



Universidade Federal do Pará
Campus de Marabá



Faculdade de Geologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MARTA NASCIMENTO DELGADO OLIVEIRA

APROVEITAMENTO DA CAMADA DE BAUXITA
NODULAR COMO MINÉRIO NA MINA ALCOA,
JURUTI-PA

MARABÁ

2012

MARTA NASCIMENTO DELGADO OLIVEIRA

APROVEITAMENTO DA CAMADA DE BAUXITA
NODULAR COMO MINÉRIO NA MINA ALCOA,
JURUTI-PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof^ª. *D.Sc.* Ana Valéria dos
Reis Pinheiro.

MARABÁ

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Oliveira, Marta Nascimento Delgado

Aproveitamento da camada de bauxita nodular como minério na mina Alcoa, Juruti - PA / Marta Nascimento Delgado Oliveira ; orientadora, Ana Valéria dos Reis Pinheiro. — 2012.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Geologia, Marabá, 2012.

1. Bauxita - minas e mineração - Juruti (PA). 2. Bauxita - Análise. 3. Minas e recursos minerais. I. Pinheiro, Ana Valéria dos Reis, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 338.274926098115

MARTA NASCIMENTO DELGADO OLIVEIRA

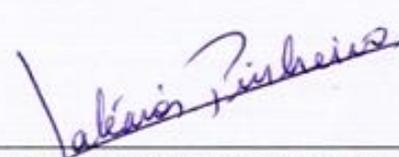
APROVEITAMENTO DA CAMADA DE BAUXITA
NODULAR COMO MINÉRIO NA MINA ALCOA,
JURUTI-PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

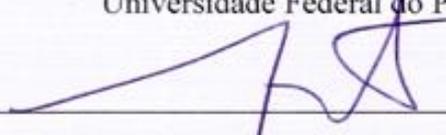
Data de aprovação: 30/03/12

Conceito: 15 x C

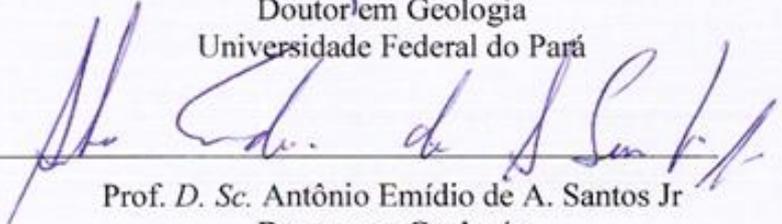
Banca examinadora:



Prof.^a D.Sc. Ana Valéria dos Reis Pinheiro – Orientadora
Doutora em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. D. Sc. Raimundo Nonato do E. S. dos Santos
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. D. Sc. Antônio Emídio de A. Santos Jr
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Aos meus pais, Alcides e Ivete
Que sempre me apoiaram e me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o autor da minha vida, que sempre me dá força nos momentos de fraqueza e nunca me abandona

Aos meus pais, Alcides e Ivete, que sempre tiveram como prioridade a educação de seus filhos, abdicando muitas vezes de seus sonhos para que nós pudéssemos alcançar os nossos, e que sempre me incentivaram no decorrer deste curso, acordando muitas vezes de madrugada pra me levar à universidade nos dias de pratica de campo, e acompanhando minhas madrugadas de estudos.

Aos meus irmãos, Mariana e George, que mesmo não estando sempre presentes, me ajudaram nos meus objetivos quando possível.

Ao meu namorado, Daiak, que sempre acreditou em mim e nesta reta final me incentivou com sua companhia durante as madrugadas, estudando comigo, mesmo sua área de estudo não tendo afinidade com a minha, apenas para ajudar a me manter acordada.

A minha orientadora, Ana Valéria dos Reis Pinheiro, por toda a atenção, dedicação e paciência durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos dos grupos de estudos, Aguinaldo, Carlos, Jhonatan, Rafael, Carla, Lélya, Raiane e tantos outros, que dividiram comigo noites insones de estudos, seja em laboratório descrevendo lâmina e amostras de mão ou em casa estudando para as “terríveis” provas, em especial Raquel e Aucilene, me acompanharam e ajudaram na conclusão deste trabalho.

Às minhas equipes de campo, Moisés e Luis (CampoI) , Norato e Cláudio (Campo II), que dividimos belos e animados dias de caminhada, conversas e aprendizado.

A equipe de Geologia de Mina ALCOA, que me apoiaram durante meu estágio na empresa, em especial André, meu gestor direto, que não me negou apoio mesmo à distância, enviando as informações que precisava principalmente um tutorial, sem o qual meu trabalho não seria o mesmo, e Clodoaldo, que abraçou a bauxita nodular como à menina dos olhos e sempre foi muito atencioso, nunca me negando ajuda.

Aos meus amigos estagiários, Rafael, Vinícius, Diego, Gutto, Elza e Alexandre pelo apoio durante os trabalhos e convivência harmoniosa que conseguimos ter.

Aos professores da Universidade, pela contribuição durante minha graduação.

Aos demais colegas da faculdade, pelas eternas amizades que fiz ao longo desta graduação.

“A felicidade consiste em ter um ideal a buscar e ter a certeza de estar dando passos firmes no caminho da busca”.

Içami Tiba

RESUMO

O depósito de bauxita identificado em Juruti-PA é do tipo “blanket”, encontra-se nos platôs Mauari, Guaraná, Capiranga e Central, e foi originado durante o Plioceno-Pleistoceno. Corresponde a um horizonte laterítico que pode ser dividido em três zonas distintas: argila Belterra, zona de laterita concrecionária e a zona saprolítica. Por sua vez a zona de laterita pode ser subdividida em três subzonas: bauxita nodular, laterita e bauxita maciça. Na Mina Alcoa Juruti apenas a subzona da bauxita maciça é extraída e aproveitada como minério. No entanto, as análises químicas das amostras da subzona da bauxita nodular evidenciaram que em algumas porções da área, que atualmente está sendo explorada, a mesma apresenta recuperação mássica e teores de alumina e sílica que possibilitam o seu aproveitamento como minério. Além do mais, possui em média uma espessura significativa e o teor de ferro apresentado é baixo, o que não implicaria na diminuição do teor de alumina, e conseqüentemente na redução da qualidade do minério. A partir dos dados de furos de três campanhas de sondagem realizadas pela Alcoa, foi possível a confecção de seções representativas, para análise do comportamento da camada de bauxita nodular, fazer a avaliação da reserva, e gerar mapas de isoteor de alumina, sílica e ferro, sendo que a partir da união destes foi possível delimitar a área apropriada para o aproveitamento da bauxita nodular, ora descartada.

Palavras chaves: Bauxita nodular, teor, minério, Juruti-PA

ABSTRACT

The bauxite deposit identified in Juruti-PA is on plateaus Mauari, Guarana, Capiranga and Central is a "blanket", originated during the Pliocene-Pleistocene. Correspond to a laterite horizon that can be divided into three distinct zones: Belterra clay, concretionary laterite zone and the saprolitic zone. In turn, the laterite zone can be subdivided into three subzones: nodular bauxite, laterite and bauxite mass. In Alcoa Juruti Mine just subarea massive bauxite is extracted and utilized as ore. However the chemical analyzes of samples of nodular bauxite layer showed that in some portions of the area currently being explored has the same mass recovery and concentration of alumina and silica allowing its use as ore. Furthermore, it has an average thickness and a significant amount of iron introduced is low, it would not cause the decrease of content of alumina, thus reducing the quality of the ore. From the data of holes three drilling campaigns conducted by Alcoa, it was possible the preparation of representative sections to analyze the behavior of nodular bauxite layer, making the evaluation of reserves, and generate isocontent maps alumina, silica and iron, and from the union of these was possible to delimit the area suitable for exploitation nodular bauxite, sometimes discarded.

Keywords: Nodular Bauxite, concentration, ore, Juruti-PA

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização (Girodo et. al. 2005).....	13
Figura 2: Localização da Bacia do Amazonas. Modificado de Françolin (2007).....	16
Figura 3: Carta Cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas (Cunha et. al. 2007).	17
Figura 4: Mapa Geológico local.	20
Figura 5: Perfil litológico típico dos Platos Capiroanga, Mauari, Central e Guarana (GIRODO et. al., 2005).....	21
Figura 6: Esquema de lavras em tiras. (GIRODO et. al., 2005).....	24
Figura 7: Mapa de drenagem com enfoque na área sondada.....	26
Figura 8: Bauxita Nodular Microcristalina.....	27
Figura 9: Bauxita Nodular Macrocristalina.	27
Figura 10: Imagem SRTM mostrando a área de estudo e as seções representativas.....	28
Figura 11: Seção AA	30
Figura 12: Seção BB.....	31
Figura 13: Seção CC.....	32
Figura 14: Seção DD	33
Figura 15: Mapa de isoteor de Alumina.	35
Figura 16: Mapa de Isoteor de sílica.	35
Figura 17: Mapa de isoteor de ferro.	36
Figura 18: Mapa da união dos isotores de Alumina, Ferro e Sílica destacando a área apropriada para o aproveitamento da bauxita nodular.....	37

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	V
AGRADECIMENTOS	VI
EPÍGRAFE	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	10
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. LOCALIZAÇÃO.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.3. JUSTIFICATIVA	14
1.4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2. GEOLOGIA REGIONAL	15
3. GEOLOGIA LOCAL.....	20
3.1. A LAVRA	23
3.2. DRENAGEM	24
3.3. BAUXITA NODULAR	26
4. RESULTADOS.....	34
4.1. MAPAS DE ISOTEOR	34
4.2. AVALIAÇÃO DA RESERVA	38
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A bauxita é um minério de importância industrial para a obtenção do alumínio metálico e de seus compostos. Juruti possui uma reserva com potencial de cerca de 700 milhões de toneladas métricas, sendo um dos maiores depósitos de bauxita de alta qualidade do mundo, sendo explorado atualmente pela empresa Alcoa. Esta reserva está dividida nos platôs Capiroanga, Guaraná, Central e Mauari. Desenvolveu-se sobre a Formação Alter do Chão, de idade neocretácica, gerando um perfil geológico bastante persistente, com horizontes de bauxita relativamente bem definidos e contínuos.

Os depósitos foram formados “in situ” por processos lateríticos sobre rochas sedimentares clásticas, em condições climáticas tropicais úmidas (GIRODO et. al., 2005). Estes depósitos apresentam espessura de ordem métrica, alcançando e ultrapassando raramente 10 metros e acentuadas variações laterais nos teores de Al, Si e Fe.

No perfil de laterização podem ser identificadas três zonas distintas: argila Belterra, zona de laterita concrecionária e zona saprolítica. A zona de laterita, por sua vez, pode ser subdividida em três subzonas: bauxita nodular, laterita e bauxita maciça.

Na grande maioria dos projetos de mineração de bauxita a única camada que é aproveitada para extração e comercialização do minério é a bauxita maciça, por esta apresentar maiores teores de alumina.

O presente trabalho vem mostrar através da análise dos furos de três campanhas de sondagem, que a camada de bauxita nodular presente nos depósitos de Juruti apresenta teores que justificariam seu aproveitamento, aumentando assim a produtividade da mina.

1.1. LOCALIZAÇÃO

Os depósitos de Juruti situam-se na margem direita do rio Amazonas, no município de Juruti, extremo oeste do Estado do Pará (Figura 1). Está compreendida entre as coordenadas UTM 560.000 e 596.000 Leste e 9.712.000 e 9.760.000 Norte, Zona 21S, “Datum” SAD69.

