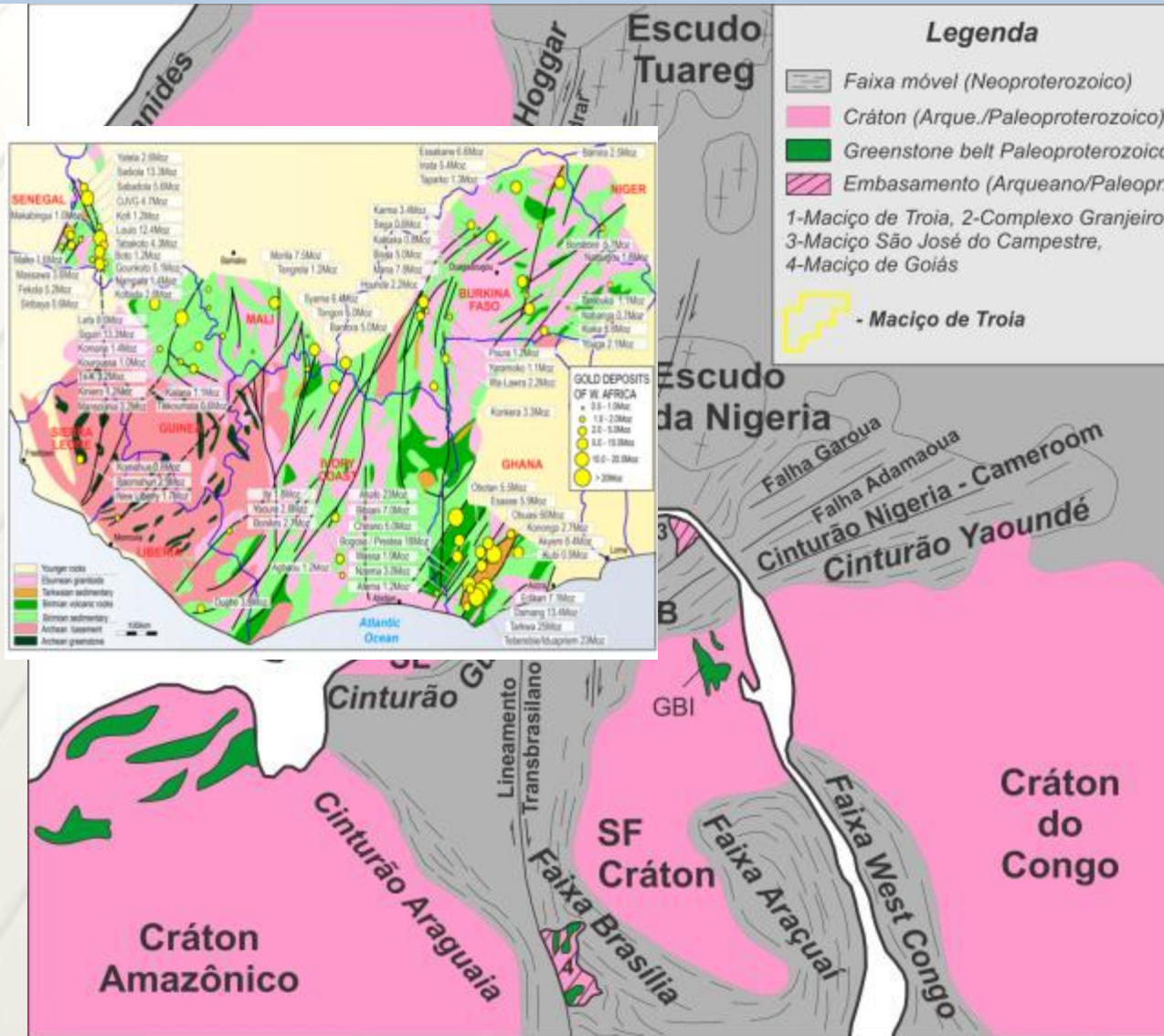
Geofísica + Tectônica

**“Greenstone belts paleoproterozóicos” do Maciço de Troia  
e  
mineralizações auríferas**

# Localização “Privilegiada” (*Gold endowment*)

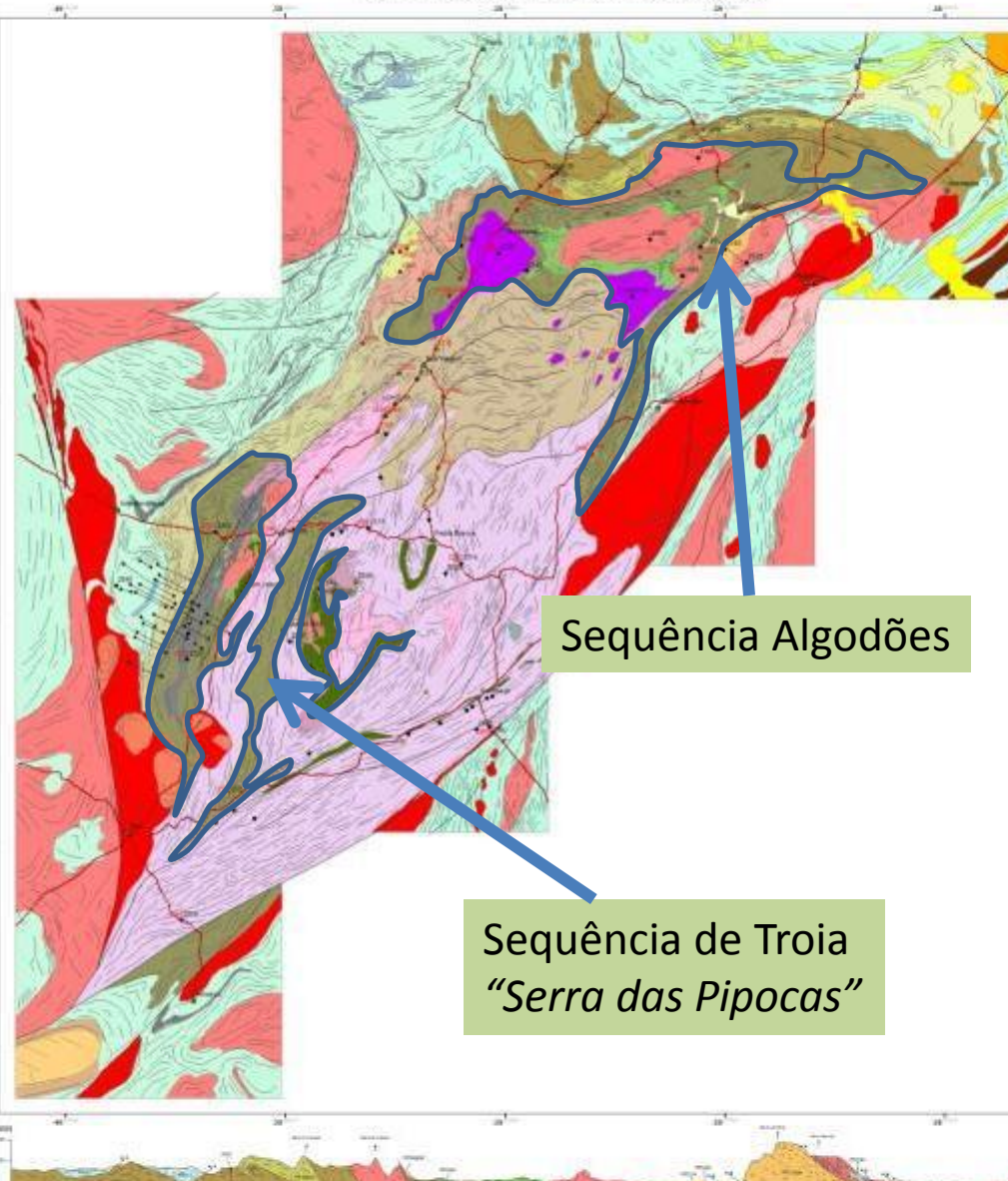


# Localização “Privilegiada” (Gold endowment)



# MAPA GEOLÓGICO DO NÚCLEO ARQUEANO/PALEOPROTEROZOICO DE TROIA-PEDRA BRANCA

## Greenstone Belts Paleoproterozoicos do Maciço de Troia



Sequência Algodões

Sequência de Troia  
"Serra das Pipocas"



**Geochemistry and U–Pb zircon ages of plutonic rocks from the Algodões granite-greenstone terrane, Troia Massif, northern Borborema Province, Brazil: Implications for Paleoproterozoic subduction-accretion processes**

Felipe Grandjean da Costa <sup>A,\*</sup>, Edney Smith de Moraes Palheta <sup>A</sup>, Joseusea Brilhante Rodrigues <sup>B</sup>, Iaponira Paiva Gomes <sup>A</sup>, Antonio Maurilio Vasconcelos <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Geological Survey of Brazil, Av. Antônio Sales, 1218, CEP 60115-001, Fortaleza, CE, Brazil  
<sup>B</sup> Geological Survey of Brazil, Brasília, DF, Brazil

**ARTICLE INFO**

Article history:  
 Received 22 August 2014  
 Accepted 26 January 2015  
 Available online 4 February 2015

**Keywords:**  
 Borborema Province  
 Basement inliers  
 Paleoproterozoic  
 Geochemistry  
 Geochronology

**ABSTRACT**

The Algodões metavolcano-sedimentary sequence is located at the northern margin of the Archean/Paleoproterozoic Troia Massif, northern Borborema Province (NE Brazil). It represents a well-preserved Paleoproterozoic greenstone-like sequence affected by two major plutonic events. The early plutonism, represented by the Cipó orthogneisses, mainly comprises biotite-bearing metagabbros, which share similar geochemical signatures with Archean tonalite-trochilomitic-gabbro-diorite (TTG). For these rocks, we report U–Pb (LA-ICPMS) zircon ages of 2189 ± 14 Ma and 2180 ± 15 Ma. A subsequent plutonic magmatism occurred at ~2150–2130 Ma and is mainly represented by hornblende-bearing dioritic to tonalitic orthogneisses of the Malabar Suite and São José da Malacoca Complex. Geochemical data indicate that these dioritic/tonalitic orthogneisses have adakitic characteristics and strongly suggest mantle-related magmas. A (sensu stricto) granitic plutonism (Serra da Palha orthogneisses) also intruded the Algodões sequence and yielded U–Pb (LA-ICPMS) zircon age of 2150 ± 16 Ma. These granitic orthogneisses show high-K content, A-type characteristics and probably derived from partial melting of a crustal (tonalitic) source. We suggest that the early ~2180–2160 Ma TTG plutons probably developed in intra-oceanic arc setting, whereas the following ~2150–2130 Ma adakitic plutons and A-type granitic magmatism developed in response to arc-continent collision.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

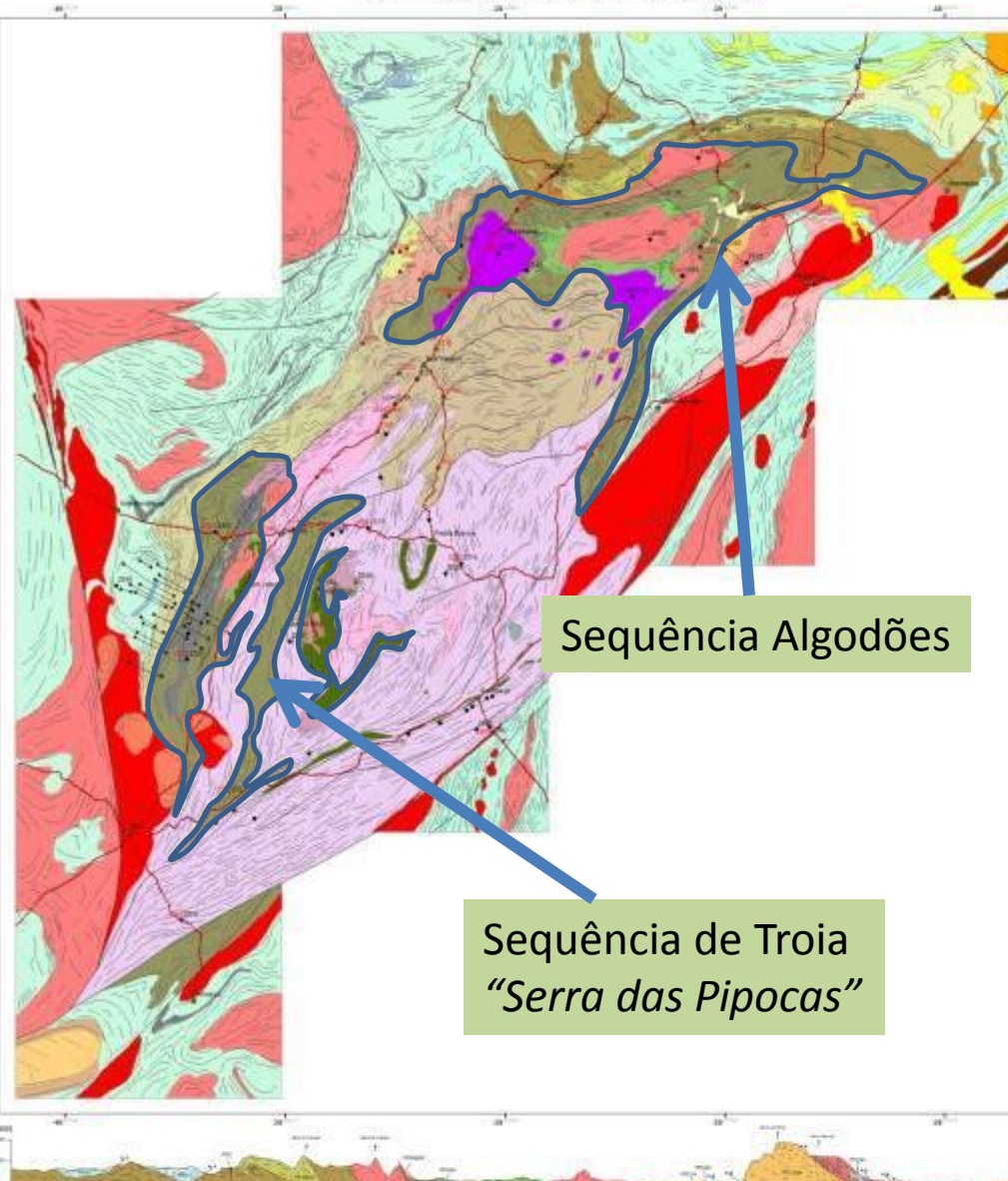
**1. Introduction**

Archean and Paleoproterozoic rocks have been mainly recorded in most of the cratonic domains of the South-America continent; however, these are also identified in basement blocks ("inliers") within large Neoproterozoic (Brasiliano) fold belts of the continent (e.g., Dantas et al., 2004; Nogueira et al., 2007; Queiroz et al., 2008; Heilbron et al., 2010; Jost et al., 2010, 2012; Klein et al., 2012; Cordeiro et al., 2014; Puck et al., 2014).

The Borborema Province (Almeida et al., 1981), in northeast Brazil, is a mosaic of deformed Neoproterozoic supracrustal sequences and "old" crustal blocks, which acquired its final configurations during the (~650–600 Ma) amalgamation of the Western Gondwana supercontinent (e.g., Brito Neves et al., 2000; Van Schmus et al., 2008) (Fig. 1A and B). Some of the "old" crustal blocks (basement inliers) of the Borborema Province are Archean in age, such as the 3.2–2.7 Ga Troia Massif (Fetter, 1990; Silva et al., 2002), the 3.4–2.5 Ga São José do Campeiro Massif (Dantas et al., 2004), and the 3.1–2.5 Ga Garças Complex (Silva et al., 1997; Archanjo et al., 2012; Silva et al., 2014) (Fig. 1C). Most of the basement rocks surrounding these Archean "fragments" are Paleoproterozoic in age, with abundant magmatic record at ~2.2–2.0 Ga (e.g., Hackspacher et al., 1990; Fetter et al., 2000; Souza et al., 2007; Hollanda et al., 2011; Van Schmus et al., 2008; Martins et al., 2008; Van Schmus et al., 2011; Neves et al., in press; Santos et al., in press). According to many of these authors, the framework of juvenile and reworked Paleoproterozoic domains encompassing Archean "microcontinents" probably represents the final record of a ~2.2–2.0 Ga accretionary orogeny.

\* Corresponding author. Tel.: +55 85 34786216.  
 E-mail address: felipe.gda@cpqm.gov.br (F.G. Costa).  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.01.007>

MAPA GEOLÓGICO DO NÚCLEO ARQUEANO/PALEOPROTEROZOICO DE TROIA-PEDRA BRANCA

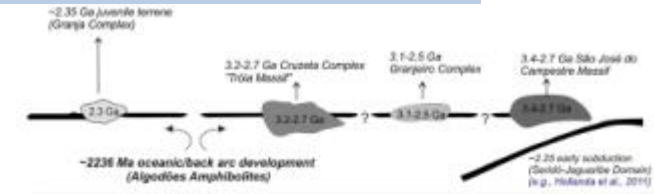


Sequência Algodões

Sequência de Troia "Serra das Pipocas"

