

UFRRJ

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

TESE

**Inferência Fuzzy para Predição de Classes de Solo
em Áreas de Assentamentos na Microrregião da
Mata Alagoana**

Claudia Csekö Nolasco de Carvalho

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**INFERENCIA FUZZY PARA PREDIÇÃO DE CLASSES DE
SOLO EM ÁREAS DE ASSENTAMENTOS NA MICRORREGIÃO
DA MATA ALAGOANA**

CLAUDIA CSEKÖ NOLASCO DE CARVALHO

Sob a Orientação do Professor

Mauro Antonio Homem Antunes

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

Seropédica, RJ
Maio de 2015

631.478135
C331i
T

Carvalho, Claudia Csekö Nolasco de, 1963-
Inferência fuzzy para predição de classes de solo em áreas de
assentamentos na Microrregião da Mata Alagoana / Claudia
Csekö Nolasco de Carvalho. – 2015.
xxi, 149 f.: il.

Orientador: Mauro Antonio Homem Antunes.
Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e
Inovação Agropecuária, 2015.
Bibliografia: f. 70-83.

1. Mapeamento digital de solos - Alagoas - Teses. 2.
Levantamentos do solo - Alagoas - Teses. 3. Solos -
Classificação – Teses. 4. Lógica difusa - Teses. I. Antunes,
Mauro Antonio Homem, 1963- II. Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência,
Tecnologia e Inovação Agropecuária. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
EM AGROPECUÁRIA**

CLAUDIA CSEKÖ NOLASCO DE CARVALHO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

TESE APROVADA EM 27/05/2015.

Mauro Antonio Homem Antunes. Ph.D. UFRRJ
(Orientador)

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ

Washington Santana da Franca Rocha. Dr. UEFS

Cesar Silva Chagas. Dr. Embrapa Solos

Waldir de Carvalho Junior. Dr. Embrapa Solos

FÉ.....

“A Criança Nova que habita onde vivo,
Dá-me uma mão a mim
E a outra a tudo que existe
E assim vamos os três pelo caminho que houver,
Saltando e cantando, e rindo,
E gozando nosso segredo comum
Que é o de saber por toda parte
Que não há mistério no mundo
E que tudo vale a pena.”

Alberto Caeiro

Ciência.....

"Tão próximas as leis da matemática
estejam da realidade, menos próximas da
certeza elas estarão.

E tão próximas elas estejam da certeza,
menos elas se referirão à realidade”

Albert Einstein

A Ciência e a Fé caminham em paralelo, mas....
quando a Ciência não encontra resposta é a Fé quem faz o pesquisador seguir...

Dedico:

A **Erica** minha filha

A saudade
sempre fala
de amor
um instante
distante
diz tanto.
Zack Magiezi

Aos meus Pais **Nadya e Octávio**

Exemplos de desprendimento, alegria,
compreensão, cuidado, força e carinho...”Desconhecem
outra razão para amar senão amar”...

Ao meu mestre **Lucedino Paixão Ribeiro** “*in memoriam*”

Contigo aprendi a afagar a terra...

AGRADECIMENTOS

“amigo é coisa pra se guardar do lado esquerdo do peito...”

A minha família pelo amor e carinho constantes e por não me permitirem esmorecer durante essa caminhada.

Ao meu padrinho Luís Carlos Csekö e Gisela “por las noches em la ventana y por todos los pájaritos...”

Aos irmãos que a vida me presenteou Renato e Lucilene e as minhas meninas Rafaela e Flávia pelo incentivo, amor e cumplicidade.

Meu obrigado aos colegas do INCRA- AL pelo suporte operacional e em especial e de coração a Luís Junior por ter enfrentado comigo os trabalhos de campo, sem sua ajuda esse trabalho não se concretizaria e a Gabriel Arruda - jamais me esquecerei da tua mão a me segurar nas horas de escuridão...

Ao grande amigo Alberico Paixão dos Santos e a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola por terem viabilizado as análises de solo. A meus amigos irmãos de alma Luís Walter Soares da Silva e Suzana dos Santos Teixeira pelo constante e incondicional apoio em todos os aspectos, principalmente nas horas mais difíceis dessa jornada.

A minha homenagem, meu respeito e agradecimento a Glailson Barreto, Nelson Lara e a Francisco Fortunato (“*in memoriam*”), pedólogos que gentilmente me emprestaram sua expertise.

Ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana, pelo apoio constante e em especial ao Prof. Dr. Rodrigo Vasconcelos que se desdobrou em cuidados, atenção e foi a força motriz para finalizar a pesquisa.

A meu orientador Mauro Homem Antunes por compreender, incentivar, pelos conselhos e por ter acreditado nesse projeto.

A coordenação do PPGCTIA - UFRRJ por ter viabilizado administrativamente a conclusão da pesquisa e a Renata pela atenção e pronto atendimento as solicitações.

A Flávio Rodrigues Nunes pelo carinho e apoio incondicional no Rio de Janeiro.

A Universidade Estadual de Alagoas e em especial aos professores Lenivaldo Manoel de Melo e Wellyngton Chaves Monteiro da Silva pela viabilização dos tramites institucionais e pelo privilégio de tê-los como colegas de academia e amigos.

RESUMO

CARVALHO, Claudia Csekö Nolasco de. **Inferência fuzzy para predição de classes de solo em áreas de assentamentos na microrregião da Mata Alagoana**. 2015. 149f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

O desenvolvimento sustentável requer mapas de solo mais detalhados com informações representativas da realidade local que permitem conciliar aumento da produção agropecuária com minimização de impactos ambientais. Essa é uma tarefa difícil considerando a extensão territorial do Brasil e a falta de programas e recursos governamentais. O Mapeamento Digital de Solos-MDS, através da implementação de metodologias, vem se consolidando como técnica de apoio ao mapeamento convencional. Usando técnicas de MDS, esse trabalho objetivou avaliar um procedimento metodológico para gerar mapa de solos com refinamento de escala usando inferência *fuzzy* para mapear unidades mais simples, portanto mais adequadas aos planos de desenvolvimento dos assentamentos rurais. A área escolhida para teste está localizada na microrregião da Mata do Estado de Alagoas. Para execução do trabalho os atributos do terreno elevação, declividade, curvatura em perfil, plano de curvatura e índice de umidade topográfica derivados de Modelo Digital de Elevação-MDE (gerado por restituição aerofotogramétrica na escala 1:8.000) e dados geológicos em escala 1:50:000, foram integrados através do conhecimento de pedólogos. Os planos de informações, com pixel de 5 m, a partir de regras estabelecidas pela expertise de pedólogos foram fuzzificados e integrados para gerar os mapas de possibilidades de ocorrência para as classes de solo predefinidas. O mapa digital de solos foi produzido pela integração dos mapas de possibilidades das classes por inferência média ponderada. O mapa digital de solos predito foi confrontado com mapa elaborado por método tradicional e validado por observações em campo ao longo de transectos e por perfis preexistentes. A análise comparativa entre o mapa digital de solos e o convencional obteve acurácia de 81,2 % entre as classes preditas no mapa digital e as contidas nas unidades do mapa convencional (descritas na legenda, porém não especializadas). Confrontando as classes preditas no mapa digital e as identificadas no campo a acurácia encontrada foi de 74,65%. A aferição das classes pelo índice de Kappa foi considerada muito boa com valores de 0,696 para a comparação entre o mapa digital versus mapa convencional e 0,705 entre o mapa digital e as observações de campo. A pesquisa mostrou que dados contidos em mapas legados de solo podem através do conhecimento de pedólogos e de dados detalhados de atributos do terreno agregar informações e produzir mapa digital de solo com ampliação da escala e que neste trabalho é compatível com a de levantamentos detalhados (1:15.000).

Palavras-chave: MDS. Mapa de solo. Levantamentos detalhados. Pedometria

ABSTRACT

CARVALHO, Claudia Csekö Nolasco de. **Fuzzy inference to predict soil classes in areas of the microregion of Mata Alagoana**. 2015. 149p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agropecuary). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Sustainable development requires more detailed soil maps with representative information of local reality, helping to conciliate increasing agriculture production and environmental impacts reduction. It is a hard task to achieve considering the Brazil territorial extension and the absence of governmental programs and resources. The Digital Soil Mapping (DSM), through methodologies implementation, has been consolidated as support technique for conventional mapping. Using DSM techniques, we aimed to evaluate a methodological procedure to generate soil maps with refined scale by *fuzzy* inference, and to map simpler units, which means more adequate areas for the rural settlement development plans. We carried out the study on an area at the microregion of Mata of Alagoas State and the following attributes were integrated by pedologist knowledge: elevation, slope, curvature and profile, topographic wetness index – derived from a Digital Elevation Model (built by aerophotogrammetric restitution at scale 1:8 000), and geological data at scale 1:50 000. In a first moment, we integrate the thematic layers of 5m resolution pixel related to the attributes. Possibility maps of predefined classes were generate based on rules established by pedological expertise using *fuzzy* inference. Then, we integrate the evidence maps of classes by weighted mean inference to produce the soils digital map. The predicted digital soil map was opposed to a map elaborated traditionally, and validated by field observation of transects and pre-existent profiles. The comparison between the digital soil map and the conventional indicated a accuracy of 81.2% between the predicted classes of the digital map and the ones on the conventional map units (described on the legend, however not spatialized). Confronting the predicted classes of the digital soil map and the ones identified on field, the observed accuracy was of 74.65%. The Kappa index found was very good, with 0.696 values for the comparison between the digital map and the conventional map and 0.705 between the digital map and field observations. The results demonstrate that legacy maps data may, through the pedologists knowledge and more detailed attribute data, aggregate information and produce more detailed soil maps. Considering the concepts of minimum mappable area, the definitions of pixel sizes suggested for the digital cartographic scale, and the rules for soil survey, the applied methodology allowed, on the used cartographic base, the amplification of the mapping scale from 1:25 000 to 1:15 000.

Keywords: DSM. Soil maps. Detailed soil surveys. Pedometry.

RESUMEM AMPLIADO

CARVALHO, Claudia Csekö Nolasco de. **Inferencia fuzzy para la predicción de clases de suelo en áreas de asentamientos en la Microrregión de la Mata Alagoana**. 2015. 149p. Tesis (Doctorado em Ciencia, Tecnologia e Inovación en Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

1. Introducción

El mapa de suelos es un instrumento esencial para la planificación y gestión de los recursos naturales en proyectos de desarrollo rural sostenible. Sin embargo, sólo el 8,4% del territorio brasileño está cubierto por los mapas de suelo de mediana intensidad, 0,11% por los mapas semidetallados y 0,0003% con mapas de detalle.

Las políticas públicas necesitan la información contenida en el levantamiento de suelos para apoyar la planificación para el uso, conservación y preservación del suelo. Las acciones desarrolladas sin el conocimiento del verdadero potencial de las áreas asociadas con la escasez de recursos y asistencia técnica inconstante y limitada en su capacidad para desarrollar proyectos agrícolas sostenibles resultan a menudo en la sobreexplotación del medio ambiente y en baja productividad.

El uso y el manejo inadecuado del suelo en última instancia van a determinar la ocurrencia de erosión y degradación de áreas productivas, la sedimentación de los ríos y, en consecuencia, las inundaciones, así como el abandono de tierras y la pobreza, entre otros problemas que afectan a las poblaciones rurales. Producir y dar sostenibilidad al suelo es una tarea enorme y prioridad, que requiere la distinción de unidades a través del reconocimiento de sus características y propiedades, así como las limitaciones inherentes a cada tipo de suelo.

El conocimiento de los suelos y su distribución en el paisaje le permite evaluar el potencial de diferentes ambientes, factor esencial para la planificación de las actividades a realizar, sobre todo cuando su meta es el desarrollo sostenible para el campo brasileño y más específicamente para la región noreste.

