



Difratometria e Espectroscopia de Raios X por Dispersão em Energia Aplicada a Cultura Material Museológica e a Fonte de Proveniência – Sertão Central do Ceará, Brasil

César Ulisses Vieira VERÍSSIMO¹; Marcélia MARQUES², Christiano MAGINI¹;
José Marcos SASAKI³; Chrissandro Marques de ALMEIDA⁴; Joel Pedrosa SOUSA¹

RESUMO: No presente trabalho apresentamos o resultado da aplicação das técnicas de análise por Difratometria e Espectroscopia de raios X em artefatos arqueológicos, predominantemente machados polidos, oriundos da Coleção Particular do Sr. Jorge Simão no estado do Ceará, Brasil. Todos os objetos da coleção foram provenientes de doações, sem qualquer especificação do contexto de procedência. A identificação dos principais minerais que compõem os artefatos foi realizada a partir da interpretação dos difratogramas de raios-X (DRX) e dos espectros de raios X por dispersão em energia (EDS) do pó coletado das amostras. O conhecimento dos minerais juntamente com a descrição macroscópica dos artefatos proporcionou a identificação da litologia usada para confecção do artefato lítico e, por sua vez, serviu como guia prospectivo das áreas fontes potenciais de matéria prima. A maior parte dos líticos corresponde a basaltos e diabásios análogos aos diques cretáceos Rio Ceará Mirim que ocorrem ao longo de uma faixa bem definida a sul e sudeste da cidade de Quixeramobim. Os demais artefatos correspondem a rochas calcissilicáticas e gnaisses leucocráticos, associados às rochas precambrianas de unidades paleo e/ou neoproterozóicas regionais. Entre as principais vantagens da metodologia de coleta e das técnicas aplicadas na pesquisa, estão: o pequeno diâmetro, a profundidade da perfuração e a diminuta quantidade de material coletado, facilitando a restauração e permitindo o retorno do artefato a exposição. Considerando o grande acervo de artefatos líticos existente nos museus e coleções particulares, os métodos empregados nesta pesquisa representam uma alternativa e importante ferramenta aplicados a análise arqueológica especialmente na determinação de fontes potenciais de matéria prima e na prospecção de prováveis indústrias líticas.

Palavras-chave: difratometria de raios X, espectroscopia de raios X, artefatos arqueológicos, fonte de proveniência.

ABSTRACT: *This work presents the result of the application of Diffractometry and X-ray Spectroscopy in archaeological artifacts, predominantly polished axes from the Private Collection of Mr. Jorge Simão in the state of Ceará, Brazil. All artifacts come from donations, without any information about the context of origin. The identification of the main minerals that make up the artifacts was performed based on the interpretation of*

¹ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará

² Núcleo de Arqueologia e Semiótica do Ceará (NARSE) – Universidade Estadual do Ceará

³ Departamento de Física – Universidade Federal do Ceará

⁴ Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará

X-ray diffractograms (XRD) and X-ray spectra by energy dispersion (EDS) of the dust particles collected in the samples. The knowledge of the minerals together with the macroscopic description of the artifacts provided the identification of the rock type used to make the lithic artifact and, in turn, served as a prospective guide of the potential sources of raw material. Most of the lithic correspond to basalt and diabase magmatic rocks similar to the Rio Ceará-Mirim Cretaceous dykes that occur along a well-defined strip to the south and southeast of the Quixeramobim city. The other artifacts correspond to calcissilicate rocks and leucocratic gneiss, associated with Precambrian rocks from Paleo and/or Neoproterozoic regional units. Among the main advantages of the collection method and the techniques applied in the research, are the small diameter, the depth of the drilling and the small amount of material used, facilitating the restoration and allowing the return of the artifact to the exposure. Considering the large number of lithic artifacts existing in museums and private collections, the methods employed in this research represent an alternative and important tool applied to the archaeological analysis, especially in determining potential sources of raw material and in prospecting for likely lithic industries.

Keywords: *X-ray diffraction, X-ray spectroscopy, archaeological artifacts, source area.*

1. INTRODUÇÃO

Nos municípios situados em zonas rurais e litorâneas do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, as coleções arqueológicas particulares, que localmente são chamadas de museus, se constituem nos únicos acervos em que o período pré-colonial tem sua representação no marco da História local. As comunidades que habitam zonas interiorizadas de estados brasileiros, com raras exceções, não têm sua História documentada em textos escritos, nem tampouco dos períodos mais recuados no horizonte pré-colonial. De algum modo, nessa perspectiva da documentação, Christopher Tilley enfatiza que a cultura material, na dimensão do seu uso, tem o alcance de transformar, guardar ou preservar informação social (TILLEY, 2000).

Geralmente os artefatos que constituem estas coleções particulares são provenientes de doações sem qualquer alusão a sua procedência, limitando o potencial de análise e/ou interpretação arqueológica no que diz respeito ao

contexto espacial. Os artefatos que compõem esses acervos, em sua maioria, foram doados, especialmente por pessoas que os encontraram quando realizavam alguma atividade nas zonas agrícolas da região, se constituindo assim em achados fortuitos. Apesar de não terem sido resgatados segundo procedimentos arqueológicos, estão inscritos no amplo universo da cultura material que, nas duas primeiras décadas do século XX, alcançou maturidade no campo epistemológico em estudos inscritos na arqueologia (BUCAILLE, R.; PESEZ, 1989).

Como parte deste 'contexto de achados fortuitos' e colecionismo, se destacam os artefatos arqueológicos, predominantemente machados polidos, que compõem a Coleção Particular do Sr. Jorge Simão, localizada na cidade de Quixeramobim, porção central do Estado do Ceará (Figura 1). Segundo Prous (1992), os artefatos – objetos produzidos ou modificados pelo homem – representam um dos principais vestígios materiais utilizados na análise arqueológica; neste caso,

normalmente realizada através da diferenciação em categorias (morfologia, técnicas de fabricação, função e estilo) o que possibilita a comparação entre “indústrias” (conjuntos de artefatos). A partir da comparação entre os diferentes tipos

ou categorias de artefatos encontrados em vários sítios ou em diversos níveis arqueológicos, é possível avaliar se procedem ou não de uma mesma tradição (PROUS, 2019).

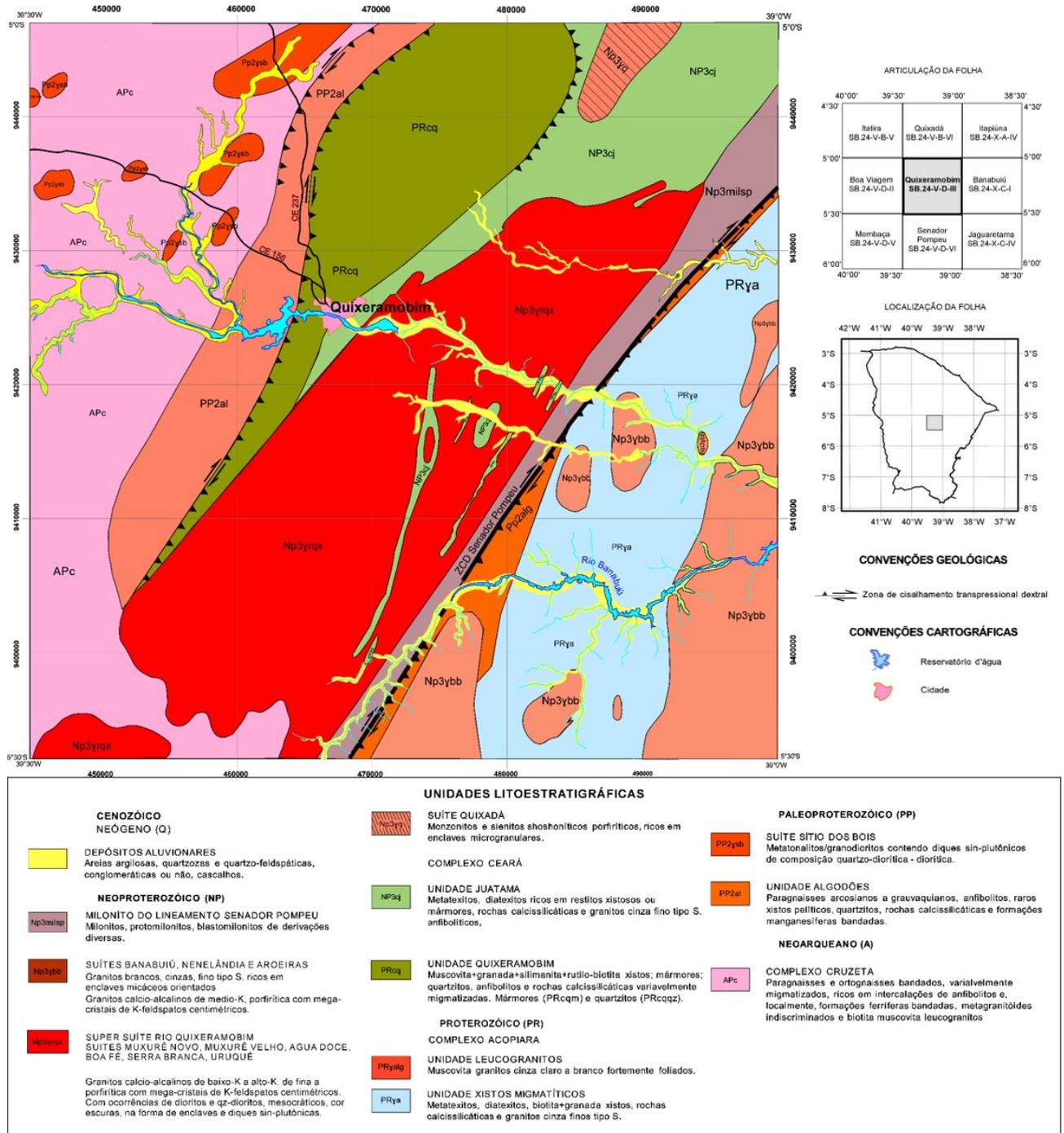


Figura 1: Localização da cidade de Quixeramobim no Estado do Ceará, dentro do contexto da Carta Geológica e respectiva articulação e localização da Folha no Estado do Ceará. (Carta Geológica Quixeramobim - SB.24-V-D-III - Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Programa Geologia do Brasil - Escala 1:100.000) (Fonte: Parente et al. 2011).

Essas considerações se aplicam a pesquisas desenvolvidas em contextos arqueológicos conhecidos, documentados segundo procedimentos científicos, onde a cultura material e o ambiente são indissociáveis na compreensão do horizonte de uma tradição cultural. Na ausência de um conhecimento do ambiente dos achados, os artefatos dessas coleções arqueológicas detêm a capacidade de preservar, transformar e guardar informações, onde neste sentido, destacamos o potencial de identificação da fonte de proveniência, conforme será demonstrado.