Greenstone Belts Paleoproterozoicos do Maciço de Troia

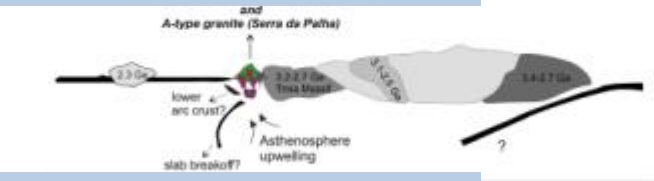
~2236 Ma retro-arco



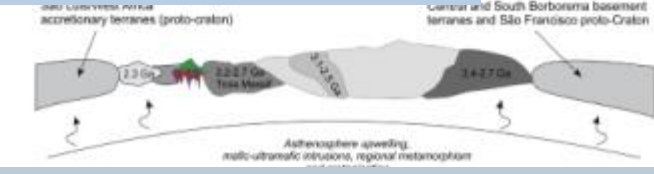
~2190 Ma arco oceânico



~2130 Ma acreção



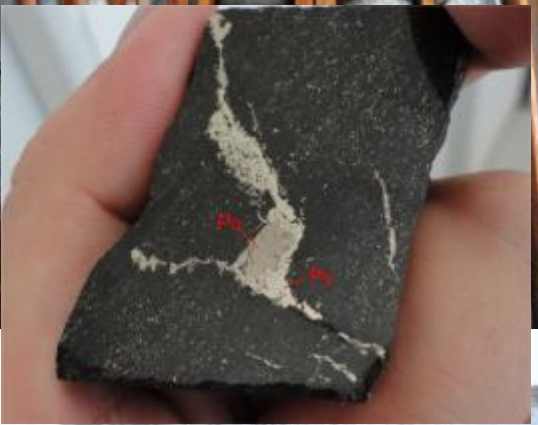
~2080-2030 Ma colisão



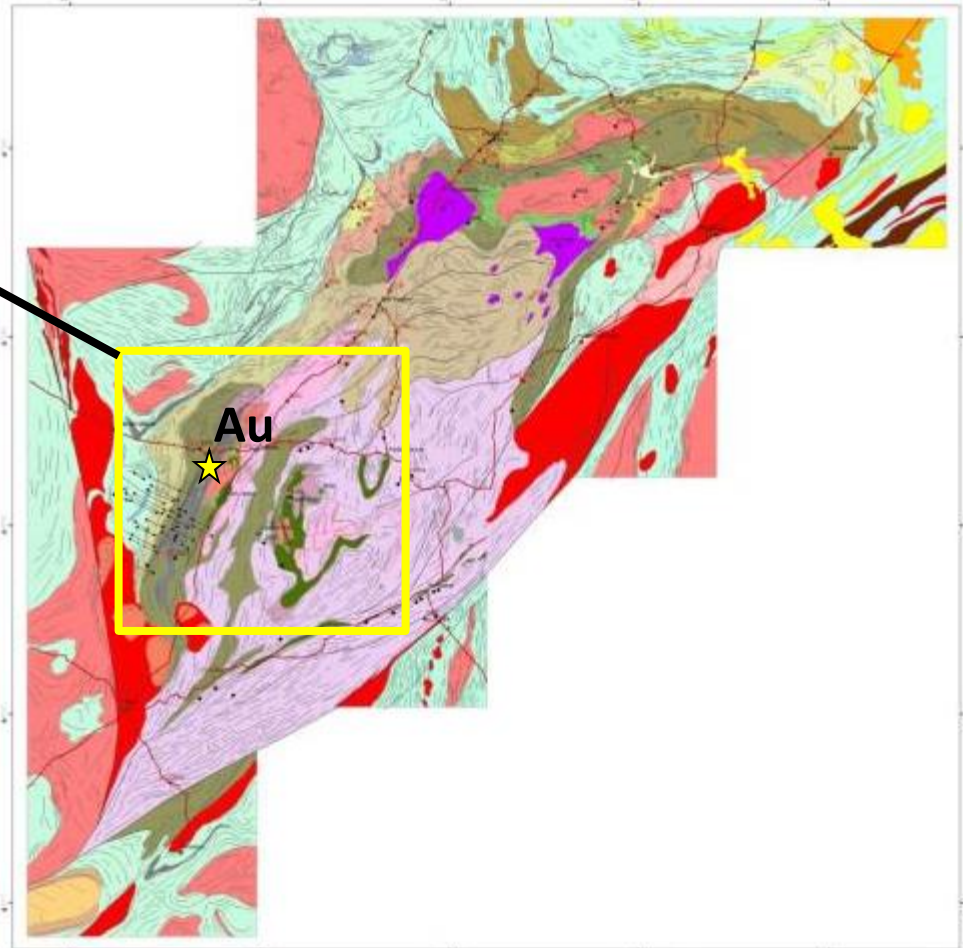
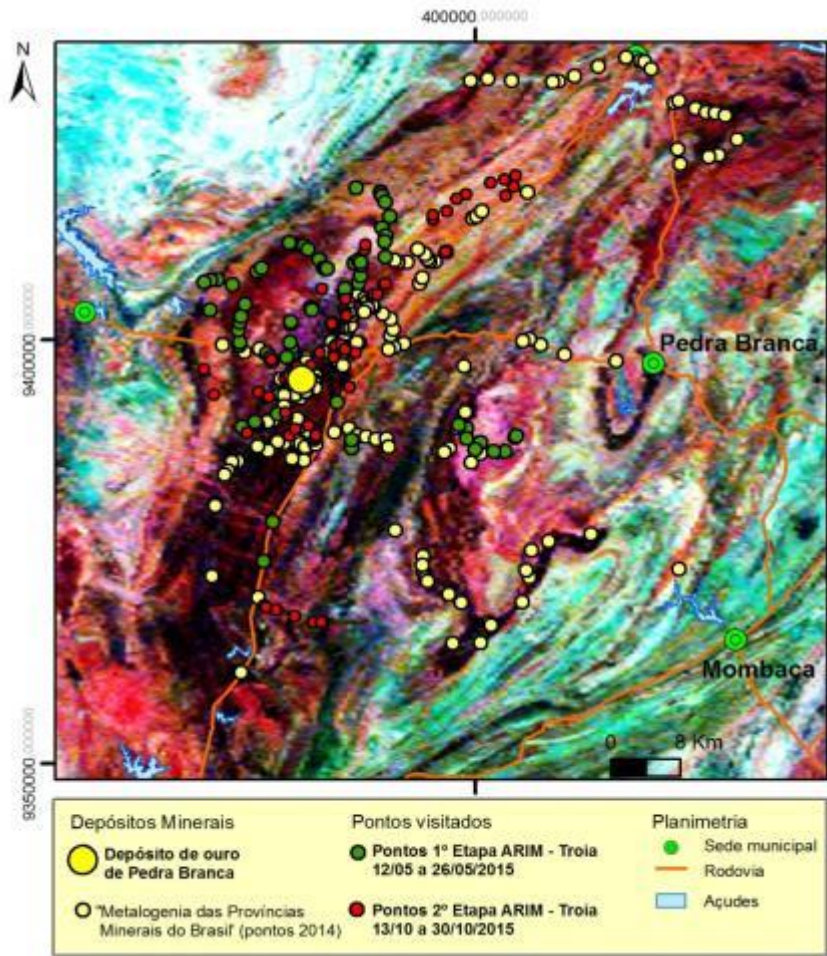
# Depósito de ouro de Pedra Branca - CE



**Depósito de Pedra Branca  
Ouro**



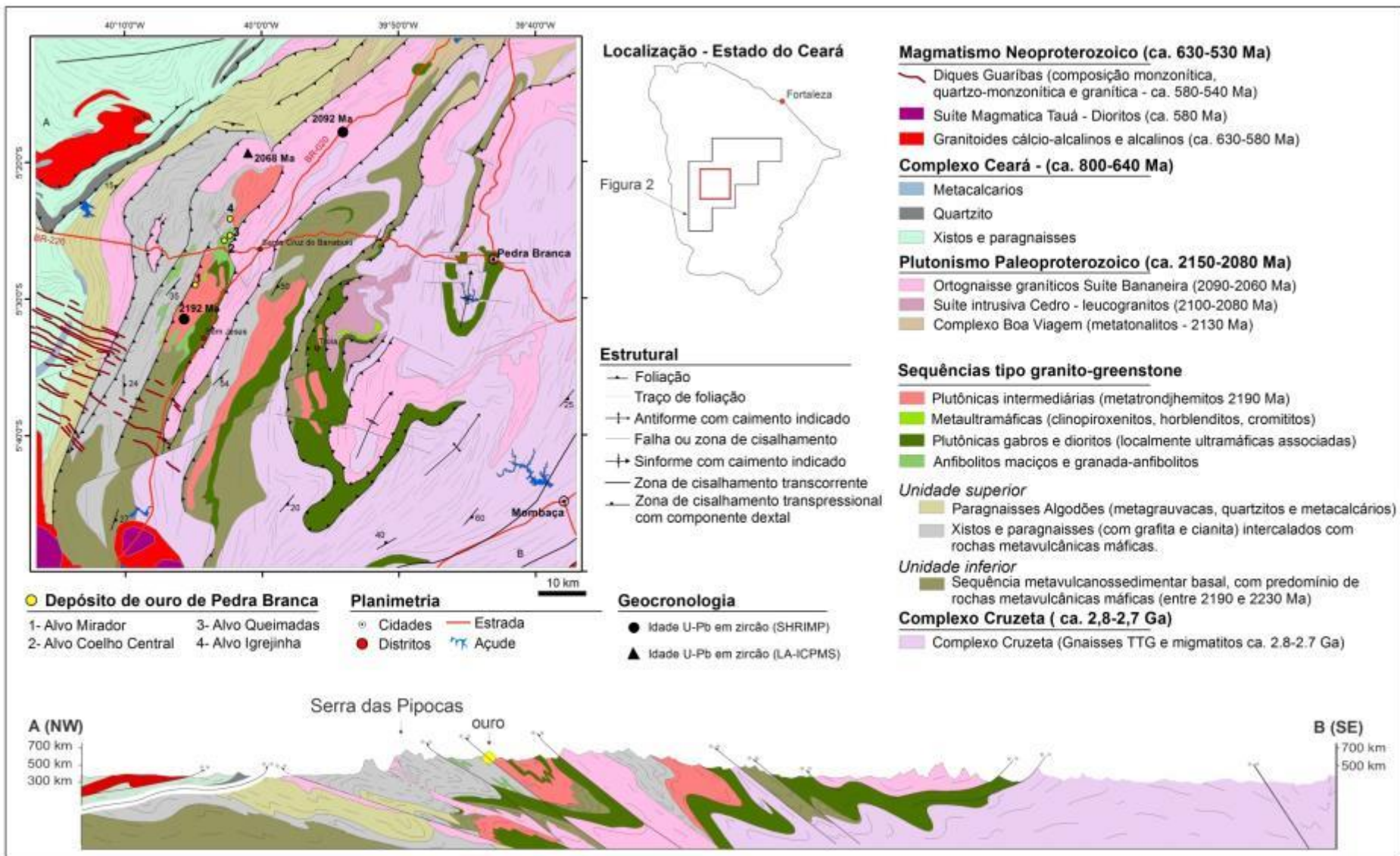
# Projeto ARIM Troia-Pedra Branca



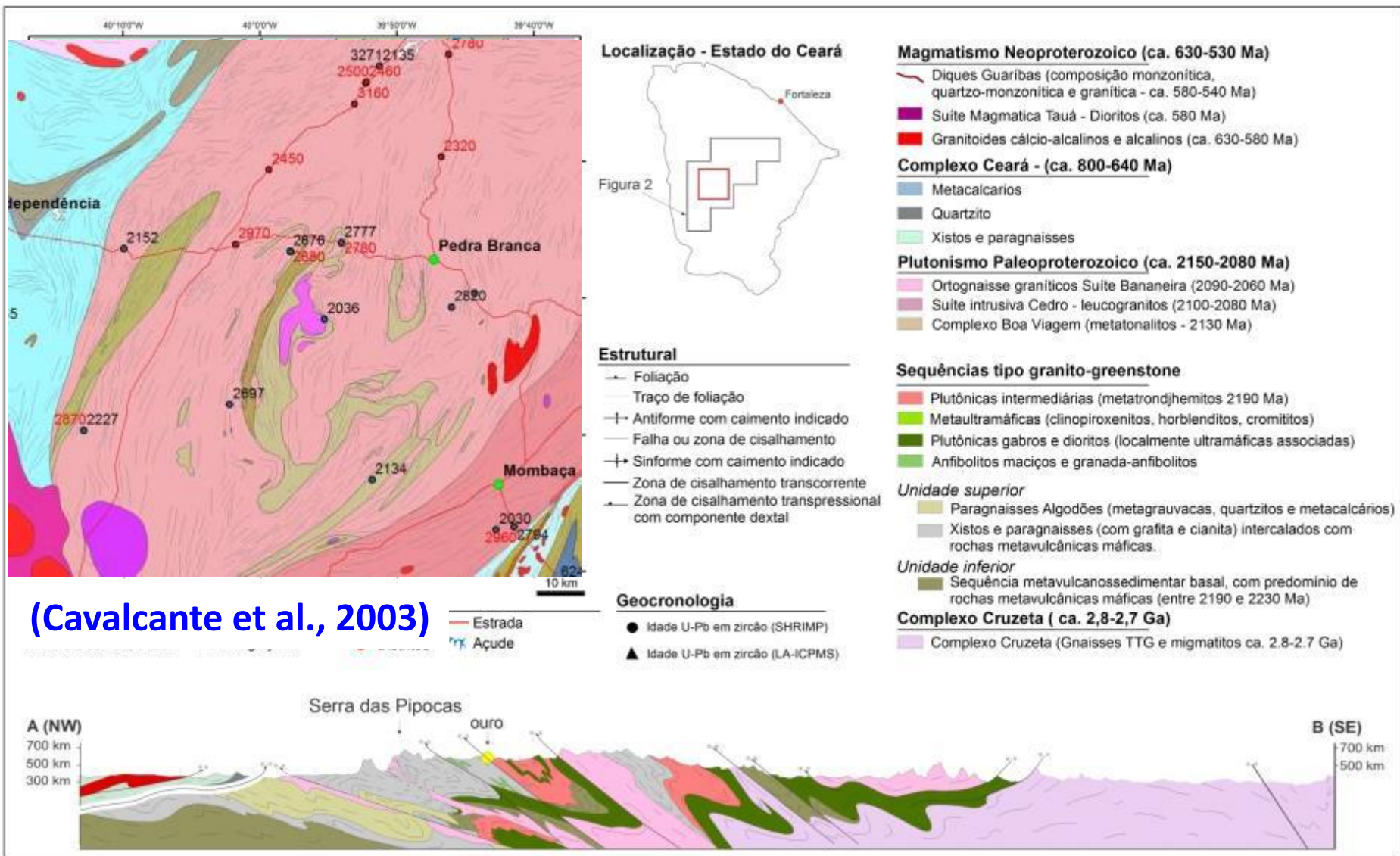
**305 pontos  
Trabalho de Campo**



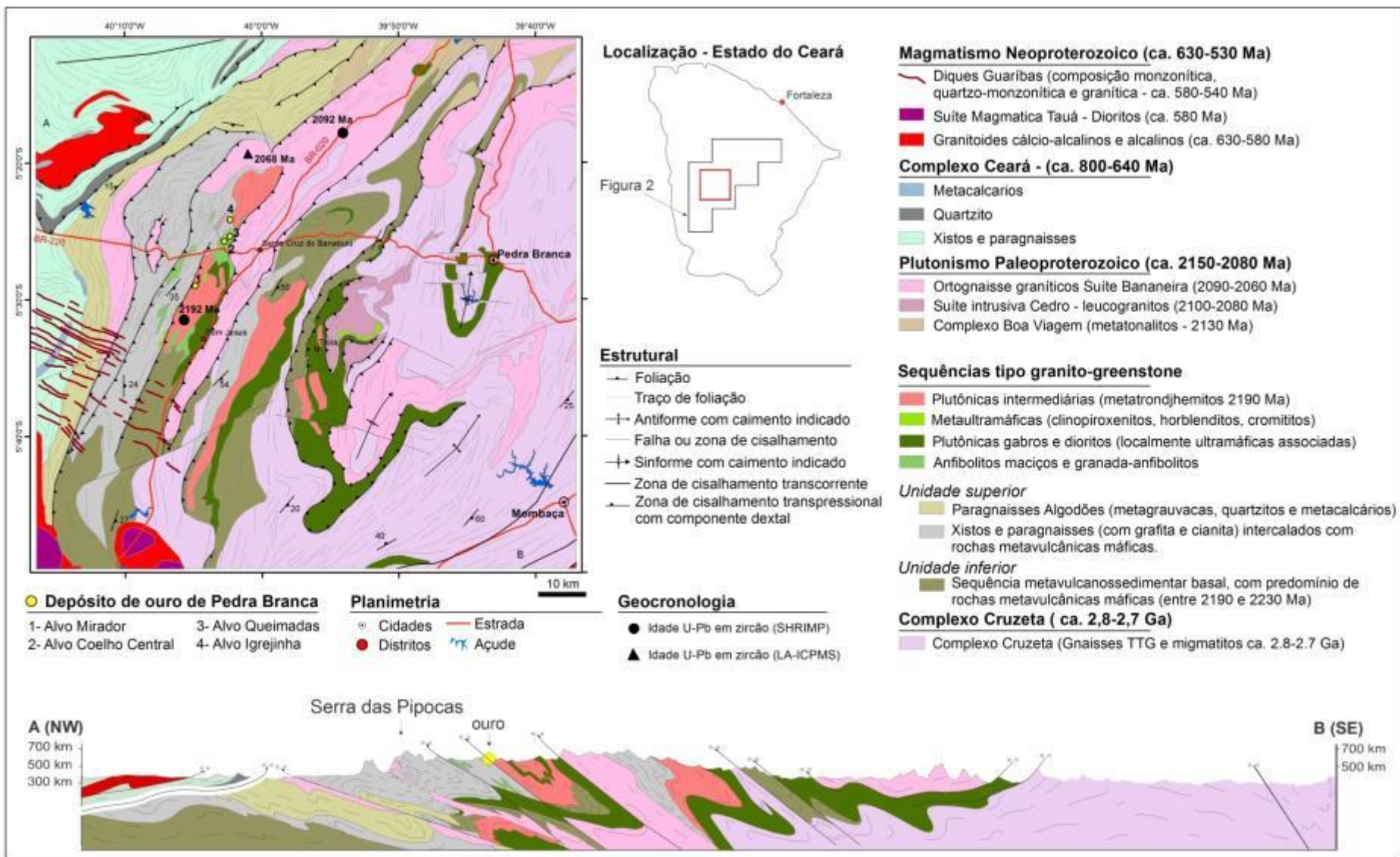
# GEOLOGIA LOCAL



# GEOLOGIA LOCAL

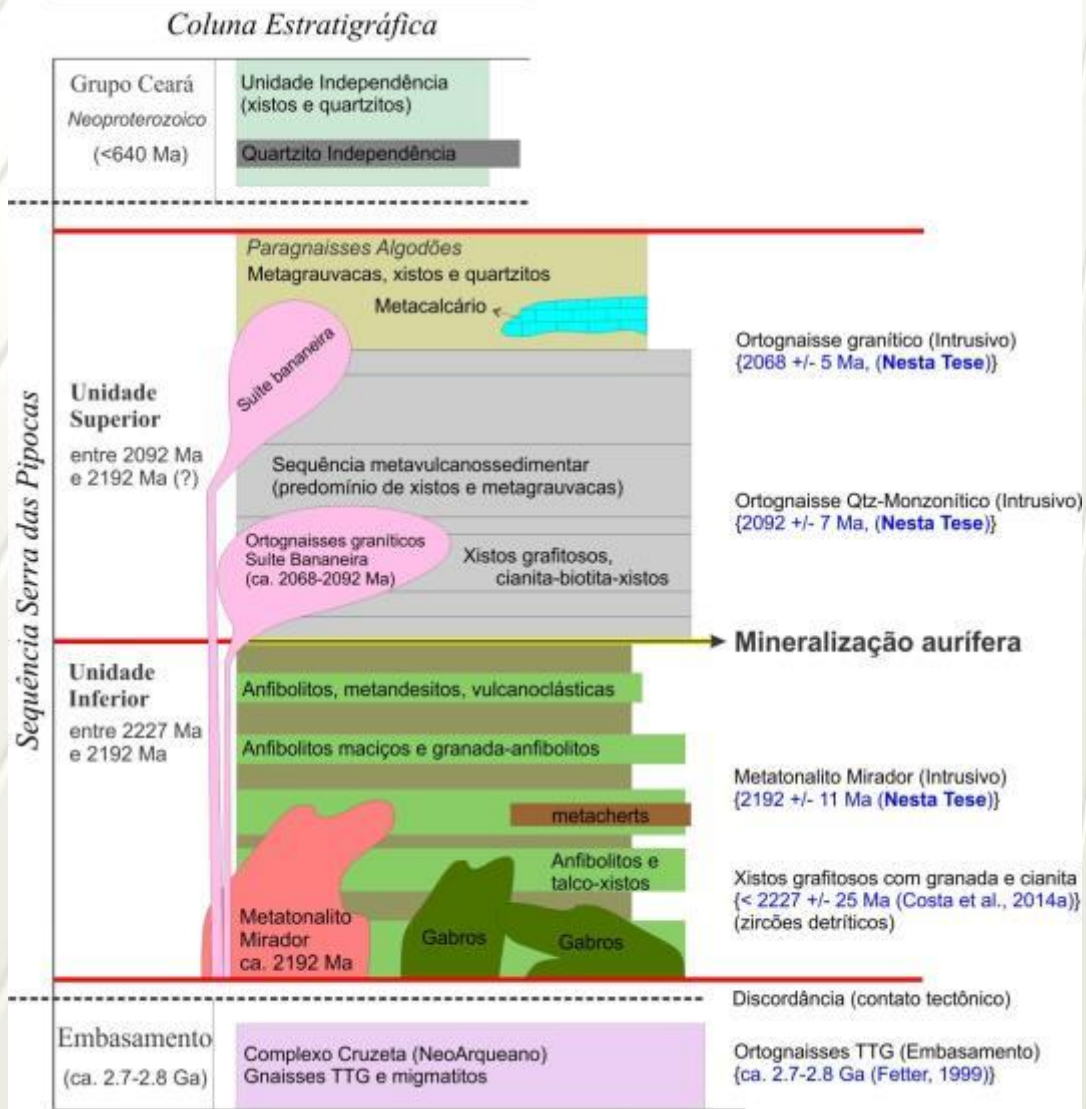
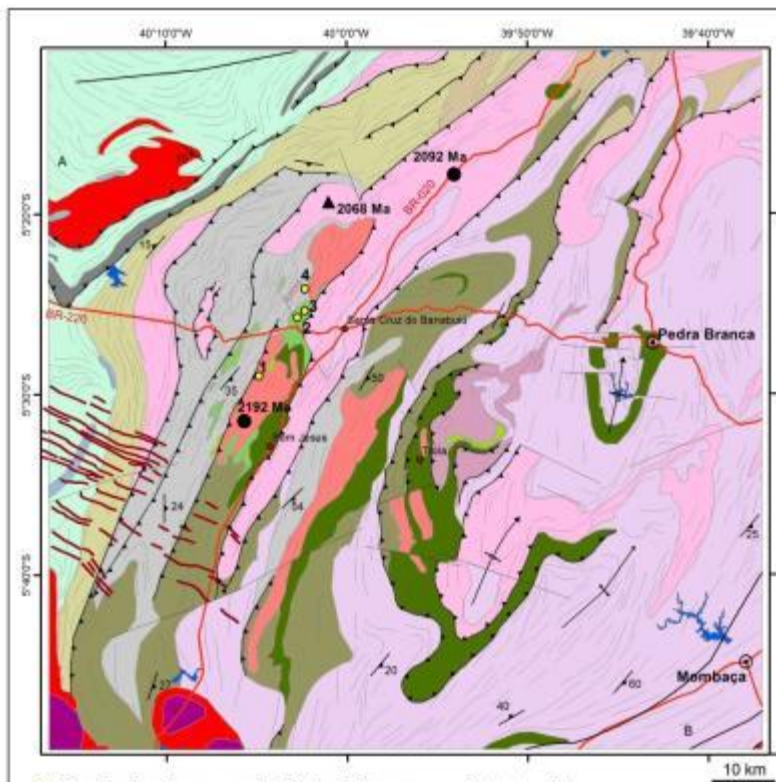