A cidade de Juruti está localizada a 200 km, via barco da cidade de Santarém, centro econômico mais importante da região. Da sede municipal de Juruti chega-se à área da mina e usina de classificação através de estrada, em um percurso de 56 km.(Figura 1)

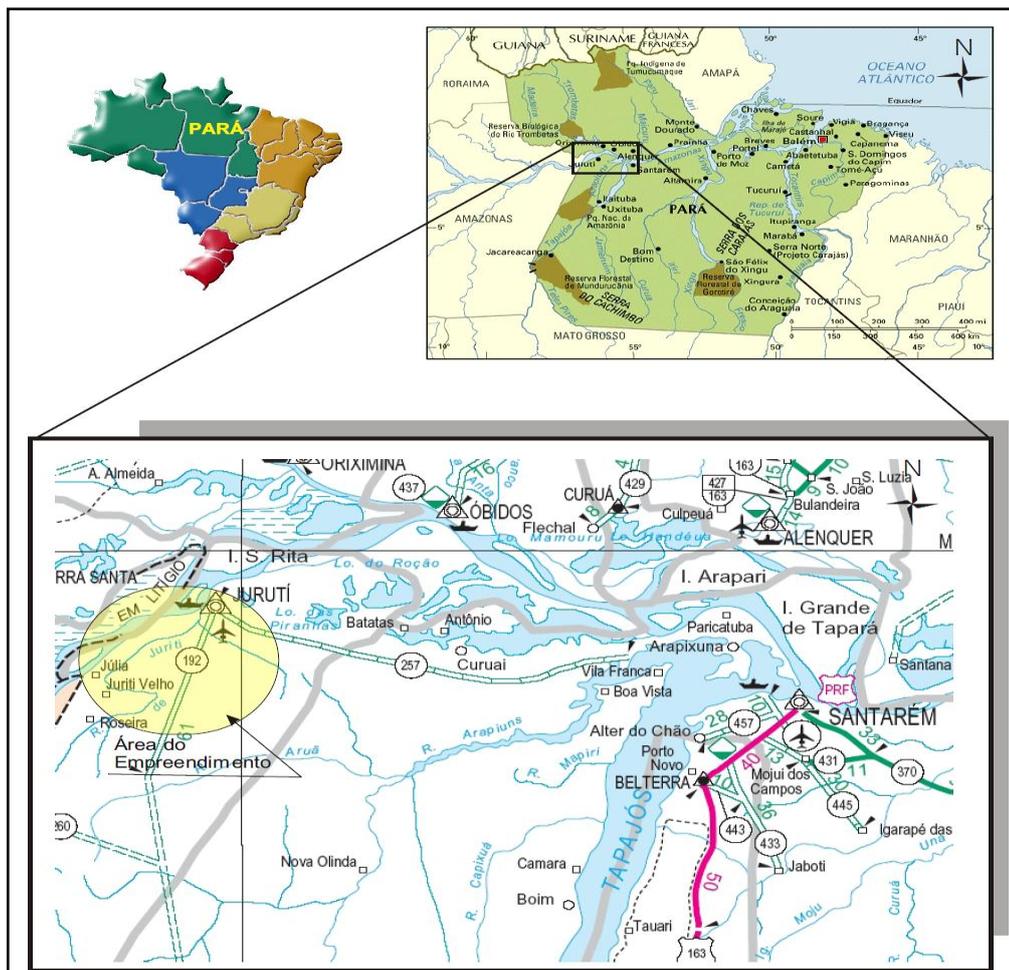


Figura 1: Mapa de localização (Girodo et. al. 2005)

1.2. OBJETIVOS

Como atualmente a Empresa Alcoa extrai apenas a bauxita maciça para ser beneficiada e comercializada, por apresentar os teores necessários para a comercialização. O presente trabalho tem o objetivo geral de caracterizar a camada de bauxita nodular apresentando os fatores que possibilitariam a sua extração também como minério. Para tanto foram traçados para este trabalho os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Elaboração de perfis e seções delimitando a camada de bauxita nodular.
- ✓ Elaboração de mapas de isoteor delimitando as áreas em que se encontra a bauxita nodular com teor ideal para o aproveitamento.
- ✓ Avaliação dos recursos e reserva da bauxita nodular.

1.3. JUSTIFICATIVA

A mina de Juruti, como os demais projetos de extração de bauxita, à exceção da mina de Porto Trombetas, utiliza apenas a bauxita maciça para comercialização, por essa ser mais fácil de ser beneficiada e a relação de porcentagem de ferro ser menor, pois a presença de ferro no minério diminui o teor de Alumina. No entanto, o presente estudo mostra que a camada de bauxita nodular em algumas porções do platô possui um teor de alumina bastante elevado, uma taxa de recuperação alta, e uma baixa porcentagem de ferro, que seria facilmente contornada no “blending” do minério ou por métodos de beneficiamento mais avançados. Sendo assim, esse trabalho tem o intuito de localizar e delimitar as áreas em que se encontra a bauxita nodular ideal para o aproveitamento.

1.4. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante as etapas iniciais do trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico referente à geologia da região, os depósitos de bauxita brasileiros e suas características, quanto à maturidade e gênese.

Utilizaram-se informações de furos de três campanhas de sondagem realizadas pela Alcoa, bem como dados das análises químicas e físicas destes furos. A partir dos quais foi possível a confecção de mapas de isoteor, perfis e seções geológicas para análise e interpretação das camadas de bauxita.

Foram realizadas também análises de imagens de Radar (SRTM – Shuttle RADAR Topography Mission – UNIVERSIDADE MARYLAND, 2009) para extração de drenagens, importantes para o entendimento da ação neotectônica, utilizando o método de lógica e sistemática proposto por Soares & Fiori (1976), e, por conseguinte na gênese e estruturação do depósito de bauxita.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Amazonas está situada entre os crátons das Guianas ao norte e do Brasil ao Sul, possui área de aproximadamente 500.000 km². Abrange parte dos estados do Amazonas e do Pará e separa-se a leste da bacia tafrogênica do Marajó através do Arco de Gurupá, e a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus (CUNHA *et. al.*, 2007) (Figura 2). A espessura total das rochas sedimentares que a preenchem atinge 5.000 m (CUNHA *et al.*, 1994).

O pacote sedimentar Fanerozóico da bacia está embasado sobre rochas metamórficas pertencentes às faixas móveis, ocidental e oriental, acrescidas a um núcleo central mais antigo denominado Província Amazônia Central (CORDANI *et. al.*, 1984), constituído por rochas essencialmente graníticas. A faixa móvel ocidental, formada por rochas graníticas e metamórficas, é denominada Faixa Móvel Ventuari-Tapajós (CORDANI *et al.* 2000), e a faixa móvel oriental, também constituída por rochas graníticas e metamórficas, designada Faixa Móvel Maroni-Itacaiúnas.

A Bacia do Amazonas pode ser dividida em duas megassequências de primeira ordem, uma paleozóica, constituída por rochas sedimentares de naturezas variadas, associadas a um grande volume de intrusões de diques e soleiras de diabásio mesozóicos, e uma mesozóico-cenozóica formada apenas por rochas sedimentares (CUNHA *et. al.*, 2007) (Figura 3).

A Megassequência Paleozóica pode ser dividida em quatro sequências de segunda ordem, designadas como Sequência Ordovício-Devoniana, Sequência Devono-Tournaisiana, Sequência Neoviseana e Sequência Pensilvaniano-Permiana.

A Sequência Ordovício-Devoniana é composta pelo Grupo Trombetas (LUDWIG, 1964), que segundo Grahn (2005), abrange as seguintes formações com suas respectivas idades: Autás Mirim, composta por arenitos e folhelhos neríticos neo-ordovicianos; Nhamundá, composta por arenitos neríticos e glaciogênicos eossilurianos; Pitinga, composta por folhelhos e diamictitos marinhos silurianos; Manacapuru, constituída por arenitos e pelitos neríticos neossilurianos – eodevonianos; Formação Jatapu (CUNHA *et. al.*, 2007), constituída por arenitos e siltitos marinhos parálcos, de idade eodevoniana (MELO; LOBOZIAK, 2003).

A deposição da Sequência Ordovício-Devoniana é encerrada pelo reflexo da Tardiocloyica (ca. 400 Ma) (CUNHA *et. al.* 1994) responsável pelo hiato que a separa da Sequência Devono-Tournaisiana.

A Sequência Devono-Tournaisiana é formada pelos grupos Urupadi e Curuá. O Grupo Urupadi (CAPUTO, 1984) abrange as formações Maecuru, composta de arenitos e pelitos neríticos a deltáicos, de idade neo-emsiana - eo-eifeliana, e Ererê, constituída por siltitos, folhelhos e arenitos neríticos, parálicos, de idade neo-eifeliana - eogivetiana (MELO; LOBOZIAK, 2003). O Grupo Curuá, segundo Cunha *et. al.*, (2007) é constituído apenas por três formações: Barreirinha, Curiri e Oriximiná.

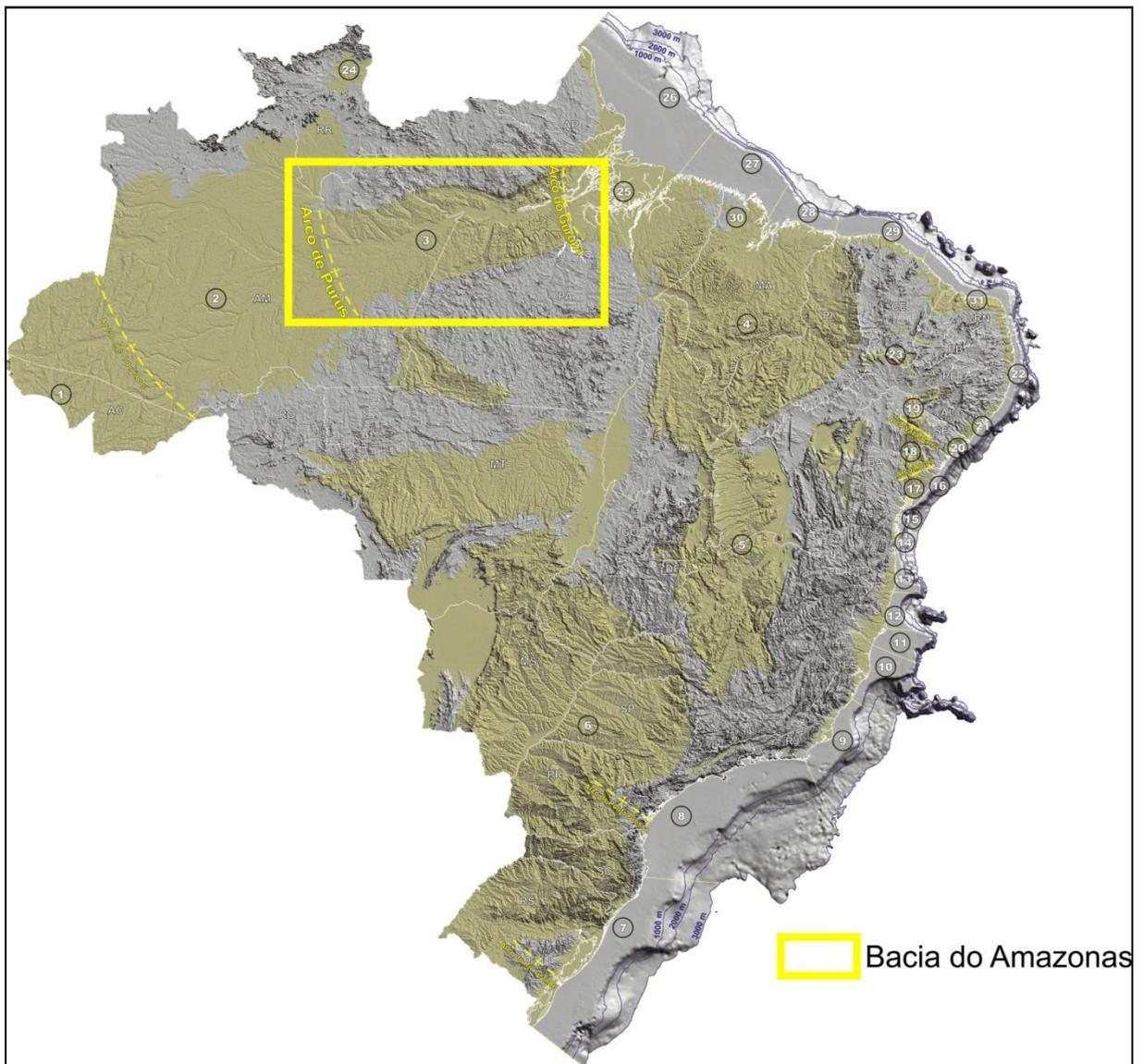


Figura 2: Localização da Bacia do Amazonas. Modificado de Françolin (2007)

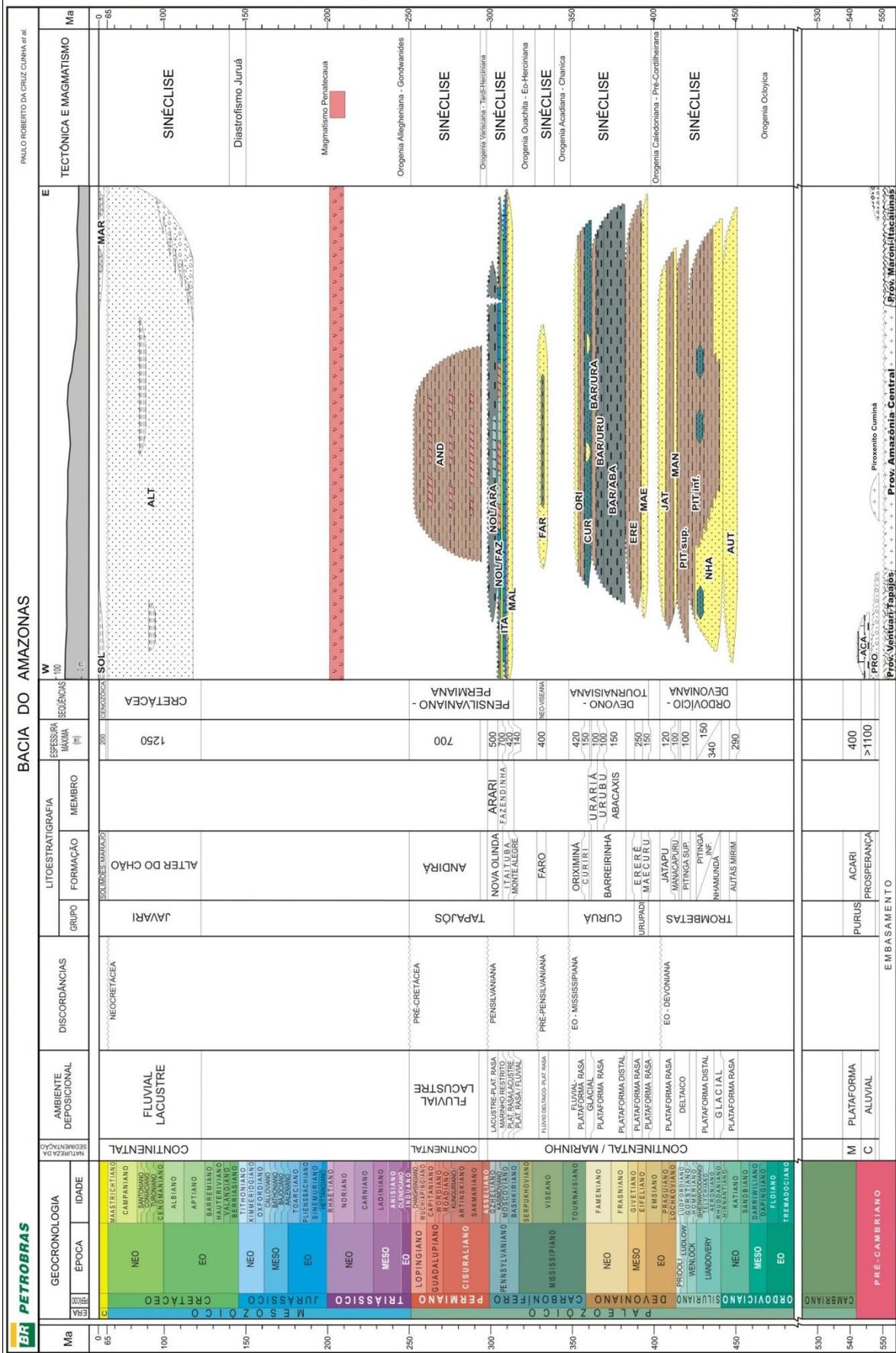


Figura 3: Carta Cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas (Cunha et. al. 2007).