O estudo da matéria prima utilizada para a produção dos artefatos arqueológicos poderia ser feito a partir de análises petrográficas ou geoquímicas, da mesma forma como são realizados os estudos das rochas na geologia. Entretanto, estas técnicas raramente são aplicadas em arqueologia por serem destrutivas, pois requerem o corte para confecção de lâmina petrográfica ou a coleta de um fragmento representativo do artefato para análise química. A quebra para geração de uma superfície fresca, objetivando a observação macroscópica com lupa, também é igualmente inadequada.

Levando em consideração o valor patrimonial e museológico das peças estudadas, foram aplicadas técnicas cuja intervenção fosse a mínima possível e necessitassem de uma pequena quantidade de amostra. Dessa forma, optou-se pela difratometria e a espectroscopia de raios-X realizadas em pequena quantidade de pó das amostras. Como ambas as técnicas são não destrutivas, mantendo a composição química e mineralógica inalteradas, a mesma amostra foi utilizada para as duas técnicas aplicadas.

Outro aspecto importante é que o pó retirado para as análises pode ser reutilizado para restauração do artefato, permitindo o preenchimento das cavidades de onde foram coletadas as amostras, mantendo a cor e tonalidade da peça original. Desse modo, um artefato exposto de uma coleção pode retornar ao acervo sem que se perceba a intervenção, especialmente se a perfuração para coleta tenha sido realizada em plano de fratura pré-existente.

A história da coleção do Sr. Jorge Simão está associada à biografia de colecionador que, quando jovem, costumava acompanhar o seu pai pelo Sertão Central do Ceará como vendedores ambulantes ou mascates, vendendo mercadorias das mais diversas. Ao longo desta vivência, o Sr. Jorge narra que inúmeras vezes fora solicitado a dar explicações sobre vestígios arqueológicos considerados estranhos pelas pessoas das localidades as quais visitavam. É provável que sua condição de estrangeiro, pela ascendência sírio-libanesa, gerasse expectativa dele possuir um conhecimento diferenciado das populações do sertão (MARQUES, 2002; MARQUES & HILBERT, 2012). Foi nesse período que o seu gosto em colecionar começou a ser alimentado. Na medida em que era requisitado para explicar aspectos dos artefatos pré-coloniais, se sentiu estimulado pelos mesmos e assim, sua história pessoal imprimiu sentido à coleção que veio a formar, e que, posteriormente ficou sendo conhecido na cidade de Quixeramobim como o Museu do Sr. Jorge Simão. Essa particularidade do início da coleção se insere na perspectiva apontada por Susan Pearce, ao afirmar que as coleções se iniciam a partir de construções individuais e sociais, e ao mesmo tempo, elas mantêm vínculos de intimidade com o

seu colecionador, e, em última instância, se constituem como parte dele próprio (PEARCE, 1992). Até o final de sua vida, o Sr. Jorge acalentou o desejo que essa coleção passasse para a guarda do poder público local, para o município de Quixeramobim, no entanto, até o momento esse desejo não foi realizado.

O Museu do Sr. Jorge Simão possuía uma área de 60 m² e, estava situado no centro da cidade de Quixeramobim. Neste espaço estavam expostos objetos que correspondiam ao período pré-colonial e histórico. Após a morte do colecionador, toda a coleção ficou sob a guarda do seu filho, tendo sido acondicionada em outro local e sem acesso à visitação. O acervo da cultura material pré-colonial é composto por 125 artefatos líticos e 23 fragmentos cerâmicos. Dentre os artefatos líticos predominam as lâminas de machado polidas (76 peças). Numa perspectiva de representatividade de artefatos polidos identificados no território nacional, a família

de lâminas, onde se incluem os machados, se destaca por ser a mais bem conhecida (PROUS, 2019). O acervo do Sr. Jorge ainda é composto por almofarizes, contas de colar, prováveis peças para produção de fogo e uma ponta de seta bifacial pedunculada.

Deste acervo foram selecionadas 7 peças para as análises mineralógicas e químicas por DRX e EDS, em sua maioria representadas por machados polidos (Figura 2). Todos os machados foram confeccionados com 'orelhas' que permitem o encabamento, dentre eles, apenas um permanece em sua forma original, os demais possuem marcas de fratura. Dois deles, em que a inclinação da 'orelha' é formada por um ângulo menor, se apresentam com um maior estreitamento na largura. Uma outra peça, onde a área proximal é inexistente, devido a maior robustez e arredondamento na largura, mas com trabalho de polimento na parte distal, pode ser caracterizado como um cavado.



Figura 2. Conjunto de artefatos arqueológicos analisados da coleção de Jorge Simão. LQ-01, LQ-02 e LQ-04 - Machados com orelha para encabamento com fratura na porção distal. LQ-03 - Machado com orelha para encabamento com fratura na porção mesial. LQ-05 - Cavador com área ativa preservada e com fratura na porção mesial. LQ-06 - Machado com orelha de ângulo reduzido com fratura na porção proximal. LQ-07 - Machado com orelha preservada na íntegra.

Sr. Jorge afirmava que a maioria dos artefatos era proveniente dos arredores de Quixeramobim, embora sem localização precisa. Segundo ele, a maioria das doações era recebida por ele em seu estabelecimento que, conforme foi dito anteriormente, funcionava como museu. Desse modo, ele não conhecia os lugares específicos dos achados fortuitos. As análises voltadas a definir a composição dos artefatos estudados tiveram por objetivo identificar dentro do contexto geológico conhecido, a ocorrência e a localização de rochas análogas.

Dois aspectos e desafios importantes nortearam a pesquisa. O primeiro, relacionado à escolha do método analítico apropriado às análises dos artefatos arqueológicos; e um segundo, que considera o fato de que embora não se tenha conhecimento da origem e procedência dos objetos das coleções, há um potencial de estudo a partir da identificação da composição dessa cultura material pelas análises supramencionadas. Posteriormente, conhecendo a composição das rochas utilizadas na confecção das peças, pode-se inferir, a partir de seus análogos nas cartas geológicas existentes,

as prováveis áreas de proveniência ou áreas fontes dos artefatos analisados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Procedimentos de coleta e preparação

A coleta de material para as análises foi realizada através de incisão profunda e pontual, com brocas de aço e vídia fixadas a um motor de chicote utilizado em próteses dentárias da marca BELTEC. O diâmetro das perfurações foi igual ou inferior a 1 mm e com profundidade média de 1 cm, gerando cerca de 2 gramas de pó dos artefatos, suficiente para realização das análises. Considerando que os artefatos compõem peças de uma coleção, procurou-se realizar as perfurações em fraturas ou cavidades já existentes na peça. O pó coletado foi acondicionado em microtubos plásticos tipo Eppendorf de 2 ml para posterior análises por DRX e EDS, respectivamente, nos Laboratórios de Raios X da Física e de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia. Detalhes do da perfuração e quantidade de material coletado podem ser vistos na Figura 3.

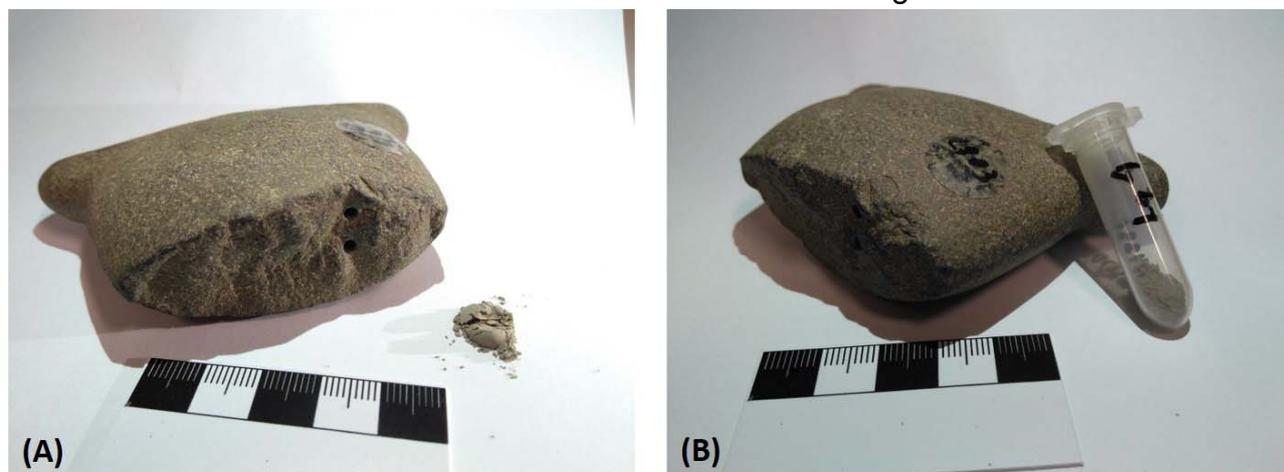


Figura 3: Incisão para coleta de amostra de pó dos artefatos arqueológicos (A) e volume aproximado acondicionado em microtubo plástico tipo Eppendorf (B).

2.2. Análises de difratometria de raios-X (DRX)

A difratometria de raios X é uma das principais técnicas utilizadas para a caracterização e identificação de estruturas cristalinas, com aplicações nas mais variadas áreas de conhecimento.

A identificação dos minerais de uma amostra de rocha é feita por meio da comparação do difratograma gerado pela análise, com padrões de referência, disponíveis em bancos de dados de DRX contendo informações cristalográficas, tais como distâncias interplanares e as intensidades difratadas normalizadas (relativas a 100%) para os vários planos (hkl) dos minerais que difratam os raios X.

As amostras de pó coletadas dos artefatos arqueológicos foram todas analisadas no Laboratório de Raios X do Departamento de Física no Difractômetro para amostras policristalinas PANalytical X'Pert PRO, equipado com tubo de Cobalto ($\lambda_{K\alpha_1} = 1,789\text{\AA}$) e cristal monocromador híbrido, para as condições de tempo de contagem de 5s, tensão 40 kV e corrente 40 mA.

Para a posterior identificação de fases cristalinas foi empregado o *software* X'Pert HighScore Plus (2001), o qual permitiu a geração dos difratogramas contendo os principais minerais presentes em cada amostra analisada.

2.3. Análises de espectroscopia de raios X (EDS)

Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX ou EDS) é uma técnica analítica aplicada a análise química e constitui uma das variantes da espectroscopia por fluorescência de raios X que se baseia na investigação de uma amostra através de interações entre

partículas ou radiação eletromagnética e matéria, analisando os raios X emitidos pela matéria em resposta à incidência de partículas carregadas. Baseia-se no princípio fundamental de que cada elemento tem uma estrutura atômica própria, de tal forma que os raios X emitidos são característicos desta estrutura, e identificam o elemento.

