



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Manoel Vieira Fernandes Neto**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE FERRO DE  
DIVINÓPOLIS DO TOCANTINS - TO**

**Palmas TO**

**2013**

**Manoel Vieira Fernandes Neto**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE FERRO DE  
DIVINÓPOLIS DO TOCANTINS - TO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Mestre Daniel Francisco Padilha Setti.

**Palmas TO**

**2013**

**Manoel Vieira Fernandes Neto**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE FERRO DE  
DIVINÓPOLIS DO TOCANTINS - TO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Mestre Daniel Francisco Padilha Setti.

**Aprovada em 26 de Novembro de 2013.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. M.Sc. Daniel Francisco Padilha Setti  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. Otton Nunes Pinheiro  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas TO**

**2013**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Minério de Ferro.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2</b>	<b>Caracterização Tecnológica de Minério de Ferro.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>Tratamento de Minério de Ferro.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Coleta das amostras.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Preparo das amostras.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Metodologia das análises.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Equipamentos e métodos de análise.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Estudos das Amostras de Minério de ferro de Divinópolis do Tocantins-TO.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Região de Coleta de Amostras.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.1.1</b>	<b>Geologia e Geologia estrutural.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.1.2</b>	<b>Geologia Local.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Caracterização Física Por Microscopia Optica (MO).....</b>	<b>21</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Caracterização Física por Difração de Raio X (DRX).....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Caracterização por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Resultados Tabela 02.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Determinação de Densidade das Amostras.....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por ter me dado força, sabedoria e humildade para vencer cada desafio desses cinco anos de graduação, e por ter realizado um sonho que parecia impossível.

A minha Esposa Vera Lucia de Lima Fernandes, pelo companheirismo, Paciência, e apoio incondicional durante todo esse tempo.

A minha filha Lorryna Lima Fernandes, Por me fazer acreditar que era possível conquistar esta vitória, e pelas palavras de força e entusiasmo nas horas difíceis.

A minha Família que é a base de tudo na minha vida, em especial as minhas irmãs Ana Maria Fernandes, por ter incentivado a voltar aos estudos, e também a Divina Fernandes Conti e seu esposo Osvaldo Conti, pelas palavras de apoio e incentivo, orações e por tudo que fizeram durante estes anos, que sem a ajuda deste casal não seria possível chegar a este momento.

Ao meu orientador Professor Mestre Daniel Francisco Padilha Setti, Pela paciência e orientação neste trabalho e pela contribuição nesta graduação.

Ao Professor Especialista José Cleuton Batista, pela seriedade e competência na coordenação de Engenharia de Minas, e transmissão de conhecimento e vivência na mineração.

Aos professores Rodrigo Meireles, Natanael, André Zíngano, Erwin Francisco Toctrop Junior e Leonardo Pedrosa pela dedicação e amor a docência.

Aos meus colegas de graduação que convivemos juntos durante estes anos, em especial ao Elânio, Valério, Thiago Lunkes, Bruna Elque e a todos da primeira turma.

Ao Dr. Assis Vicente Benedetti e Dr. Cecilio Sadão Fugivara por disponibilizar o laboratório para o desenvolvimento das análises.

Agradeço ao GFQM-IQ, professor Dr. Celso Valentin Santilli e o técnico Ricardo José Giagio, pelas medidas de DRX.

## RESUMO

Neto, Manoel Vieira Fernandes. **Caracterização Tecnológica do Minério de Ferro de Divinópolis do Tocantins-TO**. 2013. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Bacharel em Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2013.

O ferro vem sendo usado desde os primórdios da humanidade, e com o passar dos tempos vem se tornando cada dia mais indispensável, hoje em dia é impossível falar em crescimento, desenvolvimento sem falar na importância que o minério de ferro tem dentro deste contexto. O Brasil é hoje um dos maiores produtores e exportadores de minério de ferro do mundo, e possui uma reserva lavrável estimada em mais de 29 bilhões de toneladas e outras tantas que ainda não são economicamente lavráveis, à medida que aumenta a demanda por este importante bem mineral, aumenta proporcionalmente o desafio de determinar novas rotas de processamento e beneficiamento de minério de ferro, pois jazidas de minério de ferro com boa qualidade vem diminuindo a cada dia, e muitas reservas de minério de ferro vem apresentando algum tipo de contaminante que vem prejudicando ou mesmo inviabilizando sua lavra. Para resolver ou minimizar ao máximo esse problema, há a necessidade de tornar o processamento (beneficiamento) mais eficaz, pois com o aumento da produção, reservas antes que não eram exploradas por alguns motivos, tem se a necessidade de fazer com que se tornem viáveis. Engenheiros tratamentistas tem o desafio de desenvolver técnicas para tornar reservas que eram inviáveis, em economicamente viáveis. E a caracterização tecnológica de minerais tem contribuído muito neste aspecto, pois com a caracterização tecnológica podemos identificar os minerais presentes em uma ocorrência mineral, sua Geologia, suas características estruturais, físicas e químicas. De posse destas informações é possível determinar se uma ocorrência mineral pode ser economicamente viável ou não, se for economicamente viável determinar a planta de beneficiamento e a rota de tratamento mais eficaz para essa jazida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caracterização tecnológica de minério de ferro

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01 – Coordenadas dos pontos de coletas das amostras .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 02 – Porcentagem dos óxidos constituintes nas amostras .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 03 – Concentração dos metais constituintes nas amostras .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 04 – Teste Densidade Amostra Moída Picnometro .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 05 – Teste Densidade Amostra Massa Volume .....</b>	<b>28</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01 - Coleta das Amostras.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 02 - Microscópio Óptico MO.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 03 - Difratorômetro de raios X Siemens.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 04 - Mapa de Localização da Área.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 05 - Mapa de localização Detalhado.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 06 - Micrografia da amostra AM-01.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 07 - Difratorograma de Raio X.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 08 - Preparo das amostras.....</b>	<b>27</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>TO – Tocantins .....</b>	<b>3</b>
<b>MO – Microscópio Ótico.....</b>	<b>3</b>
<b>EDX – Espctro de Difração de Raio X.....</b>	<b>3</b>
<b>DRX –Disperção de Raio X.....</b>	<b>3</b>
<b>Mt – Milhões de Toneladas.....</b>	<b>4</b>
<b>As – Arsênio .....</b>	<b>5</b>
<b>Si – Silício .....</b>	<b>5</b>
<b>Ge – Germânio.....</b>	<b>5</b>
<b>Al – Alumínio.....</b>	<b>5</b>
<b>Mn – Manganês.....</b>	<b>5</b>
<b>Fe – Ferro .....</b>	<b>7</b>
<b>PPM – Parte por Milhões.....</b>	<b>7</b>
<b>MG – Minas Gerais.....</b>	<b>9</b>
<b>CVRD – Companhia Vale do Rio Doce.....</b>	<b>10</b>
<b>NE – Norte/ Este .....</b>	<b>14</b>
<b>NW – Norte/ Weste.....</b>	<b>14</b>
<b>AM – Amostra.....</b>	<b>18</b>
<b>LTM – Laboratório Tratamento de Minério.....</b>	<b>20</b>
<b>UNESP – Universidade Estadual São Paulo.....</b>	<b>22</b>
<b>GU – Guia de Utilização.....</b>	<b>24</b>
<b>DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.....</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ferro é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre, e um dos mais importantes para a humanidade, tendo a sua utilização e aplicabilidade em quase todas as áreas e na vida do ser humano.