# GEOLOGIA LOCAL



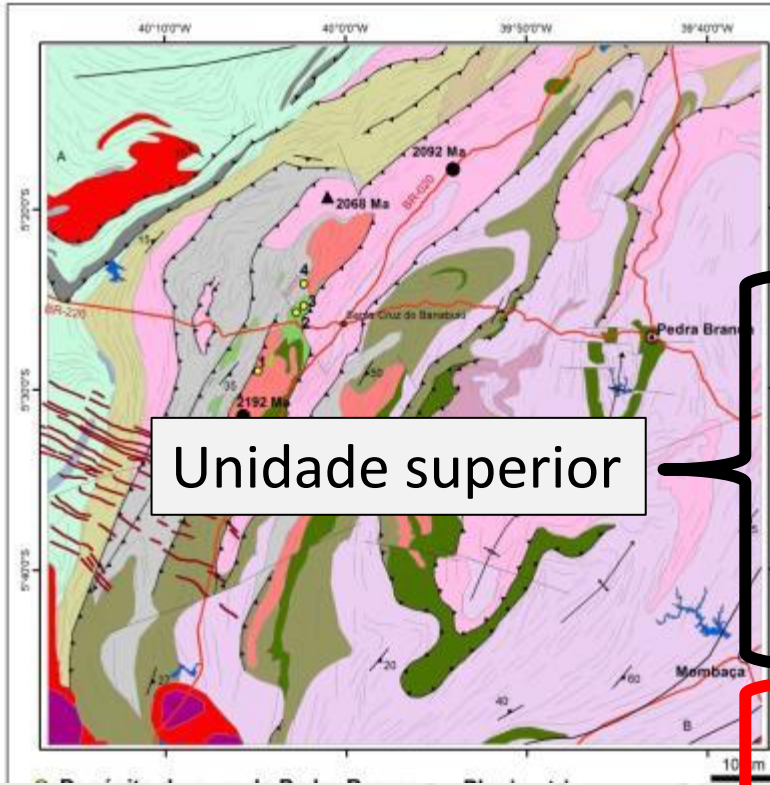
# GEOLOGIA LOCAL

Sequências metaplutônio-vulcanossedimentares de idade paleoproterozoica ca. 2.2-2.0 Ga



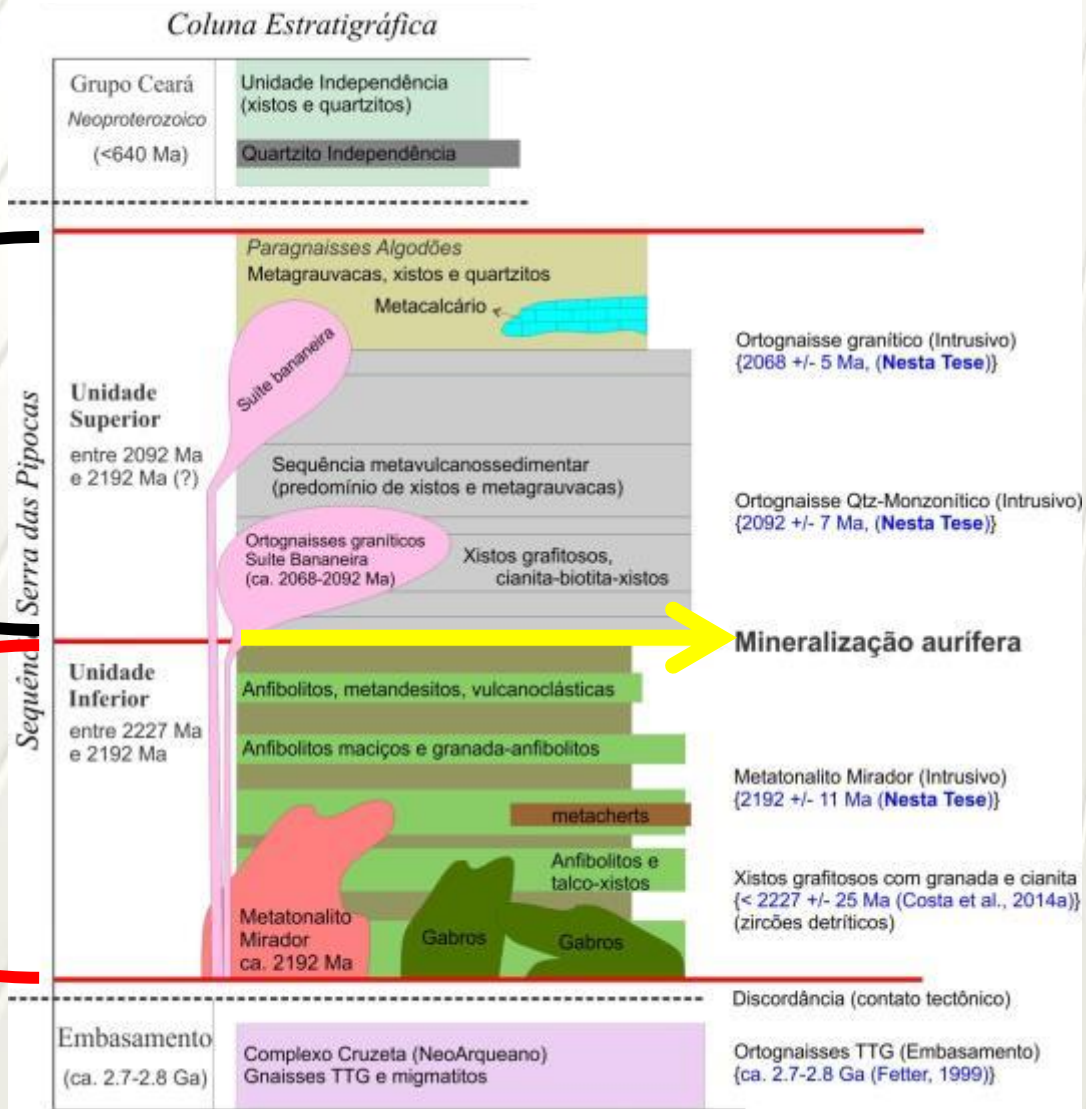
# GEOLOGIA LOCAL

Sequências metaplutônio-vulcanossedimentares de idade paleoproterozoica ca. 2.2-2.0 Ga



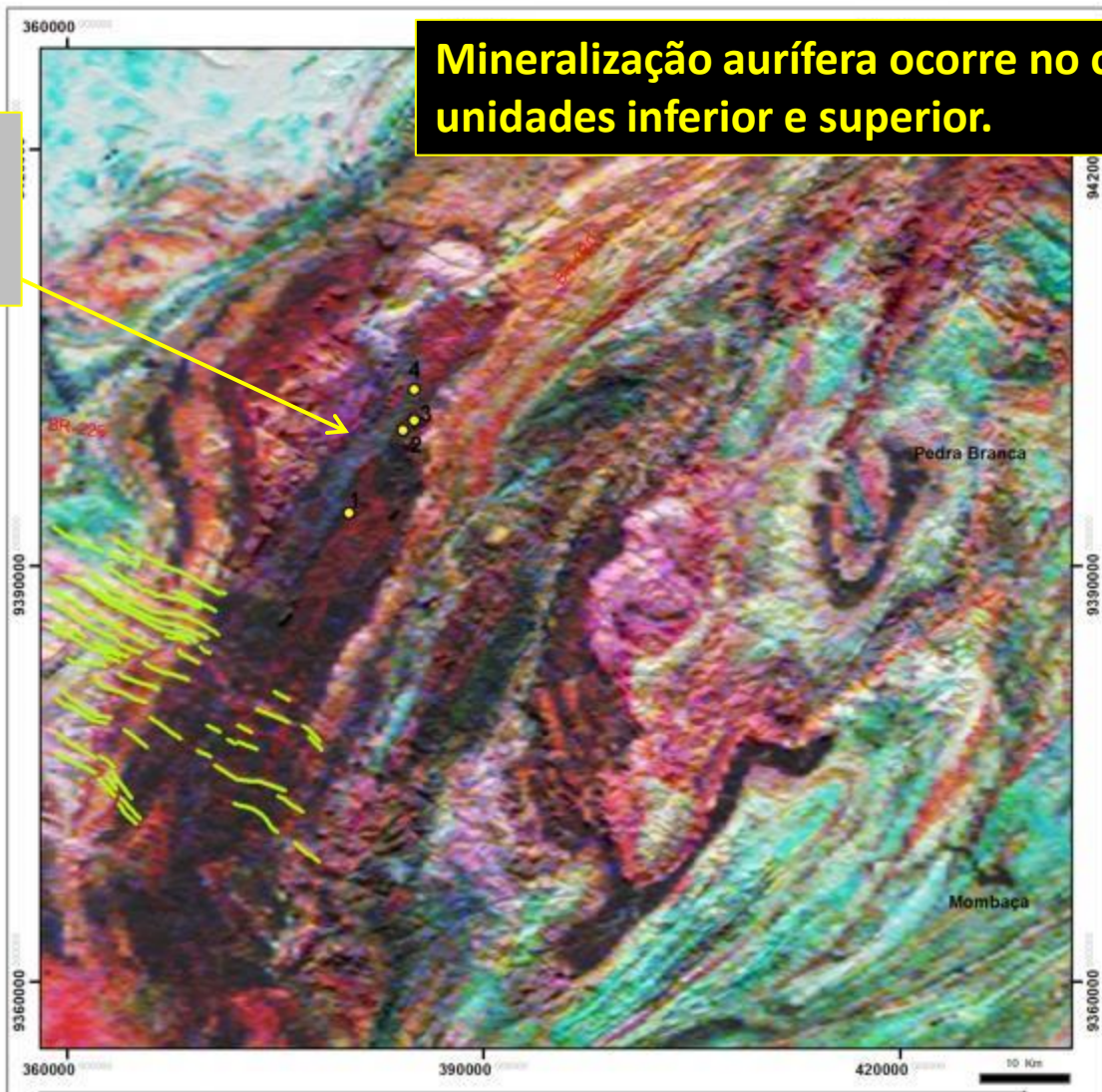
Unidade superior

Unidade inferior



Xistos grafitosos com cianita, Serra das Pipocas

Mineralização aurífera ocorre no contato entre as unidades inferior e superior.



**Alvos do depósito Pedra Branca**

- Ouro
- 1- Alvo Mirador
- 2- Alvo Coelho Central
- 3- Alvo Queimadas
- 4- Alvo Igrejinha

**Planimetria**

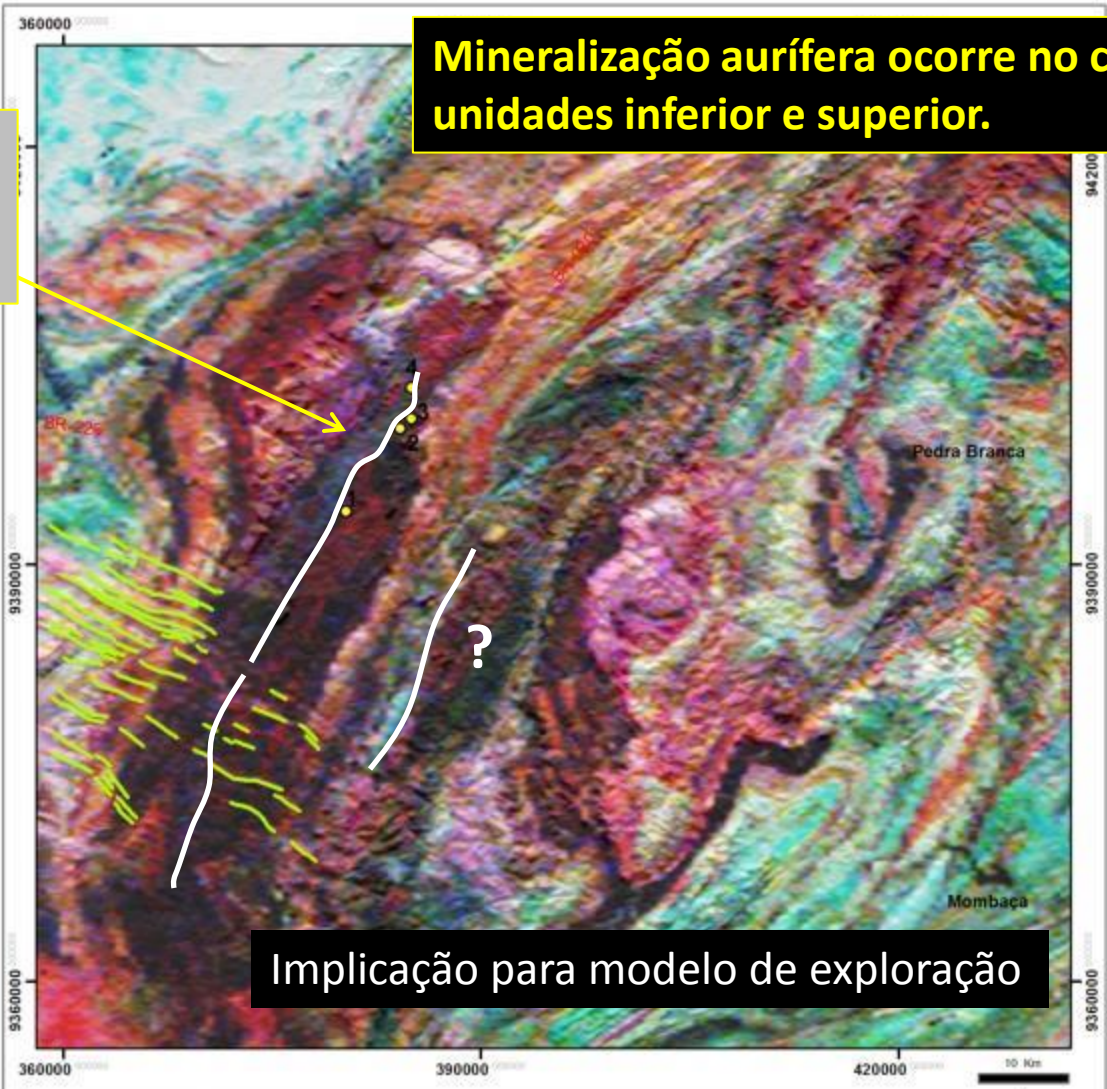
- ⊙ Cidades
- Distritos
- Estrada

Imagem gamaespectrometrica  
Composição ternária K-Th-U (emRGB)



Xistos grafitosos com cianita, Serra das Pipocas

Mineralização aurífera ocorre no contato entre as unidades inferior e superior.



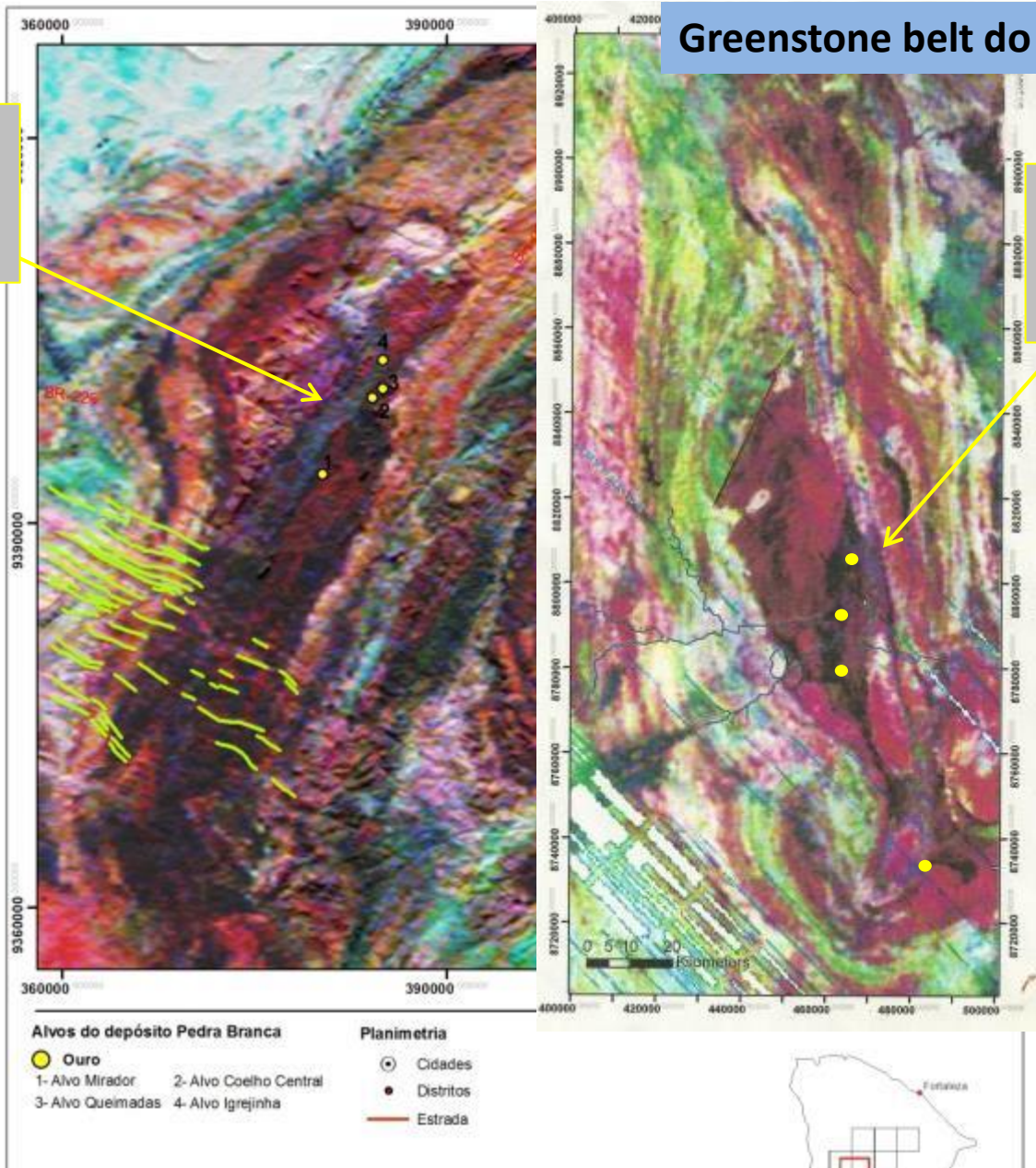
Implicação para modelo de exploração

Imagem gamaespectrometrica  
Composição ternária K-Th-U (emRGB)