En esta perspectiva las innovaciones tecnológicas están permitiendo cambios importantes que hoy remodelan la investigación en ciencias del suelo. Así es que la cartografía de suelos, la incorporación y uso de geo procesamiento, de datos físicos de la teledetección, de conocimientos estadísticos, topográficos y geodésicos, de la geo informática y de procesamiento gráfico son fundamentales para el establecimiento y la definición del Mapeo Digital de Suelos – MDS.

El MDS agiliza los proyectos interdisciplinarios, en la medida en que lo hace más fácil combinar las técnicas y realizar diferentes enfoques, utilizando herramientas y programas para capturar, analizar, procesar, exportar e importar los datos.

La investigación en MDS en Brasil comenzó en el siglo XXI (EMBRAPA, 2011). Ven siendo reforzada por la efectiva Revolución Digital y está sugiriendo nuevas vías y modelos de simulación con la integración y procesamiento de grandes cantidades de datos e información. Han surgido como una alternativa para satisfacer las demandas de los estudios de suelo que cumplen las necesidades de conocer, mantener, supervisar y recuperar las propiedades del suelos y apoyar su uso, mientras un bien económico de producción. Su utilización permite la descripción cuantitativa de una serie de eventos y la comprensión de sus interdependencias. También posibilita y permite comprender la génesis y las leyes naturales

que gobiernan los fenómenos regionales, pero que se diferencian a nivel local debido a las características ambientales específicas y la evaluación de los errores de estimación, para establecer los grados de incertidumbre en estos pronósticos.

En esta concepción y basado en técnicas de MDS, el trabajo supone que el uso de la lógica difusa para asociar el conocimiento de los expertos en suelo en el proceso de integración de la información ambiental permite generar mapas de suelos con aumento de escala.

Por lo tanto, los datos derivados del Modelo de Elevación Digital – MDE (pendiente, elevación, flexión perfil, plan de flexión y el índice de humedad topográfica) y datos de geología se integraron por modelamiento en Sistemas de Información Geográfica – SIG, a través del conocimiento (técnico y tácito) de expertos en suelos, con los objetivos de la predicción de las clases de suelo y de la producción de mapa detallado del suelo.

El área seleccionada para la prueba se inserta en un ambiente de mesetas costeras de la Micro Región de la Mata Alagoana, en el condado de São Luiz do Quitunde - AL, Brasil y cubre dos asentamientos rurales del complejo AGRISA.

Los proyectos de desarrollo de los asentamientos en el estado de Alagoas, en general, se han elaborado de la información extraída de carta de reconocimiento de suelos, por lo tanto, las escalas no son compatibles con el tamaño de las propiedades.

La ampliación de la escala de los mapas existentes de suelo es de suma importancia para apoyar la elaboración de los Planes de Desarrollo de los Asentamientos - PDA. En este sentido, la metodología puede permitir la reducción del costo de los levantamientos y la distribución espacial de los tipos de suelo en una escala que proporciona información más consistente y relevante para la planificación agrícola de los asentamientos en diferentes contextos, desde la fase de instalación de la infraestructura básica y de la elección de los cultivos aplicables, hasta la definición y gestión de las prácticas agrícolas.

2. Material y Métodos

2.1 Localización y caracterización del área de estudio

El estudio fue desarrollado en un área de 358,85 hectáreas en el municipio de São Luiz do Quitunde, Región Norte del estado de Alagoas. Se inserta entre las coordenadas geográficas $-9^{\circ}16'45''$ y $9^{\circ}17'53''$ de latitud y $-35^{\circ}38'56''$ y $35^{\circ}37'29''$ y abarca los asentamientos rurales Sílvia Viana y Duas Barras.

El clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen, es lluvioso tropical con verano seco. En la región predominan las Mesetas Costeras, con alturas comprendidas entre 40 y 150 m. Las temperaturas medias anuales oscilan en torno a 25°C , con precipitaciones que varían entre 1760 y 1800 mm (INCRA, 2009).

La región fue intensamente ocupada por la caña de azúcar; sin embargo fragmentos de Bosque Atlántico y de la Selva Tropical son los registros de la vegetación que existía en la región. En el lugar, escasamente y en diferentes etapas de regeneración, existe Vegetación Secundaria y Humedales Campos (INCRA, 2009).

Geológicamente, la zona se compone de gneis granito, del unidad de gneis del Escudo Brasileño, de biotita-granodiorita, biotita-cuarzo monzonita y granito del unidad de rocas intrusivas ácidas del batolito de Pernambuco/Alagoas, y de areniscas con matriz arcillosa, intercalados con limos y arcillas del Grupo Barreiras (BRASIL, 1975).

El relieve es de tipo Morros de Mar. El sitio es ondulado u fuerte ondulado con colinas y cerros de cimas rectilíneas y convexas y pendientes convexa-cóncava. También hay formas planeadas, parcialmente conservadas, formando interfluvios estrechos y alargados que guían valles de fondo plano. La disección fluvial alcanza las rocas del basamento cristalino,

frecuentemente expuestas en los cursos de agua de los valles más profundos, subyacente a los sedimentos del Grupo Barreiras (BRASIL, 1975). La combinación de los componentes responsables de la elaboración del modelado, tales como alteraciones del clima, las variaciones estructurales y litológicas determinan la intensidad y tipos de procesos pedogenéticos activos. Dentro de esta lógica, los atributos del relieve se pueden utilizar para distinguir unidades de suelo.

2.2 Organización de las bases de datos

Para llevar a cabo el modelado para la predicción de las clases de suelo, se organizó una base de datos digital con píxeles de 5m en el sistema de proyección plana Universal Transversal de Mercator (UTM) en la zona sur y 25 Datum SIRGAS 2000.

Información sobre el relieve, reconocido como uno de los principales factores de formación del suelo se generaron a partir del modelo digital de elevación (DEM) a escala 1:8.000 con curvas de nivel equidistantes de 5 metros. Los mapas de elevación, pendientes, plan de curvatura, el perfil de curvatura y la humedad se obtuvieron en ArcGIS 9.3 (Herramienta Surface del Spatial Analyst Tool). Los rangos de valores para cada atributo de las clases de suelo que se utilizan en el modelo fueron establecidos por conocimiento técnico y empírico del pedólogo.

El índice de humedad topográfica - IUT se obtuvo a través del comando Hydrology extensión ArcSIE para ArcGIS 9.3. La IUT caracteriza la distribución espacial de las zonas de saturación de la superficie, y el contenido de agua en el paisaje y se puede aplicar en situaciones en las que es importante tener en cuenta el control de la topografía en la variación espacial de las condiciones hidrológicas sobre el terreno. En estudios de laderas en las zonas de fuerte relieve, identifican áreas con diferentes regímenes de humedad resultantes de las diferencias de configuración de las pendientes.

El mapa geológico de la zona fue extraído de Carta geológica de la cuenca Sergipe/Alagoas en escala 1:50.000 (BRASIL, 1975), ha sido escaneado, se convirtió al mapa vectorial, registrado a través del programa de SPRING y se convirtió al mapa raster con remuestreo de píxel a 5m.

Datos sobre el suelo se obtuvieron mediante tradagens en puntos georreferenciados con intervalos que oscilan entre los 200 y 600 metros y en transectos y cortes de carreteras. Este procedimiento fue adoptado para comprobar la correlación espacial entre las variaciones del suelo y las diferentes características ambientales locales y en el post-modelado para, junto con los perfiles georreferenciados del mapa de suelos existentes, validar el producto metodológico, dirigiéndose la investigación en una realidad práctica.

La decisión sobre el nivel de detalle o la cantidad de información en un mapa es conocido por la generalización (ZHU, 2000; ZHU, HUDSON, et al., 2001). La generalización se refiere al grado de minuciosidad contenida en los detalles representados. Promueve un ajuste cualitativo y cuantitativo de los elementos a fin de ofrecer claridad a la representación en un rango particular. En la cartografía digital se debe considerar, especialmente cuando se realiza la compilación de documentos cartográficos.

El mapa de suelos existente (escala 1:25:000) describe ocho clases de suelos en la leyenda, distribuidos en tres unidades de mapeo, una individual y dos asociaciones: a) Latosoles Amarillos típicos y úmbricos distróficos; b) Argissolos Amarillo distróficos asociada con Argissolos Rojo-Amarillo típico y úmbricos distróficos con inclusión de Argissolos Amarillo distróficos típicos asociados con Argissolos Rojo-Amarillo distróficos cambissólicos y Cambissolos Haplicos, y c) Argissolos Gris distróficos típicos asociado con Gleissolos Haplicos distróficos típicos con inclusión de afloramientos de rocas. Esta

información contenida en la leyenda se ha utilizado como referencia para desagregación de las clases en el proceso de inferencia y ampliación de la escala.

La evaluación de la precisión se realizó mediante la matriz de confusión o errores (CONGALTON & GREEN, 1999). Muy aplicado en los mapas de evaluación obtenidos por métodos convencionales y digitales (BAZAGLIA-FILHO, 2012) fue empleado para hacer la correspondencia espacial. En él se compara la información de referencia de los sitios en el mapa con la información en este mismo lugar del área en el campo. Así, se puede evaluar el resultado de la clasificación y la comprobación de la calidad de los datos en el mapa generado. La confianza de las clases previstas en el mapa digital de suelos se midió a través del cruce de la información contenida en el mapa de suelos convencional mediante el índice kappa.

3. Resultados y Discusión

3.1 Sistematización e integración de datos para modelado *fuzzy*

A partir de los datos del mapa de suelos convencional existente, los expertos seleccionaron seis clases de suelos para el modelado y predicción por inferencia difusa.

El modelado se realizó con las herramientas contenidas en el Spatial Data Modeler - SDM para ArcGIS 9.3 (SAWATZKY et al , 2004), y se hizo en cuatro etapas: a) fuzzificación de los mapas de atributos del relieve y geológico con especificación espacial del grados de pertenencia de clases de suelos para cada atributo; b) integración de los mapas *fuzzy* de atributos y producción de los mapas de evidencias *fuzzy* para cada tipo de suelo; c) defuzzificación y reclasificación de los mapas de evidencias *fuzzy*; y d) integración por inferencia media ponderada de los mapas reclasificados para la predicción del mapa de suelos y la validación.

El razonamiento pedológico a menudo se mezcla con la incertidumbre y la ambigüedad, porque su naturaleza es más cualitativa que cuantitativa. En la inferencia difusa el modelo capta esta estructura de razonamiento y representa en lenguaje computacional. El experto correlaciona los atributos con características ambientales específicas del sitio para delinear áreas de suelo identificados en las unidades de leyenda, pero no espacializadas dentro del mapa existente, debido a la escala y la ausencia de datos más detallados de las características ambientales locales.

3.2 Mapas de posibilidad *fuzzy* de los atributos para la predicción de clases de suelo

A partir del análisis de cada característica del paisaje, los científicos del suelo especifican el grado de posibilidad de una clase de suelo ocurrir teniendo en cuenta los valores arbitrados a la clase de cada uno de los atributos utilizados en el modelado.

La información dada por los expertos, permitió la construcción de una tabla con un conjunto de reglas relacionales que se han aplicado en el proceso de fusificación de atributos para cada uno de los tipos de suelo (Tabla 4). En esta etapa se probaron diferentes funciones y se seleccionó la función difusa que expresó más apropiadamente, un cierto atributo para la clase de suelo específica (Tablas 5). El resultado es una superficie de decisión, donde fue posible definir las áreas de mayor o menor adecuación para una determinada clase de suelo, o una zona de transición, establecida de acuerdo con la mayor o menor influencia del atributo para la clase de suelo, relacionado con él.