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de minério de ferro do mundo, e tem uma reserva lavrável estimada em mais de 29 bilhões de toneladas, ficando em quarto lugar de uma reserva mundial de 160 bilhões de toneladas, sendo seus principais depósitos compreendidos nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Pará (Instituto Brasileiro de Mineração/2011). No entanto há jazidas de menor porte e ocorrências de minério de ferro em vários estados brasileiros.

No Estado do Tocantins podemos destacar o Município de Lagoa da Confusão, que tem uma pequena jazida de minério de ferro com aproximadamente 3.000.000 toneladas e, em atividade de lavra desde 2011, com minério de excelente qualidade e com baixos índices de contaminantes e com teores acima de 60%. Contaminantes são outros minerais que se encontram associados ao minério de interesse e são prejudiciais para este minério. Os contaminantes como o fósforo, alumina, enxofre, podem inviabilizar uma reserva, pois deixam o aço quebradiço e de má qualidade. A caracterização tecnológica de qualquer minério é importante para conhecer sua formação, sua geologia e identificar possíveis contaminantes e planejar uma planta de beneficiamento com uma rota eficiente com economicidade e respeito ao meio ambiente. (SACRAMENTO, *et al* 2010)

Considerando os estudos já realizados com óxido de ferro, fica evidente que a maior atenção foi dada aos estudos da caracterização tecnológica dos minerais de óxido de ferro e fosfato. Este trabalho teve uma atenção maior nas coletas das amostras, caracterizações físicas e químicas através das análises para determinar os teores dos possíveis óxidos contaminantes e do minério de interesse, as análises foram caracterizadas pela técnica de DRX para identificar os sistemas cristalinos (SACRAMENTO, *et al* 2010).

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 - Minério de Ferro

Segundo estudos realizados mostram que, as reservas em relação ao Ferro contido no minério, o Brasil encontra-se em destaque no cenário internacional. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de minério de ferro do mundo, e tem uma reserva estimada em mais de 29 bilhões de toneladas, ficando em quarto lugar de uma reserva mundial de 160 bilhões de toneladas, sendo seus principais depósitos compreendidos nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Pará. No entanto há jazidas de menor porte e ocorrências de minério de ferro em vários estados brasileiros. (Instituto Brasileiro de Mineração/2011)

O minério de ferro é um dos mais abundantes da crosta terrestre, e um dos mais importantes para a humanidade, tendo a sua utilização e aplicabilidade em quase todas as áreas e na vida do ser humano. Sendo as formações férricas composta de hematita e sílica, denominadas itabiritos, constituída nos maiores depósitos de ferro. Em torno de 99,0% do minério de ferro produzido é utilizado para fabricação aço e ferro fundido, no Brasil o tipo de mina para o desenvolvimento da produção do minério de ferro é a céu aberto. A lavra é em bancada, o processo de desmonte é realizado por explosivo e desmonte mecânico com escavadeira e tratores de esteiras, após o minério desmontado é carregado em pás carregadeira, escavadeiras hidráulicas, nas mineradoras de grande porte o transporte é efetuado por caminhões fora-de-estrada. O método de beneficiamento do minério é constituído de britagem, peneiramento, lavagem, classificação, concentração e pelotização (FONTES, 2013).

O minério de ferro é de suma importância para a sociedade, tendo uma parcela considerável na economia mundial e nacional, o mesmo é um dos constituintes fundamentais para o aço. Entretanto, os minérios de ferro do Brasil são constituídos basicamente por hematita, magnetita, goethita entre outros. Os minerais de ferro podem apresentar diferentes tipos de texturas, portanto essas diferenças entre as texturas influenciam nos processos de beneficiamento e aglomeração do minério. Os minérios de ganga (contaminantes) são outros minerais que se encontram associados ao minério de interesse e são prejudiciais para este minério, exemplo o fosfato é um contaminante que em teores elevados acaba

comprometendo as propriedades mecânicas do aço gerando trincas e reduzindo a vida útil do forno. No entanto, é importante ter conhecimento da economia mineral, porque alguns destes contaminantes como o fósforo, alumina, enxofre, podem inviabilizar uma reserva, pois deixa o aço quebradiço e de má qualidade. Para conhecer as formações, a geologia, os contaminantes e os teores dos mesmos, é importante realizar a caracterização tecnológica dos minerais. Com esses dados é possível planejar a planta de beneficiamento com uma rota eficiente com economicidade e respeito ao meio ambiente (FONTES, 2013).

Tratando-se do minério de ferro como foi citado anteriormente, o mesmo é utilizado como matéria-prima na metalurgia, o estado do Tocantins tem um potencial elevado no ramo da mineração, um dos minerais em destaque seria o minério de ferro, o problema seria os contaminantes existentes no mesmo, o maior vilão da metalurgia seria o fosfato, e este encontra-se em teores consideráveis na região de estudo, no entanto, os depósitos diferentes e mesmo dentro de determinado depósito, podem ocorrer variações relacionadas à composição mineralógica, à granulometria do mineral de interesse e aos teores de ganga, dentre muitos outros parâmetros (SACRAMENTO, *et al* 2010).

## **2.2 - Caracterização Tecnológica de Minério de Ferro**

Para determinar o teor de um minério, ou seja, ter certo conhecimento sobre a composição química da rocha é importante a realização da caracterização tecnológica de minérios, sendo uma etapa fundamental, pois através dos dados coletados na caracterização que é possível prever se é viável ou não a extração do mesmo, com isso fica fácil de designar o tipo de lavra, mas outro fator importante é conhecer o corpo do maciço e os contaminantes. Através da caracterização mineralógica é possível determinar e quantificar num todo a assembleia mineralógica, com esses dados é possível definir os minerais de interesse e de ganga. Ainda é possível estudar as texturas da rocha, definindo o tamanho de partículas necessárias para a liberação dos minerais de interesse dos minerais de ganga, podendo ainda definir as propriedades físicas e químicas destes minerais, contribuindo para definir as rotas de processamento (SACRAMENTO *et al*, 2010).

O processo de caracterização mineralógica depende das propriedades mineralógicas e propriedades inerentes relacionadas ao minério. A caracterização é

executada em vários estágios, sendo interdependente entre si. Sendo o primeiro estágio o fracionamento da amostra, com o intuito de facilitar a identificação dos minerais pela sua relativa individualização, melhorar a quantificação das fases e estabelecer certas propriedades físicas dos minerais, já incorporando informações úteis para o processamento. O método de fracionamento geralmente é realizado por densidade e suscetibilidade magnética, além de classificação por tamanhos de partícula. Com o resultado do fracionamento é possível definir as suas propriedades físicas, inclusive simulando, com as devidas restrições, condições de operação industrial. O segundo estágio é a análise através dos DRX, incluindo ainda as técnicas analíticas para a identificação dos minerais e as mais difundidas MO e MEV, esta etapa é indispensável. No terceiro estágio é a quantificação dos minerais, sendo a mais fácil numa fração mais concentrada. O quarto e último estágio é verificar a liberação do mineral de interesse em relação aos de ganga (SACRAMENTO *et al*,2010).

