

Magnetotellurische Untersuchungen eines Meteoritenimpaktkraters

Einleitung

Das Ziel der Magnetotellurischen (MT) Untersuchungen am Araguainha Impaktkrater besteht in der Bestimmung der Tiefenstrukturen, die möglicherweise mit dem Impaktereignis zusammenhängen.

Der Araguainha Krater befindet sich im Westen Brasiliens in den paläozoischen Sedimenten des Paraná Beckens (Abb. 1). Die Bestimmung von $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Isotopenverhältnisse an Impaktschmelzgesteine ergaben für die Kraterbildung ein radiometrisches Alter von 247 Millionen Jahren (Engelhardt et al., 1992). Die Struktur besitzt einen Durchmesser von 40 km und ist durch ein ringähnliches Aussehen gekennzeichnet. Im Zentrum des Kraters sind Granite des Grundgebirges, umgeben von Überresten der Suevitdecke (Impakt-Trümmergesteine), aufgeschlossen. Zunehmend jüngere Sedimente kommen in Richtung des äusseren Randes der Struktur vor (Abb. 1).

Ergebnisse der eindimensionalen Modellierung

Die vorangehenden Resultate der eindimensionalen Modellrechnungen für die Invariante der beobachteten scheinbaren Widerständen und Phasen aller MT Stationen im Periodenbereich zwischen 0.003 und 1 s widerspiegeln die Abfolge der paläozoischen Sedimente im Paraná Becken und den deutlichen Übergang zum granitischen Grundgebirge. Dieses befindet sich in der Regel in einer Tiefe von 1 km. Die Mächtigkeit der Sedimente nimmt aber deutlich in Richtung der Mitte der Struktur ab, was mit der Hebung des Grundgebirges im Zentrum des Kraters zusammenhängt. Diese zentrale Hebung des Grundgebirges besitzt eine axiale Symmetrie und wird am besten durch einen stumpfen Kegel beschrieben, dessen Basis in einer Tiefe von 1 km liegt und einen Durchmesser von 18 km hat, während die stumpfe Spitze einen Durchmesser von 6 km hat und an der Oberfläche aufgeschlossen ist (Masero et al., 1994).

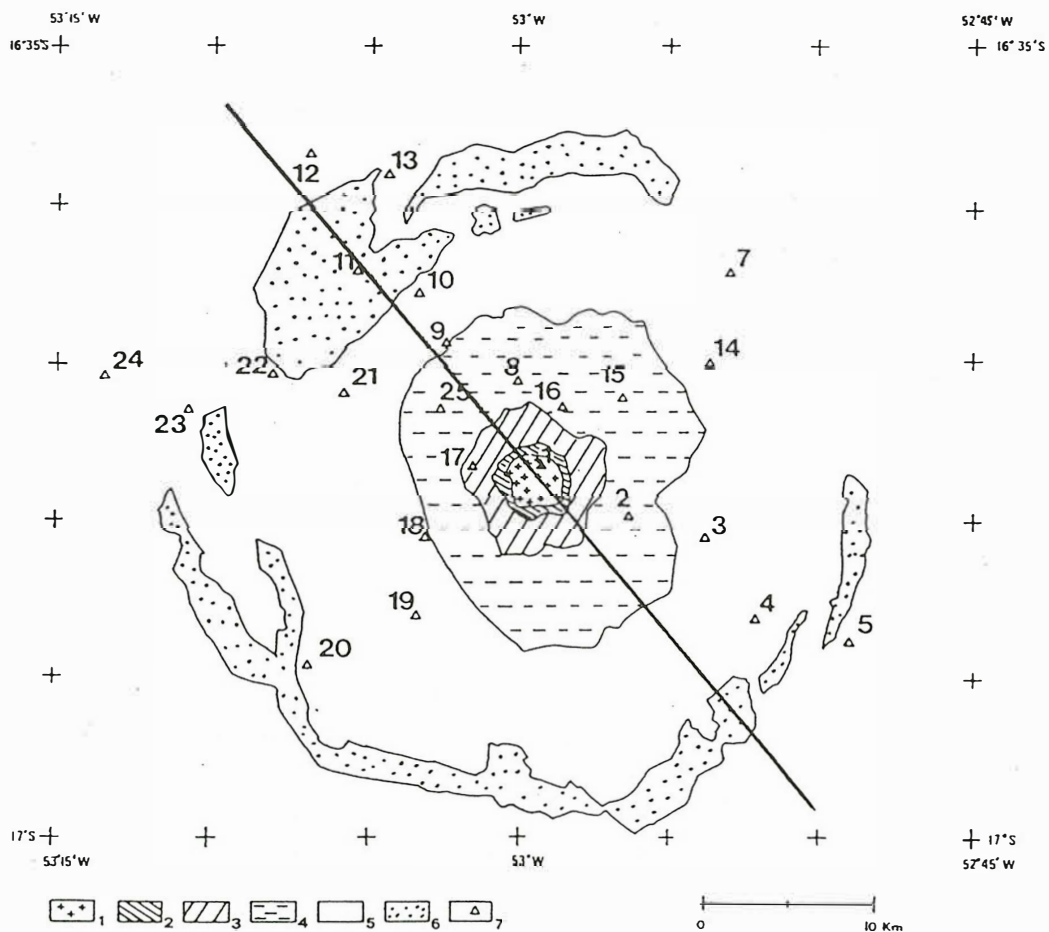
Zweidimensionale Modellierung und Diskussion