Segundo Cunha *et. al.* (2007), a Formação Barreirinha consiste de folhelhos cinza-escuros a pretos, físseis, carbonosos, folhelhos cinza-escuros a claros e siltito que se depositaram durante um lapso de 12 Ma a 18 Ma, que perdurou desde o Eofrasniano até o eo-ou Mesofameniano, segundo as palinozonas de Melo & Loboziak, *op. cit.* Essa unidade está separada da Formação Curiri por uma discordância erosiva de curta duração temporal.

A Formação Curiri, de idade fameniana terminal ou “struniana” (MELO; LOBOZIAK, 2003.), é constituída principalmente de diamictitos e, secundariamente, folhelhos, siltitos e arenitos de ambientes glacial a periglacial.

Por fim, a Formação Oriximiná, constituída por arenitos e siltitos subordinados, de idade “struniana” a mesotournaisiana (MELO; LOBOZIAK, *op. cit.*), que está separada da Sequência Neoviseana por uma discordância erosiva. Esta sequência é constituída unicamente pela Formação Faro, formada por arenitos e pelitos flúvio-deltaicos e litorâneos com influência de tempestades.

Após um hiato temporal de cerca de 15 Ma, a Sequência Pensilvaniano-Permiana se depositou em um novo ciclo deposicional de natureza transgressivo-regressiva, constituída pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, reunidas no Grupo Tapajós.

A Formação Monte Alegre, de idade neobashkiriana (PLAYFORD; DINO, 2000; MELO; LOBOZIAK, *op. cit.*), é formada por arenitos eólicos e de “wadis”, intercalados por siltitos e folhelhos (COSTA, 1984). Sobreposta a ela, depositou-se a Formação Itaituba composta de folhelhos, carbonatos e anidritas, com idade neobashkiriana - moscoviana (LEMOS, 1990; PLAYFORD; DINO, *op. cit.*). Sobre esta formação depositou-se os calcários, anidritas e halitas da Formação Nova Olinda, de idade moscoviana – permiana, segundo Playford & Dino (*op. cit.*).

Associada aos efeitos da orogenia Tardiherciniana, depositou-se a Formação Andirá, de idade Asseliano/Sakmario – Changhsingiano (DAEMON; CONTREIRAS, 1971; PLAYFORD; DINO, 2000). Essa unidade é representada por siltitos e arenitos avermelhados (“red beds”) e raros anidritas.

Posteriormente, a bacia sofreu processos distensivos, na direção leste-oeste, seguidos de magmatismo básico na forma de enxames de diques e soleiras de diabásio orientados na direção norte-sul permo-jurássicos e juro-triássicos. A formação de dutos norte-sul para as intrusões permo-jurássicas relaciona-se com o término dos esforços gondwanides, ao passo que os magmas básicos juro-triássicos ocupariam as fraturas originadas ou reativadas pelo processo de separação das placas africana e sul-americana (COSTA *et. al.*, 1996).

A Megassequência Mesozóico-Cenozóica é constituída pelas sequências Cretácea e

Terciária. Estas, em conjunto, constituem o Grupo Javari (EIRAS *et al.* 1994; CUNHA *et al.* 1994), então representado pelas formações Alter do Chão, Solimões e Marajó assentado diretamente sobre a discordância do topo do Paleozóico, conhecida como discordância pré-cretácea (CUNHA *et al.*, 2007).

Durante o Cretáceo, instalou-se um sistema fluvial de alta energia estendendo-se até as bacias subandinas. Na Bacia do Amazonas, esse processo originou a deposição dos arenitos grossos, variegados, da Formação Alter do Chão, além de arenitos e conglomerados de fácies de planície e leques aluviais, restritos à porção oriental da bacia. O clima nessa época era úmido, como o atestam as bandas ferrosas lateríticas em alguns níveis arenosos da unidade e a paleodrenagem corria de leste para oeste, em direção ao Oceano Pacífico. A idade da Formação Alter do Chão varia de idade desde o Cretáceo Inferior (Aptiano – DINO *et al.* 1999) até o Cretáceo Superior (Maastrichtiano – DAEMON; CONTREIRAS, 1971). Evidências recentes dão conta da ocorrência de um paleossolo desenvolvido sobre essa unidade, considerado como paleogênico (Paleoceno) (HORBE *et al.* 2001).

Após o soerguimento da cadeia Andina, essa região foi isolada no Paleógeno e a consequente compensação isostática deslocou o depocentro Terciário para a região subandina. Os rios cretáceos transformaram-se em lagos rasos de água doce, assoreados por rios meandantes de baixa energia que depositaram pelitos contendo níveis com restos vegetais e conchas de moluscos, típicos da Formação Solimões, que se assenta em discordância sobre a Formação Alter do Chão. Após a culminância do soerguimento andino, no Mioceno, a bacia passou a ser alimentada por sedimentos oriundos daquela cadeia montanhosa e a rede de drenagem passou a ser dirigida ao Oceano Atlântico.

No extremo leste da Bacia do Amazonas, ocorrem sedimentos predominantemente arenosos e secundariamente argilosos, datados do Paleógeno (Paleoceno/Eoceno) correlacionados com aqueles associados à fase pós-rifte da Bacia do Marajó (GALVÃO, 2004), oriundos de uma intensa deposição arenosa sob condições flúvio-deltáicas e fluviais, com algumas contribuições marinhas que ocorreram naquela bacia, tendo-se extrapolado para além do Arco de Gurupá, conectando-se com a porção oriental da Bacia do Amazonas. Provavelmente, ocorrem ainda, sobrepostos, sedimentos cronoequivalentes à Formação Barreiras (Mioceno), com comprovada distribuição em todo o litoral norte brasileiro.

3. GEOLOGIA LOCAL

A região onde está inserida a área das jazidas é representada pela Formação Alter do Chão, de idade Cretáceo Superior – Terciário Inferior (Figura 4).

A Formação Alter do Chão é caracterizada por sedimentos continentais vermelhos, incluindo, essencialmente, arenitos argilosos, argilitos, quartzo-grauvacas, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais. A característica mais notável desta unidade é pertinente ao aspecto econômico, pois a mesma encerra grandes depósitos de bauxita, que estão localizados, principalmente nos municípios de Almerim, Oriximiná, Faro, Juruti e Paragominas.

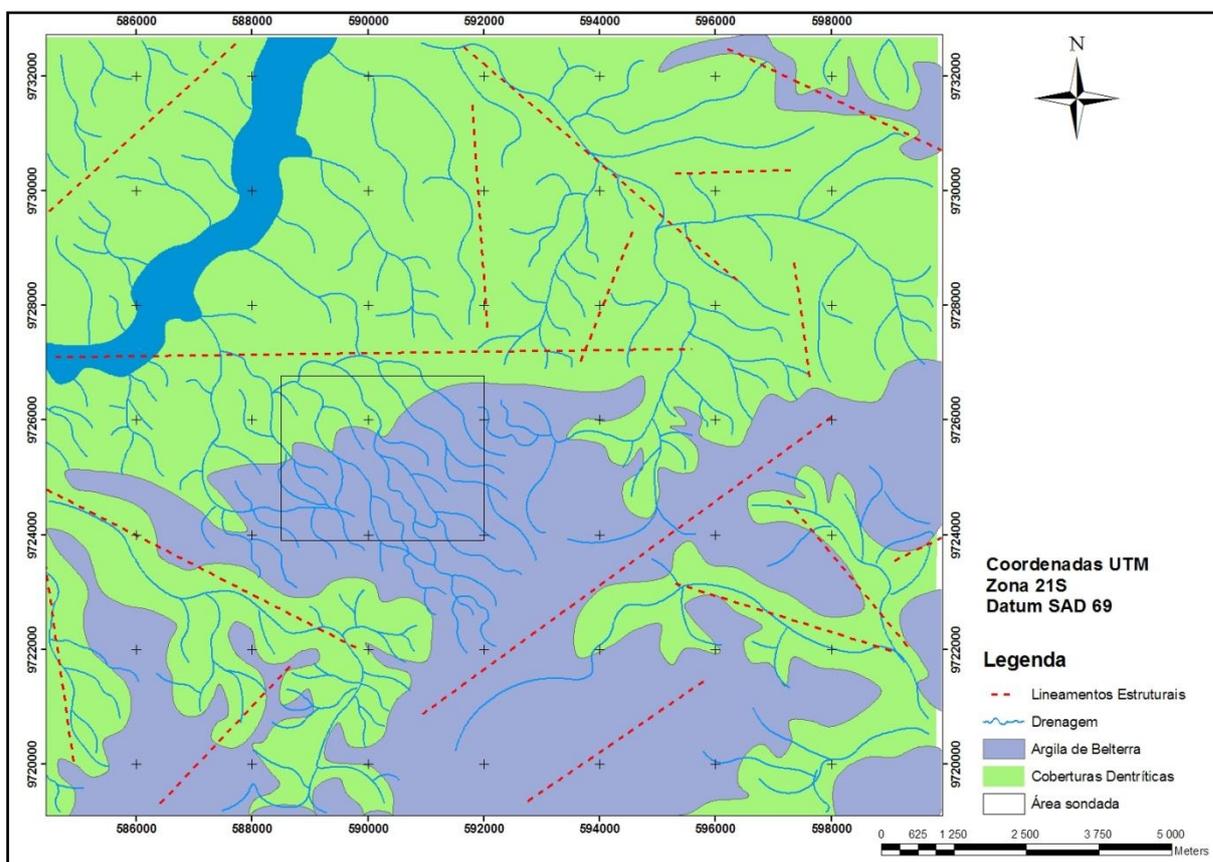


Figura 4: Mapa Geológico local.

Os depósitos são do tipo "blanket" e estão localizados nas partes superiores dos platôs, em camadas praticamente horizontais, 100 a 200 m em relação ao nível do Rio Amazonas. Segundo Wolf (1972) o período de bauxitização seria, possivelmente, o Plioceno-Pleistoceno, podendo ter atingido o Holoceno.

Em Juruti, o depósito de bauxita que corresponde, até o momento, aos platôs Mauari,

Guaraná, Capiranga e Central, apresenta um topo aplainado, com cotas da ordem de 130 m a 140 m, com encostas abruptas e bastante ravinadas, recortadas por inúmeras drenagens. Geralmente, o desnível chega a atingir mais de 80 m em relação ao nível do Lago Grande do Juruti. O depósito de Juruti corresponde a um horizonte laterítico posicionado no topo dessa sequência, o qual pode ser dividido em três zonas distintas: argila Belterra, zona de laterita concrecionária e a zona saprolítica. Por sua vez, a zona de laterita pode ser subdividida em três subzonas: bauxita nodular, laterita e bauxita maciça (GIRODO et. al., 2005) (Figura 5).