Após análise mineralógica por DRX, o mesmo pó coletado dos artefatos, foi analisado quimicamente no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia (LME - DEGEO) equipado com microscópio eletrônico de varredura HITACHI TM 3000, acoplado com sistema de energia dispersiva de raios-X do tipo EDS SWIFT ED 3000 - com detector de estado sólido e aceleração de 20 keV. Para cada amostra foi gerado um espectro de EDS correspondente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises mineralógicas e químicas dos artefatos arqueológicos

O artefato lítico **LQ-01**, um machado polido, apresenta macroscopicamente cor predominante cinza esverdeada com manchas rosadas a avermelhadas e textura granular média. A análise de pó do artefato mostrou um espectro de difração (padrão de difratometria) que sugere a presença de quartzo, plagioclásio, anfibólio, piroxênio e granada (Figura 4). A granada é do almandina (Fe^{+2} , Mn)₃ $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ é facilmente reconhecida na amostra pelo tamanho dos cristais que pode chegar a 0,5cm (Figura 5). O plagioclásio é representado pelo seu membro extremo, mais rico em cálcio, a anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). O anfibólio e o piroxênio são respectivamente a actinolita ($\text{Na}_{0.11} \text{K}_{0.04}$) ($\text{Ca}_{1.68} \text{Na}_{0.04} \text{Fe}_{0.28}$) ($\text{Mg}_{3.65} \text{Fe}_{1.14} \text{Al}_{0.21}$) ($\text{Si}_{7.38} \text{Al}_{0.62}$) O_{22}) (OH)₂ e o diopsídio

(Mg_{0.992} Fe_{0.008}) (Ca_{0.971} Fe_{0.029}) (Si₂ O₆). Além destes minerais, a presença de ilmenita (Fe Ti O₃) no difratograma é

confirmada pelos picos de ferro e titânio no espectro de EDS (Figura 6).

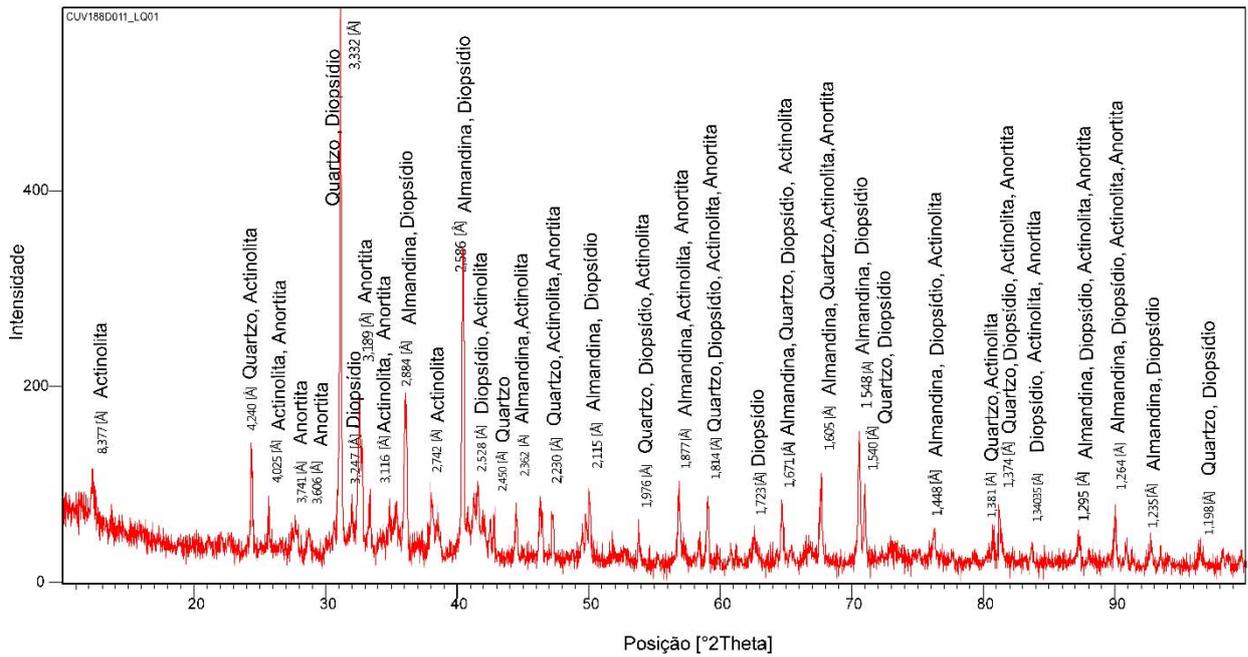


Figura 4: Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-01 com distâncias interplanares dos planos característicos do quartzo (SiO₂), anortita (CaAl₂Si₂O₈), actinolita (Na_{0.11} K_{0.04}) (Ca_{1.68} Na_{0.04} Fe_{0.28}) (Mg_{3.65} Fe_{1.14} Al_{0.21}) (Si_{7.38} Al_{0.62}) O₂₂) (OH)₂, diopsídio (Mg_{0.992} Fe_{0.008}) (Ca_{0.971} Fe_{0.029}) (Si₂ O₆) e da ilmenita (Fe Ti O₃).

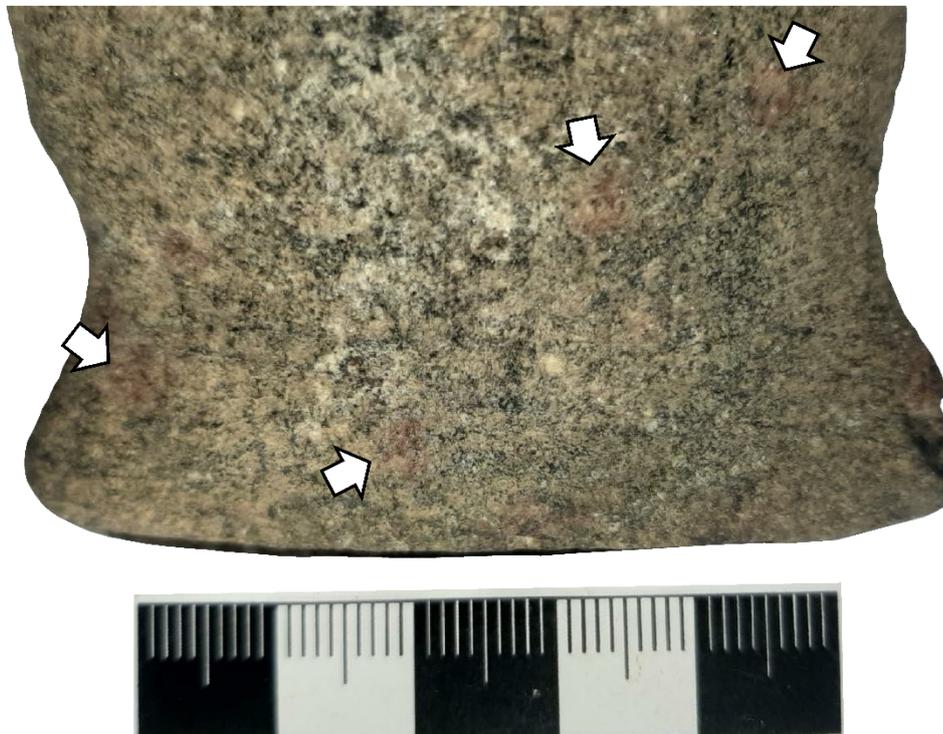


Figura 5: Detalhe dos cristais rosados de granada almandina (setas brancas) no Artefato LQ-01. A matriz contém cristais verdes de piroxênio e anfibólio envolvidos por massa branca e incolor de plagioclásio e quartzo

As análises químicas confirmam os dados obtidos por DRX, mostrando os teores altos de sílica, alumínio, cálcio e magnésio da amostra (Figura 6).

Em termos composicionais corresponde a uma rocha de composição calcissilicática contendo silicatos de cálcio-magnésio-ferro-alumínio, formada como resultado de alterações que ocorreram pela interação de fluidos hidrotermais com um protólito de origem sedimentar química (carbonato). Em muitos casos, os skarns

estão associados à intrusão de plútons graníticos associados a falhas ou zonas de cisalhamento.

A análise de pó do artefato lítico **LQ-02** por DRX indicou a presença de plagioclásio (anortita sódica - $(Ca, Na) (Si, Al)_4 O_8$, os piroxênios (diopsídio - $(Ca Mg Si_2 O_6)$ e augita - $(Na_{0.1} Ca_{0.6} Mg_{0.9} Fe_{0.2} Ti_{0.0} Al_{0.3} Si_{1.8} O_6)$), além de clorita/serpentina $(Mg,Al)_6 (Si,Al)_4 O_{10} (OH)_8$ e titanomagnetita $(Fe_{2.1} Ti_{0.74} Mn_{0.02} V_{0.01} Ca_{0.01} Si_{0.01} Al_{0.05} Mg_{0.06} O_4)$ (Figura 7).

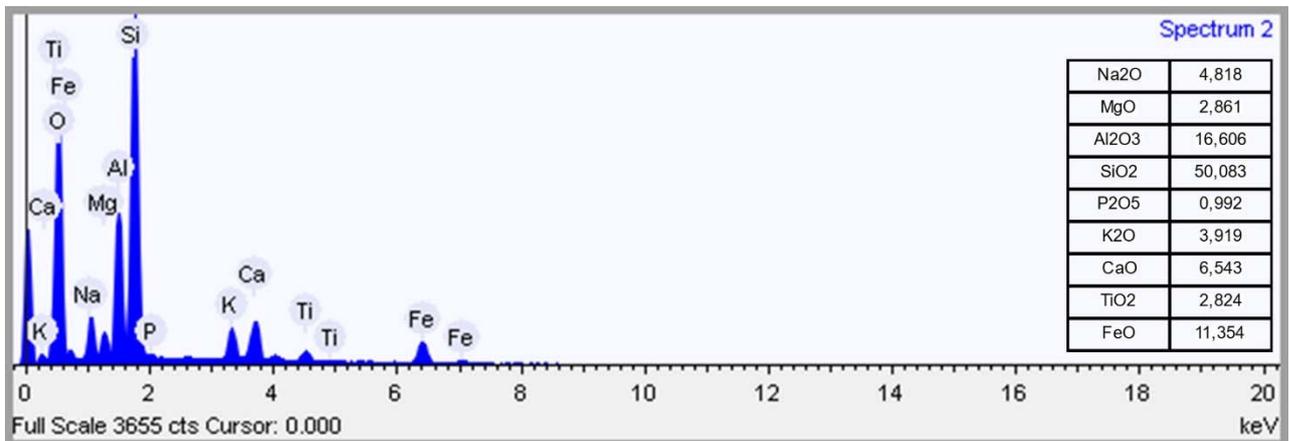


Figura 6: Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-01 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