Die Station s007 (Station 7 in Abb. 1) gilt als repräsentativ für die MT Sondierungen in der Region der Araguainha Struktur. Im Bereich der kurzen Perioden (0.003 bis 1 s) zeigen die Messdaten ein eindimensionales Verhalten (Abb. 2) und wurden schon in einer früheren Arbeit behandelt (s. oben). Für Perioden grösser als 1 Sekunde ($T > 1$ s) spalten sich die beiden Polarisationen auf und werden von einer deutlichen Zunahme der Skew-Werte nach Swift (1967) und Bahr (1991) begleitet. Bei ungefähr 20 s ist jedoch eine allmähliche Abnahme des Letzteren feststellbar.

Die Dekomposition des Impedanztensors (Groom und Bahr, 1992) diente zum besseren Verständnis des Aufspalten der scheinbaren Widerstands- und



Abbildung 1: Karte von Brasilien mit der Lage des Araguainha Impaktkraters innerhalb des Paraná Beckens (links). Schematische geologische Karte des Araguainha Kraters: [1] Granite, [2] Suevite - Impaktrümmergesteine, [3-6] Sandsteine des Oberen Devons bis Unteren Perms und [7] Lage der MT Stationen. Die Lage des vorgestellten zweidimensionalen Modelles ist durch die durchgezogene Linie gegeben (unten).



Phasenkurven beider Polarisationsrichtungen im langperiodischen Bereich und der damit eng verbundenen Zunahme beider Skew-Werte. Die dabei resultierenden Winkel *twist und shear* (Groom und Bailey, 1989) stellen ein Mass für die galvanische Verzerrung des Impedanztensors durch *lokale* Leitfähigkeitsanomalien dar. Sie geben die Abweichung der beobachteten Impedanzen vom *regionalen* ein- und zweidimensionalen Fall wieder. Die Bezeichnungen *regional* und *lokal* beziehen sich auf Strukturen, deren horizontale Ausdehnung vergleichbar, bzw. viel kleiner, ist als die Eindringtiefe der beobachteten elektrischen und magnetischen Felder. Die Summe und Differenz zwischen *twist und Shear* entsprechen genau den von Bahr (1991) eingeführten Verzerrungswinkeln - β_1 und β_2 - der beiden tellurischen Vektoren.