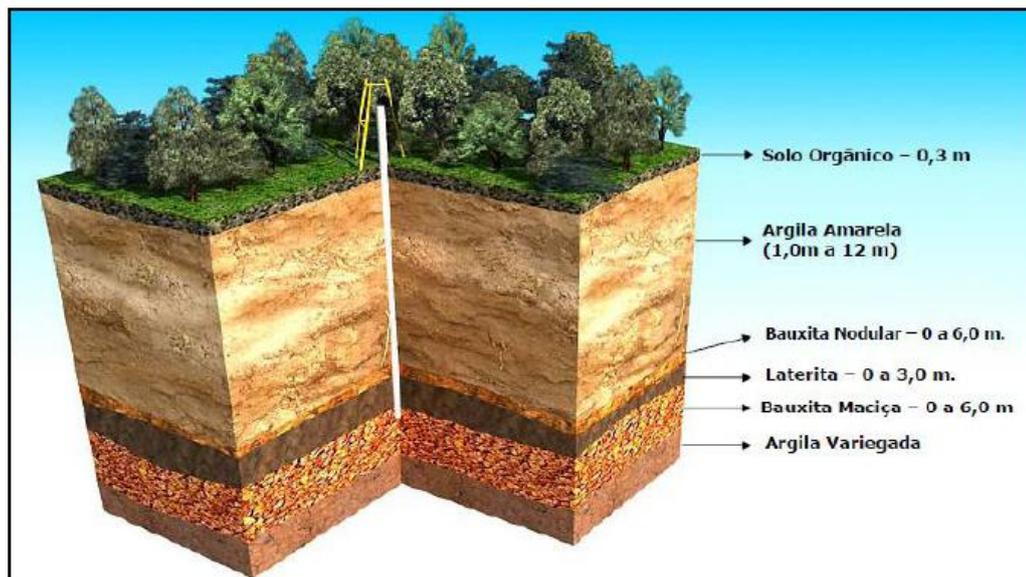


Figura 5: Perfil litológico típico dos Platos Capiranga, Mauari, Central e Guaraná (GIRODO et. al., 2005)

A Argila Belterra consiste numa cobertura de argila caulínica, amarelada, bem uniforme e permeável, cuja espessura varia de 0 a 12 m nos centros dos platôs.

A Bauxita Nodular é um horizonte descontínuo, chegando a atingir seis metros de espessura, consiste em nódulos de gibbsita, finamente cristalina, de tamanhos variáveis, distribuídos em uma matriz caulínica. São comuns neste horizonte nódulos ferruginosos que conferem elevados teores nas análises de Fe_2O_3 .

Os nódulos, que representam de 50 a 70% desse horizonte descontínuo, têm forma desde irregular até arredondados e variam de pisólitos individuais até agregados cimentados que podem pesar até mais de 9 kg. São formados por uma massa microcristalina de gibbsita (65 a 75%) e caulinita (15% a 20%) e secundariamente goethita, hematita, argilas, anatósio e quartzo, enquanto que os pisólitos ferruginosos são principalmente compostos por uma mistura de goethita, limonita e caulinita.

Segundo GIRODO et. al., (2005), a tendência, neste horizonte, é o aumento do conteúdo de ferro (Fe_2O_3) com a profundidade. Como regra geral, os pequenos nódulos apresentam, após o processo de lavagem do material, um teor mais elevado em SiO_2 do que os maiores nódulos, devido a sua maior superfície relativa exposta à contaminação de argila.

A Laterita corresponde a um horizonte de baixa sílica, com espessura de 0 a 3 m e consideráveis variações na dureza, textura, cor, relação ferro-alumina e conteúdo de sílica. Em alguns locais, esse material pode ser classificado como bauxita ferruginosa, face ao seu alto teor em Al_2O_3 . É essencialmente um horizonte pedológico, representado por um uma matriz de material ferruginoso ou gibbsítico, contendo em ordem decrescente gibbsita, hematita, goethita, anatásio, caulinita e quartzo.

A parte superior desse horizonte, no contato com a bauxita nodular, é formada por grandes nódulos, cimentada por óxido de ferro. Existe uma graduação da bauxita nodular para a laterita e desta para o horizonte superior de bauxita maciça, mas essa faixa de transição raramente excede a 30 cm.

O nível de laterita pode ser subdividido em 3 subhorizontes, uma laterita ferruginosa com argila castanha e elevado teor de Fe_2O_3 (35 a 40%), seguida por um subhorizonte de material com textura de brecha, contendo argila amarelada, que não é cimentado com o subhorizonte inferior, tendendo a se quebrar em grandes fragmentos ao longo dos planos preenchidos por argila. Como característica principal, apresenta SiO_2 e Fe_2O_3 bastante elevados. O subhorizonte inferior, maciço e mais duro, também apresenta uma textura brechóide. Os nódulos são cimentados por gibbsita microcristalina, rósea a vermelha. Este nível apresenta um alto teor de Fe_2O_3 e um baixo teor de SiO_2 . Nem sempre estes subhorizontes, cujos contatos são graduais, estão presentes ao longo de uma mesma seção.

A Bauxita Maciça possui uma espessura variando de 0 a 6 m, é essencialmente constituído de gibbsita (45% a 85%), hematita (6% a 40%), caulinita (6% a 32%) e, secundariamente, noselita ($3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$) do grupo da sodalita, quartzo e anatásio. Sempre apresenta uma graduação com o horizonte superior pela substituição gradativa do Fe_2O_3 por SiO_2 . A dureza, textura e coloração variam com o teor de ferro e conteúdo em argila.

Tipicamente, o topo da camada de bauxita maciça é formado por uma capa dura de bauxita ferruginosa, quartzosa, de coloração vermelha, com elevado conteúdo de Fe_2O_3 (20 a 30 %) e com espessura variando de 0,3 a 2,0 m (média de 1,0 m).

A parte intermediária desta camada é formada por bauxita com diversos tipos de textura, sem zoneamento preferencial, ocorrendo variações tanto laterais como verticais, as

quais refletem na composição química do minério. Esta bauxita denominada bauxita celular, também denominada zona esponjosa ou “spongy zone” apresenta septos de bauxita cristalizada, com células vazias ou preenchida também por gibbsita, substituída por argila caulínica à medida que se aproxima do horizonte superior da argila variegada. Apresenta um baixo teor de Fe_2O_3 (8 a 12%) e baixa sílica.

Na base, a bauxita toma a forma de “pipes” ou nódulos, que adentram a argila variegada e recebem o nome de bauxita colunar. A Passagem da bauxita maciça para o horizonte inferior é gradual e o contato é muito ondulado.

A Argila Variegada consiste num horizonte composto de argilas caulínicas de cores variegadas, em geral avermelhadas a rosadas, com trechos esbranquiçados e matizes arroxeados, contendo, eventualmente, alguma gibbsita. Localmente, apresenta concreções alongadas de bauxita colunar, compostas de gibbsita microcristalina em posição vertical neste horizonte argiloso.

3.1. A LAVRA

O depósito de bauxita da Mina Juruti ocorre em camadas horizontais que se estendem por uma vasta área, devido à estas características o método de lavra mais indicado é o “Strip Mining” (lavra em tiras).

Devem ser consideradas três etapas sequenciais na lavra da bauxita por este método: a primeira delas consiste na retirada e armazenamento da vegetação e do solo vegetal, a segunda é o decapeamento, ou seja, a retirada das camadas de solo que cobrem a bauxita e a terceira é a extração da bauxita, previamente descoberta. Fazem-se cortes paralelos no solo seguindo essas três etapas, sendo que as camadas de solo removidas servirão de preenchimento para o corte previamente minerado (Souza, 2001)

Por combinar as operações de lavra do minério com a disposição do estéril, evitando a ocupação de novas áreas e os impactos ambientais decorrentes, o método de lavra em tiras é considerado um dos mais eficientes ambientalmente (Figura 6).

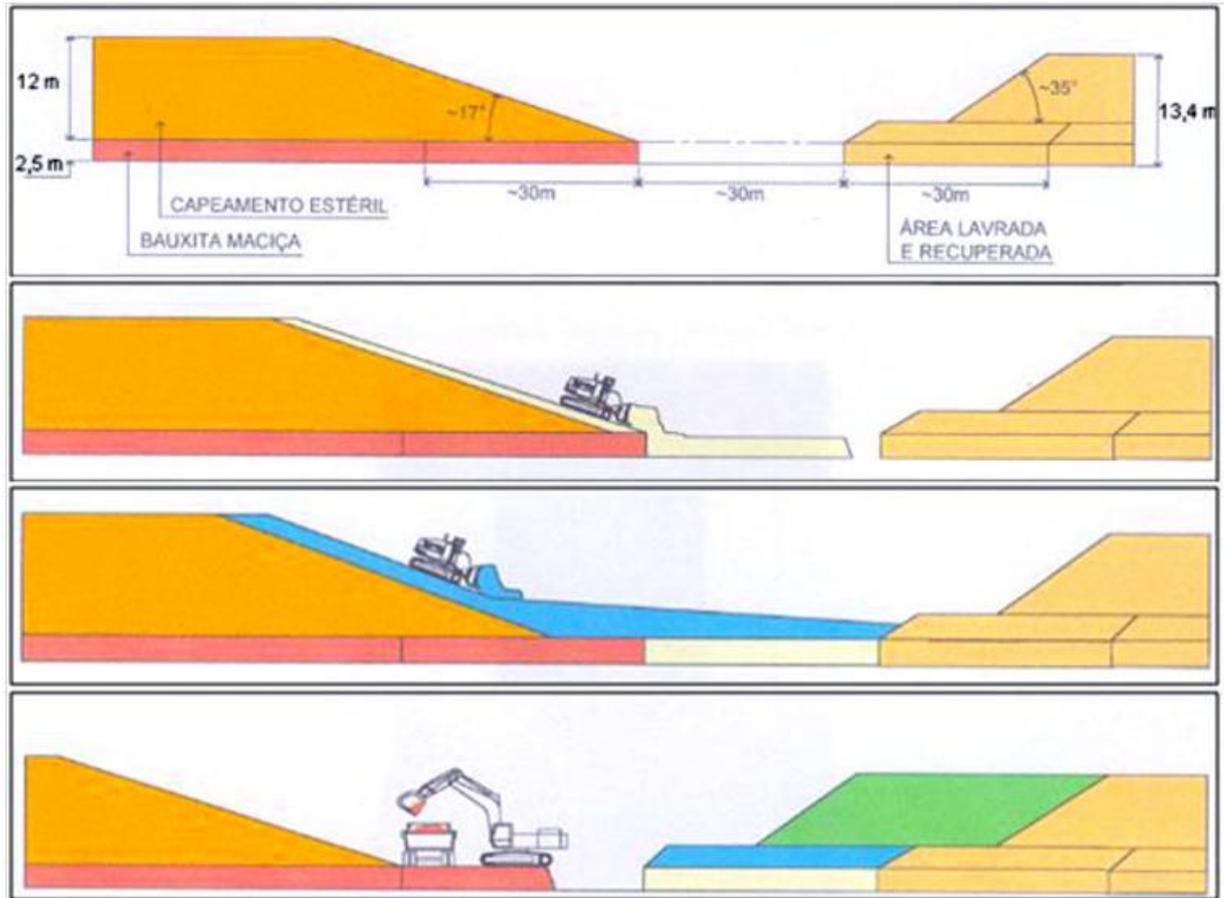


Figura 6: Esquema de lavras em tiras. (GIRODO et. al., 2005)

O principal horizonte mineralizado, de valor econômico, é a bauxita maciça que apresenta, lateralmente, variações de espessura e dos seus conteúdos mineralógicos. Suas características proporcionam ao Projeto Juruti a comercialização de um minério com teor de Al_2O_3 total $\geq 46,5\%$, $\text{SiO}_2 \leq 4,6\%$ e de umidade $\leq 13\%$. A produção em 2011 da mina foi de aproximadamente 5,0 Mt. Considerando uma recuperação mássica média do circuito de lavagem de 71,3% e uma umidade média 13% (GIRODO et. al., 2005).

3.2. DRENAGEM

De acordo com as propriedades de drenagem principais propostas por Soares & Fiori (9176), a drenagem existente na área em que se encontra o depósito (Figura 7), apresenta densidade alta, principalmente na área em que foram realizadas as campanhas de sondagem, possui um padrão paralelo, a tropia é unidirecional, apresenta um forte controle estrutural com

os cursos de água orientados principalmente no sentido SE-NW, possui baixa angularidade, e sinuosidades curvas.

Segundo Lima (2002) o padrão de drenagem paralelo indica uma inclinação do terreno, ocorrendo em terrenos planos ou em zonas com elevado a médio grau de dissecação, estando geralmente associado a terrenos sedimentares estruturados, sob a forma de cuesta ou “hogback”.

Esta informação coincide com a característica do terreno em estudo, pois após o período de estabilidade tectônica em que se formou o perfil bauxítico, essa região sofreu reestruturação neotectônica em dois pulsos de movimentação transcorrente do Mioceno/Plioceno e do Pleistoceno Superior/Recente, a que provocaram deslocamentos ao longo de feixes de falhas, geração de depósitos sedimentares e controle de padrões de drenagem e sistemas de relevo, sendo responsável também por desnivelar os platôs existentes na região amazônica (COSTA *et. al.*, 1996).

Segundo COSTA *et. al.* (*op. cit.*), as estruturas neotectônicas na região oeste do Pará ocorrem em pulsos distensivos e transcorrente, o primeiro pulso de caráter distensivo originou estruturas com direção NNE-SSW, o segundo de caráter transcorrente originou estruturas com direção ENE-WSW e o terceiro também de caráter distensivo originou estruturas com direção NW-SE.

Observando a figura 7 podemos perceber que os lineamentos estruturais diferenciam-se em três famílias principais com as mesmas atitudes da estruturação neotectônica, sendo que a área sondada encontra-se entre os três grandes lineamentos estruturais com estas características, o que vem firmar a forte estruturação da sua drenagem.