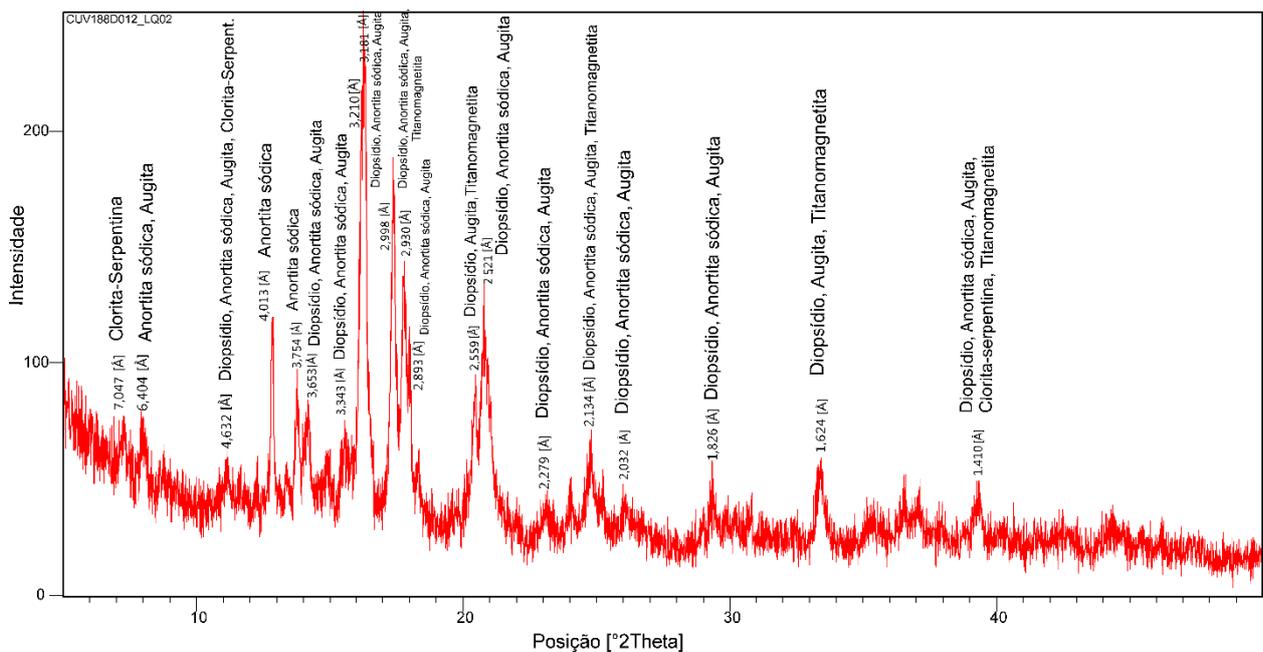


Figura 7: Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-02 com distâncias interplanares dos planos característicos da anortita sódica $((Ca, Na) (Si, Al)_4 O_8)$, diopsídio $(Ca Mg Si_2 O_6)$, augita $(Na_{0.1} Ca_{0.6} Mg_{0.9} Fe_{0.2} Ti_{0.0} Al_{0.3} Si_{1.8} O_6)$, clorita/serpentina $((Mg,Al)_6 (Si,Al)_4 O_{10} (OH)_8)$ e titanomagnetita $(Fe_{2.1} Ti_{0.74} Mn_{0.02} V_{0.01} Ca_{0.01} Si_{0.01} Al_{0.05} Mg_{0.06} O_4)$.

Os elementos identificados nas análises químicas por EDS corroboram com as análises por DRX (Figura 8). A variedade sódica da anortita, que é um plagioclásio cálcico, é sugerida pela presença do espectro do sódio (Na) e teores aproximados de 4% obtidos para este elemento que entra substituindo o cálcio na estrutura deste mineral. Da mesma forma, os espectros de titânio (Ti)

associados aos de ferro (Fe) no EDS confirmam a presença de titanomagnetita nos difratogramas de raios X. O registro dos espectros do fósforo (P) e do potássio (K) sugerem, respectivamente, a presença de apatita e biotita como minerais acessórios na amostra.

Com relação a composição, a peça **LQ-02** sugere o uso de um álcali-basalto para a confecção do artefato.

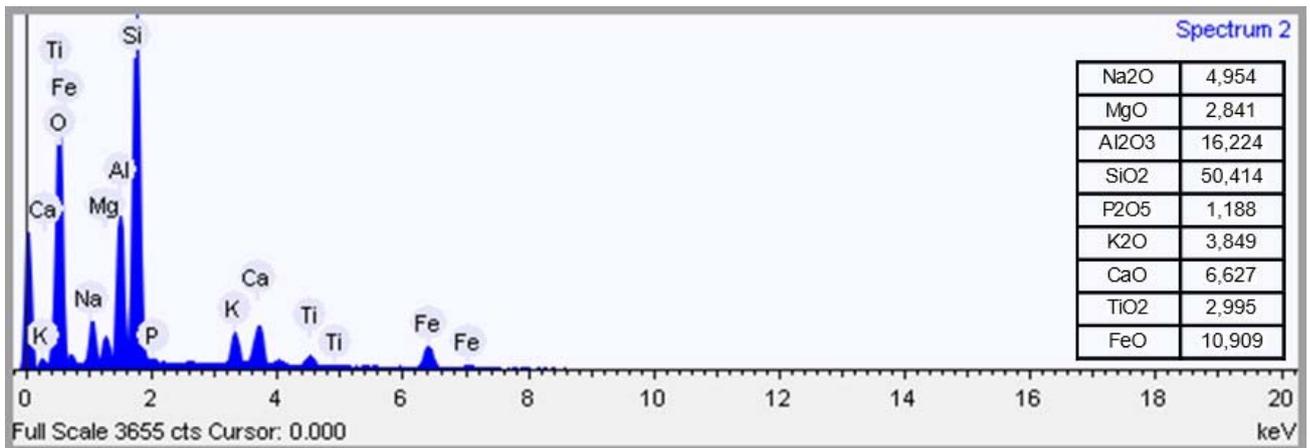


Figura 8: Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-02 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

O artefato **LQ-03**, um machado polido de cor cinza-escuro e textura fina possui mineralogia identificada em DRX representada pelos anfibólios: mangano-cummingtonita - $(Na, Ca)_2 (Mg, Mn, Fe)_5 Si_8 O_{22} (OH)_2$ e actinolita - $(Ca_2 (Mg, Fe)_5 Si_8 O_{22} (OH)_2)$, pelos plagioclásios: anortita - $CaAl_2 Si_2 O_8$ e anortoclásio - $(Na_{0.75} K_{0.25}) (AlSi_3 O_8)$, além de clorita/serpentina $((Mg, Al)_6 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_8)$ e titanomagnetita $(Fe_{2.50} Ti_{0.50} O_4)$ (Figura 9).

As análises químicas realizadas por

EDS confirmam a composição determinada por DRX (Figura 10). O sódio está presente na estrutura do anfibólio (mangano-cummingtonita) e do plagioclásio (anortoclásio) e os espectros de ferro e titânio estão relacionados com a presença da titanomagnetita. A amostra apresenta suscetibilidade magnética e a sua textura é granular fina. A presença de cristais de plagioclásio ripiformes (na forma de ripas) visíveis com lupa, em matriz cinza esverdeada sugere um diabásio.

teor e espectro menos importante do fósforo, sugere a presença de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$). Esta última não identificada nas análises de DRX pela pequena quantidade.

A cor cinza-esverdeada, a textura afanítica, a densidade e a composição mineralógica e química da amostra sugerem um diabásio.

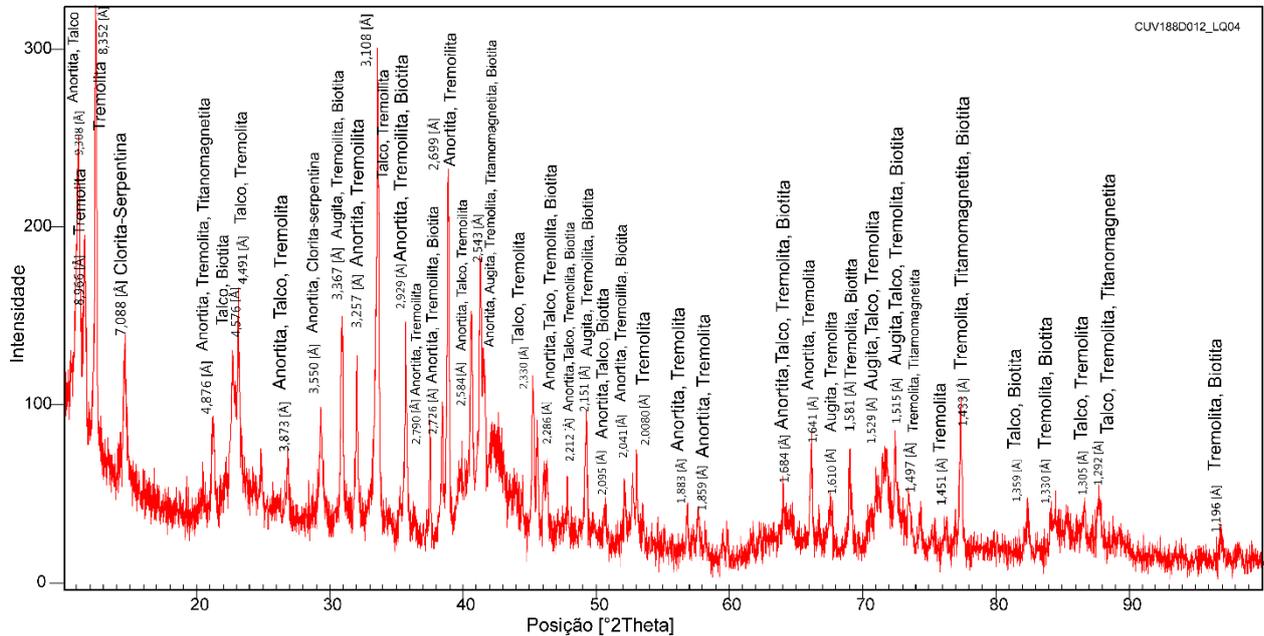


Figura 11: Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-04 com distâncias interplanares dos planos característicos da tremolita ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), augita ($\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), clorita/serpentina ($(\text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), titanomagnetita ($\text{Fe}_{2.50}\text{Ti}_{0.50}\text{O}_4$) e biotita ($\text{K}_{1.81}\text{Na}_{0.12}\text{Ba}_{0.07}(\text{Mg}_{3.33}\text{Fe}_{2.05}\text{Al}_{0.26}\text{Ti}_{0.36})(\text{Al}_{2.75}\text{Si}_{5.25}\text{O}_{20}\text{O}_{1.74}(\text{OH})_{2.26}$).