Para cada tipo de suelo a predecir, se generaron una serie de seis mapas *fuzzy*, por un total de 36 mapas. En el mapa de la evidencia de los atributos de las clases de suelo, los valores fueron divididos en 3 clases. Para la clase de los valores más altos se asociaron áreas

de mayor posibilidad de ocurrencia de suelo especificado para ese atributo (Figura 25, 26, 27, 28, 29 y 30).

3.3 Generación de mapas de posibilidad *fuzzy* para las clases de suelo

Cada conjunto con los seis atributos fuzzificados de las seis clases de suelos, se ha integrado a través de SIG (Sistema de Información Geográficas). Este procedimiento generó los mapas con las posibilidades de ocurrencia de los suelos, y fue ejecutado desde diferentes proposiciones de operadores *fuzzy*.

Después de innumerables pruebas, se encontró que el mejor modelado se obtuvo con la aplicación de los operadores fuzzyGAMA y la suma convexa. El operador fuzzyGama, con los intervalos utilizados, produce valores de salida que aseguraban un cierto grado de flexibilidad entre la tendencia de maximizar y minimizar factores. Fue más eficiente en el modelado del mapa de posibilidades para el Gleissolo y el Argissolo Gris (Figura 31).

La suma convexa (*weight sum*), que adopta pesos para las capas específicas de atributos, fue más adecuada para generar los mapas de evidencias de los Latosolo Amarillo, Argissolo Amarillo, Cambissolo e Argissolo Rojo-Amarillo (Figuras 32 y 33). Este operador produce estimaciones más conservadoras, es decir, selecciona más rigurosamente uno o más atributos como elementos diferenciadores para determinar el lugar de mayor posibilidad de ocurrencia de una clase de suelo. El peso de las capas (Tabla 6) se especificó a partir de ensayos con los valores estipulados por el conocimiento tácito de los expertos. Ellos evalúan el resultado final, e indican, a partir del análisis visual, el mapa que mejor refleja las posibilidades de ocurrencia para cada clase predefinida.

En el paso siguiente los mapas de posibilidades para las clases de suelos fueron defuzzificados por el método de máximo. El método consiste en examinar en el mapa el valores escalares de salida y elegir el rango de precisión, o sea, el rango de valores en el universo de discurso de la variable de salida (Cambissolo, por ejemplo) para el cual el grado de pertinencia es máximo.

Los valores más próximos de 1 indican una mayor posibilidad de ocurrencia de la clase de suelo en una región específica del mapa y los intermedios las zonas de transición entre suelos, o áreas donde puede haber coocurrencias de clases que componen, en el resultado de la modelación, áreas en las que puede haber transiciones, asociaciones, inclusiones o distinción de la misma clase debido a las variaciones ambientales (Figura 31, 32 y 33).

3.4 Reclasificación e integración de los mapas de posibilidad *fuzzy* de las clases de suelos

Se procedió a la reclasificación de los mapas de posibilidades de las unidades de suelos, y se asoció a cada clase de valor, una secuencia ordenada de potencias de 2 (Tabla 6). El valor "0" (cero) en una región, indica una ausencia (negativo) para la ocurrencia del tipo de suelo, y los valores de potencia positivos indican la presencia - la ocurrencia de la clase de suelo.

La técnica utilizada para fundir los seis mapas de posibilidades para las unidades de mapeo (capas de información) permite, después de la transformación, que los valores simultáneos relacionados con la ocurrencia de diferentes unidades en el mapa, sean expresos por valores reconocibles, que separan e identifican espacialmente las unidades y/o zonas de transición. La técnica evita resultados ambiguos, lo que podría dar lugar a interpretaciones y a distribución espacial incorrectas de los suelos en la producción del mapa digital de suelos (SILVA, 2003).

La fusión de los mapas de evidencias se llevó a cabo por inferencia promedio ponderado, con la combinación de pesos a los mapas de evidencia de clases de suelos, lo que

permite el análisis y verificación de ocurrencias y coocurrencias de clases mediante la combinación de los pesos de las evidencias especificadas en los mapas.

Los valores de salida de las clases en el mapa digital predicho resultan, por esta técnica, de la adición directa de la multiplicación de los valores de posibilidades. Para cada uno de los mapas de evidencia de las clases, fue arbitrado pesos de acuerdo a los criterios de los especialistas.

Las áreas más favorables para la ocurrencia de una clase corresponden al valor máximo de la evidencia - por ejemplo, corresponde, para Latossolo Amarillo (LAd), a 1. La suma de este valor con valores intermedios (4 por ejemplo, que es el valor resultante de la suma con el valor 3 de lo valor intermedio del Argissolo Amarillo - PAd), corresponde a la clase cuyo mapa ha recibido un peso mayor en la inferencia - en este caso al PAd (Tabla 6).

Cuando la combinación es con valores máximos (1 + 6, por ejemplo, los valores del LAd y PAd, respectivamente) los resultados pueden indicar una zona de transición entre las clases de suelos. Por lo tanto, los valores combinados identifican las clases que prevalecen y/o determinan las transiciones o asociaciones, ya que mantienen la relación con los valores de las evidencias de las clases insertado en el modelo.

Se sabe que la variación espacial de la tierra no se produce al acaso y que resulta de la acción de factores de formación. Los pedólogos, a través del conocimiento técnico y empírico, elaboran modelos que son ecuaciones mentales, donde la combinación de la suma de la intensidad de cada factor en un determinado sitio es responsable por un proceso, por lo tanto, por la ocurrencia de un tipo de suelo. La lógica difusa permite variaciones en el modelado, a través de la asociación de niveles de incertidumbre y el peso de un factor, puede ser adecuado para diferentes circunstancias con resultados que difieren de los niveles de certeza dependiendo de la base de datos usados y de la experiencia del pedólogo. Todavía, implica un nuevo modo de visualización cartográfica del mapa de suelos, con delineamiento de zonas de transición entre clases, donde hay coexistencia de características de diferentes clases de suelos (representando las zonas con variaciones muy grandes de propiedades), por lo tanto, una representación continua, más realista de la distribución de los suelos en el paisaje.

En MDS, producto del modelado (Figura 34), zonas de transición fueron delineadas como una forma de representar la intercambiabilidad, que es el parámetro espacial dominante de las propiedades del suelo. Se propusieron las zonas como una forma de expresión más realista del comportamiento de la cubierta del suelo. Ellos flexibilizan los límites, en el proceso de individualización de las clases, y representan los suelos de un modo más compatible con la forma en que interactúan en la naturaleza. También es una forma de expresar la dificultad de establecer el patrón de ocurrencia de clases en secciones específicas del ambiente, donde la variación de los factores involucrados es compleja y no permiten en una cierta escala, o con los datos existentes, la distinción de clases por límites más precisos. Esta información expresada en el mapa puede ser utilizada para indicar el diferente comportamiento del suelo, dentro de las unidades tomadas en principio como "homogéneas", lo que es frecuentemente observado en el campo, y para ayudar a la toma de decisiones, lo que resulta en usos y/o manejos diferenciados para estas áreas.

3.5 Validación del mapa digital del suelo predicho

Para la evaluación comparativa entre el mapa digital y el mapa convencional se obtuvo la matriz de confusión por la herramienta *anlysis Tabulate Area* de la extensión *Spatial Anlysis - ArcGIS 9.3*. Los mapas se cubrieron por esta herramienta y la correlación se consideró positiva cada vez que la clase predicha estaba contenida en el polígono de la unidad de mapeo convencional, a la que pertenecía (como una asociación o inclusión).

En el campo se realizaron sondeos en puntos irregulares, definidos de acuerdo con las variaciones del relieve observadas en el MDE. En la prospección, para permitir una mejor correlación con el mapa digital de suelos predicho, algunos puntos se han reubicado para registrar las variaciones de suelo a lo largo toposequences. También para la verificación se utilizaron informaciones relacionadas con 21 perfiles de suelo del INCRA (2009) y 50 observaciones adicionales de campo.

3.6 Comparación: mapa digital con el mapa convencional de suelos

La fiabilidad de las clases previstas en el mapa digital de suelos se midió a través de cruce, por correspondencia espacial con la información contenida en el mapa de suelos convencional.

La correlación se consideró positiva cuando clases de suelos espacializadas en el mapa predicho, pero no delineadas en el mapa convencional, estaban contenidas dentro del polígono de las unidades de referencia en el mapa convencional en unidades de Argissolos Gray - PAcd y Argissolos Amarillas - PAd7 (unidades de mapeo con asociaciones en el mapa clásico).

Con los datos de la matriz de confusión se generó el índice de Kappa para expresar el grado de concordancia entre el mapa estimado y el mapa de referencia. Al comparar la exactitud global se encontró que era del 81,2 % y el índice Kappa 0,696 - un valor considerado como muy bueno por la escala de concordancia de Landis & Koch (1977). Los resultados muestran que el modelado con datos de los atributos en gran escala y la combinación de las reglas de conocimiento permitió la desagregación de clases y la individualización, en general, dentro del dominio espacial de la unidad de mapeo de referencia.

Para Sarmiento, (2010), Hempel et al., (2008), MacMillan (2008) y Zhu (2000) la selección de las variables utilizadas en el modelo y el grado de combinaciones establecido a través de una análisis pixel a pixel de la área mapeada permitió espacializar las clases agregadas (generalizada) y la producción de mapas más detallados. En su obra Nolasco-Carvalho (2006), resalta la importancia de utilizar las informaciones vinculadas a MDE con mayor resolución espacial. Estos datos permiten en el modelado, el refinamiento de la escala y delinear, en el mapa predicho, las clases que no fueron espacializadas en el mapa convencional.

3.7 Validación del mapa digital con la información de campo

La concordancia se evaluó comparando el mapa predicho, con puntos de muestreo en el campo, y con los perfiles existentes.

La medida de precisión entre los dos mapas se obtuvieron por la matriz de error de la que se derivaron la exactitud global y el índice Kappa (COHEN, 1960). La evaluación de la exactitud mostró que el conjunto de variables utilizadas fue apropiado, ya que la exactitud global y Kappa encontrados se están en niveles considerados muy buenos.

Como el relieve es el factor más importante en el área de estudio, las variables que representan bien la forma y la energía del relieve tienden a funcionar como buenos indicadores de los tipos de suelos. El hecho de aprovechar el conocimiento de los expertos con experiencia local para la selección de variables que caracterizan las fuerzas dominantes en la formación de suelos de área, también contribuye en este sentido (ROSSITER, 2004; NOLASCO, 2006; FLORES et al., 2007; SARMENTO et al., 2008; NOLASCO et al., 2009).

A fin de no maximizar los resultados en la demostración de la equivalencia entre las clases espacializadas y los datos de las observaciones de campo, la correlación se consideró

negativa para las zonas de transición, cuando en la información de campo relacionada con el punto, no había información descriptiva de la presencia de carácter transitorio.

En la matriz de confusión hubo una adición de 42,86% del PAcd en la clase a la que no pertenece (GXbd). A medida que fueran examinados el conjunto de normas elaboradas por los expertos, constatase que el rango de los valores establecidos para la clase de Argissoles Gris y Gleissolo están muy cerca de casi todos los atributos, y que el índice de humedad es lo parámetro diferencial para los Gleissolos. Este hecho apunta a la necesidad de un análisis minuciosa en el proceso de elección de los operadores utilizados en el proceso de integración de los mapas *fuzzy* de atributos para las clases de suelos, ya que el uso de una función más restrictiva podría reducir el porcentaje de inclusión encontrado.