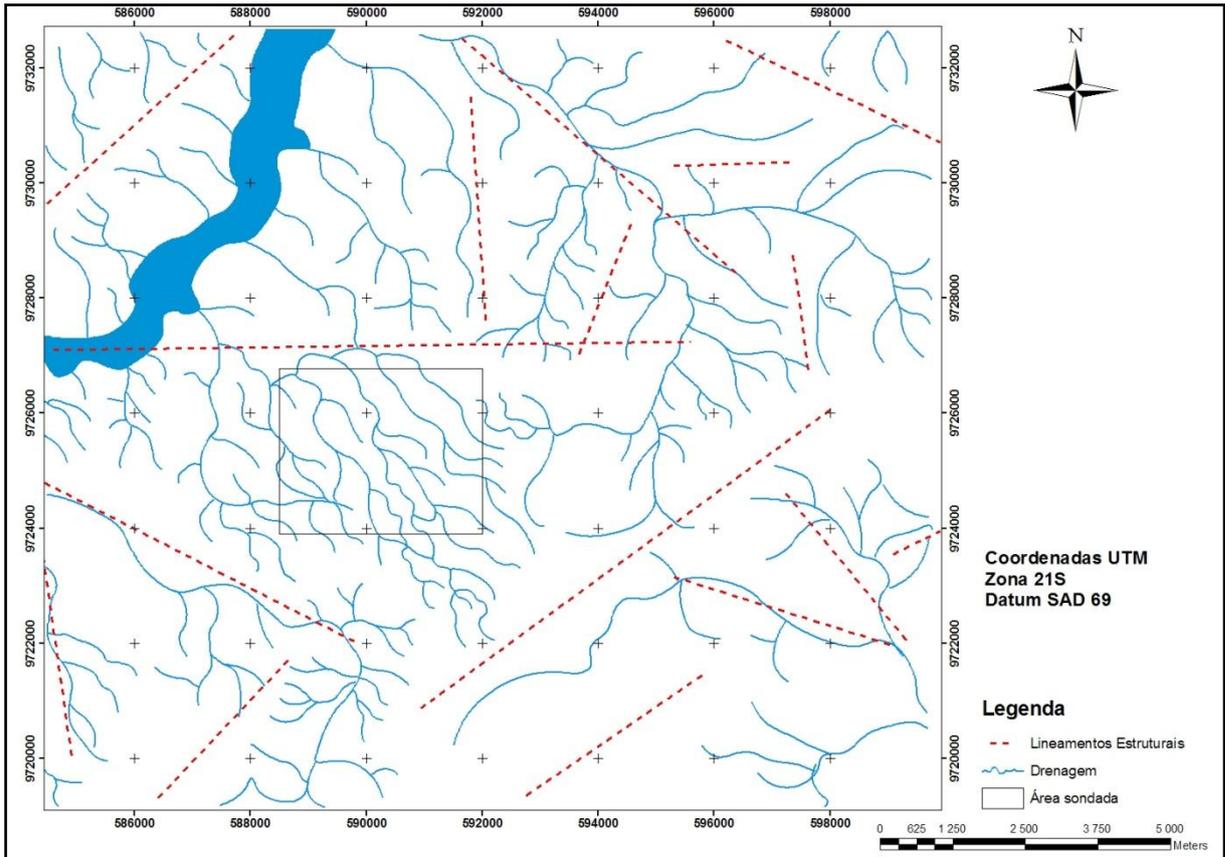


Figura 7: Mapa de drenagem com enfoque na área sondada.

3.3. BAUXITA NODULAR

A bauxita nodular no depósito de Juruti ocorre com espessuras variadas. A espessura varia desde 0,30 m até aproximadamente 5,0 m, sendo que em algumas porções essa camada não aparece. Podem ser diferenciados três tipos de bauxita nodular: a macrocristalina, a microcristalina e a porcelanada.

A bauxita microcristalina (Figura 8) possui coloração amarelo-alaranjado. Os cristais de gibbsita estão mergulhados em uma matriz de argila amarela formando porções rosadas em uma matriz amarela. Nesse tipo, o teor de alumina é baixo e a quantidade de sílica é bastante elevada, inviabilizando seu aproveitamento.



Figura 8: Bauxita Nodular Microcristalina.

A bauxita nodular porcelanada ocorre em menor quantidade, seus nódulos são bem menores quando comparados com os outros dois tipos. Os nódulos apresentam um núcleo formado por gibbsita microcristalina, sendo este envolvido por uma resistente capa de argila amarela. A relação de sílica e alumina neste tipo é alta.

A bauxita nodular macrocristalina apresenta coloração avermelhada, seus nódulos são os maiores encontrados e estão mergulhados em uma matriz de argila alaranjada (Figura 9). Esse tipo é o que possui maior teor de alumina e o que é mais facilmente diferenciado do capeamento argiloso do depósito, sendo assim o mais indicado para o aproveitamento.



Figura 9: Bauxita Nodular Macrocristalina.

A camada de bauxita nodular possui comportamento bastante irregular em toda a área

pesquisada. De posse dos dados das campanhas de sondagem foram analisadas 4 seções representativas, uma na porção norte, duas no meio e uma a sul (Figura 10).

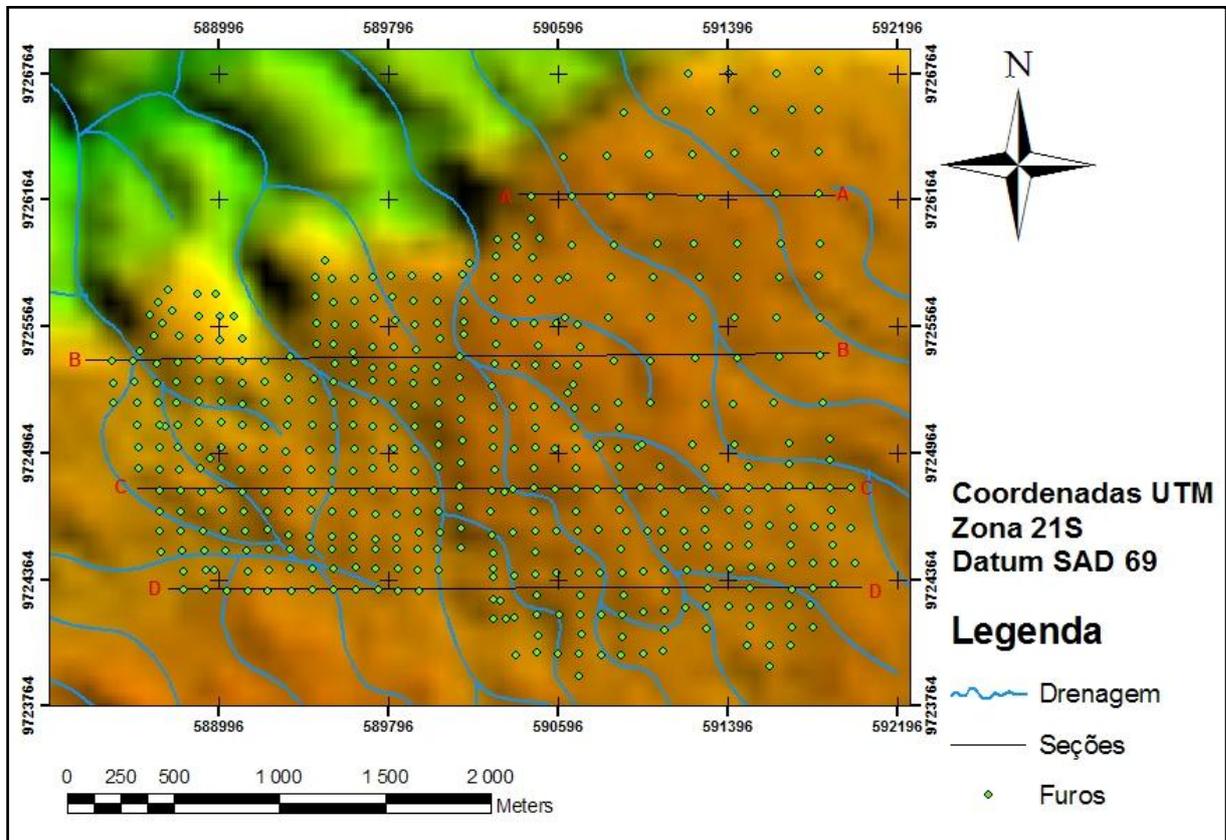


Figura 10: Imagem SRTM mostrando a área de estudo e as seções representativas.

Na porção norte, nos furos mais próximos da borda do platô a espessura da camada varia entre 0,40 a 0,60 m, chegando até mesmo a não ocorrer em um furo, enquanto que quanto mais longe da borda do platô essa espessura aumenta substancialmente, chegando a atingir 2,0 m no furo N1006-3628 (Figura 11).

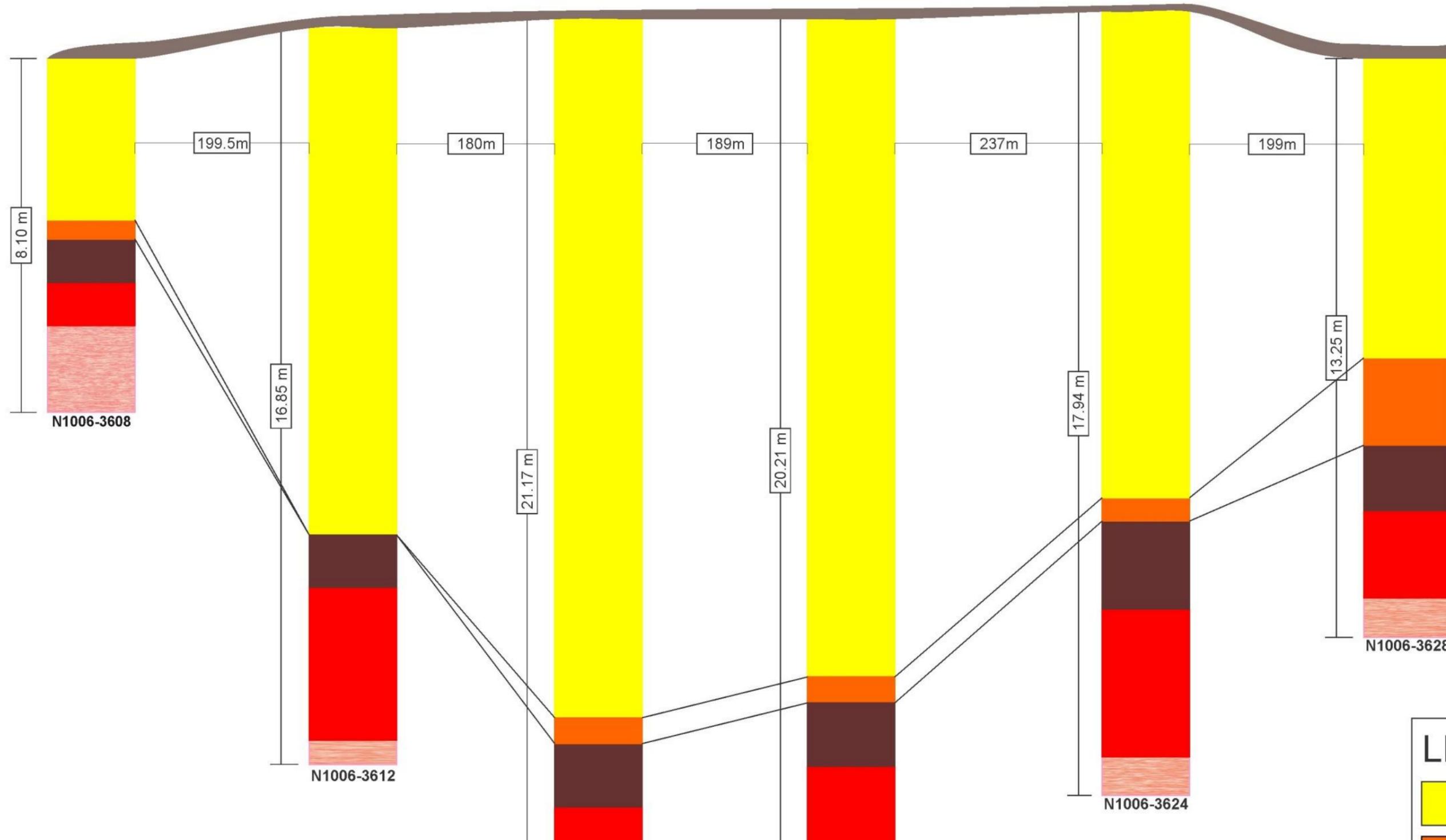
Na porção central, observando a seção BB (Figura 12), é possível perceber que, assim como na seção AA, nos furos mais próximos da borda do platô a espessura da camada de bauxita nodular é bem menos significativa ocorrendo principalmente nos furos situados mais a leste, como pode ser observado na subseção B'B, em que a espessura chega a atingir 2,75 m no furo N1011-1236. Na seção CC (Figura 13) a camada é bem mais constante e significativa, não ocorrendo em poucos furos quando comparada a seção BB.

Por fim, na seção DD (Figura 14), que se encontra praticamente no centro do platô a camada apresenta as maiores espessuras, principalmente na parte central da seção, chegando a atingir 4,60 m no furo N1015-3734, não sendo encontrada a camada de bauxita nodular apenas em um furo, N1015-2334.