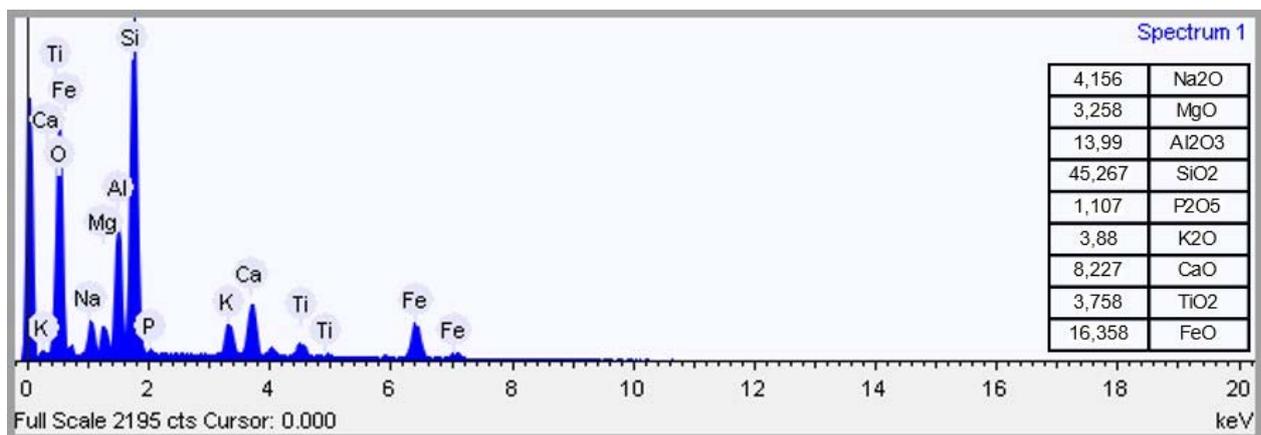


Figura 12: Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-04 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

O cavador **LQ-05**, com área ativa preservada e com fratura na porção mesial de cor cinza-escuro esverdeado e textura fina, possui os seguintes minerais: clinopiroxênio (diopsídio - $\text{Ca Mg Si}_2 \text{O}_6$), anfibólio cálcico (hastingsita - $(\text{Ca, Na})_2 (\text{Fe}_2, \text{Mg})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$), granada almandina ($\text{Fe}_{1.88} \text{Ca}_{0.75} \text{Mg}_{0.24} \text{Mn}_{0.1} \text{Al}_2 (\text{Si O}_4)_3$), clorita (clinocloro - $(\text{Mg,Fe})_6 (\text{Si,Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$), plagioclásio (anortita - $(\text{Ca,Na}) (\text{Si,Al})_4 \text{O}_8$), quartzo (SiO_2), titanita ($\text{Ca Ti O} (\text{SiO}_4)$) e ilmenita (Fe Ti O_3) (Figura 13).

As análises químicas estão coerentes com a mineralogia identificada nos difratogramas de raios X, onde os altos

teores e espectros bem definidos do silício, alumínio, cálcio e magnésio confirmam a presença de quartzo, dos minerais cálcicos (hastingsita e anortita) e cálcio-magnesianos (diopsídio) e magnesianos (clinocloro). Os teores e espectros de ferro estão relacionados com a presença de almandina, anfibólio e clorita, enquanto os de titânio a presença do mineral titanita (Figura 14).

Pela mineralogia e química apresentada a amostra é, muito provavelmente, uma rocha calcissilicática gerada pelo metamorfismo de protólito rico em magnésio, cálcio, sílica e alumínio.

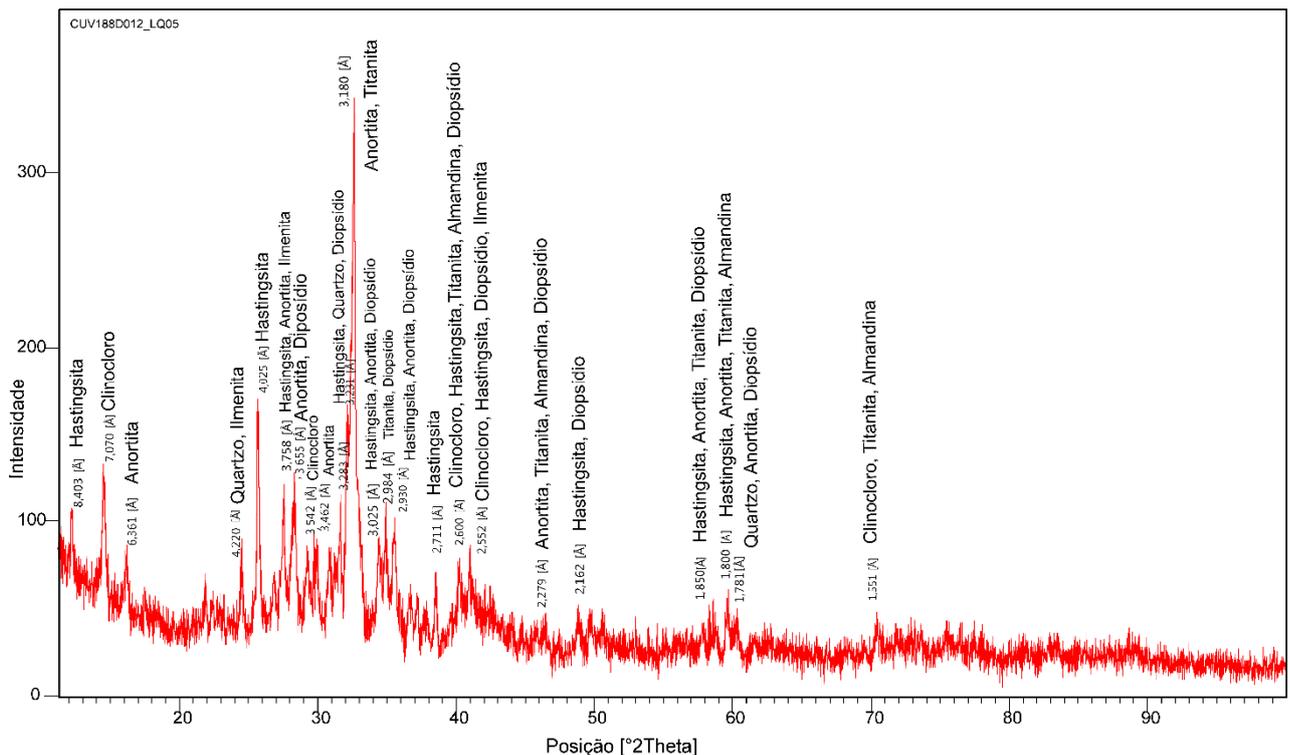


Figura 13: Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-05 com distâncias interplanares dos planos característicos do diopsídio ($\text{Ca Mg Si}_2 \text{O}_6$), hastingsita ($(\text{Ca, Na})_2 (\text{Fe}_2, \text{Mg})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$), almandina ($\text{Fe}_{1.88} \text{Ca}_{0.75} \text{Mg}_{0.24} \text{Mn}_{0.1} \text{Al}_2 (\text{Si O}_4)_3$), clinocloro ($(\text{Mg,Fe})_6 (\text{Si,Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$), anortita ($(\text{Ca,Na}) (\text{Si,Al})_4 \text{O}_8$), quartzo (SiO_2), titanita ($\text{Ca Ti O} (\text{SiO}_4)$) e ilmenita (Fe Ti O_3).

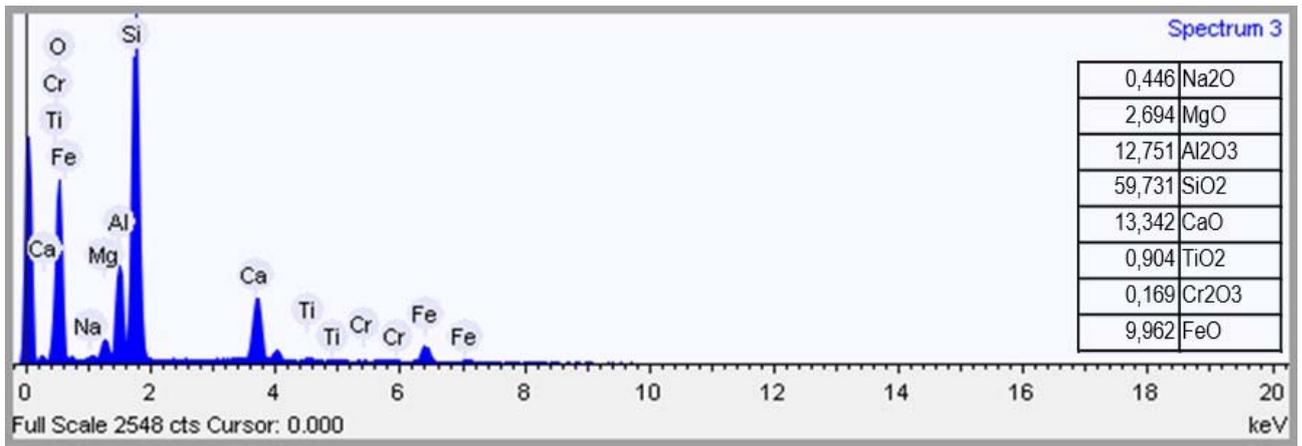


Figura 14: Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-05 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

O artefato **LQ-06**, um machado com orelha de ângulo reduzido com fratura na porção proximal, de cor cinza-escuro preto a esverdeado e textura fina, mostrou a seguinte mineralogia identificada em DRX: plagioclásio (anortita - $(\text{Na}_{0.25} \text{Ca}_{0.71} (\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8))$), anfibólio (actinolita - $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Fe}^{+2} - \text{SiO}_2 - \text{OH}$), piroxênio (augita - $(\text{Na}_{0.1} \text{Ca}_{0.6} \text{Mg}_{0.9} \text{Fe}_{0.2} \text{Ti}_{0.0} \text{Al}_{0.3} \text{Si}_{1.8} \text{O}_6)$), olivina ($(\text{Mg}_{1.41} \text{Fe}_{0.59} (\text{Si} \text{O}_4))$), quartzo (SiO_2) e titanomagnetita ($\text{Fe}_{2.50} \text{Ti}_{0.50} \text{O}_4$) (Figura 15).

As análises químicas obtidas por EDS mostram altos teores de MgO e FeO compatíveis com a presença dos minerais ferro-magnesianos (olivina, piroxênio e anfibólio), com o ferro e o titânio associados a estrutura da titanomagnetita. Traços de cromo e níquel, em proporção inferior a 1%, podem ter relação com a broca utilizada para perfuração e coleta de material da amostra (Figura 16).