# Greenstone belt do Rio Itapicuru

Xistos grafitosos com cianita, Serra das Pipocas

Filitos carbonosos da faixa Mansinha Rio Itapicuru -BA



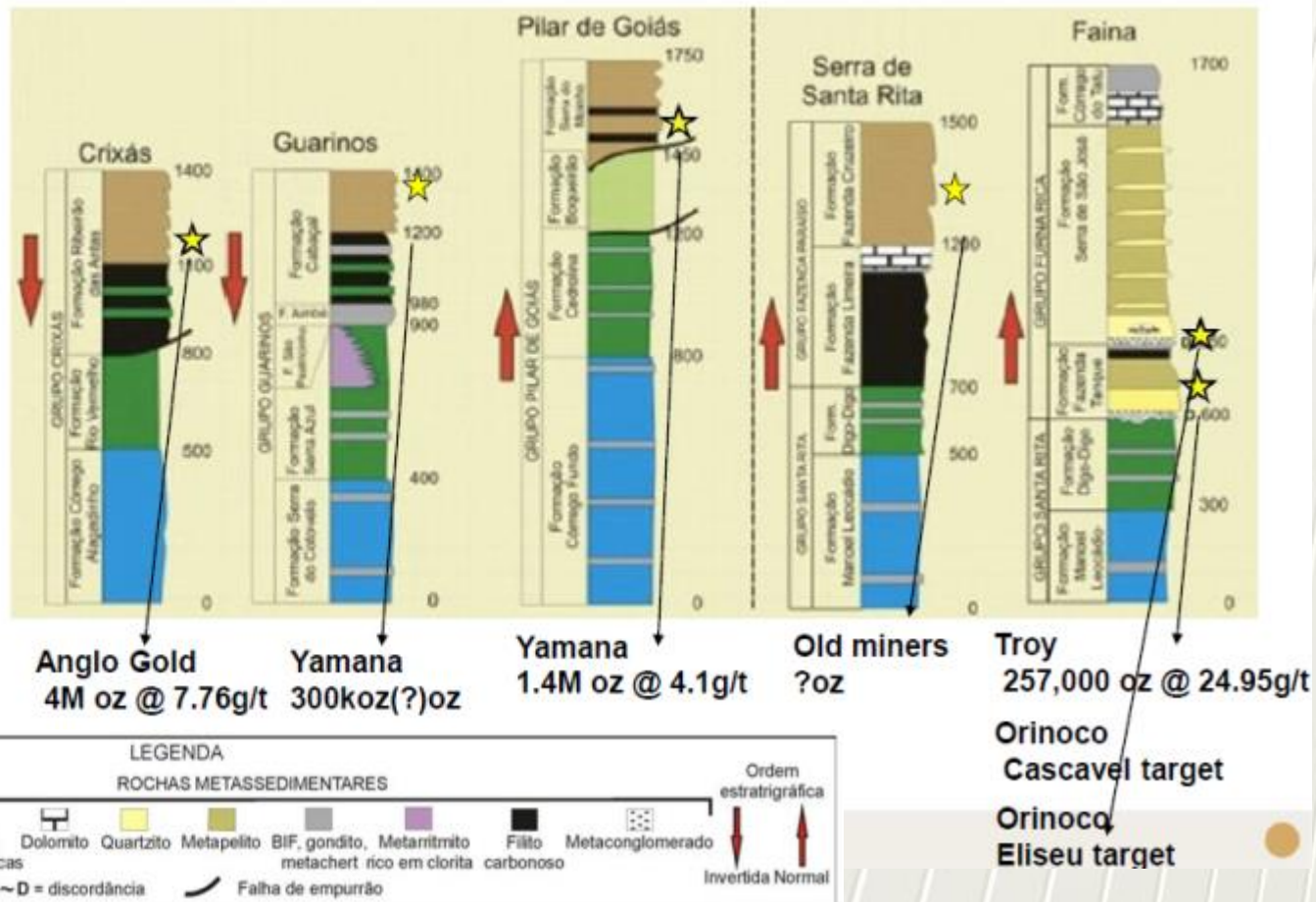


# Greenstone belts paleoproterozoicos do Maciço de Goiás

## Tectônico e Estratigráfico



- ▶ Similaridades no posicionamento tectônico-estratigráfico
- ▶ Entre os depósitos do Maciço de Goiás

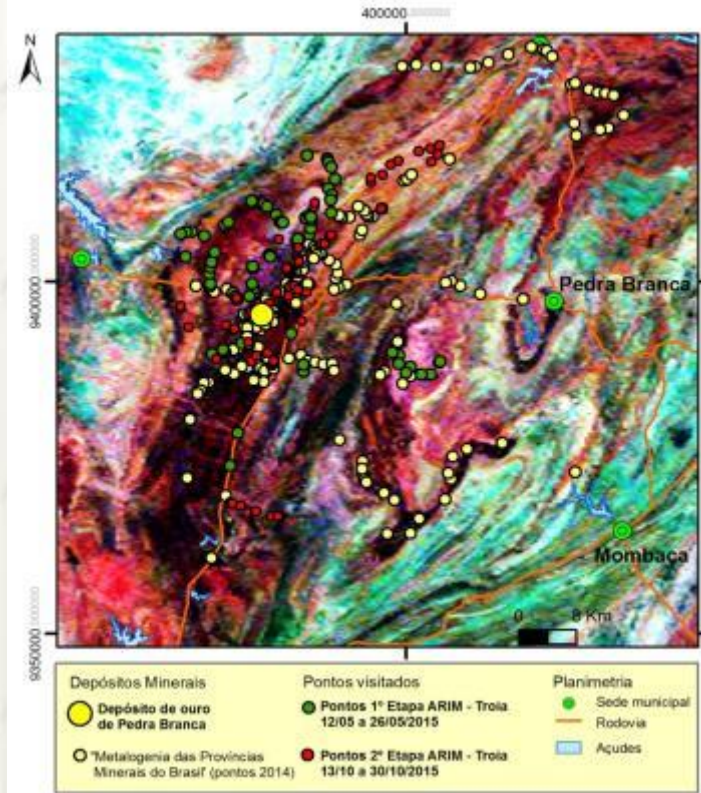


(Papendieck & Carvalho, 2016)

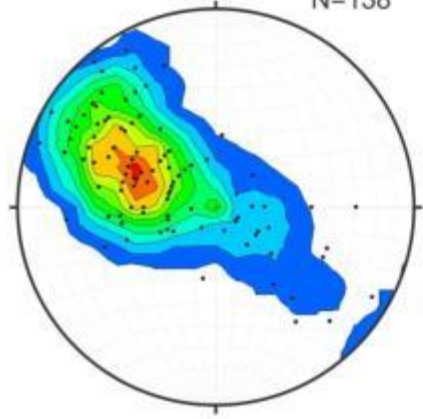
VII – Simexmin, Ouro Preto –MG, 2016.

# Arcabouço estrutural e implicações para prospecção de mineralizações auríferas

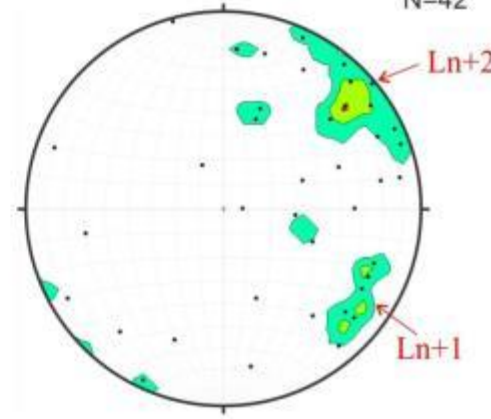
# Dados de campo



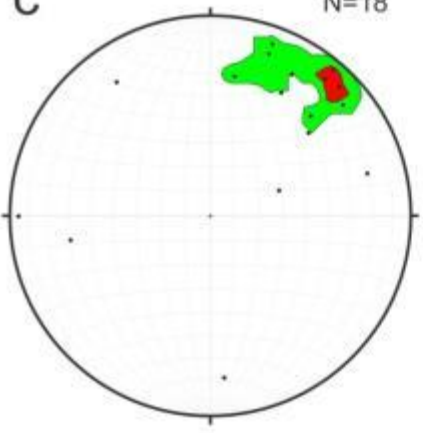
a Foliação ( $S_n // S_{n+1} // S_{n+2}$ )  
N=138



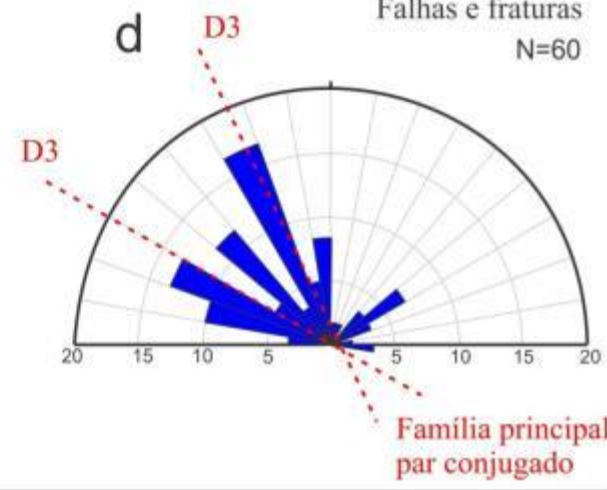
b Lineação  
N=42



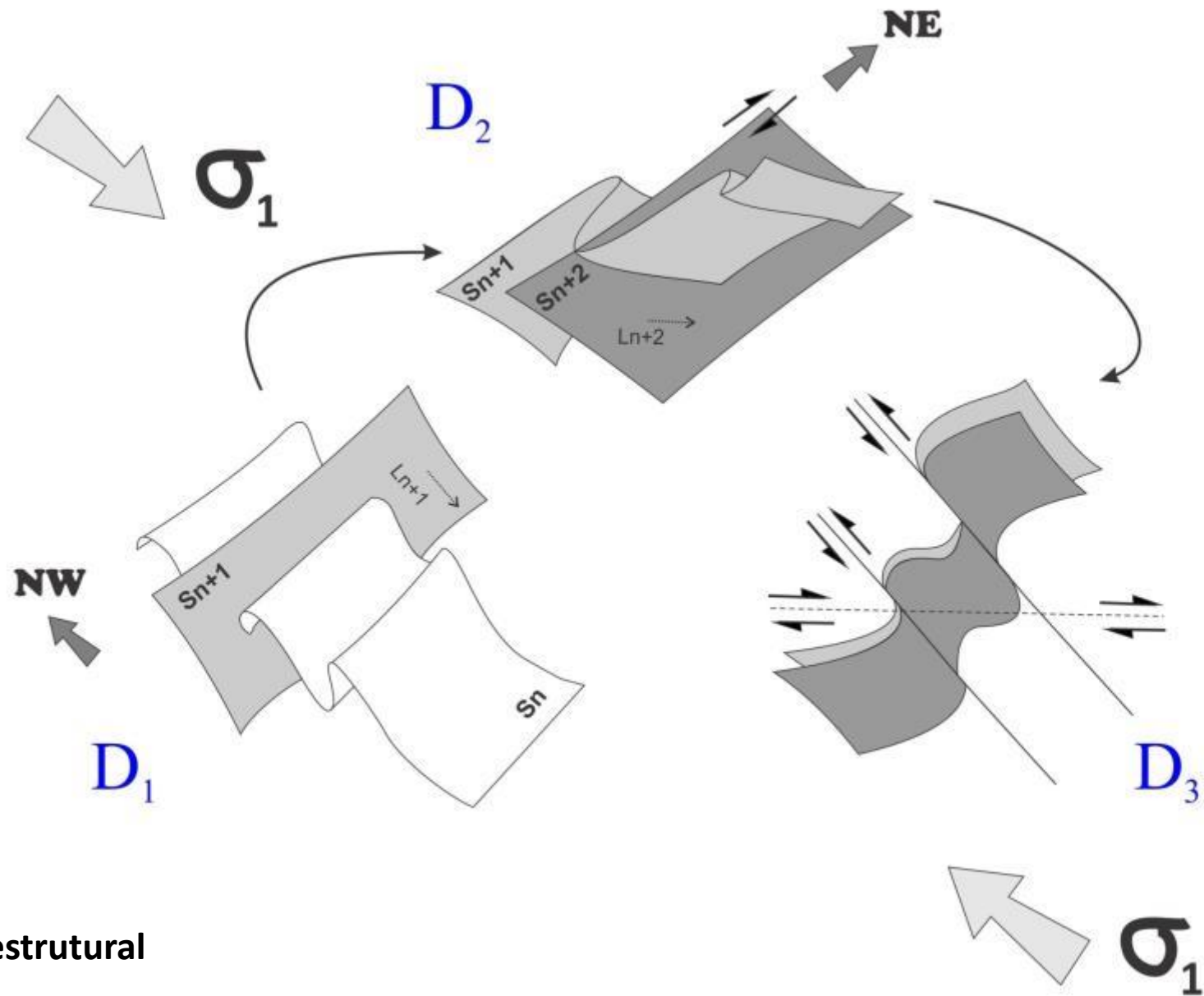
c Eixo de dobra  
N=18



d Falhas e fraturas  
N=60



305 pontos de campo



Modelo estrutural



Paragnaisse com intrusão de ortognaisse granítico da Suíte Bananeira, dobrado em D1, transporte p/ NW.

(BR-226, Serra das Pipocas)

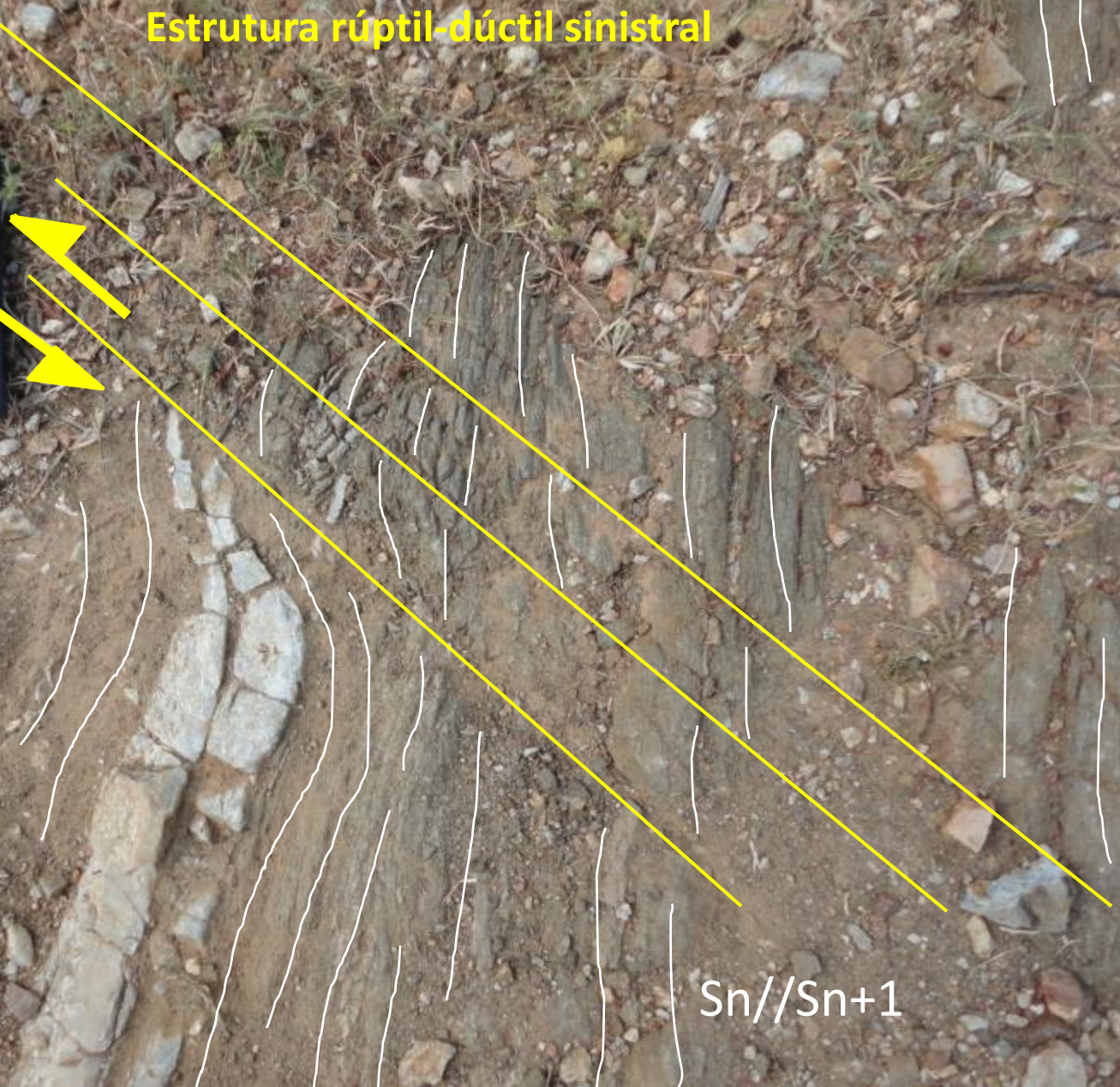
Anfibolito deformado em D2

NE

(Serra das Pipocas)