Percebe-se então que dois fatores são determinantes para o comportamento da camada de bauxita nodular: o primeiro é que em todas as quatro seções analisadas os furos em que não se encontra a camada de bauxita nodular estão situados em uma drenagem ou próximos de uma e o segundo é que nos furos situados próximos a borda do platô a camada é menos espessa ou inexistente.

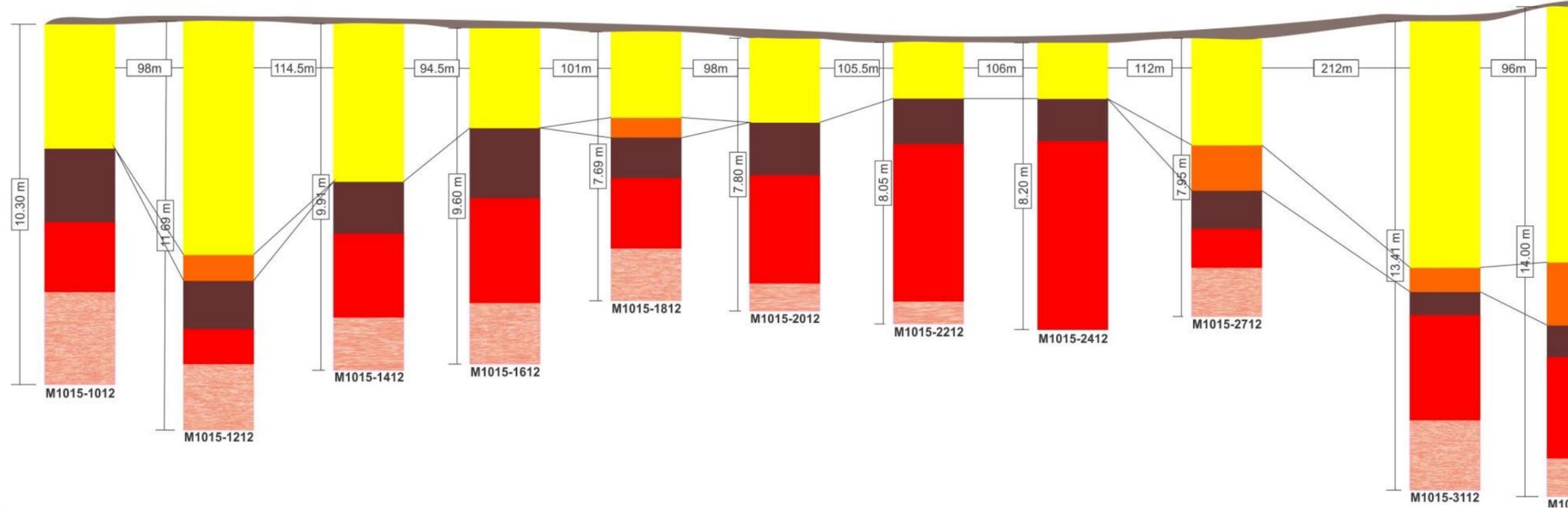
W

A



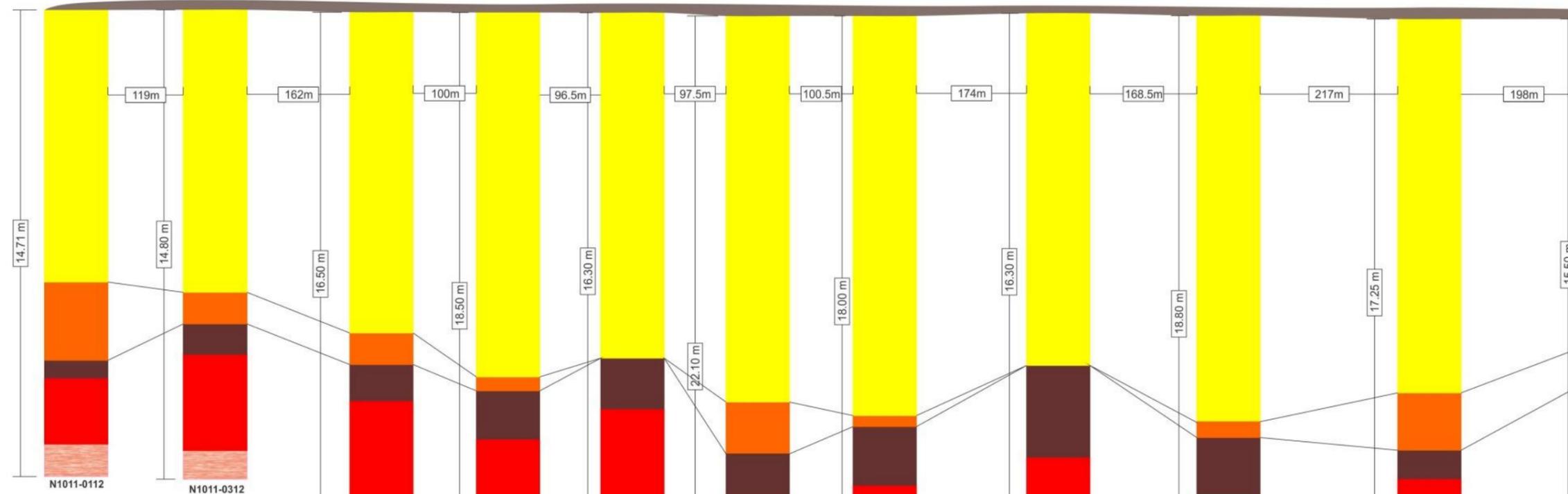
W

B



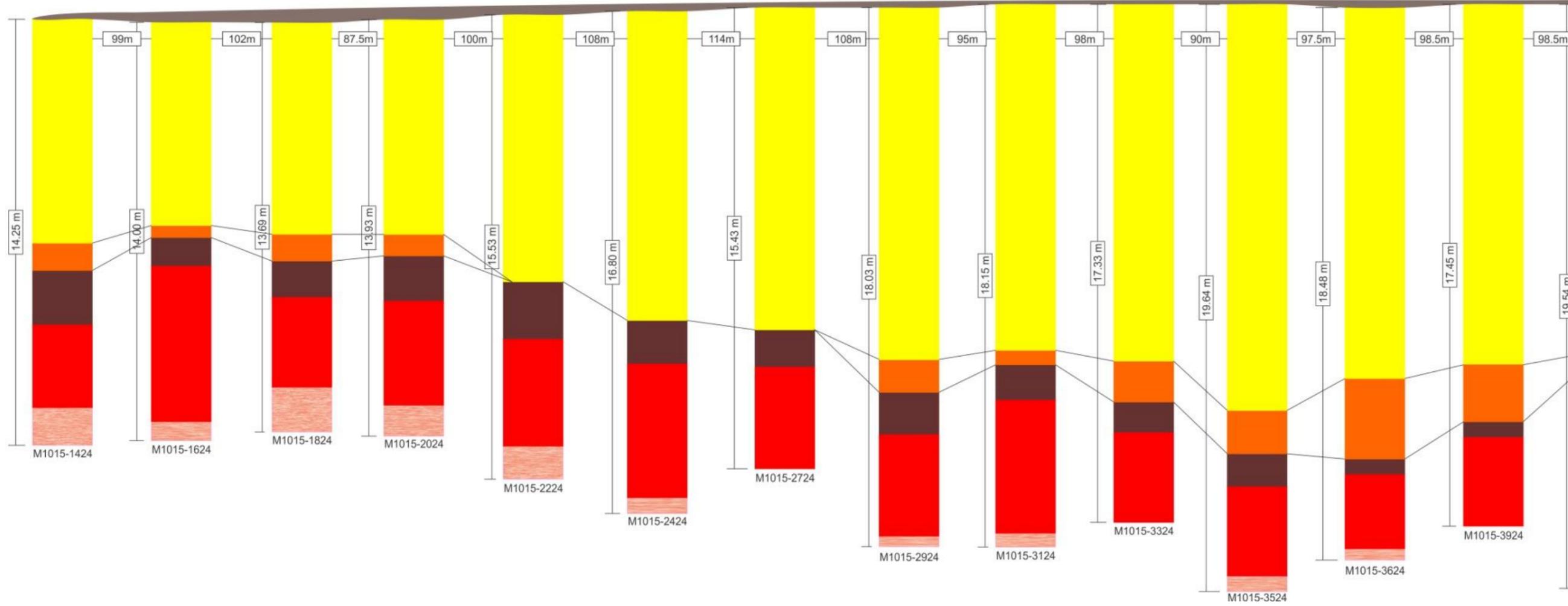
W

B'



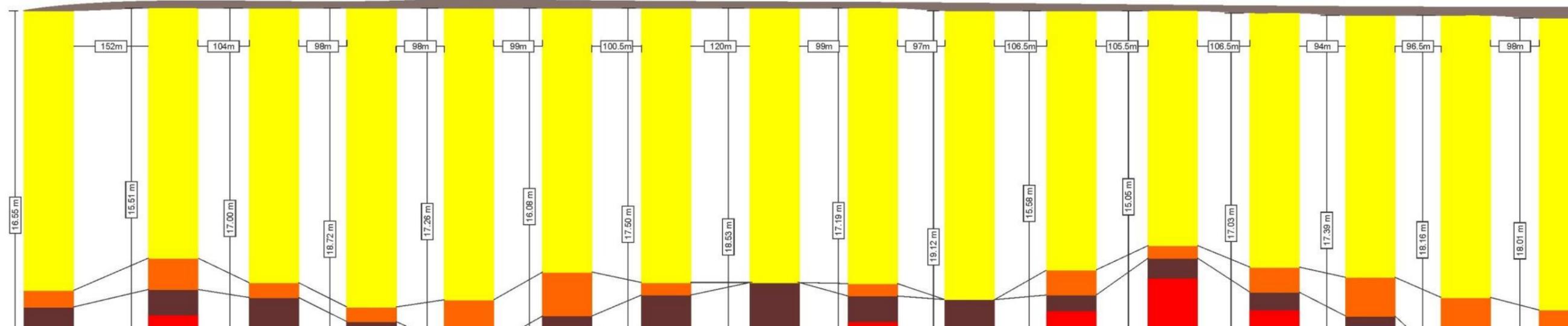
W

C



W

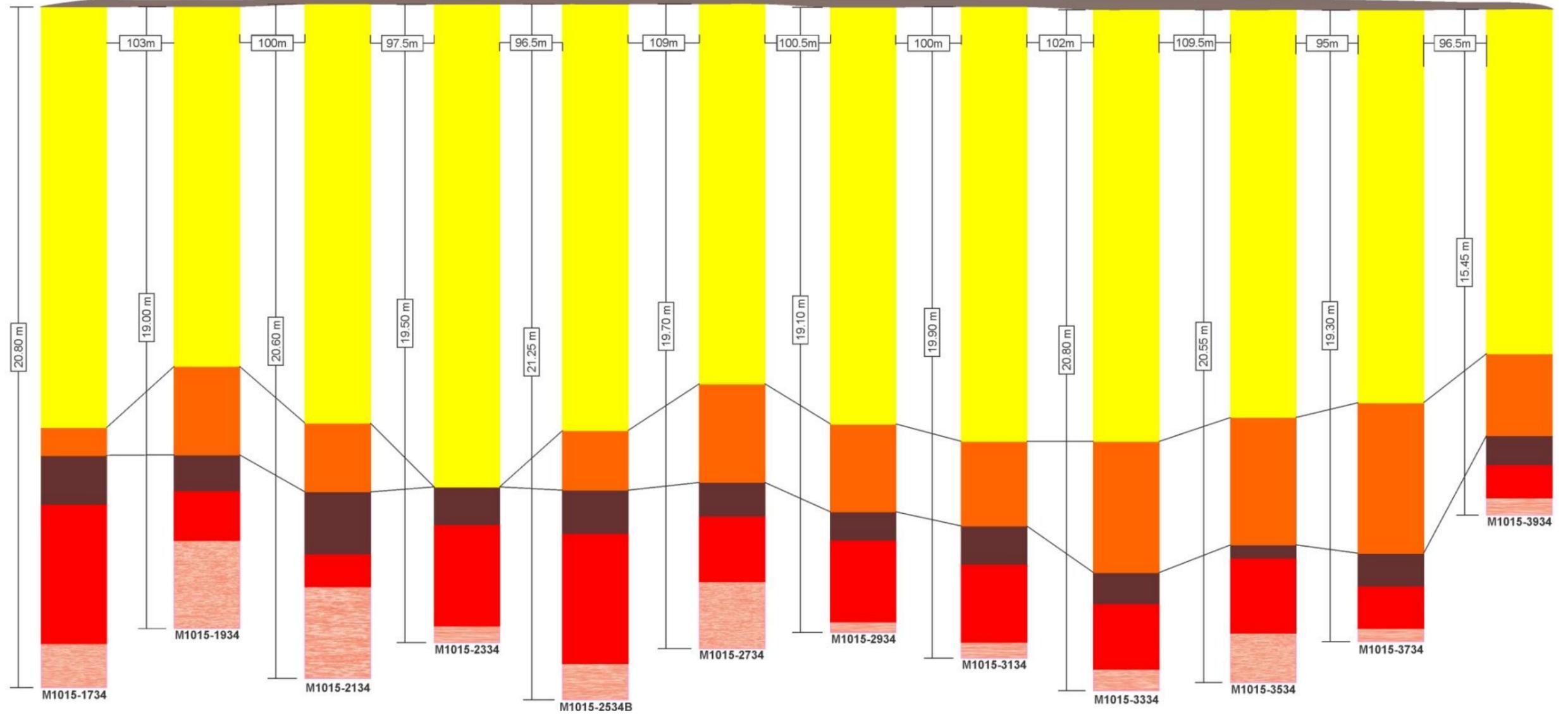
C'