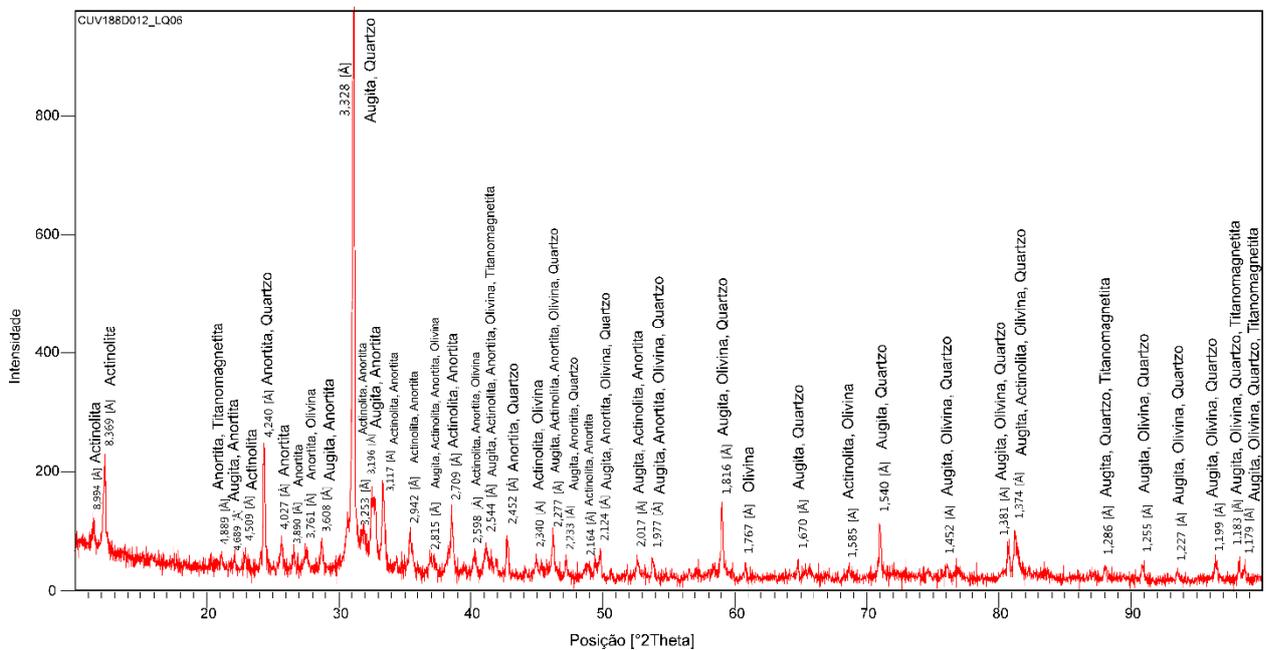


Figura 15: Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-06 com distâncias interplanares dos planos característicos da anortita ($\text{Na}_{0.25} \text{Ca}_{0.71} (\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$), actinolita ($\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Fe}^{+2} - \text{SiO}_2 - \text{OH}$), augita ($\text{Na}_{0.1} \text{Ca}_{0.6} \text{Mg}_{0.9} \text{Fe}_{0.2} \text{Ti}_{0.0} \text{Al}_{0.3} \text{Si}_{1.8} \text{O}_6$), olivina ($(\text{Mg}_{1.41} \text{Fe}_{0.59} (\text{SiO}_4))$), quartzo (SiO_2) e titanomagnetita ($\text{Fe}_{2.50} \text{Ti}_{0.50} \text{O}_4$).

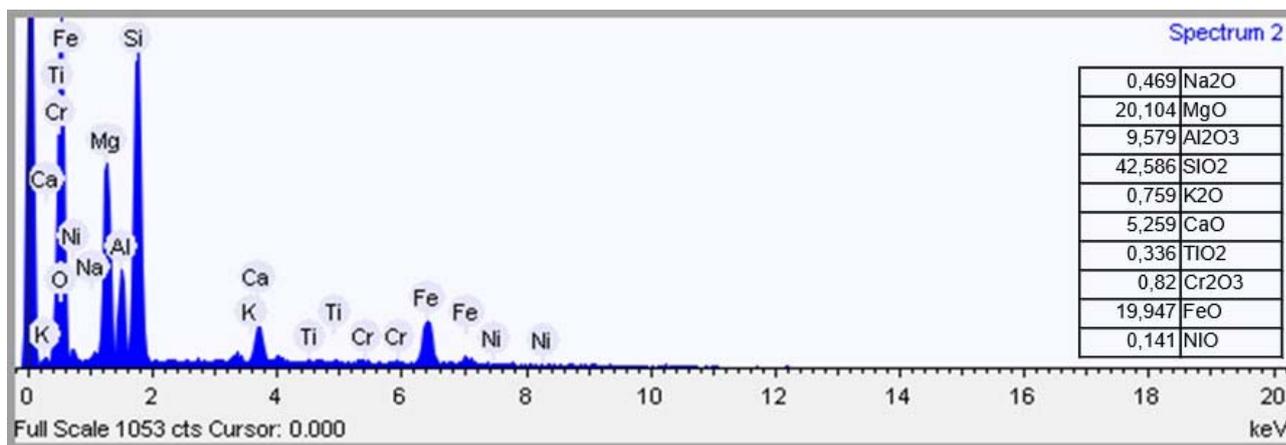


Figura 16. Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-06 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

A cor, a textura, a mineralogia e a química do artefato sugerem a composição de uma rocha máfica, provavelmente um picrobasalto ou basalto picrítico.

O artefato **LQ-07**, um machado com orelha preservada na íntegra (peça completa), de cor cinza claro a creme com textura média a grossa e presença de bandamento incipiente subparalelo a face da peça, apresentou os seguintes minerais no difratograma de raios X: plagioclásio (albita - $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$), quartzo (SiO_2), biotite

($\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$), sillimanita (Al_2SiO_5) e titanomagnetita ($\text{Fe}_{2.75} \text{Ti}_{0.25} \text{O}_4$) (Figura 17).

As análises químicas obtidas por EDS mostram teores elevados de silício e alumínio, compatível com a ocorrência de quartzo e sillimanita. Ferro e titânio estão presentes na biotite e titanomagnetita, e o sódio na albita. Os espectros de cromo e níquel estão provavelmente associados, a contaminação metálica da broca utilizada na amostragem (Figura 18).

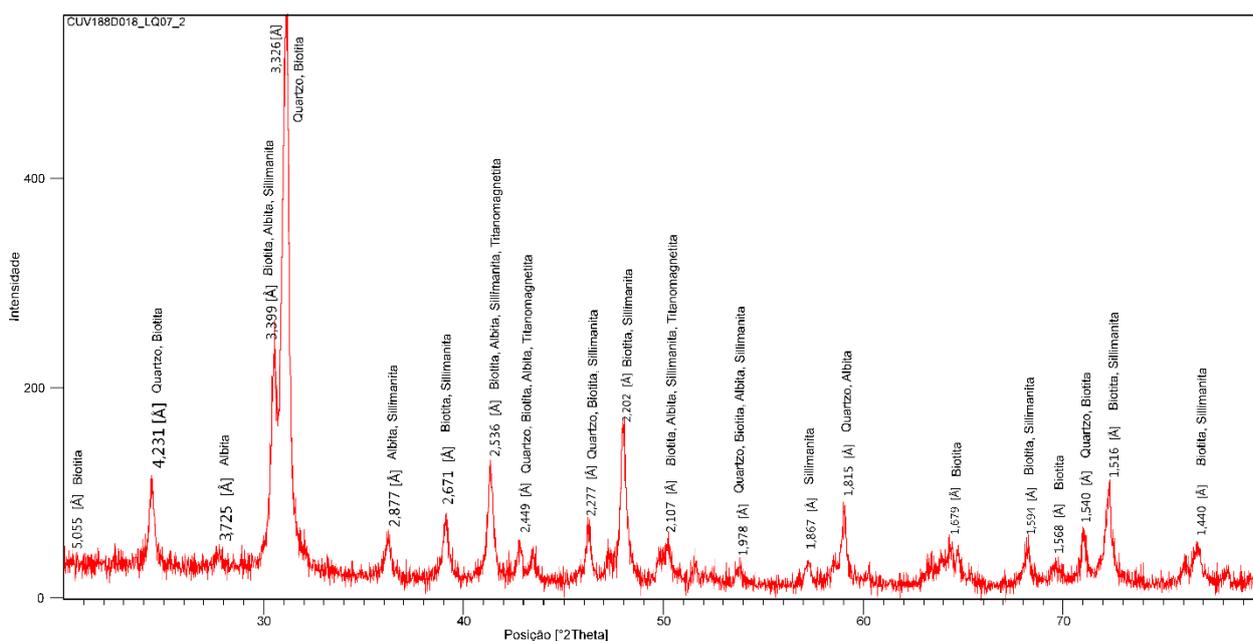


Figura 17. Difractograma de raios X da amostra de pó do artefato LQ-07 com distâncias interplanares dos planos característicos da albita ($\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$), quartzo (SiO_2), biotite ($\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$), sillimanita (Al_2SiO_5) e titanomagnetita ($\text{Fe}_{2.75} \text{Ti}_{0.25} \text{O}_4$).

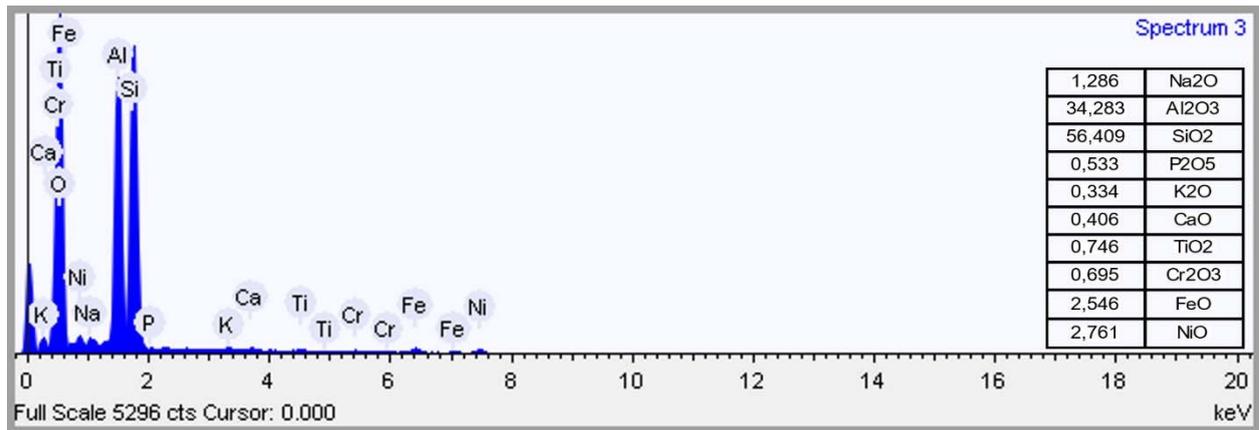


Figura 18. Espectro de raios X de energia dispersiva do artefato LQ-07 com respectivos teores dos óxidos presentes em porcentagem.

Os dados mineralógicos e químicos somados a cor, a textura e a estrutura bandada incipiente sugerem que rocha utilizada na confecção do machado seja um sillimanita biotita gnaiss. Uma rocha metamórfica cujo protólito pode estar associado a um granito gerado por fusão de rochas metassedimentares.

3.2. Matéria prima e fonte de proveniência

Em síntese, os resultados das análises mineralógicas e químicas apontam para o uso dominante de rochas ígneas máficas, principalmente basalto e diabásio como matéria prima natural na confecção dos artefatos arqueológicos (LQ-02, LQ-03, LQ-04 e LQ-06), seguido de rochas calcissilicáticas (LQ-01 e LQ-05). Apenas uma das lâminas de machado foi confeccionada a partir de um gnaiss (LQ-07).