**Evento D3**  
**Estrutura rúptil-dúctil sinistral**



$S_n // S_{n+1}$

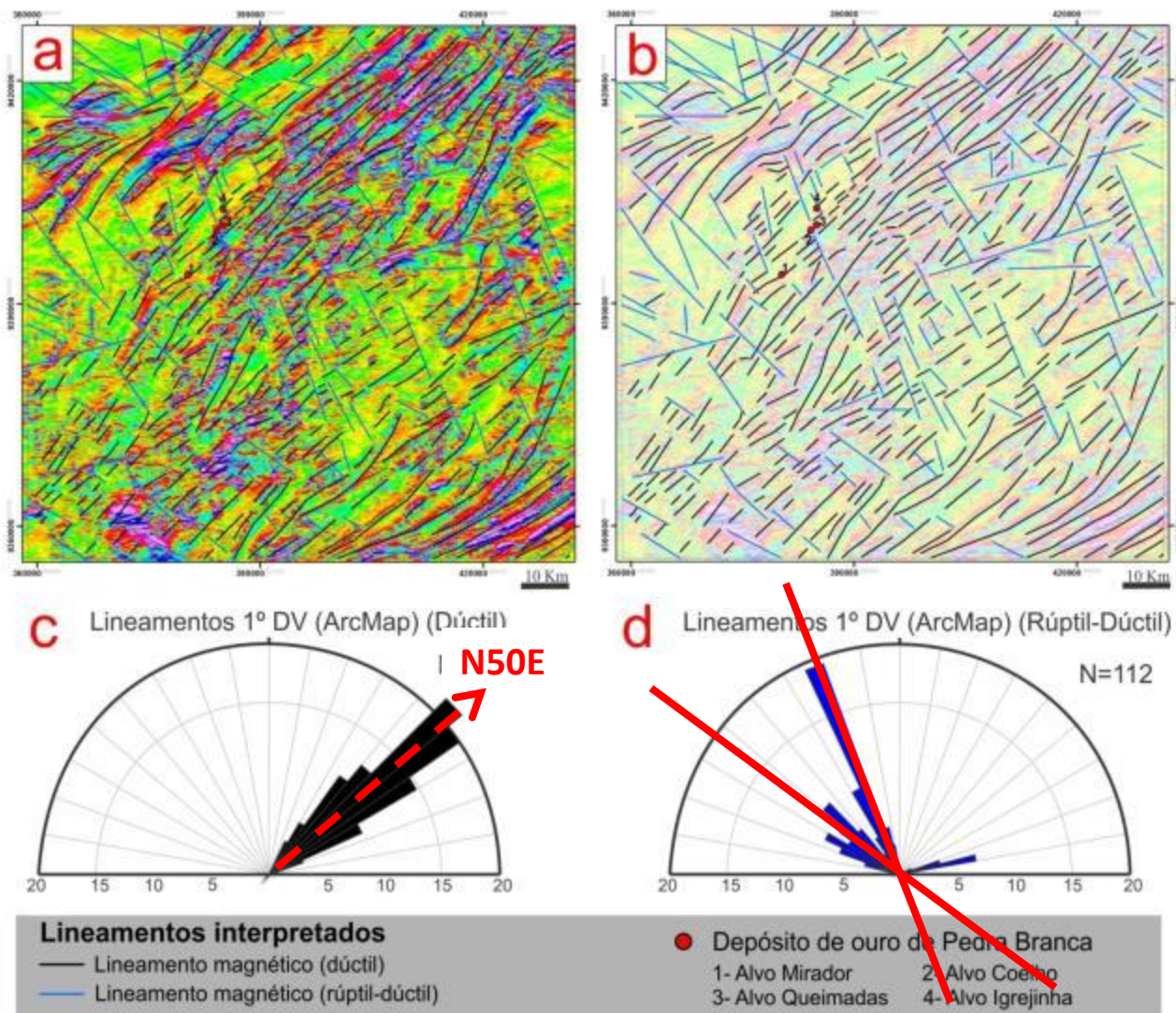
(Serra das Pipocas)

# Lineamentos magnéticos medidos no ArcGis

Geofísica –  
1ª derivada em x

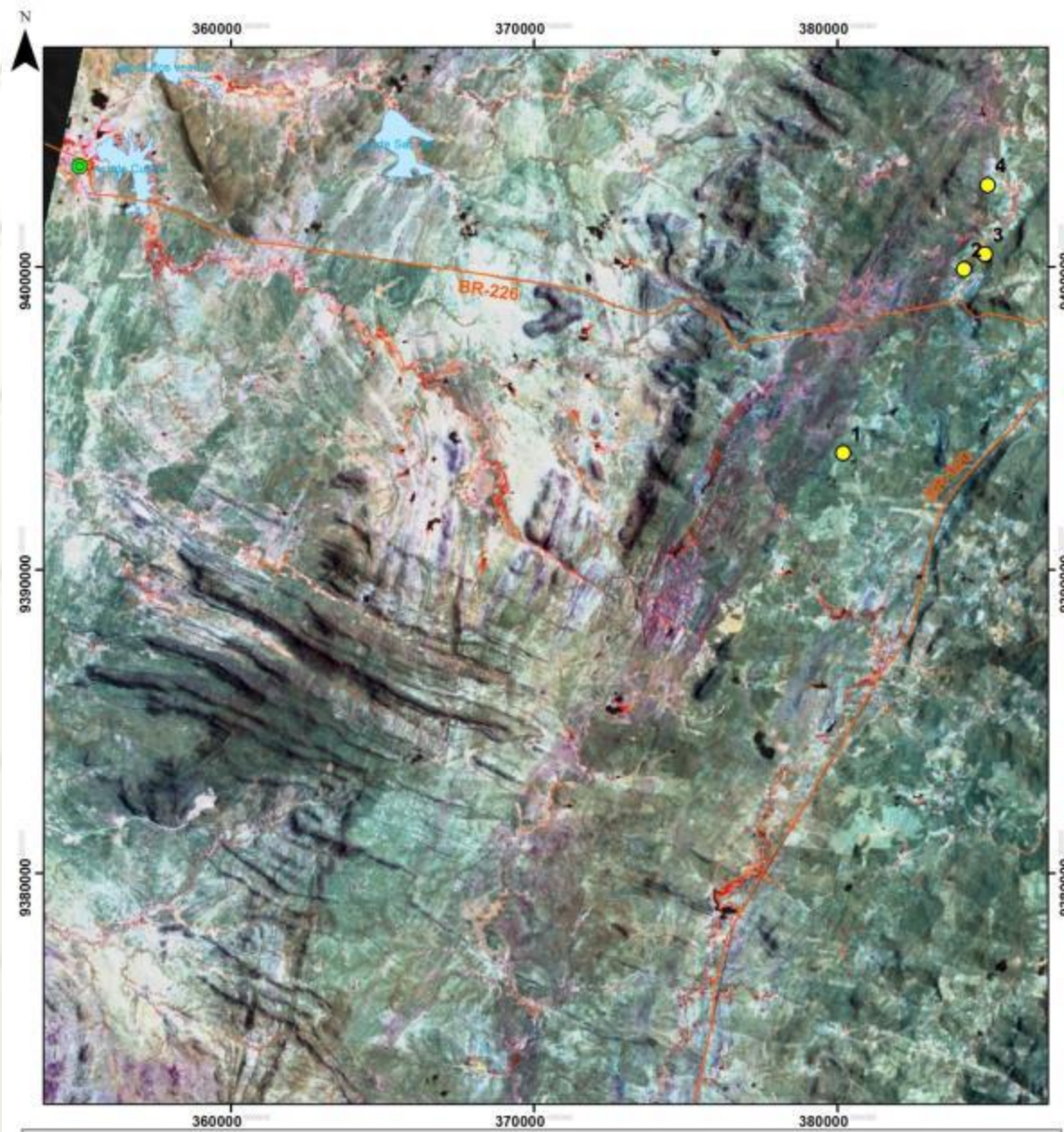
Lineamentos  
interpretados

Medidas extraídas  
do ArcGis





LANDSAT 8  
Composição  
RGB-567

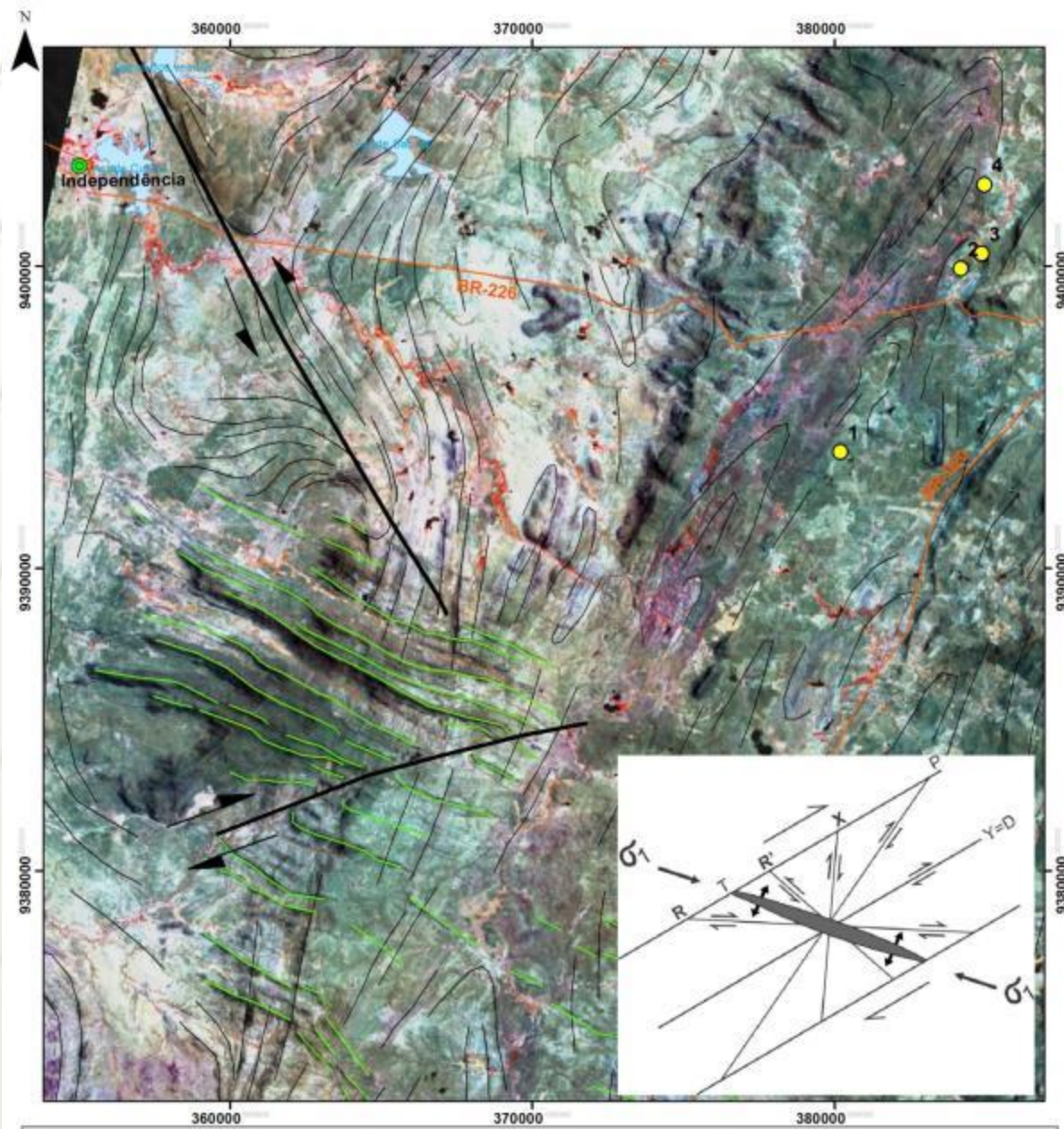


LEGENDA

- Alvos (Depósito de ouro de Pedra Branca)  
1 - Alvo Mirador; 2 - Alvo Coelho;  
3 - Alvo Queimadas; 4 - Alvo Igrejinha
- Cidade
- Rodovia pavimentada

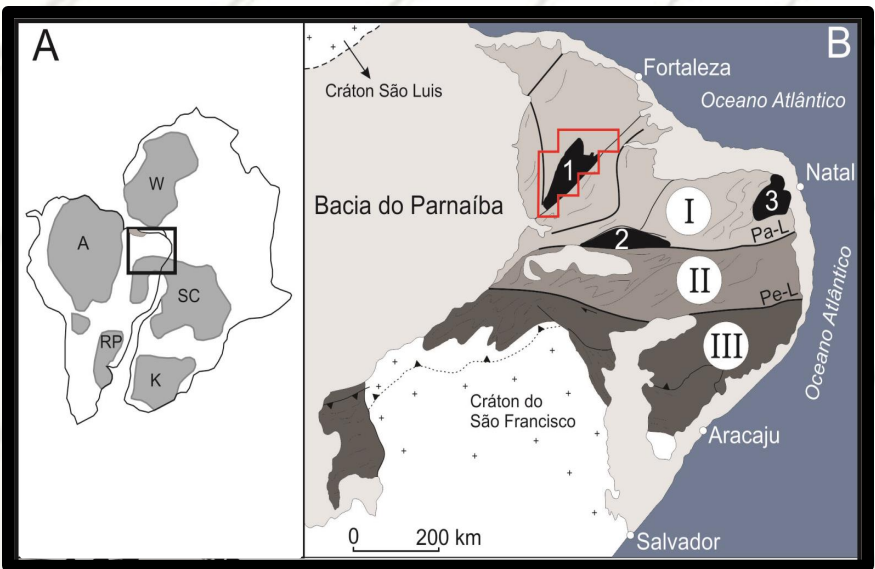
0 3 Km

LANDSAT 8  
Composição  
RGB-567



LEGENDA

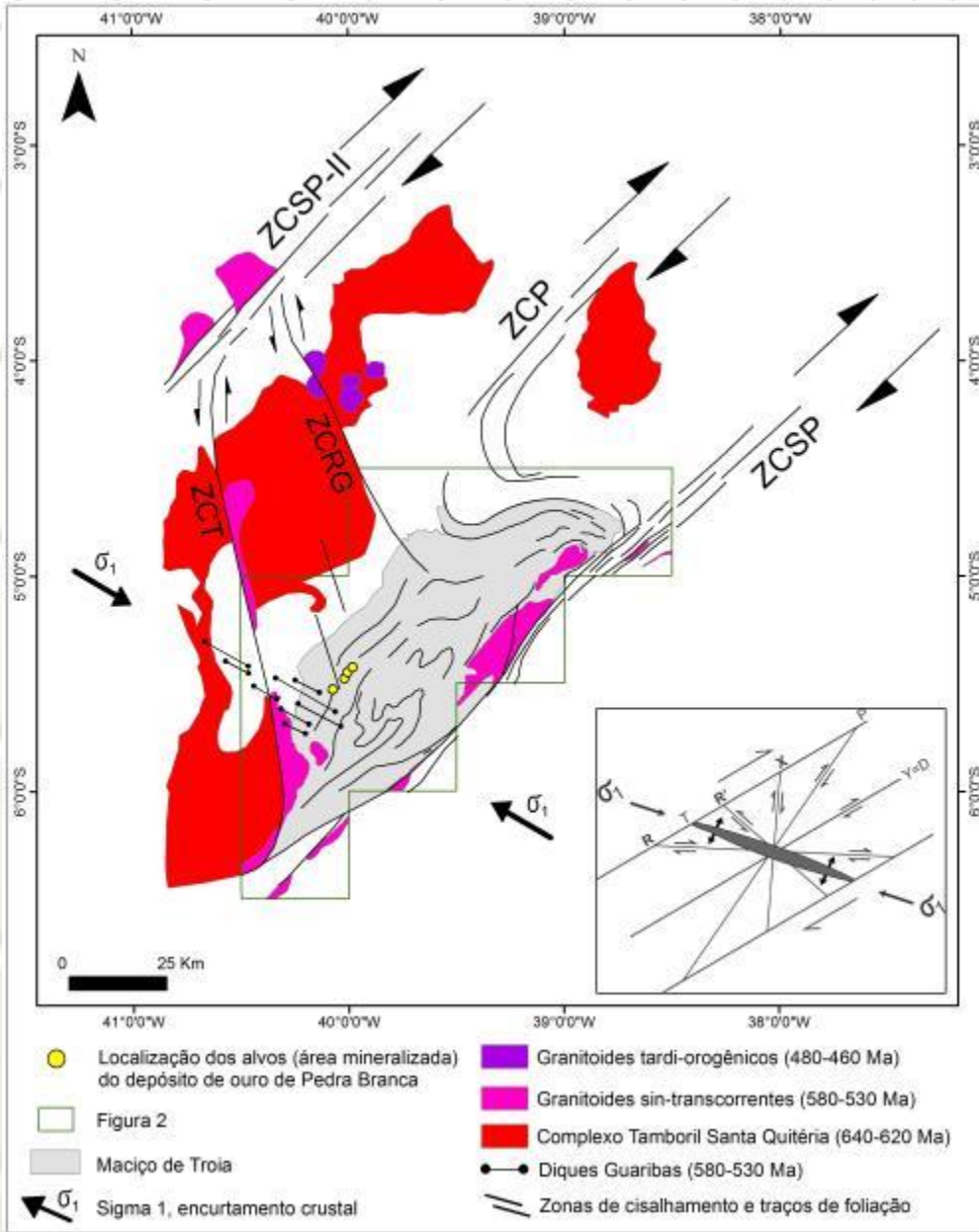
- Dique Guaribas (SIGMA 1)
  - Falha rúptil-dúctil - Estruturas R e R'
  - Traço de foliação
  - Alvos (Depósito de ouro de Pedra Branca)  
1 - Alvo Mirador; 2 - Alvo Coelho;  
3 - Alvo Queimadas; 4 - Alvo Igrejinha
  - Cidade
  - Rodovia pavimentada
- 0 3 Km



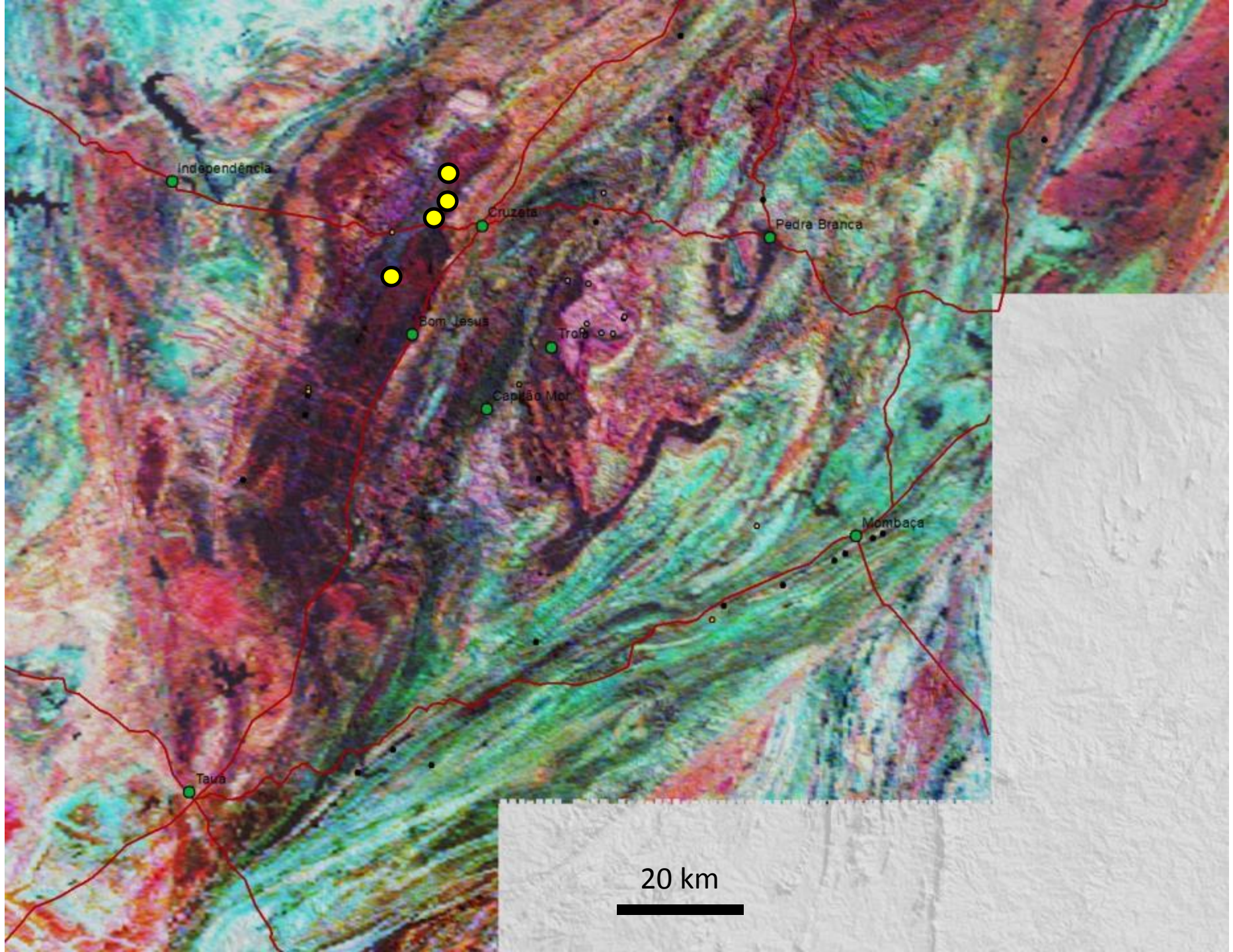
Na escala regional,  
a deformação é neoproterozoica  
(620-580 Ma).