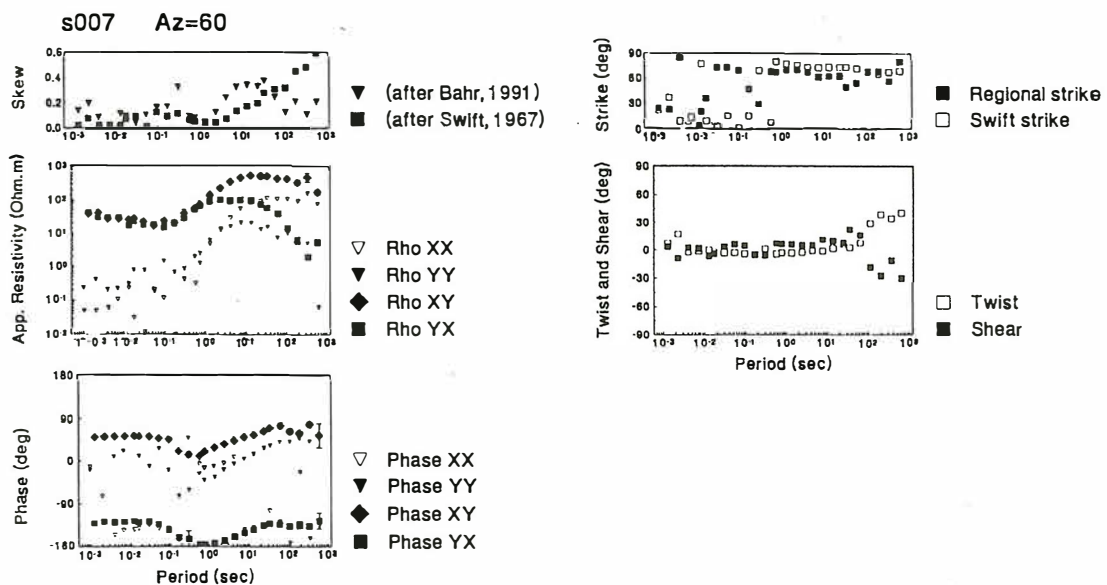


Abbildung 2: Auf der rechten Seite Phase, scheinbarer Widerstand und Skew und auf der linken Seite *shear*, *twist* und Streichrichtung der MT Station s007 (Station 7 in Abb. 1), die 17 km vom Zentrum der Araguainha Struktur liegt.

Das Ergebnis zeigt, dass, unterhalb von $T = 60$ s, *twist und shear* um 0° liegen (Abb. 2). Dies weist für den annähernd gesamten Periodenbereich auf verzerrungsfreie Impedanzwerte hin. Aber das deutliche und zugleich starke Eintreten von Verzerrungen für $T > 60$ s wird durch das Vorhandensein einer lokalen Leitfähigkeitsanomalie von kleinem Ausmass, verglichen mit der Eindringtiefe bei dieser langen Perioden (> 75 km), erklärt. Die maximale horizontale Ausdehnung der zentralen Hebung des Grundgebirges beträgt 18 km. Verglichen mit der Eindringtiefe bei langen Perioden, handelt es sich eigentlich um eine lokale Erscheinung. Ein ähnliches Result erhielt Bahr (1991) bei der Interpretation von langperiodischen MT Sondierungen in der Oberpfalz, wo die Erbdorf-Vohenstrauss Zone als lokale Anomalie betrachtet werden musste.