A caracterização tecnológica dos minerais, entretanto, está ligado com os trabalhos e estudos realizados para o entendimento das principais propriedades de um minério, de tal forma que se possa avaliar a viabilidade técnica e econômica de uma possível exploração e, em caso favorável, estabelecer todas as fases a serem executadas em uma usina de processamento. As técnicas utilizadas para a caracterização tecnológica para determinado produto minerado avaliam sua distribuição granulométrica, sua composição mineralógica e química e o grau de liberação da espécie de interesse. (SACRAMENTO, *et al* 2010).

No processo da exploração mineral, são indispensáveis os conhecimentos das diferentes etapas de beneficiamento, entender a importância das características dos minerais que poderão ser favoráveis e entender o comportamento de um minério numa operação particular de beneficiamento. A partir desse conhecimento, será possível determinar a recuperação do processo de concentração e, de forma mais contundente, os problemas que poderão ser enfrentados nos testes iniciais. (SACRAMENTO, *et al* 2010).

Como foi apresentado é conhecido o efeito indesejável que impurezas como o fósforo e alumínio causam aos produtos e operações de redução de minério de ferro e refino dos aços. Quando existe um teor elevado de fósforo no aço, torna-o quebradiço e com fraturas. Estudos realizados com o intuito de determinar a ocorrência de alumínio e fósforo em oito tipos de minérios de ferro provenientes de

minas da Vale. As extrações sequenciais visando a remoção de formas específicas do fósforo foram realizadas. Os resíduos e as amostras das extrações foram caracterizados por DRX, espectroscopia Mössbauer e análises químicas. Através dos dados obtidos das análises das extrações químicas, deduzem que o fósforo e o alumínio estão associados aos óxidos de ferro. Observa-se uma correlação nítida entre a presença de fósforo e do mineral goethita para a maioria das amostras. (COUTO *at al*, 2010)

Entretanto, algumas amostras não contêm goethita, mas possuem um teor elevado de fósforo. A associação do alumínio aos óxidos de ferro sugere que talvez não seja possível removê-lo totalmente por métodos físicos no beneficiamento. (COUTO *at al*, 2010)

Conforme já foi listado acima o fosforo é um contaminante de difícil remoção do minério de ferro, ainda mais quando não se conhece a ocorrência nos minérios. Outro contaminante indesejável nos óxidos de ferro seria o alumínio tendo a sua remoção de níveis aceitáveis podendo tornar economicamente viável sua exploração em muitas jazidas. A pesquisa foi através de investigação da forma de associação destes elementos com as fases mineralógicas. Este trabalho foi caracterizado quimicamente e mineralogicamente através das análises químicas via úmida e ICP-OES, DRX, MO e Espectroscopia Mössbauer, com o intuito de identificar a qual fase mineralógica o alumínio e fosforo estão associados. (COUTO *at al*, 2010)

Mesmo com a existência do MEV com suas tecnologias avançadas, somente com estes instrumentos não é possível identificar e discriminar os principais minerais de minérios de ferro (hematita e magnetita). Mas com o auxílio do microscópio óptico de luz refletida (MO), podemos distinguir os óxidos de ferro por suas refletâncias, mas não consegue discriminar quartzo e resina epóxi. No entanto, a caracterização micro estrutural quantitativa dos minérios de ferro torna-se ainda um desafio. A caracterização tecnológica mineralógica seguiu a metodologia de microscopia co-localizada que combina imagens adquiridas em MO e em MEV é aplicada na caracterização quantitativa de um minério de ferro itabirítico. Através da microscopia co-localizada MO-MEV é possível de discriminar as fases que não são distinguíveis por MO (resina epóxi e quartzo) e por MEV (hematita e magnetita) por meio desta abordagem multimodal, possibilitando a subsequente quantificação mineralógica. A metodologia utilizada emprega uma rotina automática baseada em técnicas de Análise de Imagens e Reconhecimento de Padrões. A quantificação mineralógica

realizada por análise de imagens é consistente com os resultados independentemente obtidos pela técnica de Rietveld. (GOMES e PACIORNIK, 2009)

### **2.3 - Tratamento de Minério de ferro**

Nos últimos anos, devido ao desenvolvimento de vários setores que tem como base a matéria-prima estruturas que dependem do minério de ferro, obrigou os produtores a aumentar sua produção e buscar novas reservas. No entanto o aumento de produção não deve impactar negativamente a qualidade do produto. No entanto o crescimento acelerado faz com que as usina realizem o processo de blendagem de materiais com teores elevados seja blendada por materiais mais complexos e mais pobres, conseqüentemente mais difíceis de tratar. Isso torna a atividade do tratamentista mais desafiadora, a cada dia as exigências de qualidade dos consumidores de concentrados de minérios estão mais rígidas. (TURRER, 2007)

Para atender as exigências do mercado, outra forma de aumentar a produção de concentrados de ferro seria a expansões das instalações de tratamento, reestruturando os fluxogramas para as plantas existentes e a otimização dos processos de tratamento. Outra forma seria a inclusão de novos agentes químicos para melhorar o desempenho daqueles em uso, sendo substituídos total ou parcialmente, para que isso seja possível é necessário vários estudos podendo até incluir a adição de uma planta. Essa substituição pode resultar em vantagens econômicas, além de propiciar um aumento do leque de opções disponíveis. A técnica de flotação está presente em quase todas as instalações brasileiras de produção de concentrados de ferro. O método de flotação catiônica reversa de minério de ferro utiliza-se amido na depressão de óxidos e hidróxidos de ferro e por isso, esse reagente impacta fortemente a recuperação metalúrgica do processo, é conhecido como flotação reversa devido o minério de interesse decantar. Hoje as mineradoras de grande porte, estão tratando o rejeito, com isso, elas conseguem manter a folha dos colaboradores, e de certa forma estão contribuindo com o meio ambiente. (TURRER, 2007)

Segundo VIANA, em 2004, apesar da combinação de diferentes métodos ser cada vez mais empregada, a flotação vem ampliando aceleradamente sua participação como método de concentração, devido principalmente, à sua comprovada seletividade para minérios de ferro, à ampla faixa de tamanho e teores

de ROM em que ela se aplica, e às altas taxas de alimentação permitidas. Flotação não apresenta restrições sérias ao fluxo do minério.

Para que ocorra flotação é necessário moer o minério até que se atinja a granulometria de liberação, sendo assim, conforme Beraldo em 1987, os equipamentos de cominuição são muito pouco eficientes para elevadas relações de redução; por esta razão, para cada estágio de cominuição a relação de redução é limitada. Assim, para se obter a redução total de granulometria do minério é usual fazer-se a cominuição em estágios.