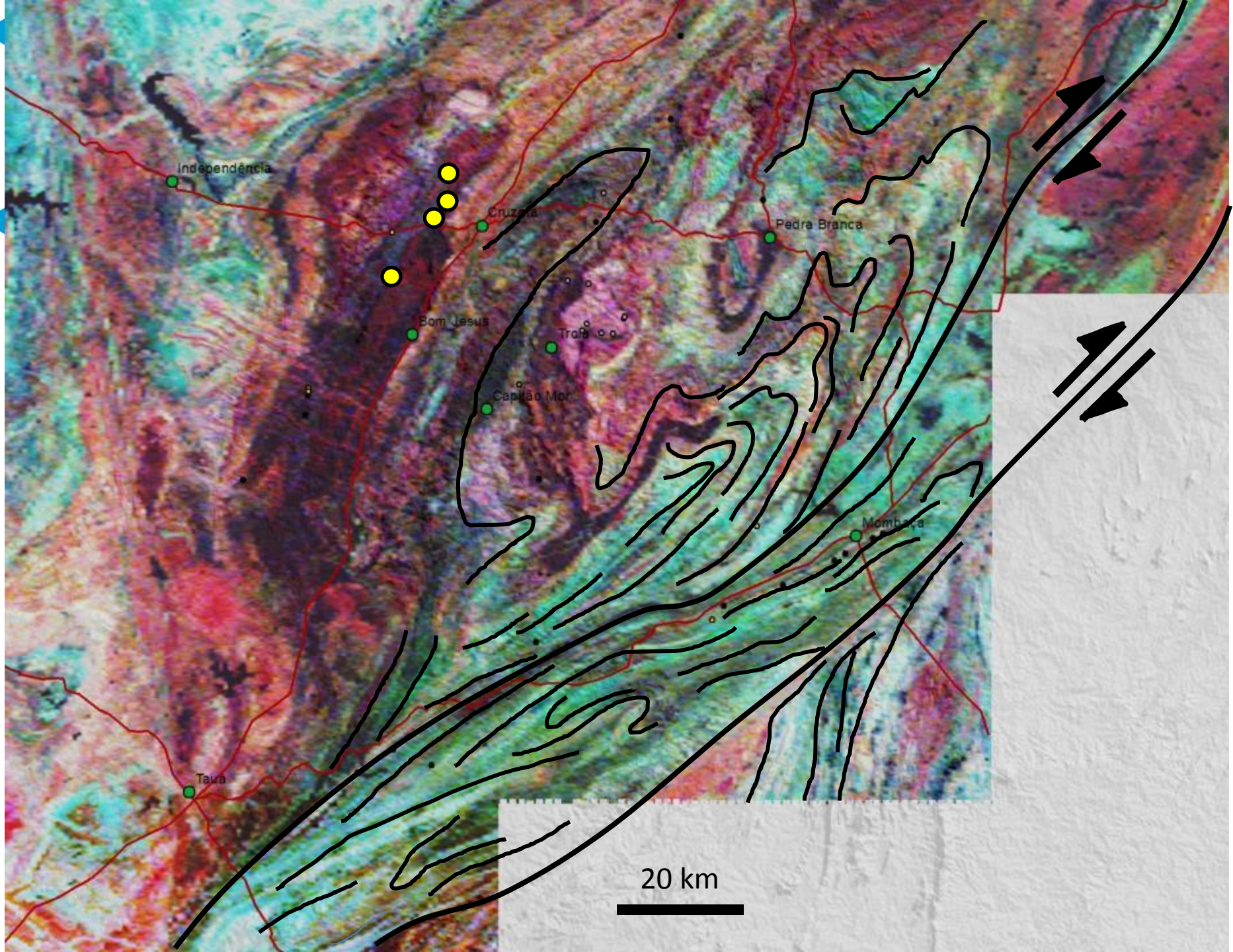
O Maciço de Troia esta envolvido  
nesta deformação.

No entanto, estruturas “antigas”  
também existem neste maciço  
e foram reativadas.

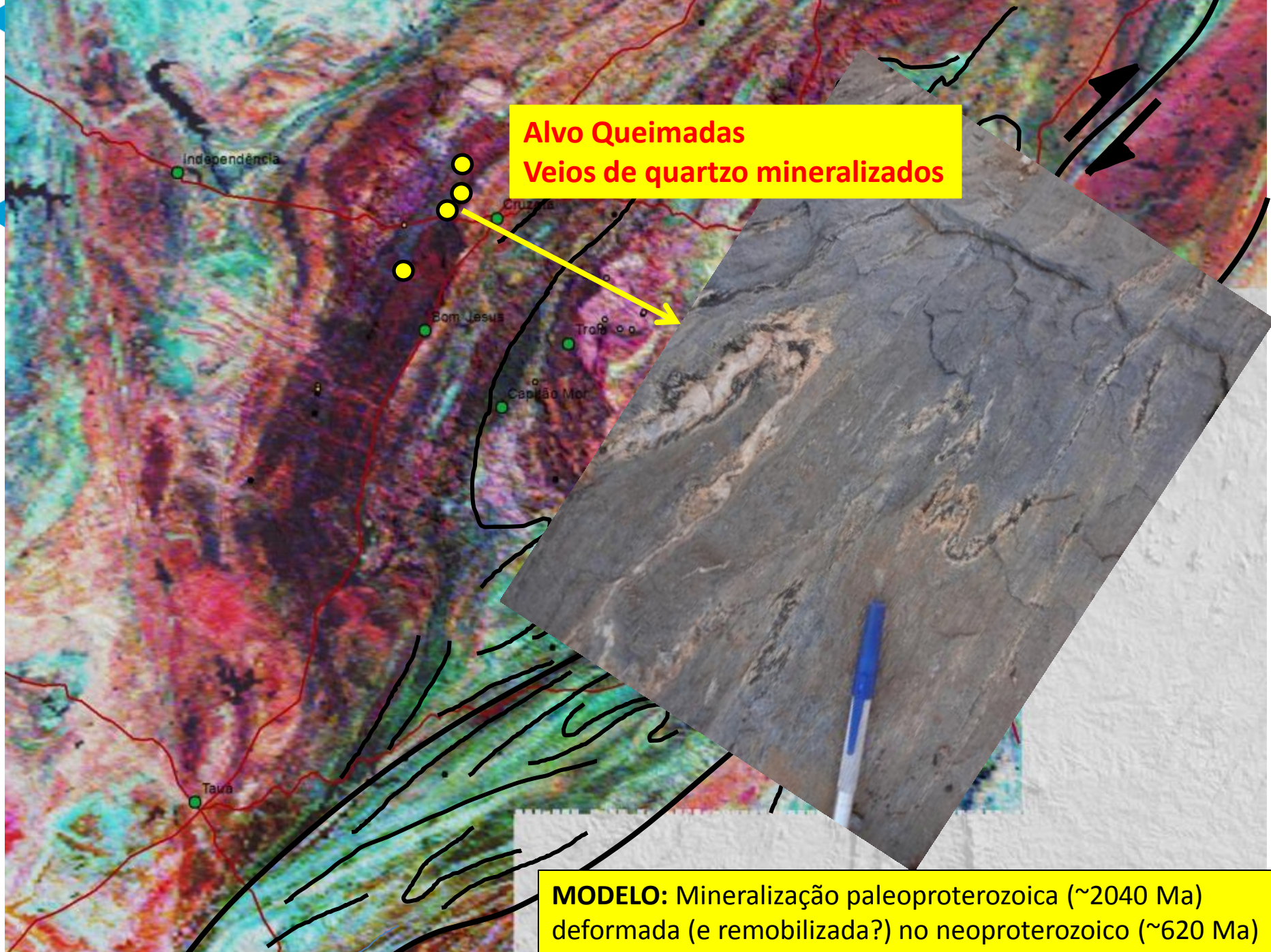
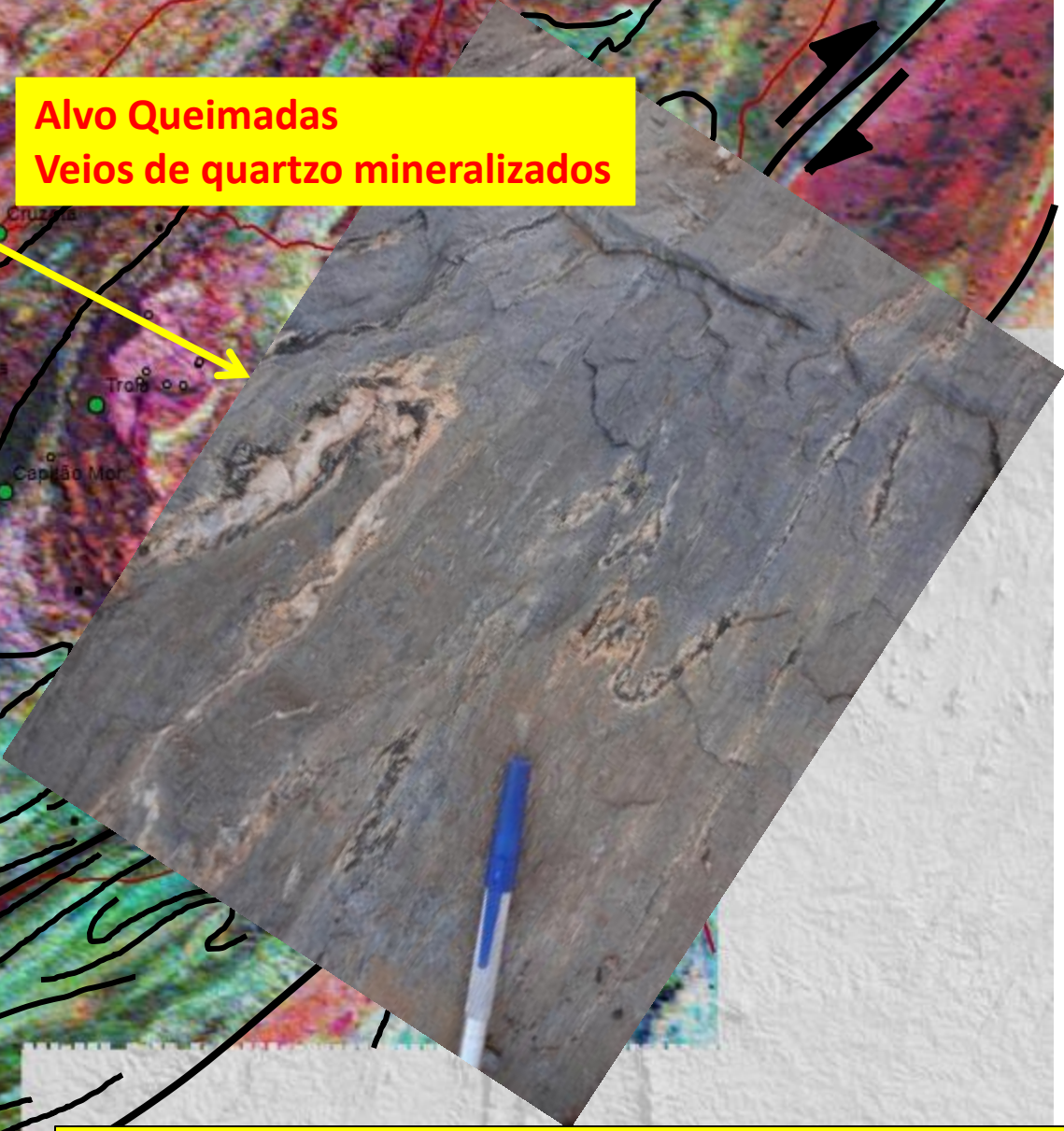


- Localização dos alvos (área mineralizada) do depósito de ouro de Pedra Branca
- Figura 2
- Maciço de Troia
- ↖  $\sigma_1$  Sigma 1, encurtamento crustal
- Granitoides tardi-orogênicos (480-460 Ma)
- Granitoides sin-transcorrentes (580-530 Ma)
- Complexo Tamboril Santa Quitéria (640-620 Ma)
- Diques Guaribas (580-530 Ma)
- Zonas de cisalhamento e traços de foliação





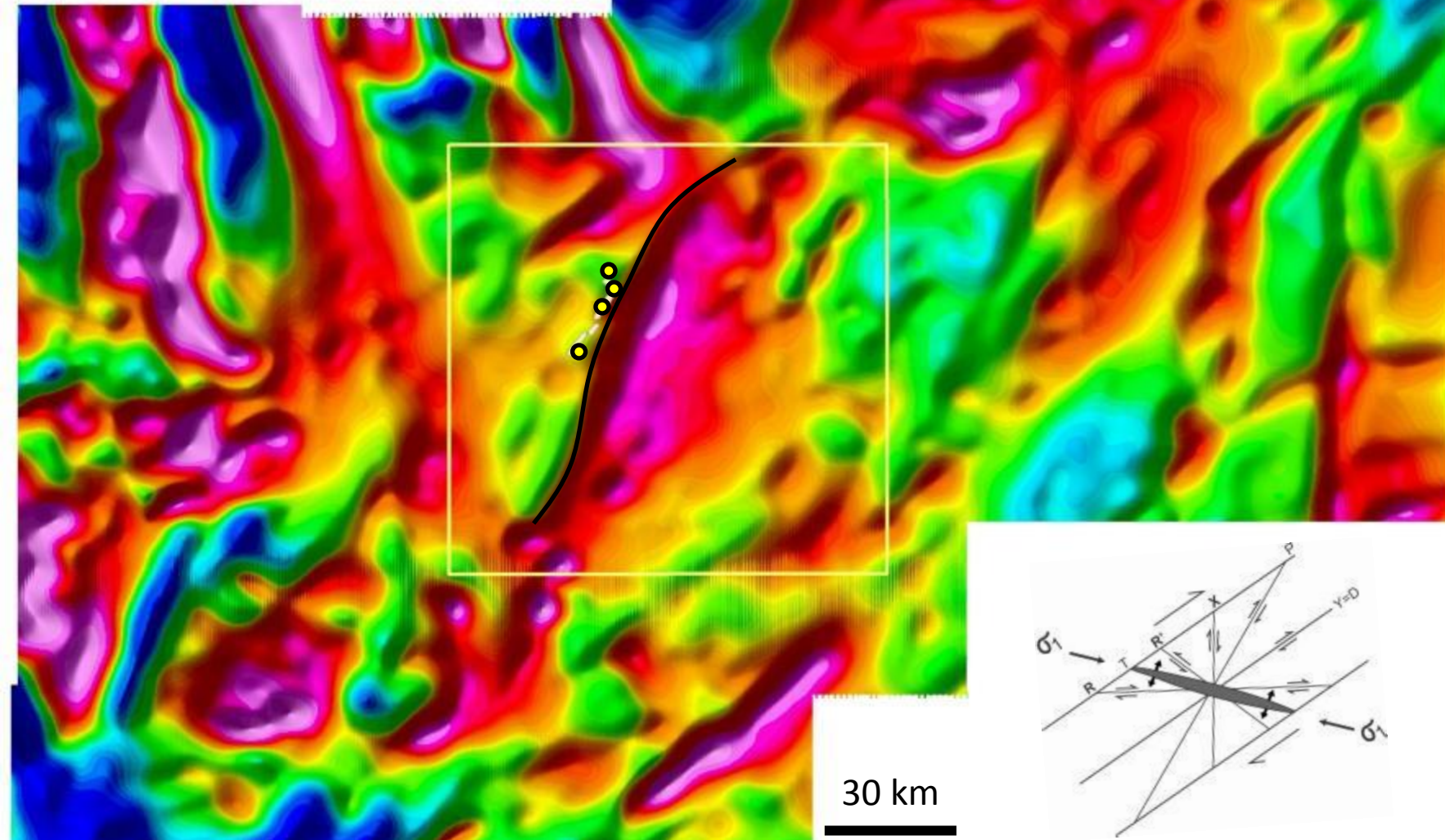
**Alvo Queimadas**  
**Veios de quartzo mineralizados**



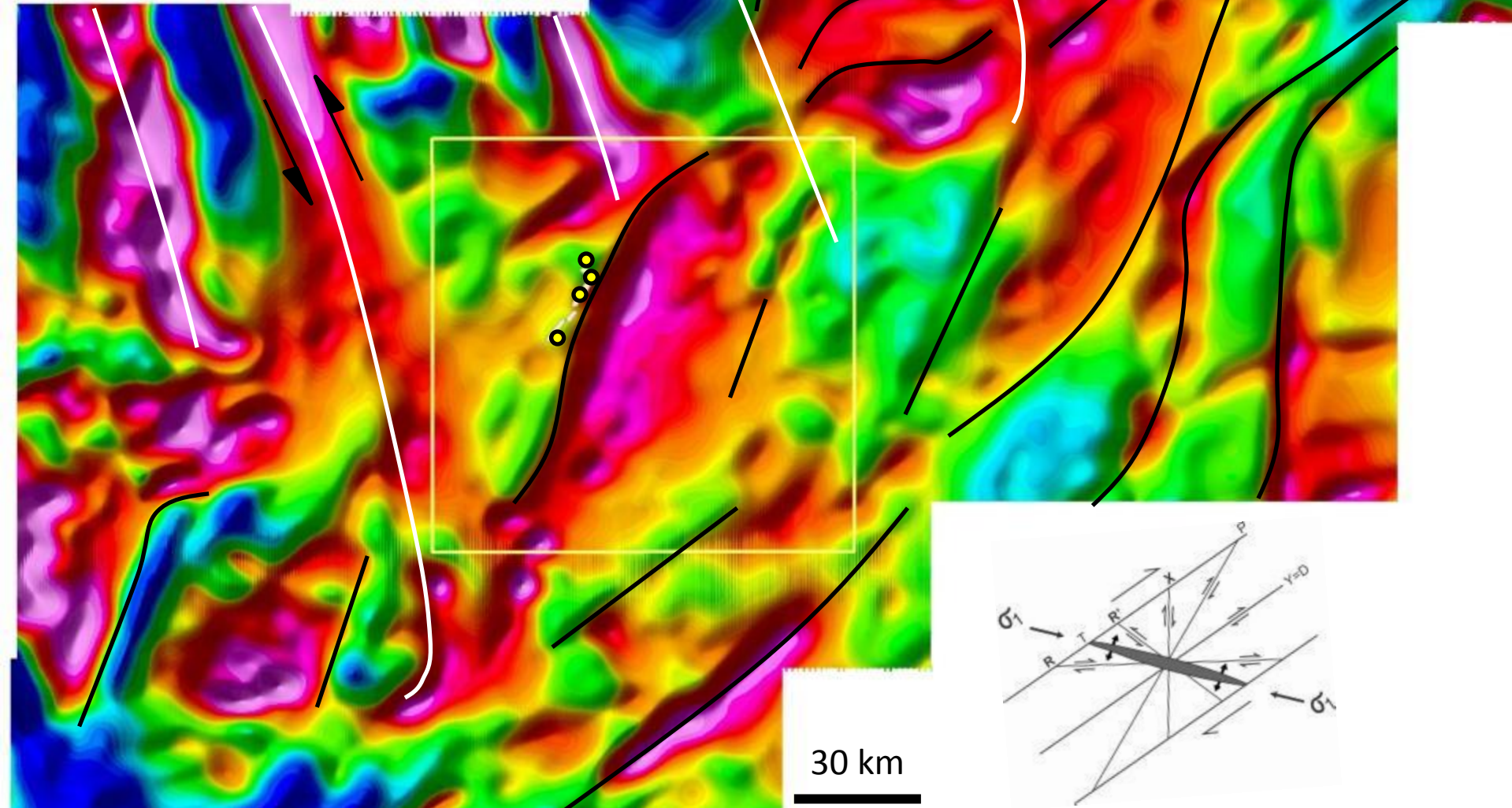
**MODELO:** Mineralização paleoproterozoica (~2040 Ma)  
deformada (e remobilizada?) no neoproterozoico (~620 Ma)