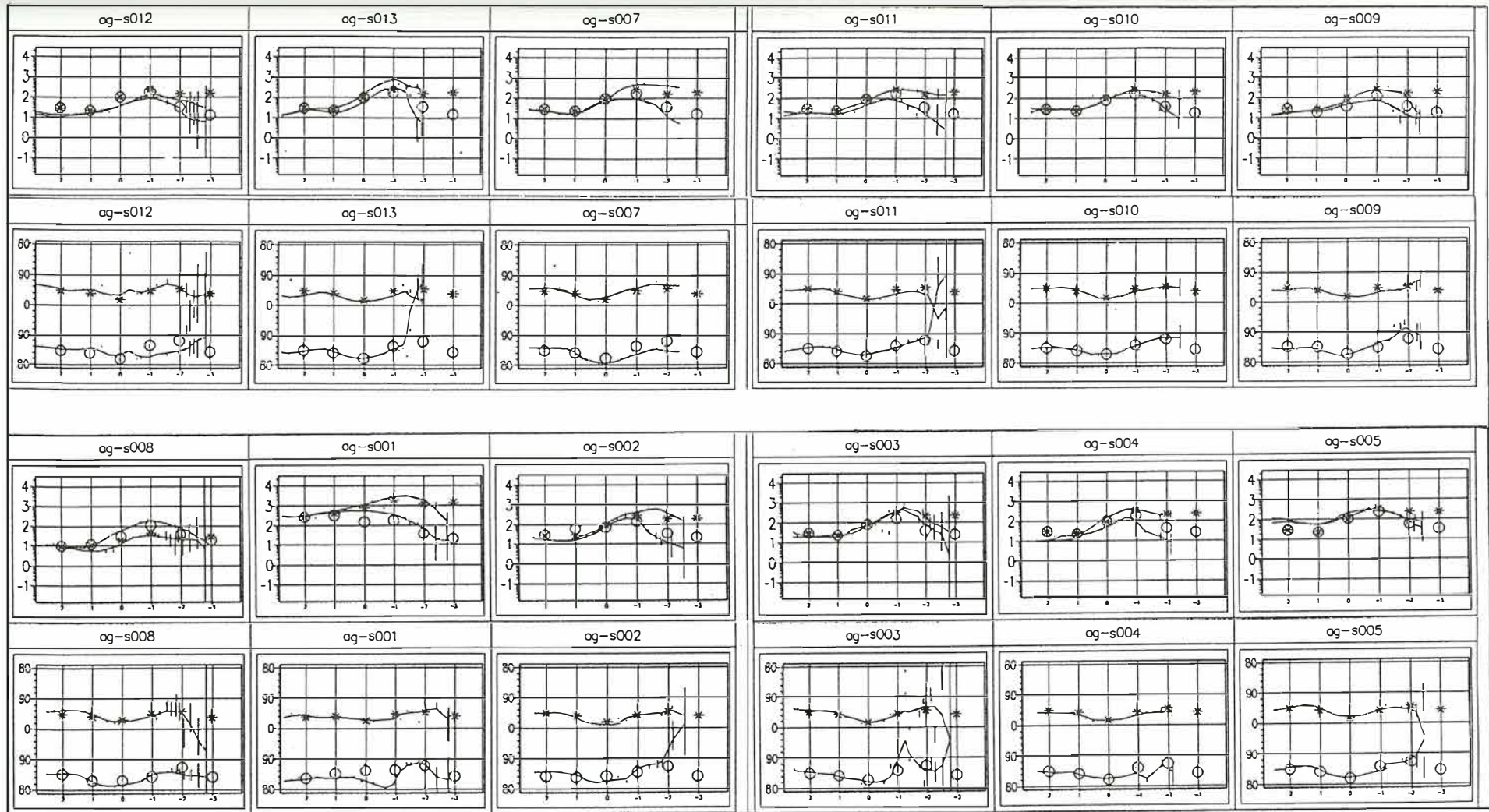


Abbildung 3: Vergleich zwischen den beobachteten und modellierten scheinbaren Widerständen und Phasen der Stationen entlang des zweidimensionalen Modelles. Die durchgezogenen Kurven entsprechen den XY- und YX-Richtungen der gemessenen Daten, während Sternchen und Kreise die Modellantworten der B- und E-Polarisationen sind. Der scheinbare Widerstand (in Ohm.m) entspricht jeweils der ersten und dritten Reihe und die Phase (in Grad) der zweiten und vierten Reihe.

Die berechneten Streichrichtungen nach Swift (1967) und Bahr (1991) sind für $T > 1$ s relativ gleichmässig verteilt und liegen in der Grössenordnung von 60° bis 70° (Abb. 2). Die Streichrichtungen stimmen in der Regel gut mit dem radialen Azimuth der einzelnen Stationen überein. Die MT Daten wurden somit in die radiale Richtung rotiert, welche am geeignetsten für Strukturen mit einer kreissymmetrischen Anordnung zu sein scheint.

Die hohen Skew-Werte für $T > 1$ s deuten auf eine dreidimensionale Verteilung der Leitfähigkeit in Eindringtiefen grösser als 3 km hin. Erwähnenswert sei hier noch, dass das Eintreten der Verzerrungen von einer Abnahme des Skew-Wertes nach Bahr (1991) begleitet wird, während aber der konventionelle Skew nach Swift (1967) weiterhin ansteigt (Abb. 2).