Existem diversos registros de atividades magmáticas extrusivas e intrusivas pós-paleozóicas na Província Borborema associados a determinados intervalos de tempo, correlacionados a eventos tectônicos e com distribuição

especial conhecida. O primeiro e, mais expressivo, ocorreu durante o Cretáceo Inferior (150 a 120 Ma) relacionado à abertura do Oceano Atlântico Sul e a fase inicial de rifteamento da Bacia Potiguar (e.g. ALMEIDA *et al*, 1988; OLIVEIRA, 1988; MATOS, 1992; MIZUSAKI *et al*, 2002). Este evento é materializado por uma série de enxames de diques máficos (basaltos e diabásios) de natureza toleítica, com ou sem olivina, conhecidos como Enxame de Diques Ceará Mirim (EDCM), que ocorrem principalmente a sul da Bacia Potiguar, mas se estendem desde o vale do Rio Ceará Mirim, na costa Leste do RN, até Solonópole – Jaguaratama, no Estado do Ceará, chegando também a atingir a borda oriental da Bacia do Parnaíba (ALMEIDA *et al*, 1988) (Figura 19).

Outros pulsos magmáticos de afinidade, predominantemente alcalina, sucederam o magmatismo Rio Ceará Mirim durante o Cretáceo Superior (Cabo e Cuó) e o Terciário (Macau e Mecejana). Estas rochas ocorrem na forma de diques, *plugs*, derrames e soleiras, e sua distribuição espacial e área de ocorrência podem ser vistas na Figura 19.

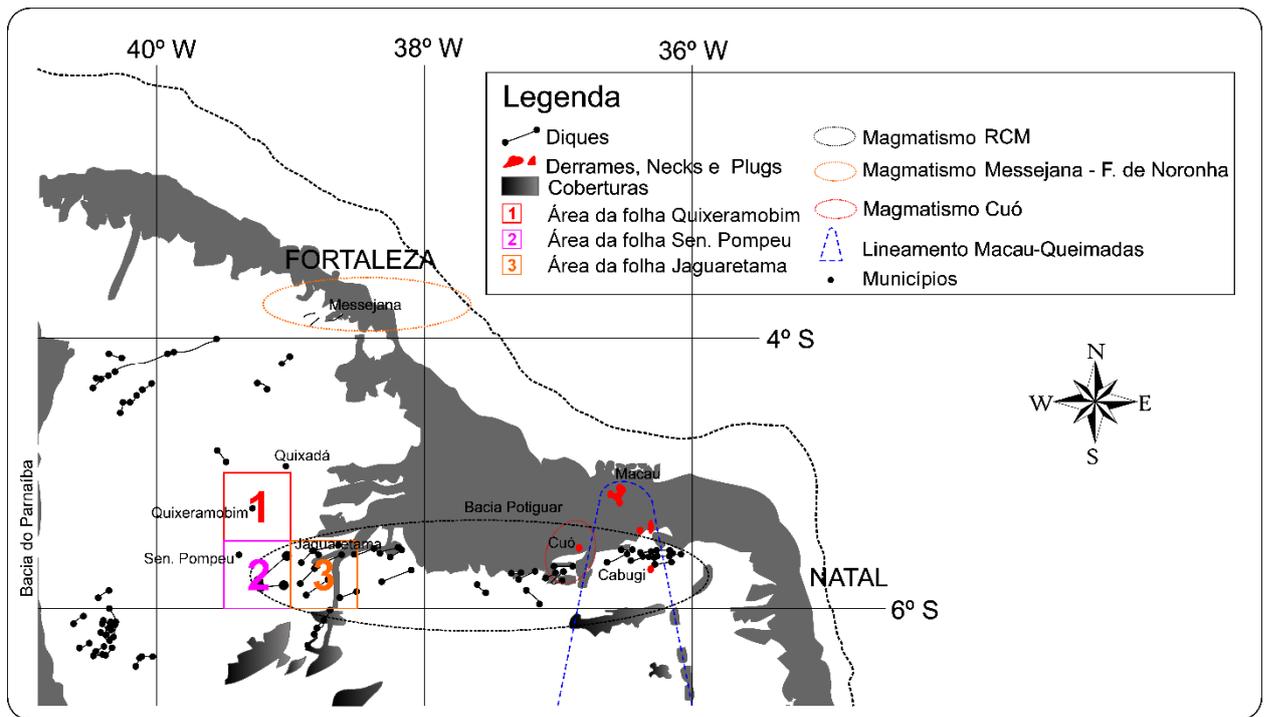


Figura 19: Principais áreas de ocorrência de magmatismo pós-paleozóico na Província Borborema e localização das cartas geológicas mais próximas da cidade de Quixeramobim (Modificado de SILVEIRA, 2006 e ALMEIDA et al, 1988).

As análises por DRX e EDS das rochas utilizadas para confecção dos machados polidos LQ-02, LQ-03, LQ-04 e LQ-06 sugerem analogia com os basaltos e diabásios do magmatismo cretáceo - EDCM.

Os diques Ceará-Mirim que se prolongam de Leste para Oeste a partir do litoral, sofrem inflexão para Sudoeste na folha Senador Pompeu (SB.24-V-D-VI), a sul da cidade de Quixeramobim, podendo se constituir em fonte de matéria prima para os referidos artefatos (Figuras 19 e 20).

Outra área promissora está situada a sudoeste de Quixeramobim, entre a cidade Jaguaratama e o açude do Castanhão, na área da carta geológica Jaguaratama (SB.24-X-C-IV) onde o enxame de diques inflete para Sudoeste (Figura 18). Já nas cartas geológicas Quixeramobim (SB.24-V-B-VI) onde se localiza a coleção estudada e, nas cartas do entorno como Quixadá (SB.24-V-B-VI), Itapiuna (SB.24-X-A-IV) e

Banabuiú (SB.24-V-C-I) as ocorrências de diques do EDCM é restrita e ocasional. Apenas nesta última, limita-se a poucas ocorrências na porção inferior da folha.

Com relação às rochas calcissilicáticas e gnaiss empregadas para confecção dos machados (LQ-01 e LQ-07) e cavador (LQ-05), a definição de áreas fonte de proveniência é menos assertiva, podendo ocorrer nas diversas cartas geológicas mapeadas na escala 1:100.000 que incluem as cidades de Quixeramobim (SB.24-V-B-VI), Quixadá (SB.24-V-B-VI), Senador Pompeu (SB.24-V-D-VI), Itapiuna (SB.24-X-A-IV), Banabuiú (SB.24-V-C-I), Jaguaratama (SB.24-X-C-IV), Itatira (SB.24-V-B-V), Boa Viagem (SB.24-V-D-II) e Mombaça (SB.24-V-D-V). As rochas calcissilicáticas ocorrem como lentes decamétricas a métricas ou em faixas normalmente descontínuas no interior de unidades geológicas paleoproterozóicas (Unidade Algodões e

Complexo Jaguaretama) ou paragneisses, xistos, quartzitos, anfibolitos e neoproterozóicas (Complexo Ceará e Complexo Acopiara) associadas com e migmatitos.

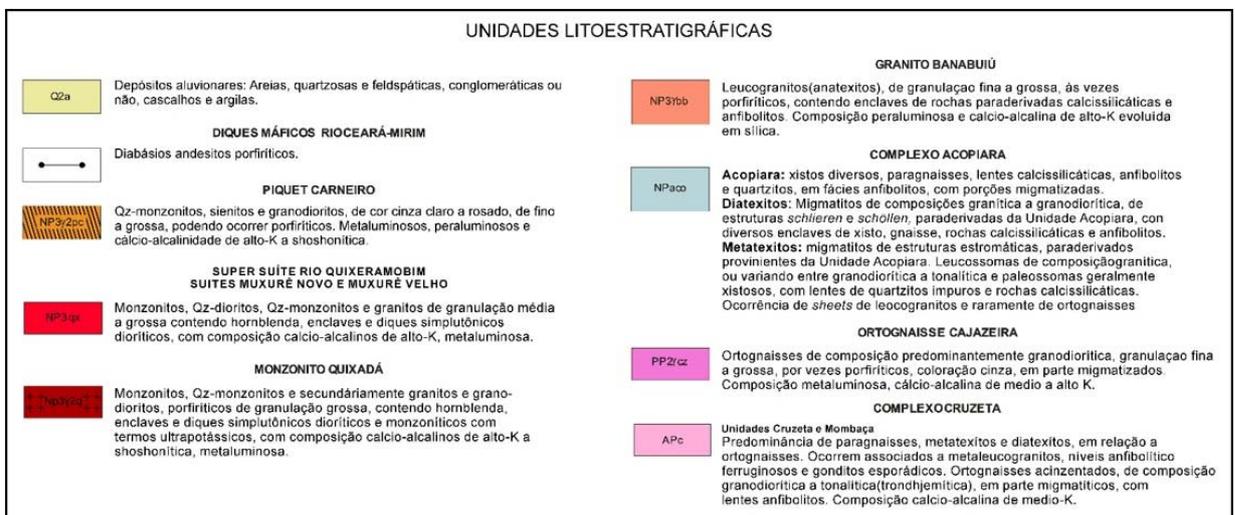
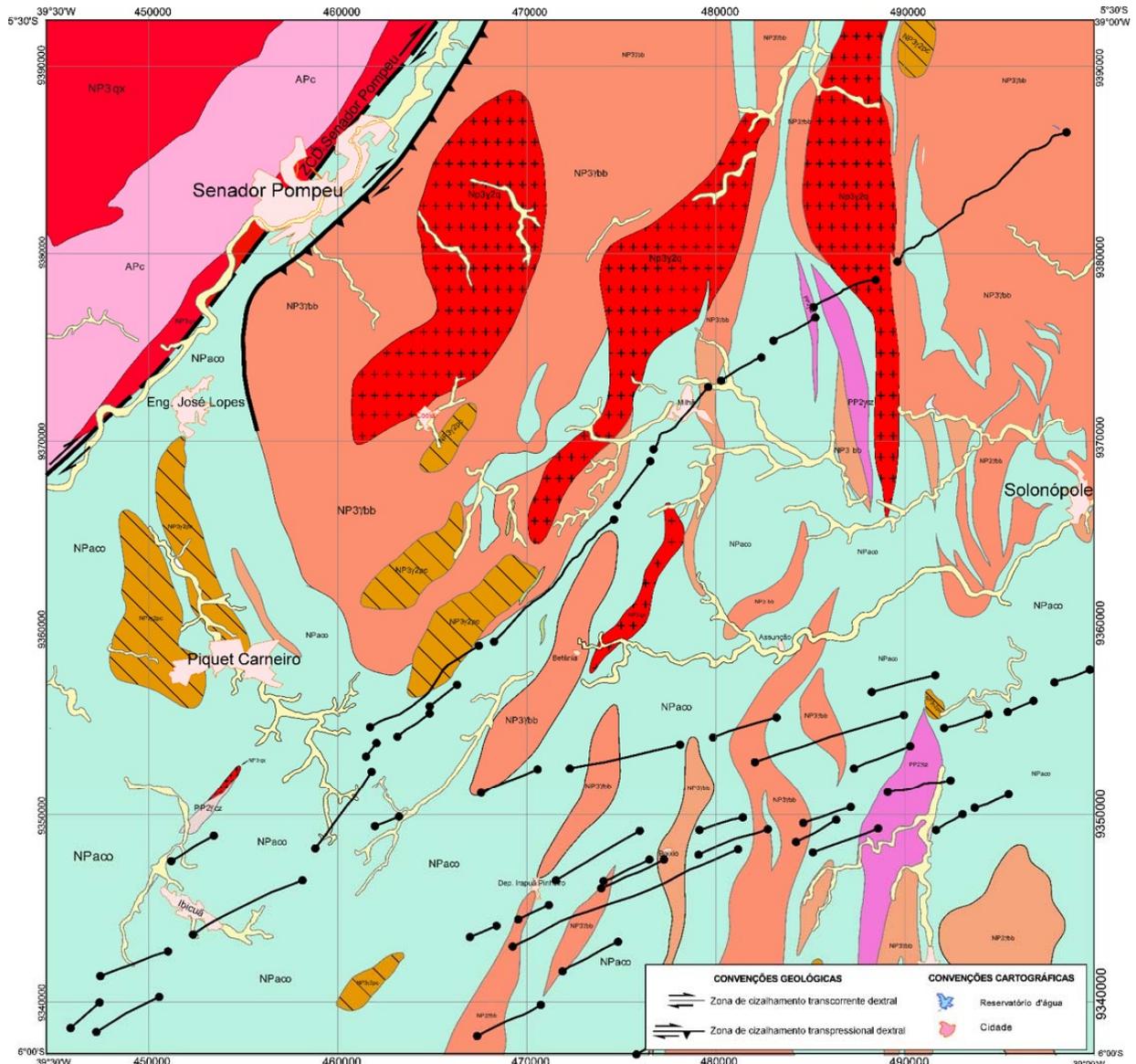