Geofísica – derivada profunda  
Mapa residual  
Ressaltando estruturas de 3 a 10 Km  
(CMA- Continuação ascendente)  
(Reduzida ao Polo)

## Arcabouço Estrutural “Main Shear Zone”

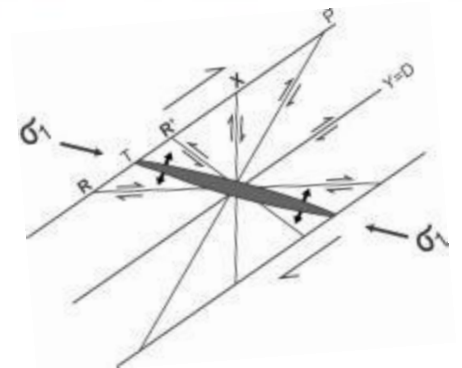
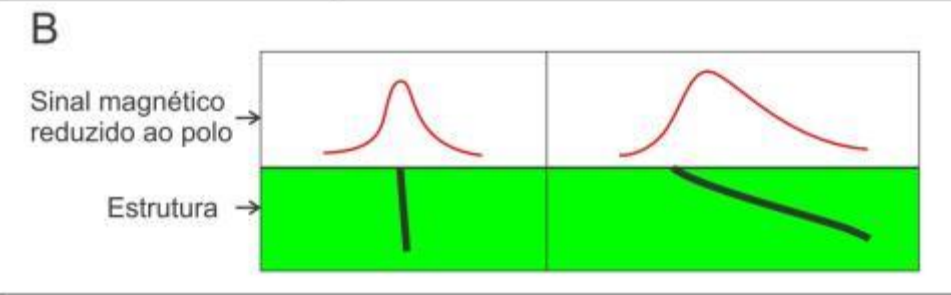
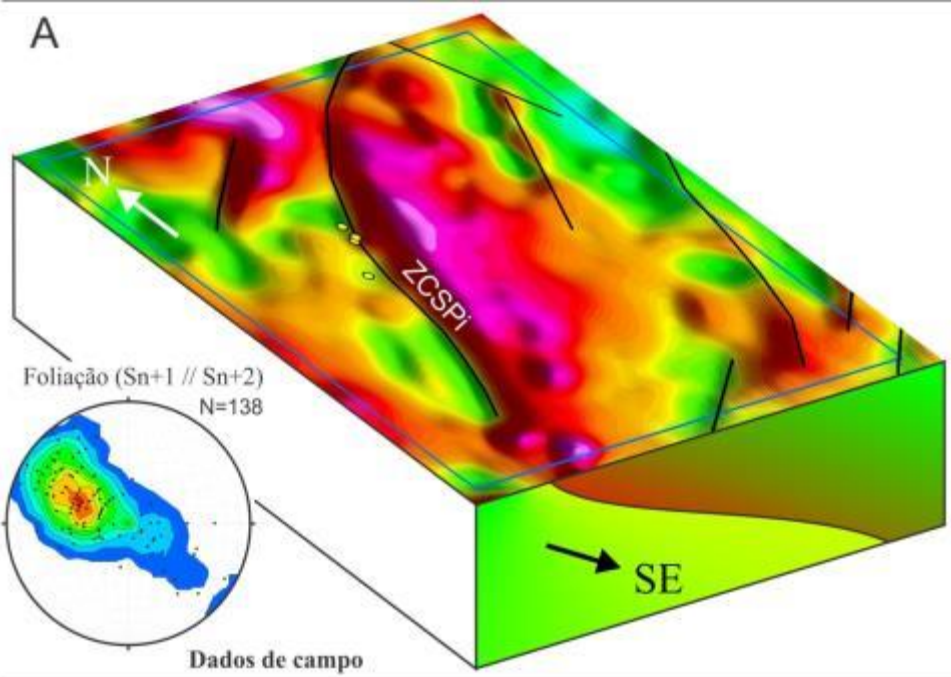
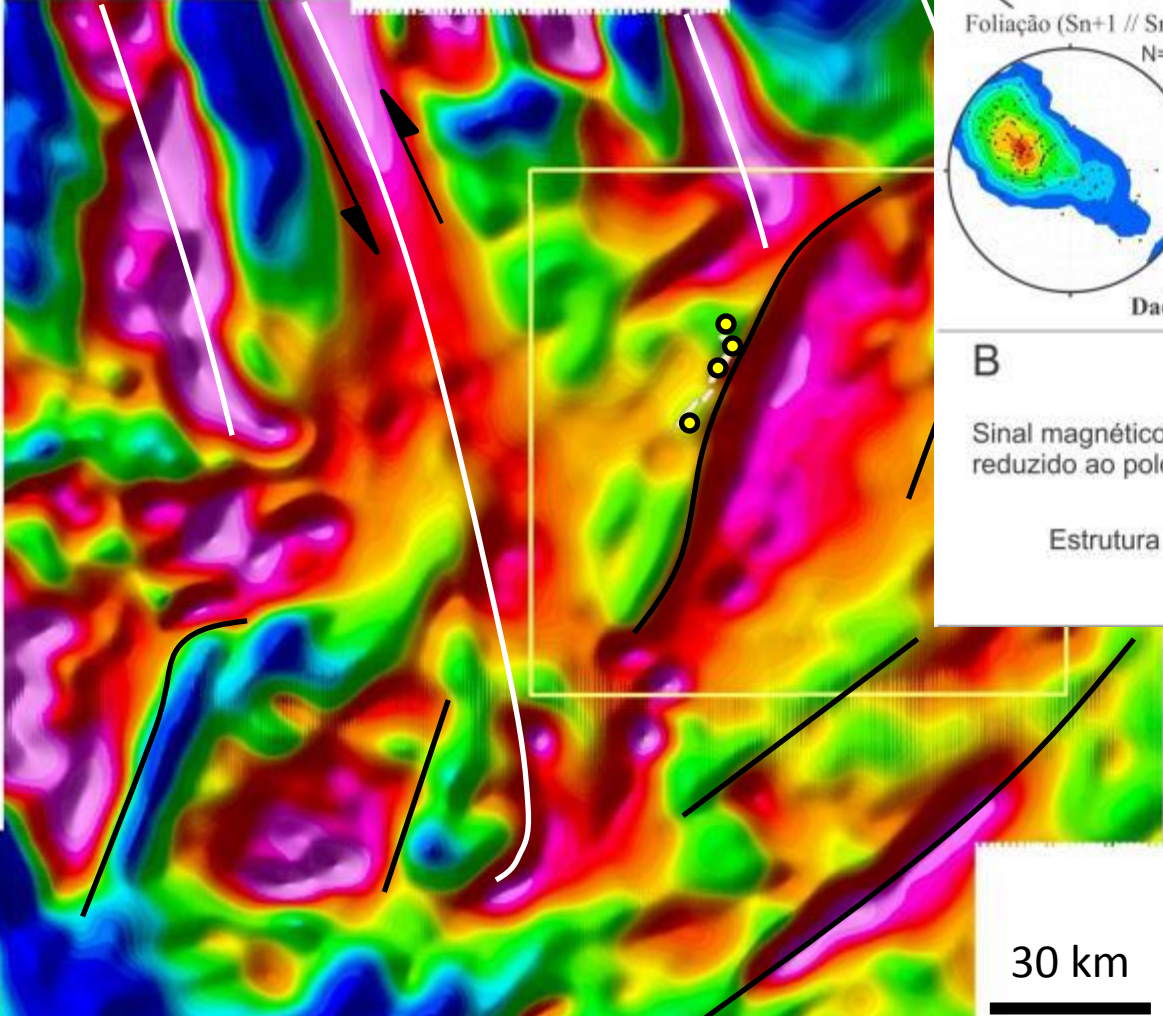


Geofísica – derivada profunda  
Mapa residual  
Ressaltando estruturas de 3 a 10 Km  
(CMA- Continuação ascendente)  
(Reduzida ao Polo)





Geofísica – derivada profunda  
 Mapa residual  
 Ressaltando estruturas de 3 a 10 Km  
 (CMA- Continuação ascendente)  
 (Reduzida ao Polo)



BLOCO TRÓIA-PEDRA BRANCA

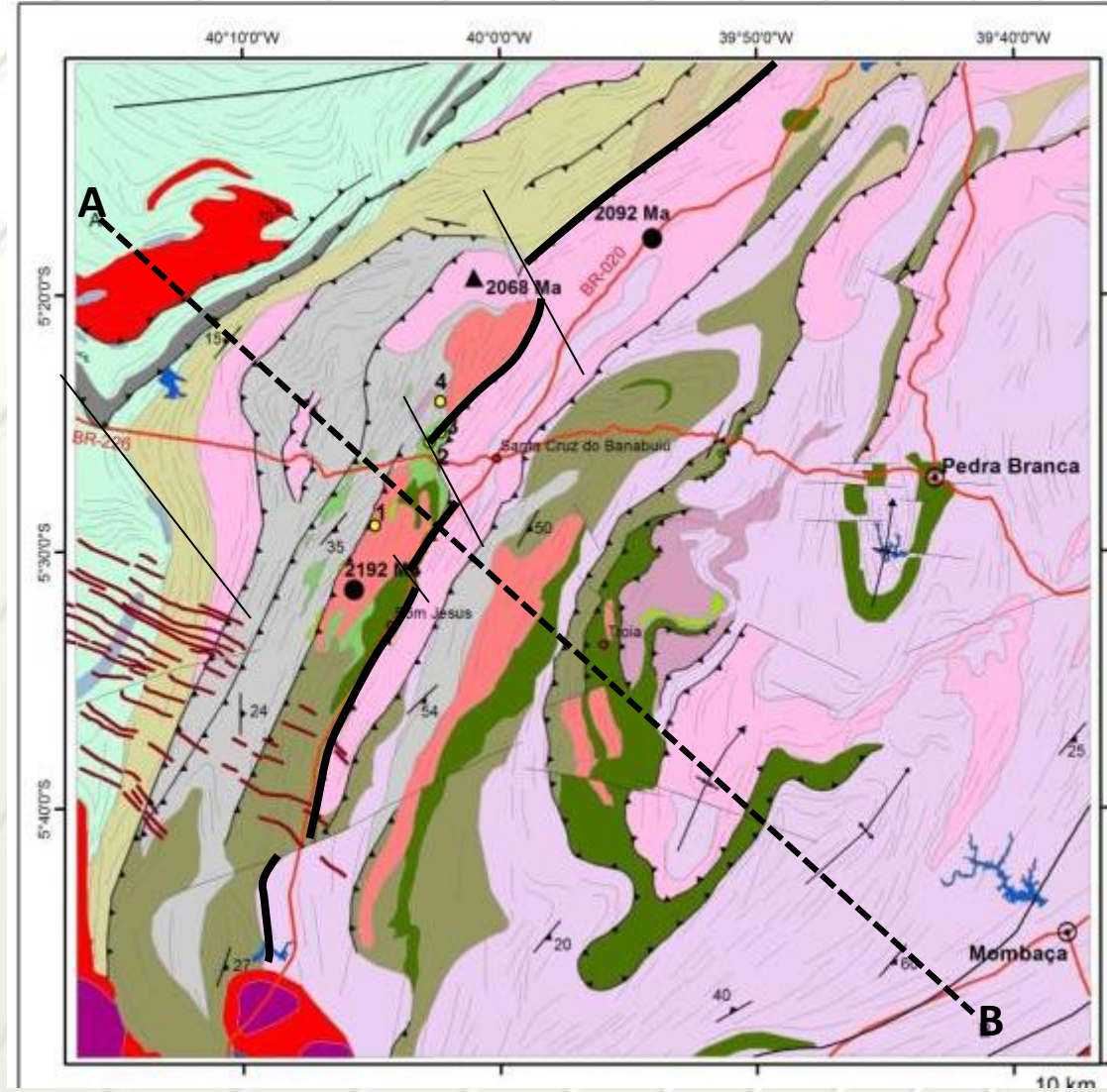
Dados geocronológicos



Limite Arqueano-Paleoproterozoico

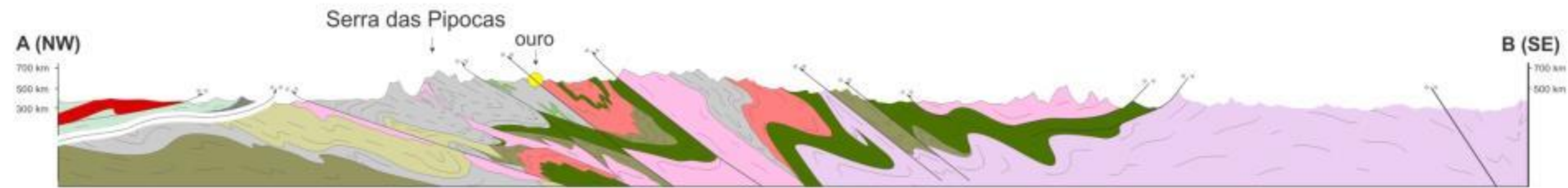
Unidade	Rocha	Técnica	Idade (Ma)	Refer.
<b>REGISTRO ARQUEANO</b>				
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb SHRIMP em zircão)	3270 +/- 5	Silva et al. (2002)
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2675 +/- 64	Fetter (1999)
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2857 +/- 42	Fetter (1999)
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2794 +/- 77	Fetter (1999)
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2776 +/- 65	Fetter (1999)
Complexo Cruzeta	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2773 +/- 60	Fetter (1999)
<b>REGISTRO PALEOPROTEROZOICO</b>				
Algodões	Anfibolito	(Sm-Nd isócrona rocha-total)	2236 +/- 55	Martins et al. (2009)
Ortognaisse Cipó	Metatonalito	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2190 +/- 6	Costa et al. (2015a)
Ortognaisse Mirador	Metatonalito	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2192 +/- 11	ARIM Troia
Ortognaisse Cipó	Metatonalito	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2180 +/- 15	Costa et al. (2015a)
Ortognaisse Cipó	Metatonalito	(Pb-Pb evaporação em zircão)	2172 +/- 7	Martins et al. (2009)
Ortognaisse Cipó	Metatonalito	(Pb-Pb evaporação em zircão)	2160 +/- 9	Martins et al. (2009)
Madalena	Metaquartzo-diorito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2156 +/- 8	Castro (2004)
Serra da Palha	Ortognaisse granítico	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2150 +/- 16	Costa et al. (2015a)
Boa Viagem	Bt-Hb-Ortognaisse	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2150 +/- 29	Silva et al. (2014)
Madalena	Bt-Hb-Ortognaisse	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2142 +/- 20	Castro (2004)
Madalena	Metaquartzo-diorito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2140 +/- 6	Fetter (1999)
Madalena	Metatonalito	(Pb-Pb evaporação em zircão)	2140 +/- 6	Martins et al. (2009)
Macaoca	Bt-Hb-Ortognaisse	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2139 +/- 12	Castro (2004)
Boa Viagem	Bt-Hb-Ortognaisse	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2124 +/- 35	Silva et al. (2014)
Algodões	Metariolito	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2130 +/- 17	Castro (2004)
Macaoca	Metatonalito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2130 +/- 3	Fetter (1999)
Madalena	Metaquartzo-diorito	(U-Pb ID-TIMS em zircão)	2130 +/- 3	Martins et al. (2009)
Suite Bananeira	Quartzo-monzonito	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2092 +/- 12	ARIM Troia
Complexo Canindé	Granito tipo-S	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2070 +/- 19	Garcia et al. (2014)
Suite Bananeira	Ortognaisse granítico	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2069 +/- 14	ARIM Troia
Suite Bananeira	Granito "rosa"	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2068 +/- 5	ARIM Troia
Macaoca	Leucossoma	(U-Pb em zircão LA-ICPMS)	2046 +/- 12	Gomes (2013)
Troia-ultramáficas	Cromitito	(U-Pb SHRIMP em zircão)	2036 +/- 28	Costa et al. (2014b)
Serra das Pipocas	Hidrotermal (ouro)	(U-Pb titanita LA-ICPMS)	2029 +/- 28	ARIM Troia

# Perfil Geológico



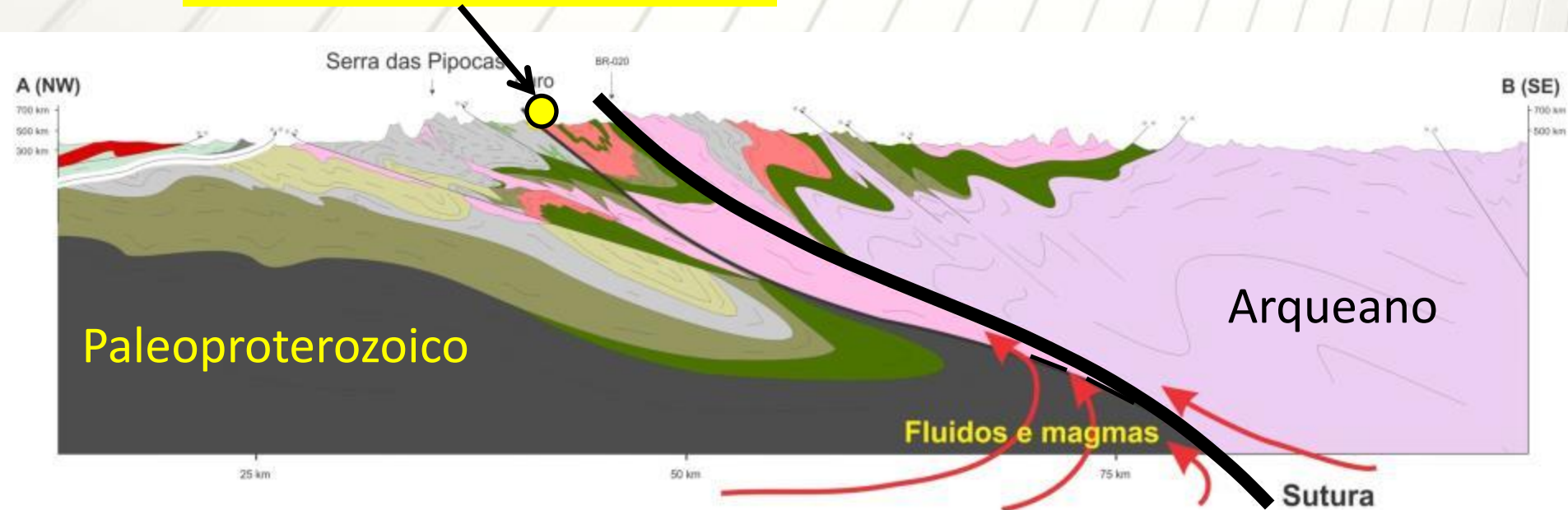
“Major Shear Zone”  
“Cryptic suture”