Trotz der deutlichen Anzeichen einer dreidimensionalen Anordnung der Leitfähigkeitsstrukturen wurde vorerst ein zweidimensionales Modell (Abb. 4) als Annäherung in Betracht gezogen. Dennoch ist eine gute Anpassung zwischen den mit finiten Elementen (Wannamaker et al., 1987) berechneten Modellantworten und den beobachteten MT Daten erreicht worden (Abb. 3). Das Modell beruht auf der Interpretation der MT Daten entlang eines radialen, NW-SE verlaufenden Profiles (Abb. 1). Der oberflächennahe Abschnitt des Modelles besteht aus einer relativ leitfähigen Schicht (10 und $30 \Omega\text{m}$) von 1 km Mächtigkeit, welche die sedimentäre Bedeckung des Paraná Beckens darstellt.

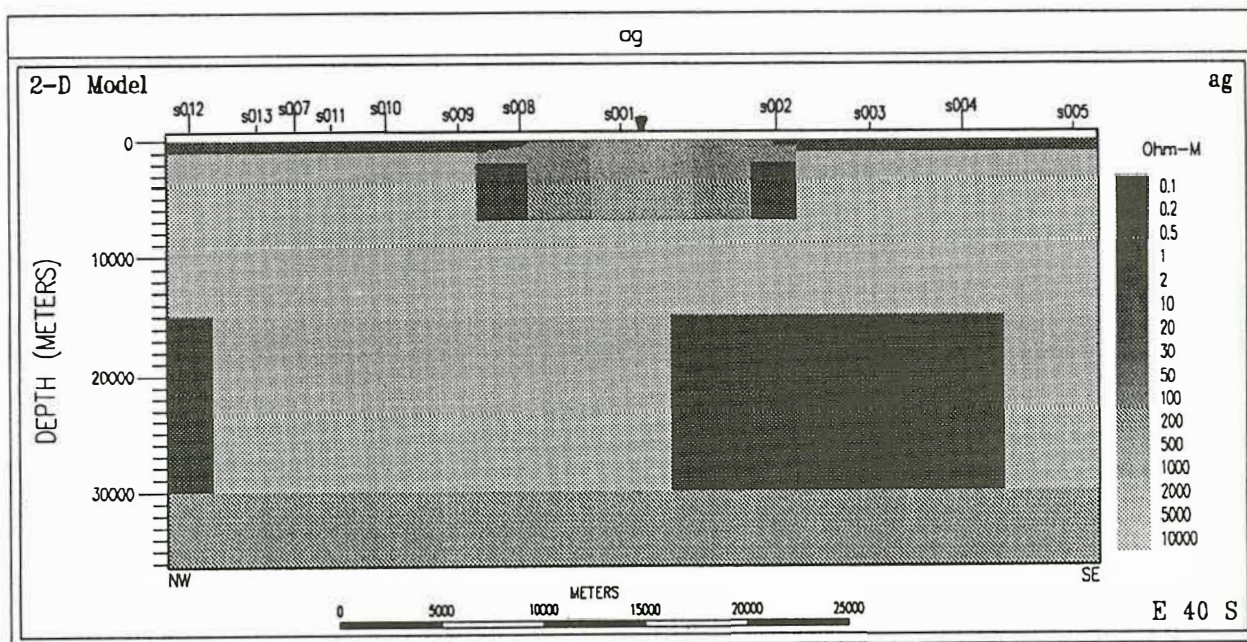


Abbildung 4: Zweidimensionales Modell der Araguinha Struktur beruhend auf der Interpretation der MT Daten entlang eines radialen NW-SE verlaufenden Profiles. Die Lage der Stationen und das Zentrum der Struktur (Dreieck) sind oben auf dem Model angegeben.

Eines der augenfälligsten Merkmale ist ein Block, bestehend aus unterschiedlichen spezifischen Widerständen (20, 200, $500 \Omega\text{m}$), eingebettet in einer oberen Kruste von $5000 \Omega\text{m}$. Seine horizontale Ausdehnung liegt in der

Größenordnung eines Drittels des gesamten Durchmessers der Struktur. Er ist im Zentrum des Kraters aufgeschlossen und erreicht eine Tiefe von 7 km.