Si el parámetro dominante en la definición de la clase de suelo no fue identificado y utilizado de manera eficiente, lo mapa de posibilidad para la clase de suelo no destacará los sitios de máxima ocurrencia de la clase de suelo y no evidenciará su delineamiento en el modelado. El uso de un operador más flexible para generar el mapa de posibilidad para el Gleissolo, puede haber promovido la inclusión de Argissoles en la clase de los Gleissolos en el proceso de modelado final. Sin embargo resáltese que los puntos relacionados con la inclusión de Argissoles Grey en lo Gleissolo en el mapa predicho, se encuentran en las zonas de transición.

Para los Argissoles Amarillos se obtuvo 50% de comisión, lo que significa que en el modelado, la mitad de la predicción para estos suelos los excluyó de la clase a la que pertenecen. Sin embargo, los puntos de exclusión también se encuentran en las zonas de transición, por lo tanto apuntan a la posibilidad de ocurrencia de esta clase.

Las clases previstas en el mapa digital de suelos se cotejaron por cruce con la información de campo y obtuve una precisión de 74,65%. El procesamiento cualitativo y cuantitativo de datos y el uso de funciones y operadores *fuzzy*, indexó (agregó) los conocimientos científicos y tácito, y el modelo metodológico propuesto capturó la estructura de razonamiento de los pedólogos y representó la distribución espacial y la variación del suelo en el paisaje adecuadamente y con resultados considerados muy buenos por el índice Kappa (0,705).

Sin embargo, para desarrollar un modelo representativo del mundo real con métodos *fuzzy*, es importante procesar y analizar los datos transformándolos en información. El conocimiento de los científicos del suelo (que está influenciado por la experiencia y el nivel de conocimiento de los mismos), es fundamental para la proposición de funciones y operadores para el modelado. Por lo tanto, este conocimiento y la calidad de los datos ambientales de escala más grande, al combinarse, generan información que pueden determinar la mayor o menor "proximidad" del modelo de distribución de los suelos propuesto con el existente en la cobertura pedológica del sitio mapeado lo que permite el refinamiento de escala.

4. Conclusiones

El trabajo propone una metodología para la distribución espacial de las clases de suelo con el refinamiento de la escala. El razonamiento es inherente a la cartografía y a las pruebas que derivan del procesamiento cognitivo de pedólogos agregado a la información ambiental, lo que ayudó a generación de mapa con la expansión de la escala al área de prueba.

Lo MDS, obtenido por el procedimiento metodológico utilizando inferencia *fuzzy*, cuando se enfrenta con el mapa convencional, presenta correlación espacial de 81,2% entre clases desglosadas y unidades de mapeo en el cual se inserta. Ya entre el MDS y las observaciones hechas en el campo de la correlación espacial fue de 74,65%.

Los atributos ambientales (pendiente, humedad, geología), asociados con reglas, arbitradas únicamente por el conocimiento (científico y tácito) de pedólogos, demostró que la inferencia en lógica *fuzzy* es una herramienta capaz de extraer información de datos existentes (antiguos mapas, perfiles, entre otros), para agregar valor a los datos nuevos (MDE) y ampliar la escala del mapa de suelo legado.

Los diferentes operadores difusos permiten que el modelamiento sea adecuado para representar situaciones en que las variaciones de la distribución del suelo en el medio ambiente estén asociadas a factores más o menos deterministas y más o menos estacionarios.

La técnica además de permitir la expresión de conocimiento del pedólogo y su capacidad de espacializar los suelos en sitios específicos, permite definir zonas de transición más o menos amplias (donde las incertidumbres en la amplitud de la variación de las propiedades del suelo no permiten la homogeneización de las clases, o donde se encuentran suelos intergrades). También es posible almacenar las reglas para su utilización en ambientes similares.

Frente a la incertidumbre, de la variabilidad espacial de las propiedades inherentes a cada tipo de suelo, definida por la integración de información proveniente de los atributos del relieve y geológicos, asociados con la experiencia de pedólogos por inferencia *fuzzy*, se puede afirmar que la representación cartográfica obtenida por la espacialización de las clases es apropiada a la escala de 1:15.000. Para gestión sostenible de lo recurso de suelo le permite considerar cuáles son las expectativas máxima y cuáles son las limitaciones de la tierra, así como lo que utilizar y las prácticas que puede adoptarse para controlar procesos de degradación del suelo, dada la incertidumbre de variaciones locales, no descritas y no identificado dentro de esta escala.

La producción de mapas detallados por medio de inferencia difusa puede ser una alternativa para rescatar los conocimientos de experimentados pedólogos y optimizar el trabajo de campo, todavía necesario y esencial, pero reduciendo el tiempo y los costos de las asignaciones.

El método puede ser replicado y se recomienda que sea probado en otras áreas, con otros atributos y reglas dictaminadas por pedólogos que han acumulado conocimientos en estudios de suelo.

Palabras clave: Mapa digital de suelo. Cartografía detallada de suelos. Pedometría.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Conjunto <i>fuzzy</i> valores de elevação para a ocorrência de Latossolo	16
Tabela 2. Razão entre área dos polígonos das unidades de mapeamento e área mínima mapeável.....	29
Tabela 3. Cálculo da Precisão Gráfica.....	31
Tabela 4. Regras relacionais empregadas para a modelagem <i>fuzzy</i> das unidades de mapeamento arbitradas por pedólogos.	43
Tabela 5. Operadores fuzzy aplicados para integração dos mapas de atributos e produção do mapa de possibilidades fuzzy para as classes de solo.....	53
Tabela 6. Valores exponenciais usados na reclassificação dos mapas de possibilidades de solos e peso das evidências arbitrado por especialista.....	54
Tabela 7. Matriz de confusão: correlação espacial entre o mapa digital e o convencional.	61
Tabela 8. Matriz de confusão - correlação entre o mapa digital e as observações de campo..	63
Tabela 9. Sugestão de resolução para o mapa de solo digital com pixel de 5 m (extraída e adaptada de McBratney et al., 2003)	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variáveis geomorfométricas locais, que podem ser derivadas de MDE.....	10
Figura 2. Definição de conjuntos de média elevação: Booleano e Fuzzy.	14
Figura 3. Representação de funções <i>fuzzy</i>	15
Figura 4. Funções de pertinência do conjunto declividade segundo a teoria clássica e a teoria <i>fuzzy</i> de conjuntos.....	16
Figura 5. Sistema de inferência <i>fuzzy</i>	18
Figura 6. Mapeamento convencional de solo e seus fatores limitantes.....	20
Figura 7. Modelo de inferência <i>fuzzy</i> para solos – SoLIM.....	22
Figura 8. Fluxograma da metodologia para a predição de classes de solos.	23
Figura 9. Localização da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL.	25
Figura 10. Mapa de solos pelo método de levantamento convencional da Região de São Luís do Quitunde – Al.	26
Figura 11. Mapa Geológico da área de estudo na Região de São Luís do Quitunde - AL.....	30
Figura 12. Representação da Matriz de Confusão.....	32
Figura 13. Histograma das classes de declividade da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL.....	34
Figura 14. Declividade da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL.....	35
Figura 15. Elevação da área de estudo na Região de São Luís do Quitunde – AL.	36
Figura 16. Imagens da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde, mostrando características geomorfológicas e vegetação.....	36
Figura 17. Perfil de curvatura da área no Município de São Luís do Quitunde – AL.....	37
Figura 18. Histograma mostrando a distribuição das classes do perfil de curvatura.	37
Figura 19. Plano de curvatura da área no Município de São Luís do Quitunde – Al.....	38
Figura 20. Histograma mostrando a distribuição das classes do plano de curvatura.	39
Figura 21. Histograma mostrando a distribuição das geoformas	39
Figura 22. Geoformas da área de estudo.	40
Figura 23. Índice de umidade da área de estudo.	41
Figura 24. Esquema mostrando o procedimento usado para gerar os mapas de possibilidades <i>fuzzy</i> dos atributos para as 6 classes de solo predefinida.....	42
Figura 25. Conjunto de mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Latossolo Amarelo.....	44
Figura 26. Conjunto de mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Argissolo Amarelo.....	45
Figura 27. Conjunto de mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Argissolo Acinzentado.	46
Figura 28. Conjunto de mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Argissolo Vermelho-Amarelo.	47
Figura 29. Conjunto de mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Cambissolo.	48

Figura 30. Conjunto mapas <i>fuzzy</i> de atributos para Gleissolo.....	49
Figura 31. Mapas fuzzy de possibilidades para Argissolo Acinzentado e Gleissolo.	50
Figura 32. Mapas <i>fuzzy</i> de possibilidade para Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo.	51
Figura 33. Mapas <i>fuzzy</i> de possibilidade para Cambissolo e Argissolo Vermelho-Amarelo..	52
Figura 34. Mapa Digital de Solos obtido por modelagem sob inferência fuzzy da área de estudo no município de São Luís do Quitunde – AL.	57
Figura 35. Localização dos perfis preexistentes da área de estudo no município de São Luís do Quitunde – AL (INCRA, 2009).....	59
Figura 36. Localização das tradagens realizadas na área de estudo no município de São Luís do Quitunde –AL.....	60
Figura 37. Imagem mostrando a sobreposição dos mapas convencional e digital de solos da área de estudo em São Luís do Quitunde –AL, para análise da correlação espacial.....	62
Figura 39. Pontos de observação de campo x pontos do mapa digital de solos na área de estudo em São Luís do Quitunde, mostrando a ocorrência de inclusões de PAcd e as exclusões de PA em zonas de transição.	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Mapeamento de Solos	3
2.2 Geoprocessamento	7
2.2.1 Variáveis ambientais preditoras	8
2.2.2 Sistema de informações geográficas - SIG	10
2.3 Teoria dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> e Lógica <i>Fuzzy</i>	12
2.3.1 Conjuntos <i>fuzzy</i>	13
2.3.2 Variáveis linguísticas	15
2.3.3 Operadores <i>fuzzy</i>	16
2.3.4 Sistema de inferência <i>fuzzy</i>	18
2.3.5 Defuzzyficação.....	18
2.3.6 Inferência média ponderada.....	19
2.3.7 Modelo de inferência <i>fuzzy</i> para solos	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Localização e Escolha da Área	24
3.2 Organização da Base de Dados	24
3.3 Mapa Convencional de Solos	26
3.4 Área de Estudo	29
3.4.1 Clima.....	29
3.4.2 Vegetação.....	29
3.4.3 Geologia.....	29
3.4.4 Geomorfologia	31
3.5 Avaliação da Confiabilidade da Classificação	31
3.5.1 Matriz de erro	31
3.5.2 Índice de <i>Kappa</i>	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Atributos do Relevo	34
4.1.1 Elevação e declividade.....	34
4.1.2 Perfil de curvatura.....	37
4.1.3 Plano de curvatura.....	38
4.1.4 Geoformas.....	39
4.1.5 Índice de umidade	40
4.2 Sistematização e Integração de Dados para Modelagem <i>Fuzzy</i>	41
4.2.1 Mapas de possibilidade <i>fuzzy</i> dos atributos para as classes de solo.....	42
4.2.2 Geração de mapas de possibilidade <i>fuzzy</i> para as classes de solo.....	50
4.3 Mapa Digital de Solos.....	55
4.3.1 Validação do mapa de solos digital predito	59
4.3.2 Comparação entre o mapa digital e o mapa convencional de solos.....	60
4.3.2 Validação do mapa digital com informações de campo	63
4.4 Definição da Escala do Mapa	66
5 CONCLUSÕES	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
7 ANEXOS	84

1. INTRODUÇÃO

O mapa de solos é um instrumento imprescindível para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais em projetos de desenvolvimento rural sustentável. Entretanto, apenas 8,4% do território brasileiro está coberto por mapas de solo de reconhecimento de média intensidade, 0,11% com mapas semidetalhados e 0,0003% com mapas de detalhe (SANTOS et al., 2013).