A contribuição econômica referente à importação e exportação do minério de ferro demonstra sua importância no cenário mundial. O Brasil possui uma das cinco maiores reservas de minério de ferro do mundo mostrando sua importância dentro deste contexto. O aço é utilizado em diversos setores, podemos citar aqui os principais como na construção civil, indústria de máquinas e equipamentos, traduz a importância das pesquisas desenvolvidas visando melhorar o beneficiamento do minério de ferro. Um processo importante para a obtenção do aço seria a etapa da pelotização, utilizada para aglomeração do minério de ferro conferindo características adequadas para a etapa seguinte (redução). A competitividade na produção de aço coloca a qualidade do minério de ferro como um fator primordial, levando ao interesse pela sua caracterização tecnológica. (FONTES, 2013)

Devido a hematita ter diferentes morfologias, é importante conhecer essas características importantes no processo de pelotização e na qualidade das pelotas produzidas. Podemos citar aqui, a hematita lamelar e granular aumentam a resistência mecânica das pelotas, no entanto elas reduzem sua porosidade e sua redutibilidade. Já a hematita martítica é a função oposta das anteriores, aumentando a porosidade e redutibilidade das pelotas, mas reduzindo sua resistência mecânica. (FONTES, 2013)

Os minérios de baixos teores podem ser concentrados por métodos gravíticos quando a liberação dos minerais de ganga ocorre em faixas granulométricas mais grosseiras, características de produtos de circuitos de britagem e classificação. Os equipamentos mais utilizados, nesse caso, são os jiques, mesas, espirais e os cones Reichert. Exemplos de empresas de mineração no Brasil que utilizam métodos gravíticos no tratamento de minérios de ferro são: CVRD (jiques na Mina do Morro Agudo e espirais na Mina de Fábrica) e MBR (espirais na Usina de Vargem Grande), 36 Minérios itabiríticos, que requerem

moagem fina para a liberação dos minerais de ganga, são concentrados, na maioria dos casos, por separação magnética de alta intensidade a úmida e flotação catiônica reversa, como é o caso da Samarco (SANTIAGO *et al*, 1993).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Coletas das Amostras

As amostras foram coletadas no dia 12 de agosto 2013 em campo no município de Divinópolis - TO, em uma área onerada pelo processo DNPM. Para a coleta das amostras foi utilizado um GPS Garmin Etrex Legend. Para obtenção das coordenadas UTM onde foram coletadas as amostras, foi utilizada uma máquina fotográfica Sony de 10.1 megapixels para registrar o momento da coleta. Para a armazenagem das amostras foi utilizado sacos plásticos 30 x 30 cm, para as amostras serem separadas individualmente. E, um martelo Estwing para cominuir as rochas e facilitar as coletas. Os blocos de amostras foram coletados de forma a se obter uma representatividade da área escolhida, as amostras foram identificadas e enumeradas com seus respectivos pontos geográficos, conforme possível observar na tabela 01. Após a coleta, as amostras foram ensacadas separadamente para evitar contaminação, como por exemplo, a mistura entre as próprias amostras ou qualquer outro contaminante que possa alterar os resultados das análises, sendo transportadas para o Laboratório de Tratamento de Minério do CEUPL/ ULBRA.



**Figura 1** – Representação dos pontos de coleta onde (a) ponto de coleta de AM -02, ver tabela 01, e (b) ponto de coleta de AM – 03 ver tabela... (Local da coleta Estância Vanessa, Município de Divinópolis - TO)

A Figura 1 mostra os pontos de coletas das amostras sendo representada na figura (a) ponto de coleta de AM – 02, ver tabela 01, e (b) ponto de coleta amostra AM – 03, ver tabela 01 (Sendo coletadas no município de Divinópolis - TO no dia 12 de

Agosto 2013), as demais amostras foram coletadas da mesma forma, com os mesmos cuidados para as mostradas na Figura 1 (a) e (b).

**TABELA - 01** Coordenadas dos pontos de coletas das amostras

AMOTRA	COORDENADAS UTM	
	X	Y
AM - 01	707365	8904104
AM - 02	707679	8905040
AM - 03	707691	8903970
AM - 04	707624	8904412

### 3.2 - Preparo das amostras

As amostras foram preparadas durante os dias 16 a 27 de Setembro do presente ano no LTM (laboratório de Tratamento de Minérios de Engenharia de Minas), sala 610A do Bloco 06 do CEULP/ULBRA. Para início do preparo, as amostras foram retiradas das devidas embalagens e cortadas de melhor forma em duas partes, sendo uma delas devolvida para a embalagem para futura moagem. Após essa separação, as amostras foram faceadas e preparadas, com o auxílio de uma policorte de marca BOSCH, para obter um corte melhor, contou-se com a utilização de um disco diamantado de 180 x 22,23 mm e com uma lâmina d'água, para evitar stress e deformações nas amostras finais, que poderiam causar alterações nas características físicas e mecânicas das mesmas. Durante o corte utilizou-se os equipamentos de EPI obrigatórios para proteção do acadêmico (luvas, óculos, protetores oricular e jaleco). As medidas utilizadas após o corte e faceamento foram de 1,00 x 1,00 cm com 0,5 cm de espessura.

Após a separação e o corte as amostras foram polidas nas lixas de 320, 600, 1200 e 2500 mm compradas em uma loja da capital. Esse polimento foi feito separadamente em cada unidade utilizando o auxílio de água. As amostras em um determinado tempo no processo de polimento eram suspensas e trocadas a direção do polimento, obedecendo a uma rotação angular de 90° para evitar uma orientação cristalográfica, ou seja, sulcos preferenciais devido as granulometrias das

lixas. A cada troca de lixa, as mesmas eram lavadas com água destilada, para remoção dos resíduos das lixas anteriores, o mesmo foi feito para a base utilizada para acomodar as lixas.

Terminado os polimentos cada amostra foi embalada em embalagem plástica específica para amostras e transporte. Seguindo os trabalhos de amostragem, as amostras separadas e deixadas nos sacos de amostras foram moídas em um Pistilo de Porcelana para não haver contaminação de outro minério. Terminado a moagem, ambas foram peneiradas no equipamento Prodotest e embaladas num recipiente.

### **3.3 - Metodologia das análises**

#### **3.3. 1- Equipamentos e métodos de análise**

##### **a) Granulometria**

Para a realização das análises de DRX, densidade e análises químicas, foram obtidas alíquotas dos blocos de amostras AM - 01, AM - 02, AM - 03 e AM - 04, obtendo uma massa de aproximadamente 500g do minério de ferro, para ser triturado em almofariz e pistilo de porcelana no LTM do CEULP/ULBRA (Laboratório Tratamento de Minérios). As vidrarias antes, na troca de amostras e após os procedimentos experimentais foram lavados com uma solução de limpeza de hidróxido de potássio, e enxaguados com água destilada corrente para garantir a remoção de qualquer possível resíduo, para evitar a contaminação das amostras. Após o processo de trituração, as amostras foram classificadas em um jogo de peneiras, o jogo de peneira foi colocado no agitador Prodotest de 220 W. As aberturas das peneiras utilizadas foram de 250 mesh e 270 mesh. Do oversize (retido) da peneira com 270 mesh, foi obtida uma alíquota de 12g para efetuar a análise de DRX.

##### **b) Microscopia Óptica**

Técnica muito utilizada para estudar as superfícies das amostras é o microscópio óptico, é contado como um dos instrumentos mais versáteis e mais utilizados nos

laboratórios de semicondutores. Para tamanhos característicos menores que submicrons seu uso se torna inviável.

A técnica de MO é utilizada para análise de características dos circuitos integrados, ou seja, analisar partículas encontradas no mesmo, e ainda para ver e medir o tamanho, o tipo e a densidade de defeitos em circuitos semicondutores.

A potência do microscópio é resultado do produto da ampliação linear da objetiva pela potência da ocular, seu valor será elevado quando as distâncias focais da objetiva e ocular forem pequenas.

A Figura 02 mostra o microscópio óptico, onde é possível observar as particularidades do mesmo. Assim, se o feixe de luz incidente tem uma abertura angular grande e utilizarmos lentes de inversão, o poder separador será melhorado, pois se elimina difração das bordas da lente.