Es wird angenommen, dass der niedrigere elektrische Widerstand dieses Blockes mit einer hohen Anzahl von Brüchen zusammenhängt, die beim Einschlag des Meteoriten erzeugt wurden und durch welche Fluide aus tieferen Krustenbereiche aufsteigen konnten. Zum Vergleich ergaben MT Sondierungen an der Siljan Struktur in Schweden, die mit einem Durchmesser von 55 km den grössten Krater Europas darstellt, eine Leitfähigkeitsanomalie in einer Tiefe zwischen 5 und 20 km (Zhang et al., 1988). Obwohl diese nicht an der Oberfläche beobachtbar ist, besitzt sie ungefähr die horizontale Ausdehnung des Kraters. Sie wird auch dort durch tiefe Brüche erklärt, die beim Einschlag entstanden sind und durch welche Fluide aus der unteren Kruste migrieren konnten.

Ein weiteres Merkmal des vorgeschlagenen Modelles ist eine Schicht in 15 bis 30 km Tiefe, bestehend aus einer Abfolge von sich alternierenden gut und schlecht leitenden Blöcken (2 und 2000 Ωm). Darunter folgt ein gleichmässiger Halbraum von 100 Ωm . Diese Strukturen in der unteren Kruste sind regional und widerspiegeln sehr wahrscheinlich wichtige strukturelle Elemente im präkambrischen Grundgebirge, die nicht im Zusammenhang mit dem Impaktereignis stehen. Eine frühere MT Untersuchung am NE Rand des Paraná Beckens, einige hundert km von der Araguinha Struktur entfernt, zeigt unterschiedliche Krustenabschnitte unter dem Becken (Padilha et al., 1992). Diese Strukturen in der unteren Kruste könnten mit der Fortsetzung des *Transbrasilianischen Lineamentes*¹ im Grundgebirge unterhalb des Paraná Beckens zusammenhängen (Padilha, mündl. Mitt.).

Bemerkung

¹Das *Transbrasilianische Lineament* bezeichnet ein Hauptssystem von Brüchen entlang eines begrenzten Streifens, der in Richtung N30°E streicht und von der Nordküste Brasiliens (Bundesstaat Ceará) bis an den N-NE Rand des Paraná Beckens reicht. Weiter südlich ist dieses Bruchsystem für den geradlinigen Verlauf der NW Grenze des Paraná Beckens verantwortlich. Das Alter dieses Bruchsystems ist Frühpaläozoisch und es wird der Endphase der tektonischen Aktivität im *Ciclo Brasileiro* (800-500 ma) zugeordnet (aus dem Begleittext zur Geologischen Karte von Brasilien 1:2'500'000, 1984).

Literatur

- Bahr, K., 1991. Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types, *Phys. Earth planet. Inter.*, 66, 24-38.
- Engelhardt, W.v., Matthäi, S.K. and Walzebuck, J., 1992. Araguinha impact crater, Brazil: 1. The interior part of the uplift, *Meteoritics*, 27, 442-457.
- Groom, R.W. and Bahr, K., 1992. Corrections for near surface Effects: Decomposition of the magnetotelluric impedance tensor and scaling corrections for regional resistivities: A tutorial, *Surv. Geophys.*, 13, 341-379.
- Groom, R.W., Bailey, R.C., 1989. Decomposition of the magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, *J. Geophys. Res.*, 94 (B2), 1913-1925.

- Masero, W., Schnegg, P.-A. and Fontes, S.L., 1994. A magnetotelluric investigation of the Araguinha impact structure in Mato Grosso-Goiás, central Brazil, *Geophys. J. Int.*, 116, 377-392.
- Padilha, L.A., Trivedi, N.B., Vitorello, I. and Costa, J.M, 1992. Upper crustal structure of the northeast Paraná basin, Brazil, determined from integrated magnetotelluric and gravity measurements, *J. Geophys. Res.*, 97 (B3), 3351-3365.
- Swift, C.M., Jr., 1967. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States, PhD thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Wannamaker, P.E., Stodt, J.A., Rijo, L., 1987. A stable finite element solution for two-dimensional magnetotelluric modelling, *J. R. Astr. Soc.*, 88, 277-296.
- Zhang, P., Rasmussen, T.M. and Pedersen, L.B., 1988. Electric resistivity structure of the Siljan impact region, *J. Geophys. Res.*, 93, 6485-6501.