W

D

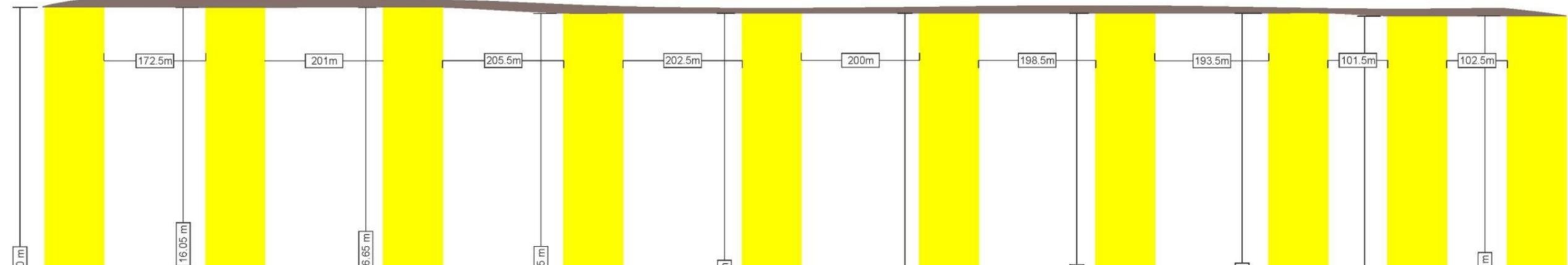
D'



W

D'

D



4. RESULTADOS

De posse das informações das análises químicas dos furos de sondagem que apresentam a camada de bauxita nodular foi possível a confecção de mapas de isoteor dos três determinantes principais para a qualidade de minério: Alumina, Sílica e Ferro e a avaliação da reserva.

4.1. MAPAS DE ISOTEOR

É importante ressaltar que quando se trata da bauxita maciça os valores ideais são Al_2O_3 total $\geq 46,5\%$, $\text{SiO}_2 \leq 4,6\%$ e $\text{Fe}_2\text{O} \leq 34\%$, já se tratando de bauxita nodular, esses valores se alteram um pouco, sendo aceito, segundo os critérios estabelecidos por estudos prévios realizados pela Alcoa, recuperação mássica $\geq 50\%$, Al_2O_3 total $\geq 45\%$, $\text{SiO}_2 \leq 8\%$ e $\text{Fe}_2\text{O} \leq 14\%$. Além desses teores, em ambos os casos a recuperação mássica deve ser maior que 50%.

Analisando os mapas de isoteor de alumina (Figura 15), sílica (Figura 16) e ferro (Figura 17) percebe-se que os maiores teores de alumina encontram-se na parte sul da área sondada, estendendo-se a leste, os menores teores de sílica também se encontram nas mesmas porções, já o ferro, como os outros parâmetros, os teores de ferro dentro do teor exigido nas mesmas áreas.

A partir destas observações, o maior determinante na delimitação das porções do platô ideais para o aproveitamento será a sílica, pois ela que apresenta o limite aceitável mais reduzido e, conseqüentemente, deve ser observado com maior cuidado, pois a grande quantidade de sílica dificulta o beneficiamento e diminui a qualidade do minério.

Unindo as informações dos três mapas foi possível delimitar a área com os parâmetros dentro dos determinados como ideais para o aproveitamento (Figura 18). Embora pareça uma área pequena, nesta porção encontra-se os furos em que a espessura da camada de bauxita nodular é mais espessa, possuindo assim um volume bem mais significativo quando comparado com a área que não é aproveitável.

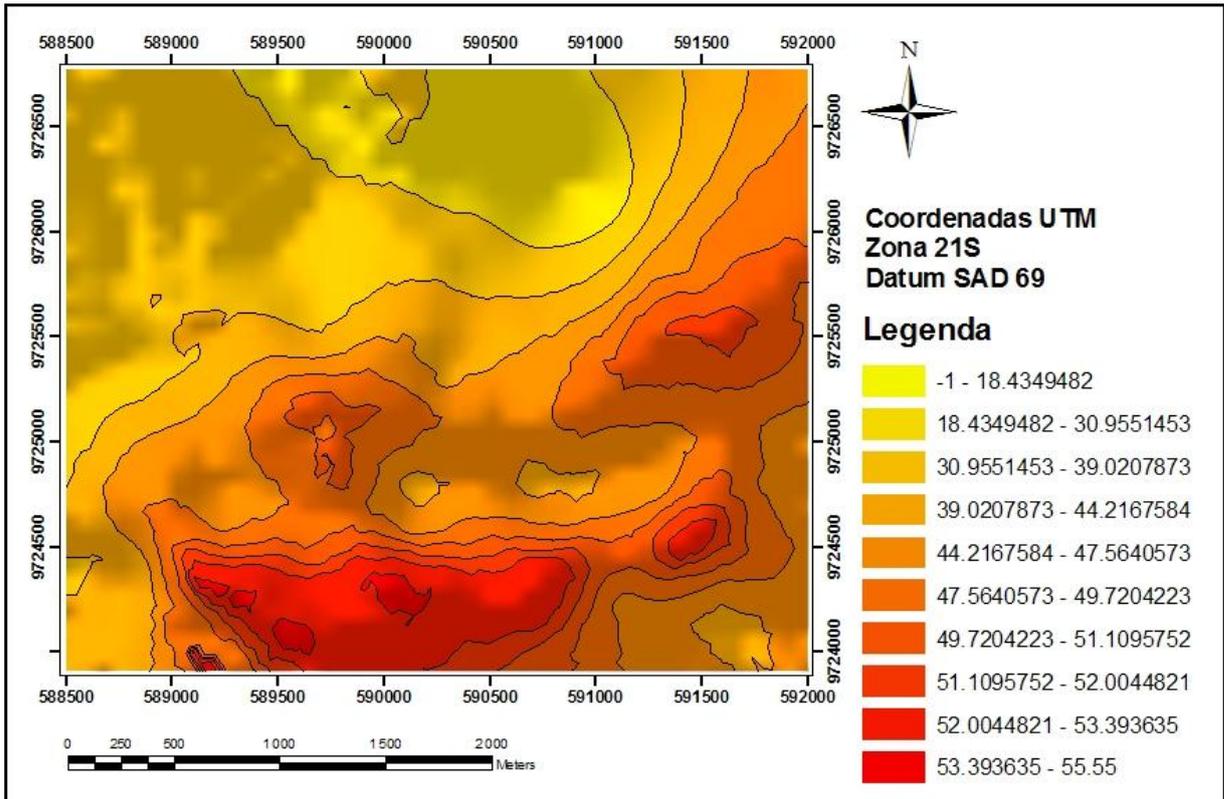


Figura 15: Mapa de isoteor de Alumina.

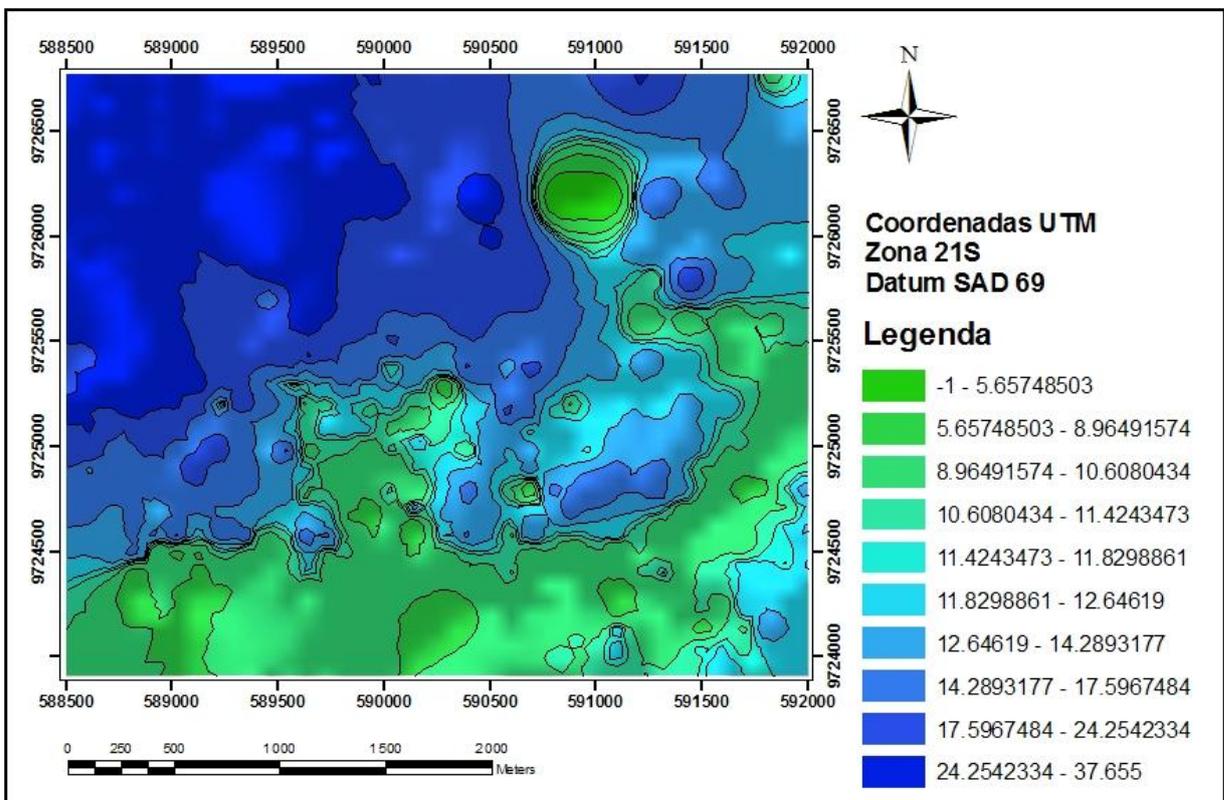


Figura 16: Mapa de Isoteor de sílica.

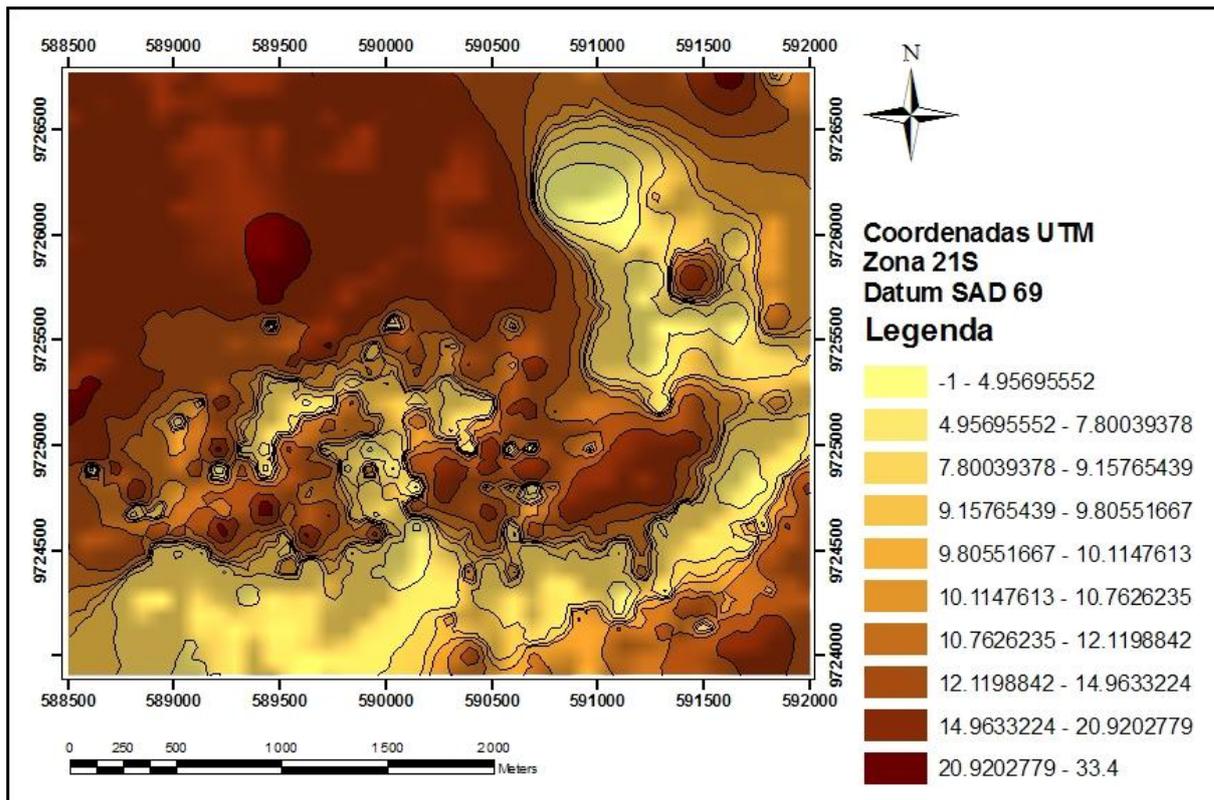


Figura 17: Mapa de isoteor de ferro.