**Figura 02** - Microscópio Óptico MO (Laboratório de Mineralogia do CEULP/ULBRA de Palmas TO) Fonte: Própria

O uso de microscópio é de suma importância na identificação mesmo que qualitativa de recobrimentos ferruginosos ou outras formas de alteração superficial dos grãos não visíveis por técnicas como microscopia eletrônica de varredura. As microscopias ópticas de luz transmitida, para minerais transparentes, e de luz refletida, para minerais opacos. Sendo bastante precisos e flexíveis em análises qualitativas.

### c) Difração de raios X

Os difratogramas de raios X (DRX) foram obtidos utilizando-se um difratômetro de raios X Siemens, modelo D 5000, com radiação cobre cobre  $K\alpha$  ( $\lambda = 1,5406\text{\AA}$ ), potência de 40KV e 30mA, como mostra a Figura 3 disponível no Departamento de Físico Química (UNESP). Os difratogramas foram obtidos no intervalo de  $2\theta$  de  $4^\circ$  a  $90^\circ$  com passo de  $0,05^\circ$  e tempo por passo de 1 s. Antes de enviar as amostra para análise de DRX, ela deve ser cominuída para aumentar a superfície de contato e reduzir os espaços vazios, pois estes são responsáveis pelo ruído nos resultados do difratograma. A cominuição é realizada com o auxílio de um almofariz e pistilo de ágata para reduzir o tamanho das partículas.



**Figura 03** - Difratômetro de raios X Siemens (Departamento de Físico-Química da UNESP de Araraquara SP) Fonte: Arquivo pessoal Daniel Francisco Padilha setti

### d) Picnometria

Conforme SAMPAIO, FRANÇA E BRAGA (2007) um dos métodos práticos mais usados para determinar a densidade, com precisão razoável, a densidade de uma rocha, de um minério ou de um mineral, é por meio da picnometria. As medidas de umidade, densidade, percentagem de sólidos referem-se à base seca em peso, salvo menção contrária.

Para efetuar o cálculo de densidade da amostra é necessária que a amostra seja representativa da população. A densidade, determinada pelo costumeiro método do picnômetro (DANA, 1969). Para tal, é necessário utilizar a seguinte fórmula 01:

$$D = \frac{P_{p+r}(M_1) - P_p(M_2)}{P_{p+a}(M_3) + (P_{p+r}(M_1) - P_p(M_2)) - P_{p+r+a}(M_4)}$$

Onde:

D = densidade relativa da amostra de rocha;

$P_{p+r+a}$  = peso do picnômetro + rocha + água ( $M_4$ );

$P_{p+a}$  = peso do picnômetro + água ( $M_3$ );

$P_{p+r}$  = peso do picnômetro + peso da rocha seca ( $M_1$ );

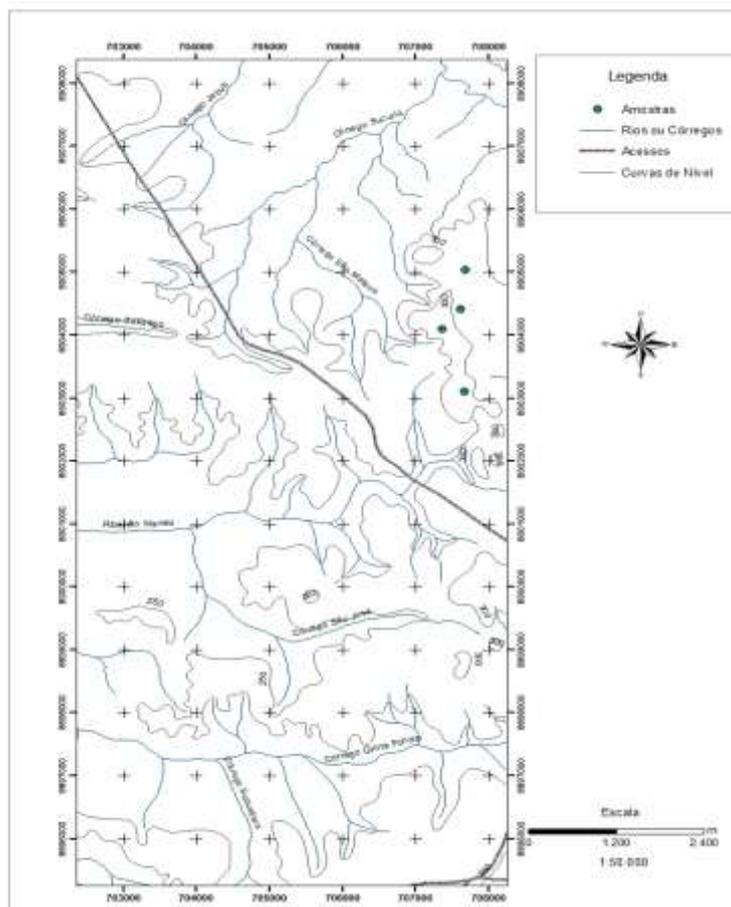
$P_p$  = peso do picnômetro vazio ( $M_2$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Estudos das Amostras de Minério de ferro de Divinópolis do Tocantins - TO

#### 4.1.1 - Região de coleta de amostras

A área situa-se na região Central do estado do Tocantins, no município de Divinópolis - TO. A área está com requerimento de pesquisa junto ao DNPM, distando cerca de 20 km da sede do município de Divinópolis – TO, na **Figura 04** é possível visualizar as vias que dão acesso a sede do município e a área estudada, através da mesma é possível visualizar os pontos de coleta das amostras, as curvas de níveis, os rios e córregos existentes na região de Divinópolis - TO.



**Figura 04** - Mapa de localização da área, mostrando os acessos, pontos de coleta das amostras, rios e córregos. Sendo representados na escala de 1:50.000.

#### 4.1.1.1 - Geologia e Geologia estrutural

A Figura 04 mostra o mapa de localização detalhado de onde foram obtidas as amostras, conforme pode ser visualizado na Tabela 01, no município de Divinópolis TO, mostrando os pontos de coleta das amostras, rios e córregos. Sendo representados na escala de 1:10.000.