Figura 20: Carta geológica Senador Pompeu (SB.24-V-D-VI) (Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Programa Geologia do Brasil - Escala 1:100.000) (Fonte: Palheta et al. 2011).

A amostra LQ-01 é um escarnito, uma rocha calcissilicática gerada pela interação de fluidos hidrotermais com carbonatos podendo, portanto, ocorrer no contato entre rochas metamórficas paraderivadas e intrusões graníticas normalmente associadas a zonas de cisalhamento, uma condição mais evidente nas quatro folhas que limitam a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Quixadá, Quixeramobim, Itapiuna e Banabuiú).

O gnaiss leucocrático utilizado na confecção do machado polido LQ-07 está provavelmente associado, a leucossomas graníticos gerados por anatexia de metassedimentos aluminosos, uma condição também muito comum e encontrada regionalmente dificultando a identificação segura de prováveis áreas

No Brasil, alguns estudos sobre fontes de matéria prima lítica mostram a maior frequência do uso de rochas básicas ou as chamadas rochas verdes na elaboração de lâminas de machado polido (PROUS *et al.*, 2002; ALVES, 2010; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014). Cerca de 90% das lâminas de machado observadas em coleções de Minas Gerais foram feitas a partir de rochas verdes, contendo olivina, principalmente gabro, doleritos, dioritos e anfibolitos (PROUS *et al.*, 2002).

Figueira Filho *et al.* (2014) relatam o predomínio do uso de diabásio e basalto para elaboração dos artefatos líticos polidos no Estado do Rio Grande do Norte. Referidos autores sugerem a preferência por ambas litologias no fabrico principalmente de machados, machadinhas, mãos-de-pilão e almofarizes pela sua densidade, dureza, resistência à compressão e suscetibilidade ao polimento.

Penha (2017) destaca que a textura afanítica, típica das rochas vulcânicas (basalto, riolito, andesito) é uma

característica facilitadora do lascamento controlado quando comparada às rochas ígneas com textura fanerítica.

Prous (2019) descreve os diabásios e basaltos como rochas de comportamento intermediário (semifrágéis) quanto às técnicas de fabricação, podendo ser lascadas, picoteadas (marteladas) ou polidas. Segundo Prous (2019) o polimento permite a obtenção de gumes resistentes e biconvexos, ideais para lâminas de machado.

Com relação ao uso de gnaisses e granitos como artefatos líticos polidos, existem poucas descrições na literatura arqueológica. Sendo raras ou inexistindo até o momento descrições do uso de rochas calcissilicáticas para confecção de artefatos líticos, especialmente a partir de escarnitos.

4. CONCLUSÕES

As análises de quantidades inferiores a dois gramas do pó de artefatos arqueológicos por DRX e EDS permitiram identificar, sem a necessidade de confecção de lâminas petrográficas, a sua composição mineralógica e química.

A maioria dos artefatos foi confeccionada a partir de basaltos e diabásios provenientes, muito provavelmente, das Folhas Senador Pompeu e Jaguaretama, onde ocorre faixa expressiva de rochas magmáticas cretáceas conhecidas como Enxame de Diques Ceará Mirim (EDCM). Os demais artefatos, constituídos de rochas calcissilicáticas e gnaiss leucocrático, provém de rochas precambrianas associadas a unidades paleo e/ou neoproterozóicas regionais sem definição clara de localização.

Especialmente no caso da Província Borborema onde existem inúmeras fontes

de matéria prima no embasamento cristalino, a preferência por basaltos e diabásios para a fabricação das lâminas de machado deve obedecer a critérios predefinidos que incluem não apenas a oferta, mas também, as propriedades físico-mecânicas das rochas, conforme sugerido em outras pesquisas sobre o assunto. Podendo ser citados a densidade, a resistência mecânica e a dureza, além do caráter isotrópico e de outras características intrínsecas que facilitem o uso das técnicas pré-históricas de lascamento, picoteamento e polimento.

Entre as vantagens da metodologia empregada estão o pequeno diâmetro e a profundidade da perfuração, a diminuta quantidade de material necessário para as análises, e a possibilidade de reaproveitar a amostra coletada para restauração do artefato. As vantagens apresentadas, somado ao fato de que a peça analisada possa retornar à exposição se necessário, tornam as técnicas empregadas nesta pesquisa promissoras para aplicação em outras coleções arqueológicas particulares ou expostas em museus.

Uma vez que existe grande número de artefatos líticos armazenados em museus e coleções particulares, as técnicas utilizadas nesta pesquisa representam uma alternativa consistente, voltadas a obtenção de informações sobre a área fonte de matéria prima usada na confecção dos artefatos. Podendo contribuir, ainda, para o mapeamento e prospecção de prováveis indústrias líticas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Sr. Jorge Simão, *in memoriam*, pelos esforços em manter e guardar a coleção de artefatos pré-coloniais, possibilitando que os moradores de Quixeramobim, sobretudo os estudantes

que lhe visitavam pudessem conhecer uma história que não estava escrita nos livros. De modo incansável, divulgava que essa cultura material “era fruto do nosso índio”. Ao Sr. José Simão, filho do Sr. Jorge, estendemos os agradecimentos por reconhecer a importância deste acervo para a pluralidade de expressões culturais ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M., CARNEIRO, C. D. R., MACHADO Jr., D. L., DEHIRA, L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, p. 451-462. 1988.
- ALVES, D. M. **A Indústria Lítica do Sambaqui Mar Casado e Outros Sítios do Litoral do Estado de São Paulo**. 2010. 122f. Dissertação de Mestrado. Museu de Arqueologia e Etnologia. Universidade de São Paulo.
- BUCAILLE, R.; PESEZ, J-M. **Cultura Material**. In: Enciclopédia Einaud. IN-CM. V. 16. Lisboa. 1989. p. 11-47.
- FIGUEIREDO FILHO, O. A. de; ARAÚJO, A. G. de M.; SANTOS Jr., V. dos; MARQUES, M.; OLIVEIRA, D. L de; MUTZENBERG, D. Que Pedra é essa? A Natureza do Material Lítico na Pré-História do Rio Grande do Norte. **Fundamentos**, vol. 11, p. 26-47. 2014.
- MARQUES, M. **Grafismos rupestres do Sertão Central do Ceará: análise técnica e estado de conservação**. 2002. 102f. Dissertação de Mestrado. Departamento de História. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.
- MARQUES, M; HILBERT, K. Coisas colecionadas: um jeito (conceitual e intuitivo) de lidar com a cultura material. **MÉTIS: história & cultura**. v. 8, n. 16, p. 43-72, jul./dez. 2009.
- MARQUES, M; HILBERT, K. Coleções e Colecionadores: vozes da exposição. **Vestígios - Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica**. UFMG. Belo Horizonte. Vol. 6, n.2, p. 67-85, jul./dez. 2012.

- MATOS, R.M.D., The Northeast Brazilian rift system. **Tectonics**, vol. 11, p. 766-791. 1992.
- PALHETA, E. S. M. et al. 2011. Geologia e recursos minerais da folha Senador Pompeu: SB.24-V-D-V. http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/19027/3/mapa_geologico_senador_pompeu.pdf. Acesso em: 12 abr.2020.
- PARENTE, C. V.; ALMEIDA, A. R. de; ARTHAUD, M. 2008. Geologia da folha Quixeramobim: SB.24-V-D-III. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10464>. Acesso em: 12 abr.2020
- PEARCE, S. M. **Museums, objects, and collections: A Cultural Study**. England: Leicester University Press. 1992. 296p.
- PENHA, U.C. Jazidas de matérias-primas líticas brasileiras: Uma visão geológica. **Journal of Lithic Studies**. vol. 4, n. 3, p. 189-216. 2017. doi:10.2218/jls.v4i3.1624 Published by the School of History, Classics and Archaeology, University of Edinburgh ISSN: 2055-0472. URL: <http://journals.ed.ac.uk/lithicstudies/>
- PROUS, A. **Arqueologia Brasileira**. 2ª ed. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília. UNB. 1992. 613p.
- PROUS, A., ALONSO, M.; PILÓ, H.; XAVIER, L.; LIMA, A.; SOUZA, G. Os machados pré-históricos no Brasil: descrição de coleções brasileiras e trabalhos experimentais: fabricação de lâminas, cabos, encabamento e utilização. **Canindé**, Universidade Federal de Sergipe, vol. 2, p. 161-236. 2002.
- PROUS, A. **Arqueologia Brasileira: a pré-história e os verdadeiros colonizadores**. Cuiabá, MT: Editoras Archaeo, Carlini & Caniato Editorial. 2019. 880p.
- SILVEIRA, F.V. **Magmatismo Cenozóico da Porção Central do Rio Grande do Norte, NE do Brasil**. 2006. 195f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- TYLLEY, C. **Interpreting Material Culture**. In: THOMAS, J. Interpretative Archaeology: a reader. London; New York: Leicester University. 2000. p. 67-75.
- X-PERT Highscore Plus, Panalytical B.V. Almelo, Holanda, © 2001 Koninklijke Philips Electronics N.V. All rights reserved.