A inexpressível quantidade de levantamentos detalhados de solos está relacionada a grande extensão territorial do país e, inicialmente, à ausência de rodovias para acesso ao território. Porém, a este fator se somam a inexistência de cartas topográficas e fotos aéreas em escala adequada, a ausência de programas governamentais, as condições econômicas e o elevado custo de execução dos levantamentos e da publicação de mapas, entre outros.

As políticas públicas carecem das informações contidas nos levantamentos para dar consistência ao planejamento para o uso, a conservação e a preservação do solo. Importante enquanto meio de cultivo de alimentos, fibras, energia e como parte dos ciclos hidrológico e biogeoquímicos, o solo, é um recurso limitado essencial à manutenção da qualidade, e, da própria vida no planeta. Como consequência, as ações desenvolvidas sem o conhecimento da real potencialidade das áreas associado a escassez de recursos e uma assistência técnica inconstante e limitada na sua capacidade de elaborar projetos agrícolas sustentáveis, resultam frequentemente em sobre-exploração do ambiente e baixa produtividade. O uso e manejo inadequado do solo acabam por determinar a ocorrência de processos erosivos e a degradação de áreas produtivas, o assoreamento dos rios e consequentemente inundações, bem como o abandono das terras e a pobreza, dentre outros problemas que afetam as populações rurais. Produzir e dar sustentabilidade ao recurso solo é uma tarefa gigantesca e prioritária, que exige a distinção de unidades através do reconhecimento de suas características e propriedades, bem como das limitações inerentes a cada tipo de solo.

O conhecimento dos solos e sua distribuição na paisagem possibilitam uma visão das potencialidades dos ambientes, fatores imprescindíveis para o planejamento das atividades a serem executadas, especialmente quando se tem como meta o desenvolvimento sustentável para a zona rural brasileira e mais especificamente para a região nordeste.

Nessa perspectiva as inovações tecnológicas estão permitindo mudanças importantes e a pesquisa em ciência do solo vem sendo remodelada. Na cartografia de solos a incorporação e uso de: geoprocessamento; dados físicos de sensores remotos; conhecimentos estatísticos, geodésicos, topográficos, de processamento gráfico e de geoinformática foram fundamentais para o estabelecimento e definição do Mapeamento Digital de Solos-MDS.

O MDS, foi definido por Lagacherie & McBratney (2007) como “a criação e a população de sistemas de informação espacial de solos por meio de modelos numéricos visando inferir as variações espaciais e temporais de classes e propriedades do solo a partir de observações, conhecimento e dados de covariáveis ambientais relacionados”. O MDS, possibilita a aceleração dos projetos interdisciplinares na medida em que se torna mais fácil combinar técnicas e realizar abordagens diferenciadas, seja pelo uso de ferramentas, seja pelo uso de programas para análise tratamento, exportação e importação de dados.

As pesquisas em MDS no Brasil tiveram início no século XXI (EMBRAPA, 2011), potencializada pela efetiva Revolução Digital e sugerem novos caminhos e modelos de simulação com integração e tratamento de grande quantidade de dados e informações. Elas surgiram como alternativa para suprir as demandas por levantamentos de solo que atendessem as necessidades de se conhecer, manter, monitorar e recuperar as propriedades do solo e dar

suporte à sua utilização enquanto bem econômico de produção. Seu uso possibilita a descrição quantitativa de uma série de eventos e a compreensão de suas relações de interdependência. Permite também entender a gênese e as leis naturais que governam fenômenos interpretados como regionais e que localmente se diferenciam em função de características ambientais específicas e a avaliação dos erros de estimativa, para estabelecer o grau de incerteza destas previsões.

As técnicas do MDS, tanto podem ser usadas para predição de classes quanto para espacialização de atributos do solo. Elas possibilitam o registro espacial e a quantificação de informações de solo e podem ser usadas como instrumento para a avaliação das terras e sua indicação de uso para a expansão de culturas de exportação, sem restrições ambientais; que não conflitem com áreas de produção de alimentos e que subsidiem as práticas de manejo, conservação e recuperação de terras degradadas (CARVALHO et al. 2013).

Nesse sentido e embasados em técnicas de MDS, o trabalho supõe que o uso de lógica fuzzy para associar o conhecimento de pedólogos no processo de integração das informações ambientais possibilita gerar mapas de solo com ampliação de escala.

Para tanto, dados derivados de Modelo de Elevação do Terreno – MDE (declividade, elevação, perfil de curvatura, plano de curvatura e índice de umidade topográfica) e da geologia foram integrados por modelagem em sistema de informações geográficas – SIG, baseada em conhecimento técnico e tácito de especialistas em solos objetivando a predição espacial de classes de solo e a produção de mapa detalhado de solo.

A ampliação da escala de mapas é de extrema importância para subsidiar a gestão do solo com vistas à regulamentação, planejamento e controle de ações que permitam o desenvolvimento sustentável dos territórios, e, a distribuição espacial das classes de solo é informação básica para subsidiar o planejamento agrícola de assentamentos nos diferentes contextos, desde a instalação de infraestruturas básicas e escolha das culturas a serem implementadas, até o gerenciamento de práticas agrícolas.

A área selecionada para teste está inserida em um ambiente de Tabuleiros Costeiros da Microrregião da Mata Alagoana, no município de São Luís do Quitunde-AL, Brasil e abrange dois assentamentos do Complexo AGRISA.

No estado de Alagoas os projetos de desenvolvimento dos assentamentos, em geral, são elaborados a partir de informações extraídas de mapas de solos de reconhecimento de baixa e média intensidade, portanto, em escalas não compatíveis com o tamanho das propriedades. A ausência de mapas de solo em grandes escalas e por consequência a falta de conhecimento sobre as potencialidades dos mesmos, é um grande desafio. A quase completa desinformação sobre a realidade torna inviável a maioria dos projetos agropecuários, e é uma das razões para o insucesso dos projetos de assentamento.

A relevância do estudo está na necessidade de redução dos custos dos levantamentos e na possibilidade da metodologia ser uma ferramenta para refinamento da escala de mapas de solos preexistentes, logo com informações compatíveis e adequadas à elaboração dos Planos de Desenvolvimento dos Assentamentos existentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mapeamento de Solos

Essencial à conservação e ao gerenciamento dos recursos naturais, a cartografia tradicional de solos requer para sua execução o conhecimento pedológico, a compilação de dados ambientais (clima, geologia, vegetação e relevo) e a análise e interpretação de imagens. Um mapa preliminar é elaborado delineando as diferentes unidades de solo a partir de fotointerpretação e da sobreposição de dados ambientais. Esses dados são associados pelo especialista em levantamentos de solos com base no seu conhecimento e experiência própria. A este mapa são agregadas informações obtidas após sucessivas investigações de campo que, por interação sistemática, possibilitam ao pedólogo capturar as relações entre os solos e as diferentes feições da paisagem, estabelecer a distribuição espacial e os limites entre unidades no mapa final (NOLASCO-CARVALHO et al., 2009).

O levantamento de solos é um prognóstico da distribuição geográfica dos solos. Ele resulta em um mapa, parte fundamental de um levantamento, pois mostra a espacialização de características dos solos e a composição das unidades de mapeamento. O mapa constitui o primeiro recurso para o usuário localizar a área e identificar os diferentes solos (unidades de mapeamento simples) ou associações de solos (unidades combinadas), existentes (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007). Um perito em levantamento de solo é capaz de fazer o prognóstico de unidades de solo mediante análises de imagens e das características fisiográficas de uma área. Por outro lado, considerando o avanço da tecnologia da informação é possível realizar operações inferenciais automáticas para prever as unidades de solos como uma etapa preliminar do levantamento e validar o mapa predito em campo e, por conseguinte, indicar o seu potencial produtivo, as limitações de uso e as formas de manejo mais adequadas (CHAGAS et al., 2006; MELO, 2009)

Já na década de 70, Oliveira (1978) chamava a atenção para o fato do levantamento de solo ser uma atividade essencialmente aditiva, onde à cada unidade taxonômica identificada e mapeada somam-se informações anteriormente coligidas. Portanto, o armazenamento de informações anteriormente obtidas e o processamento das mesmas, são práticas indispensáveis para aumentar a precisão das estimativas em novas áreas levantadas. No mesmo trabalho, o autor ressalta a importância da estatística e da informática na obtenção de documentos e informações mais exatas e numerosas para tornar os levantamentos menos onerosos e mais úteis à coletividade.

Atualmente quando se fala em mapeamento de solos podem ser encontradas basicamente duas abordagens: o mapeamento clássico ou tradicional e o Mapeamento Digital de Solos - MDS. Os dois métodos utilizam a equação dos fatores de formação estabelecida por Jenny (1941), com base em Dokuchaev e outros estudos clássicos em pedologia, mas o método clássico têm sua precisão e eficácia, dependentes da habilidade do pedólogo, que por sua vez é limitada por dois principais fatores: a técnica de cartografia baseada em polígonos e o processo em grande parte manual de produção dos mapas de solo publicados até o final do século passado (ZHU, HUDSON, et al., 2001; ZHU, 1997a; CARVALHO et al. 2013). Já o MDS utiliza técnicas quantitativas (krigagem, árvore de decisão, lógica "fuzzy", inteligência artificial, dentre outros) e geoestatística que combinadas com a técnica do método tradicional, objetivam melhorar as previsões de classes e atributos de solos (MCBRATNEY et al., 2000; MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003) .

Tanto no método clássico quanto no MDS dados auxiliares de diferentes variáveis ambientais, que representam os fatores responsáveis pela dinâmica de formação do solo, podem ser usados.

No MDS, informações de diferentes variáveis para a predição do solo podem ser obtidas de forma automática a partir de imagens de sensores remotos; podem ser extraídas de áreas predefinidas em mapas de solos preexistentes ou podem ser fornecidas por especialistas (MCBRATNEY et al., 2003; LAGACHERIE, 2008, SHI et al., 2009). Os dados de elevação, declividade e do índice de umidade podem ser derivados do Modelo de Elevação do Terreno (MDE). As informações sobre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e dados sobre a composição mineralógica do solo podem ser obtidos de bandas espectrais específicas de sensores remotos (DOBOS et al., 2000; NANNI et al., 2006; DEMATTÊ et al 2004), por exemplo. As diferentes informações vão compor um banco de dados que associados possibilitam a modelagem para a predição e delimitação de classes e/ou de atributos de solo e o conhecimento da variabilidade espacial destes.

De acordo com Gerbermann & Neher (1979), a identificação automática e a captura de dados (AIDC – Automatic Identification and Data Capture) pode possibilitar a confecção de mapas de solos com menor consumo de tempo em relação ao método convencional. Isso tornaria viável a caracterização de solos de diferentes regiões do país, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida (COLEMAN & MONTGOMERY, 1990; DEMATTÊ & GARCIA, 1999).

As perspectivas de mudanças na forma de conceber e criar mapas de solo com menor custo e interatividade com os usuários, e que atendam as exigências de uma agricultura de precisão e aos inventários ambientais se mostram promissoras (CARVALHO et al., 2013). A automação permite inúmeras combinações de informações em diferentes formatos quer sejam dados do meio ambiente, dados sobre as propriedades do solo e até o conhecimento expresso em linguagem natural para a predição e delimitação de classes de solo e seus atributos (MCBRATNEY et al., 2003). Ela pode acelerar a obtenção de mapas se as informações estiverem organizadas em uma base de dados interativa.

Em mapeamento de solo independente da sua abordagem, a unidade taxonômica é uma classe de solo definida e conceituada, segundo parâmetros de classificação. Já a unidade de mapeamento é um conjunto de áreas de solos com relações e posições definidas na paisagem, que podem aparecer ora como associações de solos ora como unidade simples de solo. A unidade pode ser constituída, tanto por classe(s) de solo(s), quanto por tipos de terreno (EMBRAPA; 1995).