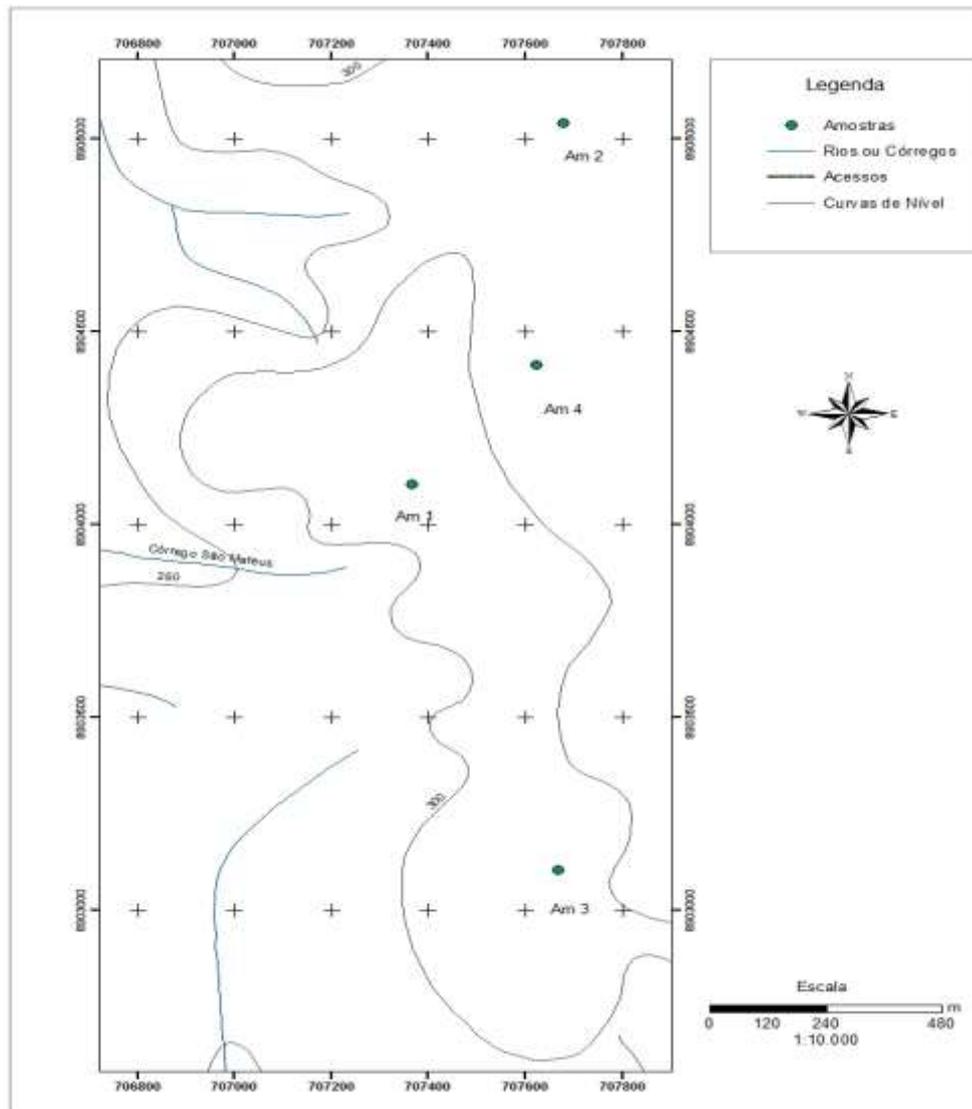
O arcabouço tectônico estrutural da região de Divinópolis é representado pela orogênese da Faixa Araguaia; que se apresenta na região como uma faixa alongada na direção NS, pela sinéclise do Parnaíba a leste e pelas rochas do Núcleo Cratônico no centro sul.

Levando em conta a origem e características litológicas e estruturais das rochas, o núcleo cratônico foi dividido em dois grupos: O grupo baixo Araguaia e os complexos Granulíticos. Respectivamente equivalem ao terreno granito-gnáissico de alto grau e ao terreno associado à uma sequência metavulcanosedimentar de fácies de xisto.

A faixa de dobramento proterozóicos, também designado como Cinturão Araguaia, é representada por um conjunto de unidades litoestatigráficas policíclicas e de organização complexa. É composta por um cinturão móvel de alto grau metamórfico associado a um terreno granito-gnáissico-migmatítico e intrusões ígneas de composição variada. As sequências de alto-médio grau estão associadas a unidades metassedimentares. A relação entre unidades é de caráter tectônico, através de cavalgamentos, imbricações e dobramentos.

Os complexos Granulíticos geralmente estão associados a unidades do Núcleo Cratônico, que nessa região é composto por gnáisses tonalíticos, talco-xisto, serpentinitos, metacherts, anfíbolitos e diques de piroxenito.

A bacia do Parnaíba individualiza-se por um amplo sítio de acumulação de sedimentos de natureza siliciclástica originados em um ciclo transgressivo completo. Os depósitos continentais estão representados pela formação Serra Grande e os depósitos continentais-marinhos são representados pela Formação Pimenteiras.



**Figura 05** - Mapa de localização detalhado os pontos de coletas, conforme pode ser visualizado na Tabela 3: rios e córregos. Situados no município de Divinópolis TO, representados na escala de 1:10.000.

#### 4.1.1.2 - Geologia Local

##### 4.1.1.2.1 - A Geologia local é representada pelas seguintes formações:

- **Seqüência metavulcano-sedimentar Rio do Coco:**

É um conjunto litológico extremamente deformado e metamorfozado em alto grau de idade Arqueana. É de natureza composicional diversificada e está segmentada em uma associação ortogranulítica e uma associação de rochas supracrustais. Aparecem como corpos de forma alongada e estreita de direção NE alojados concordantemente no Complexo granulítico Rio dos Mangues.

As rochas ortogranulíticas são representadas por rochas máficas e félsicas. Sendo frequentes os piroxenitos, os milonitos e os gabronoritos. São corpos irregulares concordantes.

As rochas supracrustais estão representadas por xistos miloníticos metassedimentos pelíticos, migmatitos, gnáisses e gonditos. Estão submetidos a intensos cisalhamentos e aparecem em discondância angular e litológica com os sedimentos da Bacia do Parnaíba.

#### ➤ **Formação Morro do Campo (Mmc)**

A formação Morro do Campo é de idade mesoproterozóica e faz parte da porção basal do Grupo Baixo Araguaia. É caracterizada pela presença de metaconglomerados, quartzitos, grana-xistos, cianita-xistos, xistos feldpáticos, granadíferos e grafitosos.

#### ➤ **Formação Xambioa (Mx)**

A formação Xambioa é representada por um conjunto de metassedimentos mesoproterozóicos dispostos ao longo de uma faixa de direção norte-sul. É constituída por grana-xistos, biotita-muscovita xistos, xistos feldpáticos e grafitosos, geralmente de grau metamórfico baixo.

### **4.1.2 - Caracterização Física por Microscopia Óptica (MO)**

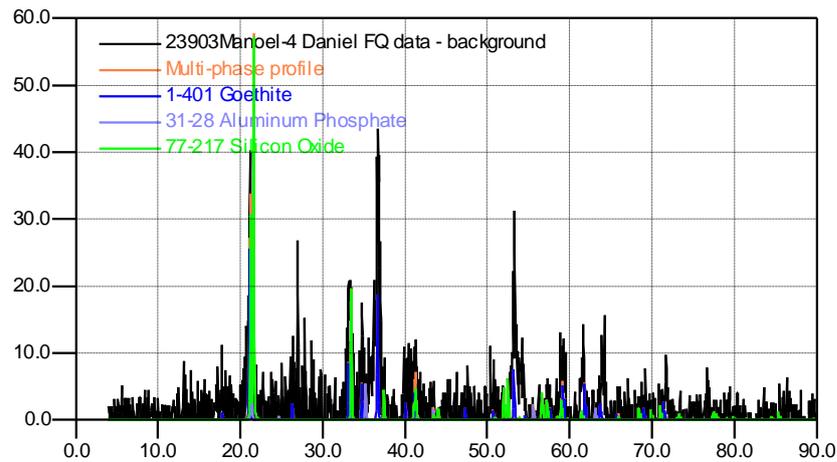
A Figura 06 é uma micrografia da amostra AM – 01, obtida com um microscópio de luz refletida, onde se observa grãos com pequenas porosidades (nódulos pretos) e sem trincas nucleadas. Nesta Figura é possível observar a partícula com pouca porosidade, entretanto não é observado nenhum contraste que possibilite diferenciar as fases presentes.