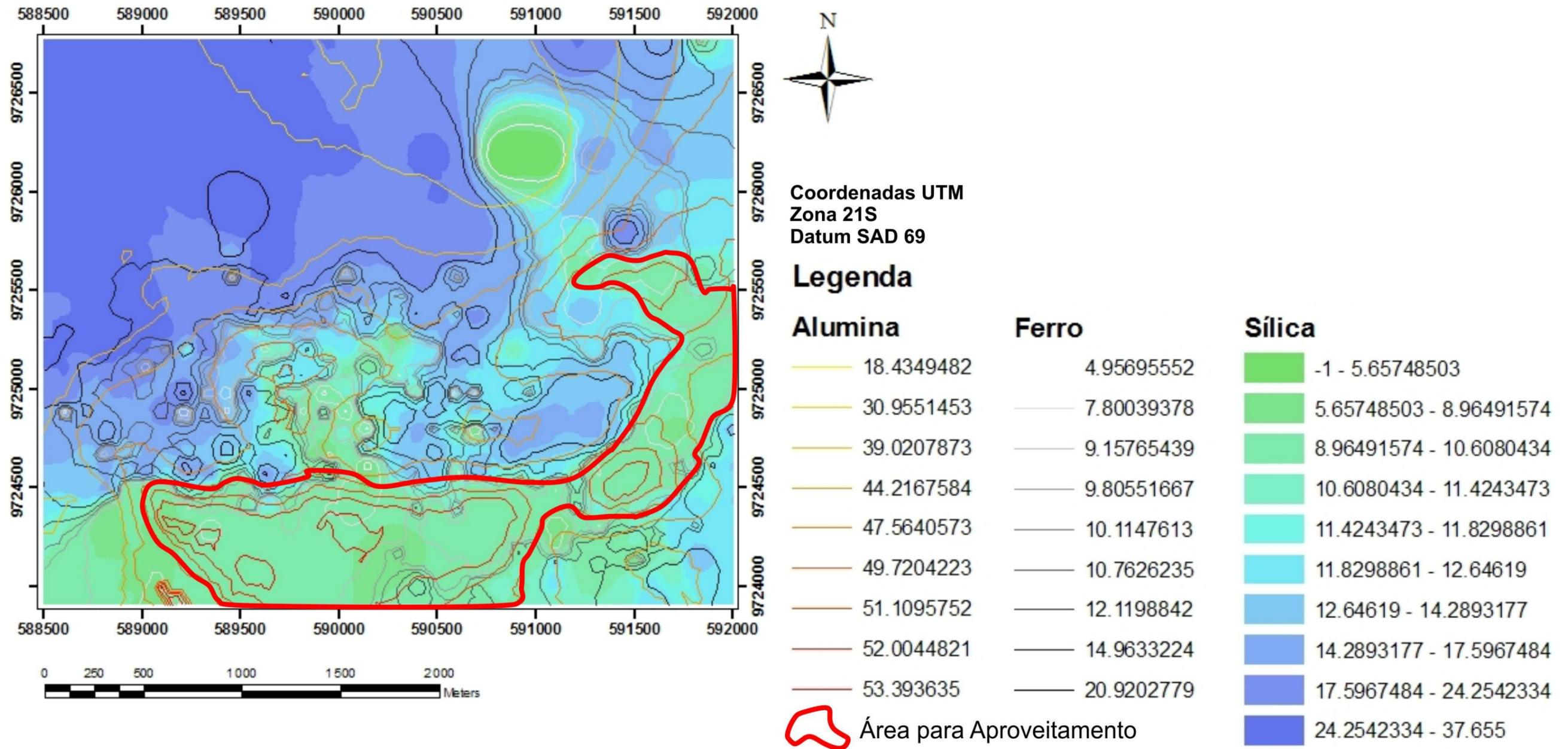


Figura 18: Mapa da união dos isotoes de Alumina, Ferro e Sílica destacando a área apropriada para o aproveitamento da bauxita nodular.

4.2. AVALIAÇÃO DA RESERVA

Ao realizar a avaliação dos recursos e reserva de um depósito mineral, ou como no caso, da camada em que se deseja incorporar como minério, é preciso ter em mente a definição de reserva mineral.

A expressão reserva mineral, segundo Zwartendyk (1972), implica que algum tipo de medição física tenha sido feita do teor e da quantidade de concentração mineral *in situ* e, além disso, que a sua extração seja viável do ponto de vista tecnológico, hoje ou num futuro próximo, e que possa ser realizada com lucro.

Alguns “softwares” de modelamento geológico auxiliam nesta medição e facilitam a determinação da tonelagem de minério existente. Na Alcoa usa-se o “Minisigth”, este software, gera um modelo de blocos, chamado GSM (“Gridded Seam Model”) ou modelo de camadas, no qual cada bloco tem 25 m². É utilizado em depósitos estratiformes onde as informações de sondagem são interpoladas e as dimensões verticais (Z) dos blocos variam conforme as espessuras das camadas, sendo gerado apenas um bloco por camada (Prates, 2010).

Para estimativa da espessura, da densidade e dos teores nos blocos, é utilizado o método IDW (“Inverse Distance Weighting”) por ser um método tradicional e confiável, uma vez que está fundamentado no fato de que as informações das amostras de furos vizinhos, em relação a um determinado ponto ou bloco do depósito, são proporcionais ao inverso das respectivas distâncias. Assim, amostras de furos próximos contribuirão com grande peso, ao contrário das amostras de furos distantes, que contribuirão com pequeno peso (Prates, *op. cit.*).

Cálculos já realizados pela Alcoa para camada de bauxita nodular com a utilização do “Minisight”, que aumenta a precisão dos resultados, sendo utilizados os blocos que apresentavam recuperação mássica $\leq 55\%$, alumina $\leq 52\%$ e sílica $\leq 10\%$ (teores estão ponderadas com a massa), determinaram para esta camada uma espessura média de 1,37 m, totalizando uma reserva de aproximadamente 50.000 T.

5. CONCLUSÕES

A camada de bauxita nodular apropriada para o aproveitamento encontra-se principalmente nas porções centrais do platô, sempre próximo aos cursos d'água, percebe-se a diminuição ou ausência da mesma. Segundo Carvalho & Boulangé (1997) a oscilação de água aumenta gradualmente o teor de ferro no perfil bauxítico e conseqüentemente causa a formação da crosta laterítica, acima desta crosta formariam inúmeros vazios que poderiam ser preenchidos por gibbsita, dando origem a nodular.

Seguindo essa mesma linha de raciocínio, foi possível concluir que a presença de drenagem, que provavelmente apresentavam um maior fluxo de água durante o processo laterítico, ocasionou um aumento do teor de ferro e conseqüentemente a geração de uma crosta laterítica mais espessa, em detrimento da ausência de bauxita nodular, uma vez que a presença de ferro seria maior que de alumínio ocorrendo o preenchimento dos espaços vazios por minerais de ferro, ao invés de gibbsita.

Outro ponto importante que pôde ser concluído é que um projeto de mineração, assim como os outros ramos comerciais, o ponto mais importante é a satisfação do cliente, não basta apenas ter grande quantidade de minério, é preciso atender as especificações do cliente, quanto aos teores, que no caso, exige um minério com teores de alumina de 47%, sílica ≤ 4 , e ferro ≤ 14 .

Partindo deste ponto e tendo em mãos os resultados aqui apresentados, uma grande parte da bauxita nodular presente nos depósitos de Juruti apresenta teores de alumina e ferro em uma porcentagem dentro das especificações e em algumas porções até melhores que o exigido.

Já a sílica, embora seja aceito uma porcentagem acima da exigida, essa diferença pode ser contornada na planta de beneficiamento através de processos de "blending" do minério, no entanto, se o teor de sílica for muito maior do que esperado na planta isso pode ocorrer acumulação de argila nas peneiras de lavagem, dificultando o processo, por isso a Alcoa, seguindo exemplo da MRN (Mineração Rio do Norte), na mina de Porto Trombetas, que já está fazendo o aproveitamento da bauxita nodular está com o projeto de uma nova planta de beneficiamento especialmente para este novo tipo de minério.

É importante ressaltar que a bauxita nodular não exigirá novos métodos para extração, uma vez que ela já é extraída como estéril, a partir do momento começar a aproveitá-la será necessário apenas um acompanhamento do processo de decapeamento para evitar que a mesma desperdiçada, e ao invés disso seja armazenada e beneficiada.

6. REFERÊNCIAS

CARVALHO, A., BOULANGÉ, B. The Bauxite of Porto Trombetas. In BRAZILIAN BAUXITES, Edited by A. Carvalho, B. Boulangé, A. J.Melfi, Y Lucas. -- São Paulo: USP, FAPESP; p 68-86. Paris: ORSTOM, 1997.

CAPUTO, M. V. Stratigraphy, tectonics, palaeoclimatology and palaeogeography of northern basins of Brasil. 1984. 586 p. Thesis (PhD) – University Califórnia, Santa Bárbara, 1984.

CORDANI, U. G.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1984. 70 p., il., (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de petróleo, n. 15).

CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal evolution of the South American Plataform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D. A. (Ed.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: [s.n.]: 2000. p. 19-40. International Geological Congress, 31., 2000, Rio de Janeiro.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Geonomos, v. 2, p. 23-44, 1996.

COSTA, M. G. F. Fácies deposicionais e ambientes de sedimentação da Formação Monte Alegre (Neocarbonífero) na área de Autás Mirim e adjacências, Bacia do Médio Amazonas. 1984. 90 p., il. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1984.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 47-55., jan./mar. 1994.

CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA, O.B. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007

DAEMON, R. F.; CONTREIRAS, C. J. A. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, v. 3, p. 79-88.

DINO, R.; SILVA, O. B.; ABRAHÃO, D. 1999. Caracterização palinológica e estratigráfica dos estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., Rio Claro. Boletim de Resumos Expandidos. Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geociências, 1999, p. 557-565.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N.S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobrás. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 17-45. jan./mar. 1994

FRANÇOLIN, J. B. L. Bacias sedimentares brasileiras. Carta estratigráficas. Anexo ao Boletim de geociências da Petrobrás 15 (2) Mai-Nov 2007.

GALVÃO, M. V. G. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Marajó. Aracajú: Fundação Paleontológica Phoenix, 2004. (Série Bacias Sedimentares, ano 6, n. 67).

GIRODO, A. C.; MARTINS P. C. P.; NUNES, N. Q.; LE, J. A.; SANTIM, A. W.; RODRIGUES, E. L.; PROENÇA, R. A.; REIS, A. O.; PINTO, L. C. N.; ARTHUSO, V.; VOLPE, M. C. G.; RHEIN, F. J.; PAES, M. A. P. **Plano de Aproveitamento Econômico – OMNIA MINÉRIOS LTDA** (2005), Juruti.

GRAHN, Y. Silurian and Lower Devonian chitinozoan taxonomy and biostratigraphy of the Trombetas Group, Amazonas Basin, northern Brazil. *Bulletin of Geosciences*, Prague, v. 80, n. 4, p. 245-276, 2005.

HORBE, A. M. C.; NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, M. A.; COSTA, M. L.; SUGUIO, K. A laterização na gênese das superfícies de aplainamento da região de Presidente Figueiredo-Balbina, nordeste do Amazonas. In: REIS, N. J.; MONTEIRO, M. A. S. *Contribuição à Geologia da Amazônia*. Manaus: Sociedade Brasileira de Geociências, 2001, v. 2.

LEMO, V. B. *Assembléias de conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas*. 1990. 1 v. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

LIMA, M. I. C. *Análise de Drenagem e seu Significado Geológico / Geomorfológico*. Belém: 2002. 1 CD-ROM.

LUDWIG, G. *Divisão estratigráfico-faciológica do Paleozóico da Bacia Amazônica*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1964. 72 p. (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de petróleo, n. 1).

MELO, J. H. G.; LOBOZIAK, S. Devonian-Early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, Northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology: an international journal*, Amsterdam, v. 124, n. 3-4, p. 131-202, May/2003.

PLAYFORD, G.; DINO, R. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil. *Palaeontographica. Abt. B. Palaeophytologie*, Stuttgart, n. 255, p.1-46, 2000.

PRATES, J. **ATUALIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO DE BLOCOS**. Procedimentos Alcoa. 2010

SOARES, P.C.; FIORI A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Campinas, **Notícia Geomorfológica**, 1976. 16 (32): 71–104.

SOUZA, J.C., 2001 “Métodos de Lavra a Céu Aberto” Apostila da disciplina métodos de lavra a céu aberto, UFPE, Recife-PE, 90 p.

WOLF, F. A. M. Bauxita na Amazônia. MME/DNPM. 5º Distrito. Belém, 46 PP, 1972.

ZWARTENDYK, J. 1972: What is "Mineral Endowment" and How Should We Measure It?; Mineral Resources Branch, Department of Energy, Mines and Resources, MR 126, p.1-17.