O mapeamento “tradicional” é balizado no conceito de solos como um “corpo natural”, “indivíduo”, com características próprias, completo e indivisível, logo passível de ser separado dentro do *continuum* da cobertura pedológica (CLINE, 1949). Esses “indivíduos” denominados de unidades de referências dependem de limites e conceitos impostos pelo homem, para atender aos diversos esquemas de classificação taxonômica de solos e unidades de mapeamento (MENDONÇA-SANTOS & MANZATTO, 2007). A imposição de limites não permite representar a realidade, pois desconsidera a variação horizontal interna das unidades de mapeamento. As propriedades do solo nos locais não amostrados são estimadas pelo valor médio da unidade de mapeamento (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003).

O delimitação de unidades de solo tradicionalmente é essencialmente qualitativo e resultante de raciocínio aproximativo a partir do conhecimento experimental ou empírico e determinístico. Geralmente não é realístico, pois na natureza as transições na pedosfera tendem a ser mais graduais que abruptas. O raciocínio aproximativo constitui uma forma natural do homem examinar, utilizando termos linguísticos que são vagos como por exemplo:

“se são sedimentos do Barreiras, se são tabuleiros e se a área é plana, é quase certa a ocorrência de Latossolos Amarelos” (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

Em MDS, uma alternativa para transferir este tipo de raciocínio para o computador, que trabalha com valores exatos, é usando a lógica difusa ou *fuzzy*. Embasada em modelos de raciocínio que são aproximados ou não exatos, a lógica *fuzzy* pode ser usada para exprimir a informação imprecisa contida em frases expressas em linguagem cotidiana, tais como, muito, pouco, quase, mais ou menos, etc. (ZADEH, 1999; ZADEH, 1988; ZADEH, 1965). Tem por objetivo permitir graduações na pertinência de um elemento a um dado conjunto, ou seja, de calcular a possibilidade de um elemento pertencer com maior ou menor intensidade àquele conjunto - unidade de mapeamento (SIQUEIRA & ROCIO, 2011), por exemplo.

Independente da metodologia todo levantamentos de solos requer atividades de escritório, de campo e de laboratório. Compreende fotointerpretações, registro de observações, análises de aspectos do meio físico e de características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, visando à caracterização, classificação e principalmente a cartografia. O trabalho de escritório compreende a revisão bibliográfica e a análise crítica de trabalhos técnicos científicos inerentes à pedologia, além de estudos geológicos, geomorfológicos, climáticos, fitogeográficos e da interpretação de imagens que distinguem o meio ambiente e fornecem subsídios para o levantamento (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

No mapeamento clássico de solos, um mapa preliminar delineando as unidades é digitalizado sobre as fotografias aéreas, imagens ou cartas topográficas. Entre os suportes informacionais, as fotografias aéreas usadas como base para a produção de cartografia do solo resultam em mapas bastante precisos, porém sua aquisição e fotointerpretação têm custos elevados, consomem muito tempo (LILLESAND & KIEFER, 2007), e exigem o planejamento do futuro voo onde será recolhida a informação, o que inviabiliza estudos em datas anteriores. Muitos trabalhos hoje usam as imagens de satélite, entretanto, a extração de informações sobre unidades de solos, ainda é frequentemente feita por análise visual de imagens orbitais em composições coloridas (IBGE, 2007).

Para traçar o mapa de uma área, o especialista em solos utiliza seus conhecimentos e a correlação de dados auxiliares (que compõem os fatores de formação do solo), e por integração e interpretação mental captura as relações entre os solos, estabelecendo o modelo de distribuição dos mesmos nas diferentes feições da paisagem. Esse modelo posteriormente é confrontado com a investigação de campo que: avalia a compatibilidade da espacialização e das inferências de classes de solo efetuadas; retifica, e seleciona áreas para detalhamento e descrição de perfis (CARVALHO et al., 2007). O mapa final é confeccionado após as correções em várias etapas de campo, e o delineamento é realizado diretamente na tela do computador por digitalização. Esse trabalho subjetivo, lento e repetitivo, por diferenças de percepção visual e interpretação dos diferentes peritos, é propenso a erros (ZHU et al., 2001).

Segundo McBratney et al. (2003), o avanço na tecnologia de sensores remotos e sistemas computacionais possibilitou a integração entre a análise de imagens orbitais e sistemas de informações geográficas, e facilitou o levantamento de solos. A partir da década de 90 técnicas quantitativas (matemáticas, estatísticas e numéricas), começaram a ser desenvolvidas para prever, descrever, classificar e estudar os padrões de distribuição espacial dos solos com maior precisão (ZHU, 1998a; ZHU, 1998b; ZHU, 1997a; ZHU, 1997b; ZHU, 1994; ZHU et al., 1997; ZHU, 2000; ZHU e BAND, 1994; ZHU et al., 1996; ODEH et al., 1992ab; ODEH et al., 1995; MCKENZIE & AUSTIN 1993; MOORE et al., 1993; MCKENZIE & RYAN, 1999; DOBOS et al., 2000).

Estes métodos aplicados de forma associada ao “conhecimento pedológico” em ciência do solo deram origem a um ramo denominado pedometria, que tem por objetivo

melhorar o conhecimento da variabilidade espacial dos solos, da precisão e da qualidade da informação (WEBSTER, 1984).

Os diversos trabalhos em Mapeamento Digital de Solos - MDS tem demonstrado que é possível separar solos por meio de atributos da topografia e do solo (CHAGAS et al., 2011; SOUZA JUNIOR & DEMATTÊ, 2008; DOBOS, 2000; ZHU et al., 1996; ZHU et al., 1997), através de medidas espectrais obtidas em laboratório (NANNI & DEMATTÊ, 2006; NANNI et al., 2004; DEMATTÊ et al., 2001; GALVÃO & VITORELLO, 1998, FIORIO et al., 2005), bem como através da integração desses atributos ao conhecimento tácito de pedólogos (ZHU et al., 2001; ZHU, 1998b; ZHU, 1997a; ZHU et al., 1996; ZHU et al., 1997, NOLASCO-CARVALHO et al., 2009).

No Brasil a RedeMDS coordenada pela EMBRAPA Solos, reúne pesquisadores de várias instituições que desenvolvem essa área do conhecimento no país. Trabalhos aplicando redes neurais (ARRUDA et al., 2013; CHAGAS et al., 2011; SARMENTO, 2010); regressões logísticas múltiplas (GIASSON et al., 2006; TEN-CATEN et al., 2011), árvore de decisão (CRIVELENTI et al., 2009; GIASSON et al., 2011), lógica *fuzzy* (NOLASCO-CARVALHO et al., 2009; SILVA et al., 2011; BAZAGLIA FILHO, 2012); krigagem (VALLADARES, 2012; KRAEMER, 2007); geotecnologias (LOSS et al., 2011); espectrometria (LÓPES, 2009; DEMATTÊ, 2004; FARIAS, 2008; SOUSA JUNIOR et al., 2008) apresentam a potencialidade dessas técnicas enquanto ferramentas para subsidiar a cartografia de solos.

Entretanto, sabe-se que os atributos dos solos se distribuem mais ou menos de forma contínua no espaço geográfico (BURROUGH, 1996; ZHU, 1997a), como uma mistura de solos de um tipo para outro. Ajustar este caráter contínuo dentro de categorias discretas de solos com adesões completas generaliza a complexidade inerente às suas variações, degradando a precisão dos resultados das informações espaciais do solo. Este é um grande desafio a ser enfrentado em termos de representação cartográfica.

Portanto, deve-se ressaltar que a sistematização e a aplicação de uma metodologia de avaliação da qualidade dos mapas digitais que estão sendo gerados ainda é um desafio a ser enfrentado no MDS (LAGACHERIE, 2008) e é inexistente no mapeamento tradicional. Nos trabalhos em MDS a qualidade da informação tem sido mensurada através da matriz de erros ou confusão que confronta informações contidas no mapa gerado com dados de campo. A Exatidão Global (BRITES, 1996) também chamado de Acurácia Geral (TEN CATEN, 2008) e o índice de *Kappa* tem sido utilizados para mensurar a exatidão dos mapas digitais (FIGUEIREDO et al., 2008; VALLADARES, 2012; COELHO, 2010; SARMENTO, 2010; TEN CATEN et al., 2012), ao que se contrapõem Pontius-Jr & Millones (2011) que sugerem resumir a matriz de tabulação cruzada a dois parâmetros mais simples: quantidade em desacordo e discordância de alocação que conduzem a resultados mais eficientes.

O pressuposto de um mapa de solo é que seu objetivo é o de: fornecer informações que possibilitem potencializar seu uso para diferentes fins; monitorar as alterações de suas propriedades de forma a propiciar a manutenção da sua funcionalidade, de combater a degradação e conduzir processos de recuperação (WILDING, 2006) Isso requer mapas em maior resolução, com legendas e informações mais fáceis de serem assimiladas e que representem não só as classes de solo, mas que mostrem a variabilidade espacial dos seus atributos físicos e químicos. Essa conjugação permite conhecer a dinâmica e o funcionamento do solo para que se possa fazer o planejamento das terras de acordo com as atividades desenvolvidas por diferentes usuários.

As características que compõem os atributos do solo diferem espacialmente entre solos e dentro de um mesmo solo de acordo com a maneira como é manejado, logo precisam ser identificadas para possibilitar uma melhor gestão deste recurso. Nesse aspecto a pedometria vem aplicando ferramentas analíticas modernas para quantificar e espacializar algumas

propriedades do solo. As pesquisas incluem inteligência artificial (SILVA et al., 2012; ARRUDA, 2012; CHAGAS et al., 2011), uso de lógica *fuzzy* (SILVA et al., 2011; NOLASCO-CARVALHO et al., 2009) geoestatística (ROSA, 2012; CATEN et al., 2009) como técnicas para delinear classes e avaliar a variabilidade temporal e espacial dos atributos do solo). Os estudos ainda são limitados (BEN-DOR, 2009), mas as perspectivas são promissoras e os diversos métodos validados em função das diferentes técnicas, da diversidade ambiental e dos dados e materiais disponíveis seguem uma rotina onde as etapas descritas podem ser consideradas equivalentes àquelas que são usadas nos levantamentos convencionais (SARMENTO, 2010). Essa rotina usada no MDS possibilita o delineamento da distribuição espacial e a integração de dados quantitativos dos solos que o reconhecem como um sistema constituído de componentes correlatos e dinâmicos.

Como os avanços tecnológicos apontam para uma agricultura de precisão, as pesquisas em MDS e o uso de equipamentos portáteis cada vez mais vão auxiliar a cartografia e a caracterização em campo de algumas propriedades e possibilitar o uso mais eficiente do recurso solo tanto no aspecto da produção de alimentos, fibra e energia, quanto no ambiental e urbano. Portanto, a espacialização de atributos do solo e do ambiente pode servir como padrão de referência para identificação e avaliação de modelos que possibilitem quantificar e qualificar este recurso subsidiando programas de planejamento, gestão, manutenção e recuperação de solos no âmbito regional e local.

2.2 Geoprocessamento

O principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as suas inter-relações (ASSAD, 1998). Ele engloba um conjunto de técnicas (ou tecnologias) ligadas à informação espacial, para coleta, tratamento, análise e divulgação em meio analógico e digital de dados (ROSA, 2009), que são empregadas no MDS. Algumas dessas técnicas, também chamadas de Geotecnologias são: Topografia; Fotogrametria; Cartografia; Sensoriamento Remoto; Posicionamento por Satélite; Geoestatística; Banco de Dados Geográficos; WebMapping e Sistemas de Informação Geográfica – SIG. São compostas por soluções em *peopleware*, *hardware* e *software*, que em conjunto se constituem em poderosas ferramentas de suporte à tomada de decisões (ROSA, 2005).

Pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial estão envolvidas no geoprocessamento (ROSA, 2005; ROSA & BRITO, 1996):

- Técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, sensoriamento remoto, Sistema de Navegação Global por Satélite - GNSS, topografia, levantamento de dados alfanuméricos);

- Técnicas de armazenamento de informação espacial (bancos de dados: orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc.);

- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes, etc.);

- Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS – Geographic Information Systems, LIS – Land Information Systems, AM/FM – Automated Mapping/Facilities Management, CADD – Computer-Aided Drafting and Design.

O desafio de organizar grandes quantidades de dados conduziu ao desenvolvimento de ferramentas novas no campo da estatística e gerou novas áreas como a mineração de dados - *data mining*, e a aprendizagem automática ou aprendizagem computacional - *machine learning* (MCBRATNEY et al., 2003). Aliado a isso, o uso de tecnologias como o GNSS, as imagens orbitais e equipamentos como scanner, impressoras de alta resolução e processadores

poderosos instalados em computadores pessoais possibilitaram intensamente o avanço dos estudos relacionados à descrição e espacialização da superfície da terra.

O geoprocessamento é inerente ao MDS, que utiliza ferramentas analíticas modernas para quantificar as propriedades do solo no espaço e no tempo de forma mais ágil. As geotecnologias - GNSS (Global Navigation Satellite System), PDA (Personal Digital Assistants) e SIG (Sistemas de Informação Geográfica) - abrem novas possibilidades para o aperfeiçoamento dos mapeamentos de solos e possibilitam o uso de parâmetros descritores do relevo (geomorfométricos), geológicos e base de dados de atributos oriundos de levantamentos de solos preexistentes. Também subsidiam às diferentes fases do levantamento, contribuindo para acelerar e objetivar a coleta de dados em campo, melhorar a exatidão na delimitação das unidades de mapeamento, facilitar a disponibilização do produto final e potencializar os usos e aplicações dos resultados (MORRIS et al., 2000; HEMPEL et al., 2006). Ele permite a utilização, processamento e análise de dados qualitativos e quantitativos que podem ter sido obtidos em campo, através de sensores ou do conhecimento e a partir de diferentes metodologias (CARVALHO et al, 2013). O uso desses dados em modelos preditivos possibilita gerar novas informações com avaliação de qualidade associada que em levantamentos tradicionais de solo não existem.

Silva (2011), aplicando técnicas de geoprocessamento para integrar dados do relevo, da geologia e extraídos de imagens em uma área no município de Petrolândia, gerou um mapa de solo com refinamento de escala. Além das mudanças significativas na forma e no número de polígonos, o trabalho constatou uma redução tanto no tempo quanto nos custos financeiros em cerca de 70%. Esse resultado ressalta a importância da novas tecnológicas e do geoprocessamento em levantamentos de solos.

Na era digital observamos a elevada capacidade e rapidez de transformação dos dados em informação e conhecimentos, direcionados para a inteligência e estratégias científicas. Nesse aspecto considerando a dinâmica emergente voltada para o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, pensar em mapeamento de solos é olhar para o futuro com levantamentos desenvolvidos através de metodologias com forte aporte tecnológico, que possibilitem integrar dados preexistentes, coletar, analisar e gerar novos dados espaciais com informações que atendam as características, propósitos e necessidades dos diferentes usuários (CARVALHO et al, 2013).

2.2.1 Variáveis ambientais preditoras

As variáveis ambientais podem ser definidas como os principais elementos da paisagem que influenciam no desencadeamento dos processos morfopedogenéticos (IBGE, 2008). De acordo com Valeriano (2008), elas determinam a dinâmica hídrica, a forma do relevo, os tipos de solo e a cobertura vegetal.

Dentre os elementos da paisagem, as vertentes são consideradas como as componentes básicas de qualquer paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1980). São identificadas como elemento dominante do relevo, logo categoria central na sua dinâmica processual (CASSETI, 1995). Para Bloom (1970) a paisagem é normalmente composta de pequenos elementos da encosta, cada um deles reagindo de modo particular ao efeito local da água, do intemperismo, do escorregamento e erosão, portanto condicionam a dinâmica dos processos de formação do solo de maneira diferenciada.

O avanço da tecnologia de coleta de dados por sensoriamento remoto associado à explosão da computação e da informática possibilitou a extração de uma quantidade maior de variáveis ambientais e o uso de ferramentas capazes de processar, analisar e gerar informações que têm incrementado as pesquisas tanto na área de ciências do solo quanto na do meio ambiente (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

Entre os vários tipos de informações que podem ser extraídas de imagens de sensores, encontram-se os dados sobre o relevo que são obtidos através do Modelo Digital de Elevação – MDE (declividade, geoformas, aspecto, dentre outras). Essas informações são correlacionadas através de técnicas pedométricas que estabelecem relações matemáticas entre as classes, as propriedades dos solos e as variáveis preditoras (variáveis geomorfométricas) para o estudo da distribuição e gênese dos solos (MCBRATNEY, 1996).

A análise da inter-relação e superposição desses elementos da paisagem (onde cada elemento possui uma ponderação ambiental) é de suma importância para a compreensão do padrão da distribuição dos diversos solos na paisagem (SILVA-NETO, 2013). Embasados nessa compreensão diversos trabalhos em MDS usam os atributos da paisagem derivados do MDE (BAZAGLIA FILHO, 2012; GIASSON et al., 2011; TEN-CATEN, 2011; COELHO, 2010; ZHU et al., 2010; CRIVELENTI et al 2009; FARIAS, 2008) como variáveis para identificar, distinguir, espacializar e delinear classes de solos.

O MDE é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno que está vinculado a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que a representa pode ser variado (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).

A criação de um MDE é imprescindível para a representação de uma superfície real no computador e pode ser feita por equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de grades regulares e/ou irregulares. A partir dos modelos pode-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, efetuar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (ZANARDI, 2006).

A modelagem através da Rede Triangular Irregular – TIN (Triangulated Irregular Network), permite que informações morfológicas importantes como as descontinuidades, representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular. Isso possibilita modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície (INPE, 1997).

Silva-Neto (2013) avaliando qualitativamente as formas do terreno constatou que as dinâmicas e intensidades dos processos erosivos estão diretamente ligadas aos formatos das vertentes, sendo as formas côncavo-convergente, retilíneo-convergente e convexo-convergente as mais suscetíveis a processos erosivos intensos.

Chagas (2006), usando atributos de relevo derivados de MDE e técnicas de MDS em uma área no domínio de mar de morros do Estado do Rio de Janeiro verificou que as unidades de Argissolos Vermelho Amarelos ocupavam predominantemente as encostas convexas e que os Argissolos Vermelhos Eutróficos saprolíticos ou abruptos saprolíticos com espessura de perfis inferiores a 100 m ocorrem exclusivamente nas encostas côncavas. No mesmo trabalho conclui também que independente do tipo de material de origem, as variações microclimáticas determinadas pela orientação das encostas foram importantes na diferenciação dos solos das encostas convexas.

Crivelenti, 2009 verificou que os Latossolos Vermelhos Distróficos textura média da Folha Dois Córregos, relevo plano e suave ondulado diferenciam-se do Latossolo Vermelho Eutrófico textura argilosa ou muito argilosa por serem encontrados em áreas de curvatura planar convergente. No mesmo trabalho verificou que os Neossolos Litólicos textura média, ocorrem em áreas com relevo ondulado e forte ondulado e geralmente em curvaturas planas e divergentes.

A importância da extração de informações a partir de MDE em processos de modelagem de solos pode ser observada na Figura 1. O emprego destes dados como fonte de informações geomorfométricas, possibilitam a análise e compreensão da dinâmica da água nos diferentes pontos do terreno (SILVA-NETO, 2013), e suprem as necessidades decorrentes

da ausência ou escassez da cartografia em muitas regiões, causadas pela dificuldade de acesso ou pela carência de projetos de mapeamento sistemático (NOLASCO-CARVALHO, 2006). O MDE pode, também, fornecer informações que possibilitam a predição de mapas de solo em escalas maiores e mais adequadas aos projetos de desenvolvimento municipal. Essas duas situações ocorrem e se enquadram nas necessidades de desenvolvimento da cartografia nacional.

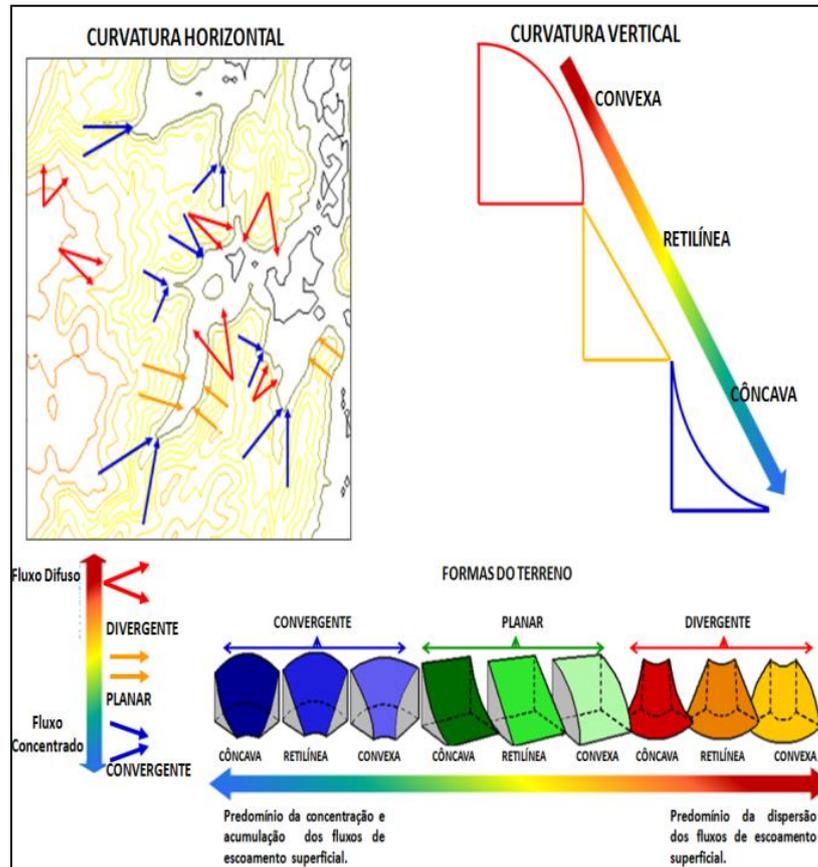


Figura 1. Variáveis geomorfológicas locais, que podem ser derivadas de MDE. Fonte: Extraído de Silva-Neto (2013), adaptado de Valeriano, (2008).

2.2.2 Sistema de informações geográficas - SIG

Poderosas ferramentas, os Sistemas de Informações Geográficas - SIGs permitem a integração e análise de dados de fontes diversas. Sua importância pode ser avaliada nos diferentes campos de conhecimento, porém sua aplicação tem sido bastante destacada no levantamento e manejo de recursos naturais e no planejamento urbano, dentre outros (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

Segundo Silva (1999), os SIGs são aceitos como uma tecnologia, que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais logo, oferecem alternativas à compreensão da ocupação e utilização do meio físico, e compõem ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI), da Geoestatística, da fotogrametria e do Sistema Global de Navegação por Satélite - GNSS, o universo das Geotecnologias.