**Figura 06** – Micrografia da amostra AM – 01, da Estância Vanessa, no município de Divinópolis-TO, obtida com um microscópio de luz refletida.

#### 4.1.3 - Caracterização Física por Difração de Raio-X (DRX)

A Figura 07 - representa um difratograma da amostra de minério de ferro AM – 01 que foi submetida à análise de Difractometria de Raios X (DRX), a varredura iniciou-se ângulo de  $4^\circ$  indo até  $90^\circ$  com passo de 0.050 em um tempo de 1 segundo por medida, o tempo total da análise foi de 11 segundos, sendo realizado na temperatura de  $25^\circ\text{C}$  representado na linha preta do difratograma, com os dados obtidos no EDX, os elementos detectados (Fe, Ca, O, Mn, Si, P), foi alimentado o banco de dados do sistema do DRX, com os elementos encontrados. As cartas selecionadas no banco de dados do sistema foram as seguintes: 1-401 referente ao óxido de ferro hidratado Goethita que está representada no difratograma em linha azul com sistema cristalino desconhecido; 31-28 referente ao fosfato de alumínio representado no difratograma em linha azul marinho com sistema cristalino cúbico tendo o comprimento das arestas de  $a = 7,207$ ; 77-217 referente ao óxido de silício sendo representado no difratograma na linha verde tendo sistema cristalino ortorrômbico com o comprimento das arestas  $a = 4,72000$ ,  $b = 5,16000$ ,  $c = 8,36000$ .



**Figura 07** – Difratoograma de raio X (DRX) em linha preta amostra de minério de ferro a leitura deu-se início no ângulo de  $4^\circ$  até  $90^\circ$  - com passo de  $0,050$  - tempo do passo 1 segundo – temperatura de  $25^\circ\text{C}$  – tempo da análise de 11 segundos, obtendo um total de 4000 pontos em  $2\Theta$ ; 31-28 referente ao fosfato de alumínio representado no difratograma em linha azul marinho com sistema cristalino cubico tendo o comprimento das arestas de  $a = 7,207$ ; 77-217 referente ao oxido de silício sendo representado no difratograma na linha verde tendo sistema cristalino ortorrômbico com o comprimento das arestas  $a = 4,72000$ ,  $b = 5,16000$ ,  $c = 8,36000$ .

#### 4.1.4 - Caracterização por Espectrometria de Fluorescência de Raios X

As análises físicas foram realizadas em quatro amostras de diferentes pontos, a identificação das amostras refere-se ao número do ponto amostrado, vide mapa de pontos, os resultados estão disponibilizados na tabela abaixo. As amostras foram analisadas pelo *Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro – São Paulo*.

#### 4.1.4.1. Preparação das amostras

Os discos de vidros para as determinações de espectrômetro, foram preparados por fusão de 1,2000g de amostra pré-calcinada a 1000°C com 1,2000g de tetraborato de lítio (spectromelt A10, Merck) e 4,8000g de metaborato de lítio (spectromelt A20 Merck) previamente aquecidos a 110°C por várias horas. Resultando em um fator de diluição 1:5. A fusão e a modelagem dos discos foram feitas em um preparador de discos automatizados (Fluxy B. Claisse) em cadinhos e moldes de Pt-Au, obtendo-se discos de 350 mm de diâmetro e 3 mm de espessura. As 04 amostras preparadas foram todas de referências, cujos intervalos de concentração estão reportados na tabela 2.

#### 4.1.4.2 - Equipamentos utilizados e condições de operação

Empregou-se neste trabalho um espectrômetro sequencial marca Philips, modelo PW 2400, com tubo de Ródio e potência máxima de 3.000 W. As amostras usadas para otimização das variáveis do espectrômetro foram sempre de amostras de referência preparadas de acordo com o procedimento descrito em item anterior.

**TABELA 02 –** Porcentagem dos óxidos constituintes nas amostras coletadas em Divinópolis - TO

AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Soma
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
AM – 01	5,11	0,19	5,58	78,17	0,39	0,24	0,04	0,01	0,06	0,92	9,32	100,0
AM – 02	4,01	0,15	3,78	77,70	0,13	0,12	0,04	0,46	0,03	2,33	11,24	100,00
AM – 03	2,21	0,15	3,84	78,96	0,10	0,14	0,04	0,33	0,01	2,00	12,23	100,01
AM – 04	3,26	0,12	3,27	75,81	1,56	0,11	0,03	0,26	0,03	1,87	13,64	100,00

A Tabela 02 mostra os óxidos constituintes nas amostras, onde se tomou uma amostra de 100g e foram realizadas as análises para determinar os teores dos óxidos existem nas respectivas amostras.

#### 4.1.5 - Resultados Tabela 02

- AM – 01 apresentou teores consideráveis de SiO<sub>2</sub> (5,11%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,58%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (78,17%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,92%) e LOI (9,32%), é amostra que apresentou o teor mais elevado de óxido de silício.
- AM – 02 apresentou teores de SiO<sub>2</sub> (4,01%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,78%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (77,70%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2,33%) e LOI (11,24%), dentre as amostras esta é que apresentou o maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com (2,33%).
- AM – 03 apresentou teores de SiO<sub>2</sub> (2,21%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,84%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (78,96%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2,00%) e LOI (12,23%), esta amostra foi a que apresenta um teor menor do conjunto com (2,21%) de SiO<sub>2</sub>, e o maior teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com (78,96%).
- AM - 04 apresentou teores de SiO<sub>2</sub> (3,26%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,27%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (75,81%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (1,87%) e LOI (13,64%), esta amostra foi a que apresentou o menor teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com (75,81%), e o maior teor de LOI com (13,64%), e um teor de (1,56%) de MnO. Em relação aos teores de óxido de titânio ficou na faixa de (0,12% a 0,19%). Óxido de magnésio ficou na faixa de (0,11% a 0,24%); óxido de cálcio ficou na faixa de (0,04%) para quase todas as amostras; o óxido de cálcio ficou entre (0,03 a 0,06%).

A Tabela 03 mostra a concentração dos metais constituintes nas respectivas amostras.

**Tabela 03** – Concentração dos metais constituintes nas amostras coletadas em Divinópolis TO

AMOSTRA	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	Zr	Y	Nb	Cu	Zn	Co	V
	(ppm)											
AM – 01	87	4	226	18	69	44	15	5	40	92	39	940
AM – 02	71	25	138	18	67	51	36	6	24	187	79	1.232
AM – 03	30	62	171	17	68	62	33	6	25	200	85	1.491
AM – 04	8	177	480	16	72	54	30	7	22	225	232	1.001

A Tabela 03 mostra a concentração dos metais em ppm, é possível observar que a amostra que tem uma concentração mais elevado de Cr é AM – 01 com 87ppm, a amostra AM – 04 apresentou valores mais elevados em relação as outras amostras para os respectivos metais Ni com 177, Ba 480, Sr 72, Nb 7, Zn 225, Co 232.