# Perfil Geológico



# Perfil Geológico + interpretação

Deposito de ouro de Pedra Branca

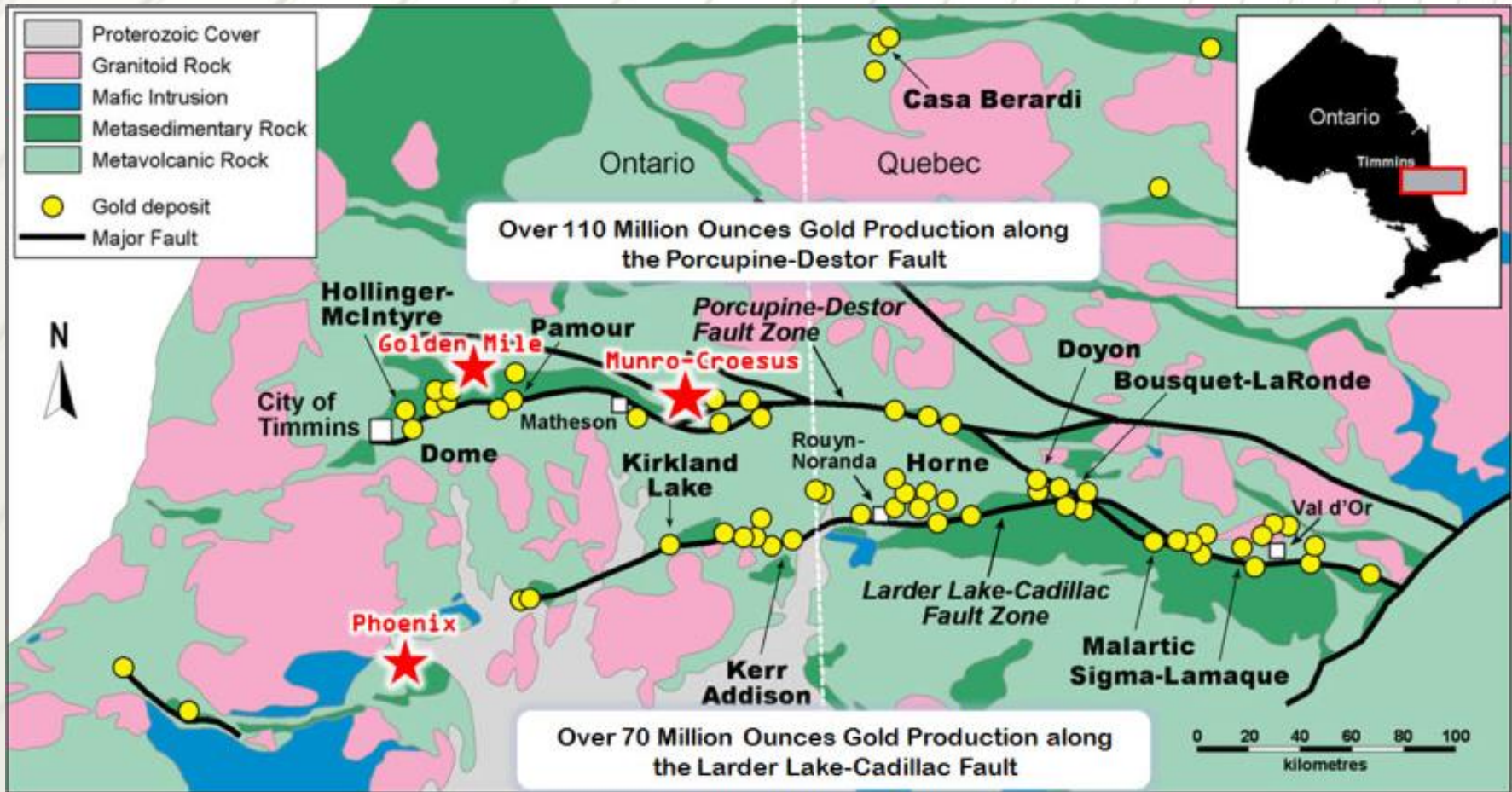


Limite de terrenos!!!  
Descontinuidade crustal

Percolação de fluidos e magmas

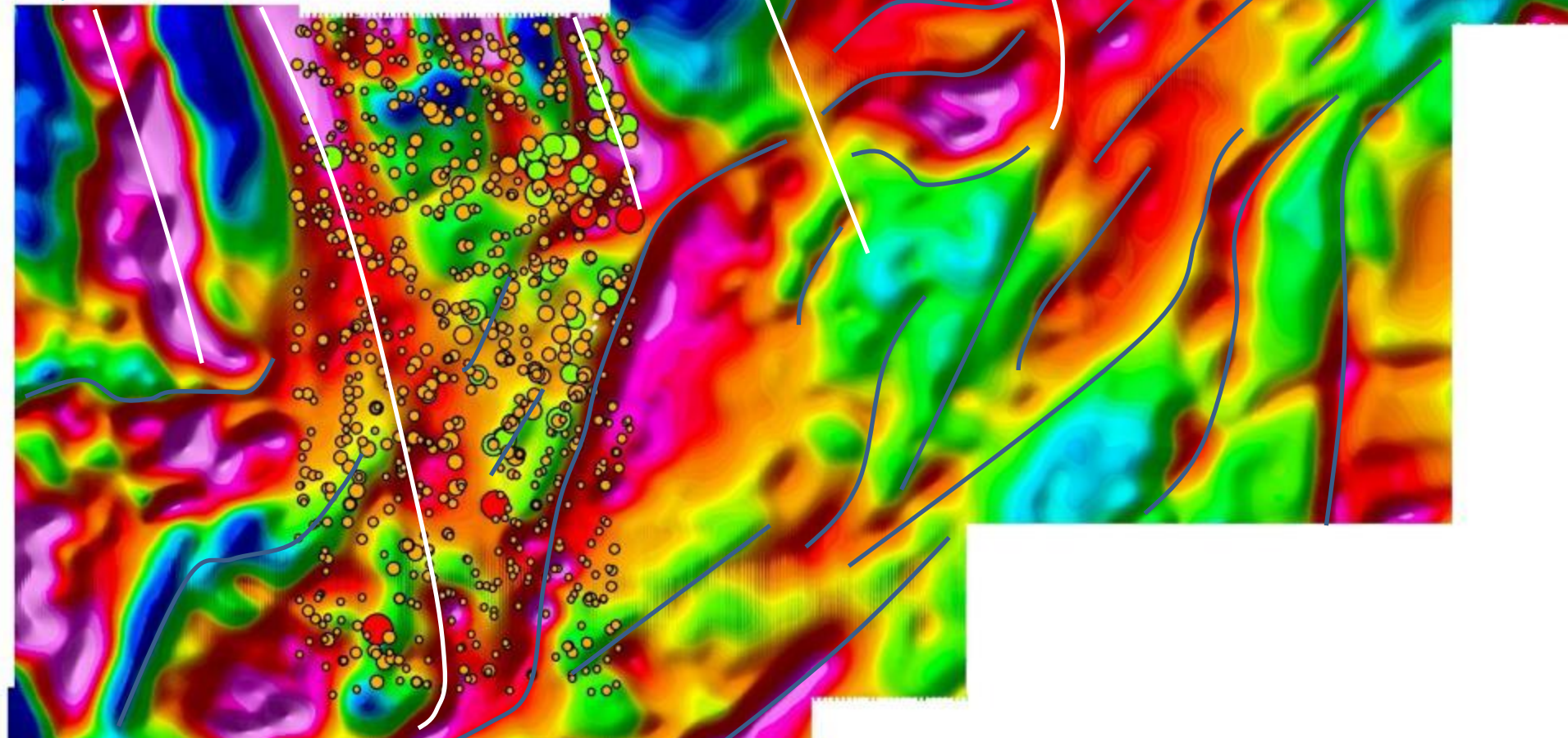
“Cryptic suture”

# Exemplo do: Abitibi greenstone belt – Canada (2.8-2.6 Ga)



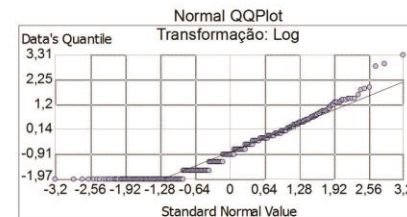
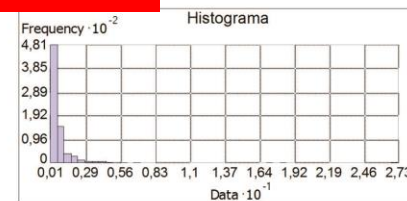
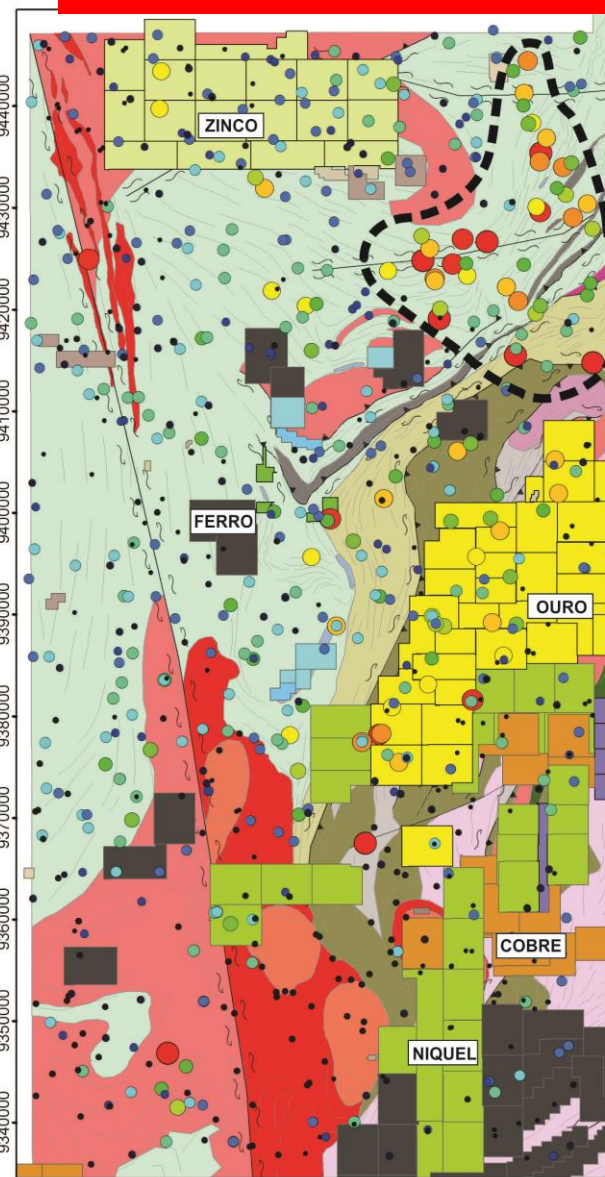
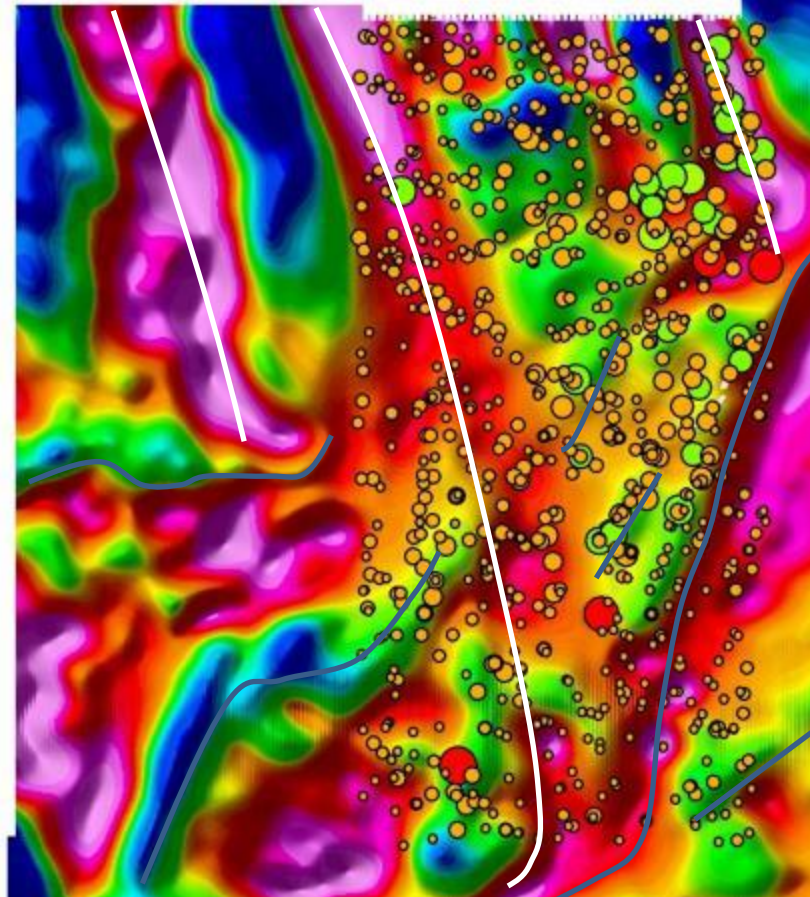
# Ouro Neoproterozóico

Geofísica – derivada profunda  
Ressaltando estruturas de 3 a 10 Km +  
+  
Geoquímica de sedimento (Acme)



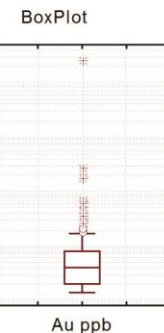
# Ouro Neoproterozóico

Geofísica – derivada profunda  
Ressaltando estruturas de 3 a 10 Km  
+  
Geoquímica de sedimento (Acme)

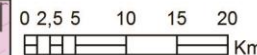


Legenda - Mapa de Distribuição

- Au**  
**ppb**
- 0,14
  - 0,15 - 0,20
  - 0,21 - 0,30
  - 0,31 - 0,40
  - 0,41 - 0,60
  - 0,61 - 0,80
  - 0,81 - 1,10
  - 1,11 - 1,40
  - 1,41 - 1,60
  - 1,61 - 1,80
  - 1,81 - 2,20
  - 2,21 - 3,10
  - 3,11 - 3,90
  - 3,91 - 4,40
  - 4,41 - 2573,30



→ **ÁREA ANÔMALA (ÁREA ALVO)**



**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil



## Anomalia de ouro em sedimentos de corrente na região das rochas metassedimentares da Unidade Independência, Complexo Ceará, norte da Província Borborema

Felipe G. Costa  
Bruno O. Calado  
Tércya R.G. Pinéo

CPRM-Serviço Geológico do Brasil, REFO-Residência de Fortaleza.

### Abstract

Anomalous stream sediment gold contents have been found during 1:100.000 *Independência* and *Vázea do Boi* topographic sheets, Ceará geochemical gold values occur in the area of *metasedimentary* rocks of Unit, Ceará Complex, north of Borborema Province. The effect of outlier analysis of gold content, with a lognormal distribution and a population values between 3 to 6 ppb of gold in stream sediment samples are famous mineralized areas worldwide, such as the gold-bearing domain central Brazil. According to our preliminary interpretations on structural might speculate the possibility of an epigenetic gold mineralization trending shear/fault structure, later displaced by a dextral NE-SW.

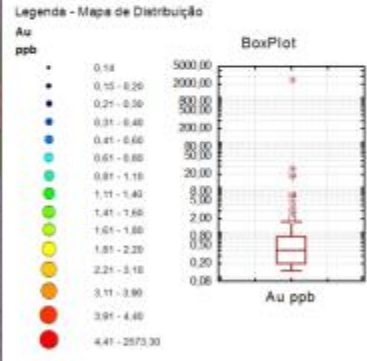
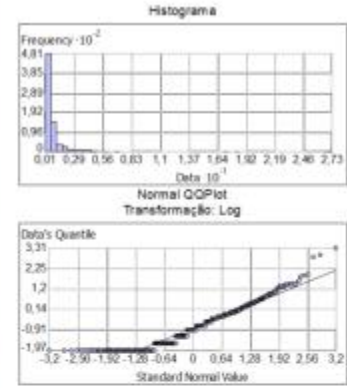
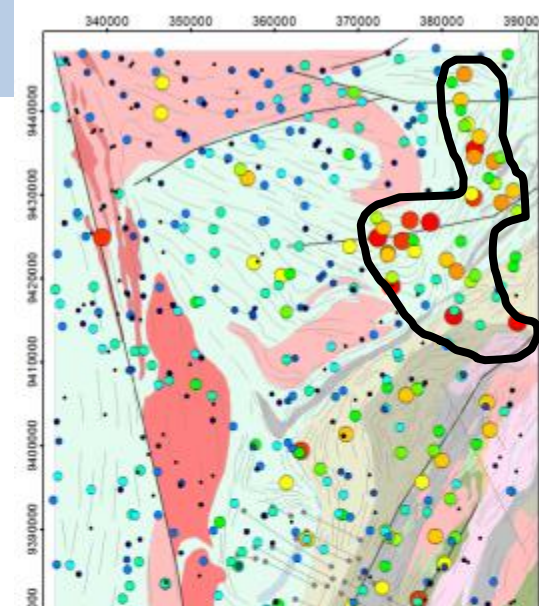
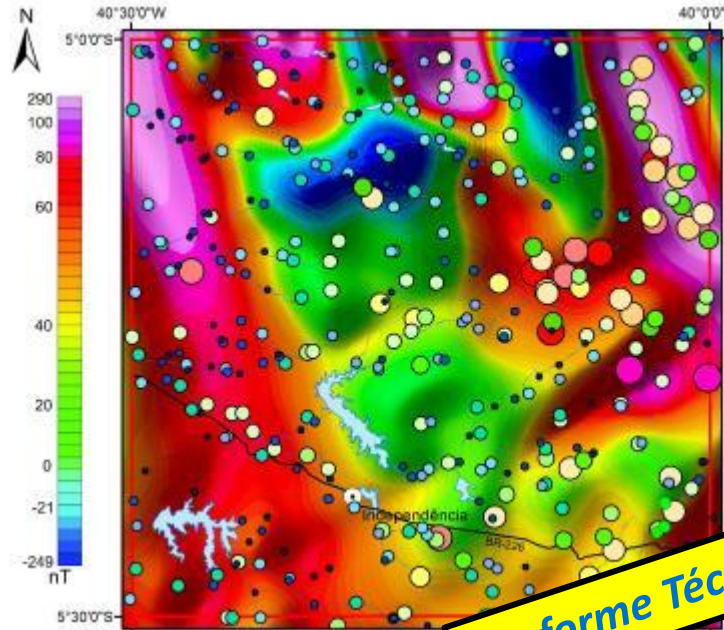
Keywords: Stream sediment, geochemistry, gold, structure

Palavras chave: Sedimento de corrente, geoquímica, ouro, estrutura

### INTRODUÇÃO

Os resultados aqui apresentados são oriundos do trabalho de Integração Geológica e de Recursos Minerais da área de Relevante Interesse Mineral (ARIM) Troia-Pedra Branca, na região central do Estado do Ceará, a cerca de 200 km da cidade de Fortaleza (Figura 1). Este trabalho de pesquisa está inserido no Programa Gestão Estratégica da Geologia, da

Mineração dentro da Minerais de Aceleração desenvolveu Fortaleza (Após geoquímicos ressaltaram elevados,



Informe Técnico "anomalia de ouro"

# Conclusões

- Mineralizações de ouro ocorre em sequência do tipo granito-greenstone, apresenta controle estratigráfico bem definido, controle estrutural por zona de cisalhamento regional (limite de terrenos), idade paleoproterozoica (~2029 Ma) e retrabalhamento neoproterozoico (580-550 Ma).
- Dados de geoquímica em sedimento de corrente evidenciam também um sistema mineralizado em rochas neoproterozoicas, associado a estruturas de direção NW, abrindo grandes possibilidades para descoberta de novos depósitos.
- A CPRM pode contribuir no âmbito da exploração mineral, principalmente com trabalhos de escala regional em áreas *greenfield*. (ex; Novas Fronteiras)



# FIM

OBRIGADO

(Foto: Povoado de Troia)