#### **4.1.6 - Determinação da densidade das amostras**

O primeiro teste de densidade das amostras foi feito pela técnica de picnometria, e ocorreu da seguinte forma:

O picnômetro vazio foi pesado com a tampa e obtido sua massa ( $M_2$ ) e anotado em uma tabela própria para o ensaio, em seguida foi colocado no picnômetro uma quantidade aleatória do minério moído, e pesado com a tampa para saber a massa picnômetro/minério ( $M_1$ ), logo em seguida foi adicionado água no picnômetro até ficar completamente cheio, e foi feita uma agitação manual para homogeneização formando uma polpa, e novamente foi pesado com a tampa para aferir a massa picnômetro/minério/água ( $M_4$ ) e anotado na tabela, e finalmente o picnômetro foi esvaziado, lavado com água destilada para retirar possíveis partículas de minério para não influenciar no peso final, e adicionado água destilada até ficar completamente cheio, foi pesado para obter a massa picnômetro/água ( $M_3$ ) e anotado na tabela. Este procedimento foi repetido para cada amostra, conforme suas numerações como: AM – 01, AM – 02, AM – 03, AM – 04. Depois da realização de todos os ensaios foi feito a determinação das massas das amostras, com os dados obtidos nos ensaios, primeiro foi feito a determinação da massa, que é o resultado dos valores obtido de  $M_2 - M_1$ , e em seguida foi determinado a densidade usando a fórmula 01 (VER pag. 17):

**Tabela 04 - Teste Densidade Amostra Moída Picnometro**

AMOSTRA	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>4</sub>	MASSA	M <sub>3</sub>	OS DENSIDADE
AM 1	43,78	46,70	99,95	3,12	97,82	3,15
AM 2	43,60	47,73	100,83	4,13	97,80	3,75
AM 3	43,58	46,69	100,05	3,11	97,80	3,61
AM 4	43,58	47,70	100,78	4,12	97,80	3,61



**Figura 08** – Representando o preparo para determinação da densidade das amostras. (a) balança como picnometro + água + AM – 01; (b) descartando a polpa e lavando picnometro.

O segundo ensaio para determinação da densidade do minério foi feito através da técnica de massa específica do minério, o ensaio foi feito com auxílio de uma proveta com capacidade de 50 ml, balança de precisão com capacidade de carga máxima de 500 g.

A amostra de minério de ferro foi pesada para determinação da sua massa, e anotado em tabela própria para o teste, em seguida foi adicionado água na proveta até a marca de 40 ml, logo depois a amostra foi mergulhada dentro da proveta com

água, e anotado o volume de água da proveta, pois com a imersão da amostra houve um aumento de volume na proveta, este procedimento foi repetido para cada amostra. Então foi determinada a densidade das amostras utilizando a seguinte fórmula:

$$D=m/v$$

Onde:

D- densidade específica da amostra

m- massa específica da amostra

v- volume da amostra (volume na proveta com a amostra-volume na proveta sem amostra), os resultados obtidos estão na tabela 4

**Tabela 05 - Teste de Densidade por Amostra Massa Volume**

<b>AMOSTRA</b>	<b>MASSA</b>	<b>VOLUME</b>	<b>DENSIDADE</b>
<b>AM – 01</b>	5,76g	1,50	3,84
<b>AM – 02</b>	2,61g	0,75	3,48
<b>AM – 03</b>	1,65g	0,50	3,30
<b>AM – 04</b>	3,31g	1,00	3,31

Para determinar as densidades das amostras foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Vidrarias:
- Proveta de 50 ml
- Vidro relógio
- Piceta 250 ml
- Balança de precisão marca Marte, modelo AS 500C, com capacidade de 500g:

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das técnicas de DRX, foi possível selecionar as cartas referentes a óxido de silício, goethita e fosfato de alumínio. Como mostra o difratograma representado na Figura 7, em linha preta é referente a amostra de minério de ferro obtida em campo, a goethita foi representada no difratograma na cor azul, nota-se que os picos mais intensos para a goethita estão no ângulo próximo de 22°, 38° e 55°; para o fosfato de alumínio os picos intensos ficaram próximo de 22° e 38°; e a última carta selecionada foi para o óxido de silício que ficou com picos intensos na região de 22° e 35°.

Com os resultados obtidos com as análises de DRX, análises físicas e durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível determinar os elementos constantes nas amostras. Foi possível determinar os teores dos minerais presentes nas amostras, o mineral com teor mais elevado foi a Hematita, um mineral dos mais importantes de minério de ferro, alguns destes minerais são considerados contaminantes para o minério de ferro se em concentrações elevadas, neste caso foi possível detectar uma presença significativa de  $P_2O_5$ ,  $Al_2O_3$ , que apresentaram teores acima dos aceitáveis na indústria metalúrgica para a fabricação do ferro gusa, pois o  $P_2O_5$  (Fósforo) deixa o aço quebradiço, prejudicando sua qualidade e além de causar sérios danos aos revestimentos dos auto fornos diminuindo sua vida útil, além disso, o Fósforo tem um processo de remoção muito difícil, elevando em muito o custo do beneficiamento do minério de ferro, quando isso é possível, pois na maioria das vezes o processo é inviável, e ainda não existe um processo que consegue separar o Fósforo em sua totalidade ou que ele fique dentro dos padrões aceitáveis. A Alumina ( $Al_2O_3$ ) também apresentou teores elevados em todas as amostras, mas por sua vez não tem uma separação tão complexa sendo possível numa rota de processamento separá-la perfeitamente, por tanto não é um fator complicador para o beneficiamento.

Os outros minerais encontram-se dentro dos padrões aceitáveis, tendo um ou outro com um pouco acima, mas, nada que inviabilize sua comercialização.

No entanto o presente projeto necessita de análises mais aprofundadas como quantitativa e qualitativa, incluindo ataques químicos mais específicos, DRX para quantificar com maior número de pontos, análises de MEV para analisar a morfologia do material, entre outras. Sendo assim o presente trabalho tem potencial

para projeto de pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, Aloísio Sá. **Rotas de processo para minérios goethíticos**. Dissertação de mestrado. (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CHAVES, Arthur; PERES, Antônio Eduardo Clark. **Teoria e prática do tratamento de minérios**: britagem, peneiramento e moagem. 4.ed. rev. e ampl. São Paulo: Signus, 2009. v.3.

CHAVES, Arthur. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 3.ed. rev. e ampl. São Paulo : Signus, 2007. v.1.

COUTO, Marcela Luciana Figueirêdo. (**Formas de ocorrências de Alumínio e fosforo em minério de ferro Tecnol**). Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 4, p. 206-209, abr.-jun. 2010

CT2004-181-00 Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios Pág. 55 a 109.

FERNANDES, Nilson José. **Efeitos das Impurezas, Ferro, Alumínio e Magnésio na cadeia de processamento químico do Fosfato**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química- Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

FONTES, Ariella Vianna. **Caracterização Tecnológica de Minério de Ferro Especularítico**/ Ariella Vianna Fontes. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

GOMES, O.D.M. **Microscopia co-localizada**: novas possibilidades na caracterização de minérios. 2007. 103 f. Tese (**Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais**) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

LOPES, Gilmara Mendonça. **Flotação Direta de Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado. (Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral, Departamento de

Engenharia de Minas)- Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

TAKEHARA, Lucy. (**Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros – fração sinter feed**). Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em geociências, instituto de geociências) Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

TURRER, Henrique Dias Gatti. **Polímeros depressores na flotação de minério de ferro**. Tese de doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

VALADÃO, George Eduardo Sales; ARAUJO, Armando Corrêa de. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. SACRAMENTO et al. **Caracterização Tecnológica De Minério De Ferro**, Belo Horizonte, 19 abr. 2010.