O SIG constitui um instrumento através do qual, dados referenciados podem ser armazenados, manipulados e analisados permitindo maior rapidez na obtenção de informações (WALSH, 1985), que possibilitam o conhecimento e a resolução de problemas relacionados à organização espacial (NISTAL, 1987).

Inúmeras definições para SIG podem ser encontradas na literatura e, embora não exista uma definição consensual, a fusão dos diferentes conceitos permite esboçar uma definição mais completa, a de que o SIG necessita de um meio digital, conseqüentemente, do uso intensivo de informática; requer uma base de dados integrada, georreferenciada e com controle de erros; e deve conter funções de análise desses dados que variem desde álgebra cumulativa até álgebra não cumulativa (SILVA, 2003),

A integração do SIG com o sensoriamento remoto foi possível no momento em que se começou a vincular o posicionamento de cada pixel da imagem com sua respectiva coordenada do sistema de referência (geográficas ou de projeção). Este artifício possibilita a geração de informações temáticas derivadas, a integração com mapas e outras informações, a revisão e a atualização de mapas existentes. (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

Além disso, no SIG a integração de informação auxiliar combinada com modelos digitais do terreno podem ser utilizadas para produzir perspectivas realistas do terreno, permitindo uma visão global da paisagem, ampliando a coleta de informações, a compreensão dos fenômenos e possibilitando o planejamento das mais diversas atividades no meio físico (NOLASCO-CARVALHO, 2006).

Os dados associados às imagens digitais mais empregados em estudos de classificação são os referentes a informações geológicas, imagens de radar, cobertura do solo, informações sobre o relevo (tais como a declividade, a forma da encosta e o índice de umidade) e mapas de vegetação (PENNOCK, 1987; SIRTOLI, 2008; CHAGAS, 2006; FARIAS, 2008; VALERIANO, 2003; KLINGEBIEL, 1987; TEN-CATEN, 2011; SARMENTO, 2010; DOBOS et al., 2000; IPPOLITI, 2005; NOLASCO-CARVALHO et al., 2009).

Recentemente, Ippoliti et al. (2005), utilizando SIG para o delineamento das geoformas e pedopaisagens a partir dos dados da carta topográfica observou que, após a realização de uma classificação digital preliminar, o método embasado em um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido, possibilitou: a correlação das classes obtidas com as classes de solos dominantes, uma maior eficiência dos trabalhos de campo e a elaboração de um mapa síntese preliminar de distribuição de pedoformas, que auxilia no mapeamento de solos.

Em sua revisão sobre mapeamento digital de solos McBratney et al. (2003), analisando trabalhos de diversos autores conclui que:

- As relações quantitativas entre o solo e a topografia têm sido as mais facilmente encontradas, porém há evidências de relações quantitativas com os outros fatores de formação do solo (geologia, organismos e clima);
- As relações não podem ser assumidas como lineares;
- Existem poucos trabalhos mostrando a interação entre os fatores;
- Os solos podem ser espacialmente preditos pela sua posição geográfica usando diferentes técnicas;
- Os solos podem ser preditos a partir de pontos de referência, por atributos do solo e atributos do ambiente; e,
- De um modo geral nos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, que subsidiam as decisões tomadas por especialistas. É a combinação de dados multi-fonte que permitirá reduzir a ambigüidade das interpretações que normalmente são obtidas através da análise individual dos dados (PENDOCK & NEDELJKOVIC, 1996).

Os modelos de processos ambientais no contexto de SIG podem ser descritos como a combinação de um conjunto de dados de entrada através de uma função, que produz um novo dado de saída. Saída = $f(\text{dados de entrada})$. A função, f , pode tomar muitas formas diferentes, mas os relacionamentos expressados por esta função são baseados no entendimento teórico de princípios físicos e químicos, ou são empíricos, baseados em dados observados ou ainda na combinação destes dois tipos anteriores (CÂMARA et al., 2001).

Do ponto de vista conceitual os modelos podem ser teóricos (a partir de princípios físicos e químicos) ou empíricos baseados em dados observados, ou ainda na combinação destes dois anteriores tipos. Como exemplo de modelos empíricos, podem ser citados os baseados em relacionamentos estatísticos ou relacionamentos heurísticos, onde os relacionamentos espaciais entre as variáveis de estudo, são estimados por critérios estatísticos, a partir de amostras de uma região experimental, ou de um conjunto de classes, onde os limites das classes são definidos por especialistas (CÂMARA et al., 2001). Modelos para predição de solo são exemplos de modelos empíricos (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003).

Os modelos empíricos podem estar embasados em conhecimento e em dados e são implementados respectivamente a partir do conhecimento de especialistas e a partir de um conjunto de dados observados. Nos modelos baseados em conhecimento, um conjunto de informação de entrada e uma metodologia permitirão descobrir localizações ou zonas que atendam a um conjunto de critérios. Se o critério é definido segundo regras determinísticas, o modelo consiste em aplicar operadores de lógica booleana em um conjunto de dados (mapas) de entrada. O dado de saída é um mapa binário onde cada ponto no mapa, satisfaz ou não as condições do modelo (BONHAM-CARTER, 1994). Essas técnicas onde os mapas binários são simplesmente sobrepostos e as áreas de maior potencial de ocorrência de Latossolos, são aquelas onde há maior número de e intersecção de evidências favoráveis definida pelo modelo é definida como coocorrência aditiva (HARRIS, 1989).

Uma forma alternativa é avaliar cada localização de acordo com critérios ponderados, que resultam em um patamar (grau) em uma escala de potencialidade (BONHAM-CARTER, 1994). Essa técnica também é definida como coocorrência ponderada (HARRIS, 1989). Este método tem como vantagem a habilidade de avaliar graus de potencialidade em vez de apenas avaliar presença ou ausência da potencialidade. A potencialidade é calculada pela ponderação e combinação de evidências de fontes múltiplas. A avaliação do peso a ser atribuído a um mapa depende da análise da importância da evidência em relação a uma ocorrência conhecida ou do julgamento subjetivo de especialistas (CÂMARA et al., 2001).

Modelar as relações solo-paisagem é uma técnica inerente aos levantamentos tradicionais e é utilizada para entender e prever o padrão de distribuição natural do solo (NOLASCO-CARVALHO, 2006). O SIG é um instrumento tecnológico que pode permitir uma análise sinóptica dos fatores ambientais. Os programas usados em SIG têm contribuído na redução dos custos e tempo para realização dos levantamentos. Eles reproduzem o processo de modelagem solo-paisagem através da integração de banco de dados informacionais georreferenciado construído para predição da distribuição espacial e da variação das propriedades dos solos (SILVA, 2011).

2.3 Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e Lógica *Fuzzy*

A modelagem e o controle *fuzzy* (LEE, 1990) são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento.

Os conceitos fundamentais de Conjuntos *Fuzzy* e de Lógica *Fuzzy*, assim como algumas definições e operações que permitem abordar os mecanismos de inferência que servem de base para o que se convencionou chamar de *raciocínio aproximado* serão apresentados como forma de alicerçar o trabalho e proporcionar a compreensão da transposição de operadores para o âmbito da Lógica *Fuzzy* ou Lógica Difusa (ZADEH, 1999; AMDANI & ASSILIAN, 1975)

A utilização da Teoria dos Conjuntos Nebulosos em um contexto lógico é conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa ou lógica '*Fuzzy*'. Ela é definida segundo Katinsky (1994), como a parte da lógica matemática aplicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, logo mais representativa do pensamento humano e da linguagem natural.

Lidar com ambiguidades, incertezas e informações vagas na resolução de problemas é uma característica do pensamento humano, que usa o conhecimento adquirido e experiências para equacionar esses fatores (KLIR, 1997; MUKAIDONO, 2001). Nos problemas de difícil solução, em que se faz necessário o auxílio matemático/computacional, modelar tais fatores é extremamente difícil. A modelagem computacional convencional não trabalha com ambiguidades, pois utiliza o conceito de verdadeiro ou falso (MUKAIDONO, 2001) da lógica clássica.

Desenvolvida por Zadeh, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (nebulosos) permite que níveis de incerteza e ambiguidade sejam tratados. Compreende uma generalização da teoria dos Conjuntos Tradicionais para resolver os paradoxos gerados a partir da classificação "verdadeira ou falsa" da Lógica Clássica (ZADEH, 1965). Nesta, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto é definido como: totalmente verdadeiro ou totalmente falso. Mas, na Lógica *Fuzzy*, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. Isso permite que a vagueza das informações advindas da linguagem natural pode ser melhor representada. Ao contrário da lógica tradicional, lógica *fuzzy* não impõe limites bruscos, proporcionando graus de pertinência de elementos a uma determinada categoria.

Pode-se definir lógica difusa então como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas - de um modo geral são descritas em linguagem natural, e convertê-las para um formato numérico de fácil manipulação (ZADEH, 1978). A extração (representação) destas informações vagas se dá através do uso de conjuntos nebulosos.

A versatilidade da utilização da teoria *fuzzy* está na sua capacidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana e, portanto, as fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) ao caracterizar uma diversidade de processos que podem ou não, ser ambientais. A manipulação é feita a partir da composição de variáveis escolhidas para modelar matematicamente um processo em questão, quando a implicação das variáveis independentes nas dependentes é estabelecida por um conjunto de regras linguísticas baseadas no conhecimento de especialistas (HANSELMAN & LITTLEFIELD, 2003).

A Lógica *Fuzzy* contradiz o princípio do determinismo binário e o conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, isso faz com que a lógica difusa pareça natural, até mesmo inevitável (SANTOS, 2011).

2.3.1 Conjuntos *fuzzy*

Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido. Dado um conjunto A em um universo X , os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto. Isto pode ser expresso pela função característica f_A :

$$f_A = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

A Teoria dos conjuntos *fuzzy* proposta por Zadeh flexibiliza e amplia a pertinência de elementos aos conjuntos. Criando uma ideia de grau de pertinência, ela generaliza a função característica, de modo que ela possa assumir um número infinito de valores no intervalo [0,1]. Matematicamente se X significa um espaço de objetos, então o conjunto *fuzzy* A em X é anunciado por pares ordenados:

$$A = \{ \underbrace{(x, \mu_A(x))}_{MF_A} \mid x \in X \}$$

Onde MF_A é a função de pertinência e $MF_A(x): X \rightarrow [0,1]$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A , em outras palavras a função $MF_A(x)$ traduz uma “gradação” mapeável do membro x em A . De modo geral $F_A(x)$ varia de “0” a “1”, com o “1” representando o membro inserido completamente no conjunto e o “0” como o membro que não pertence ao conjunto.

Para ilustrar o exposto suponhamos a classificação de uma área em ter elevação média ou não, no Brasil, apesar de não se saber exatamente quando começa e termina essa elevação. Vamos assumir um exemplo de que a faixa de elevação média esteja entre de 500 a 700 m. Pela lógica tradicional, uma área com 490 m de elevação só poderia pertencer ao conjunto de baixa elevação. Da mesma forma, uma área com 710 m não pertenceria mais ao conjunto de média elevação. Mas não é desejada tamanha precisão em relação a este conceito, dado que o limite de média elevação não pode ser definido precisamente. Na verdade, se tem uma ideia vaga a respeito dos limites de média elevação.

A Figura 2 mostra a definição de meia elevação segundo a teoria de conjuntos Booleanos e a teoria de conjuntos *Fuzzy*.

No exemplo apresentado na Figura 2A, fica claro que os limites do conjunto de média elevação são muito rígidos. Seria desejável ter limites graduais, onde fossem associados graus de certeza de que as cotas seriam ou não de média elevação. Na Figura 2B pode-se notar que o grau de certeza de que uma área com 300 m de elevação pertence à classe média é muito menor do que as com 490 m (MUKAIDONO, 2001).

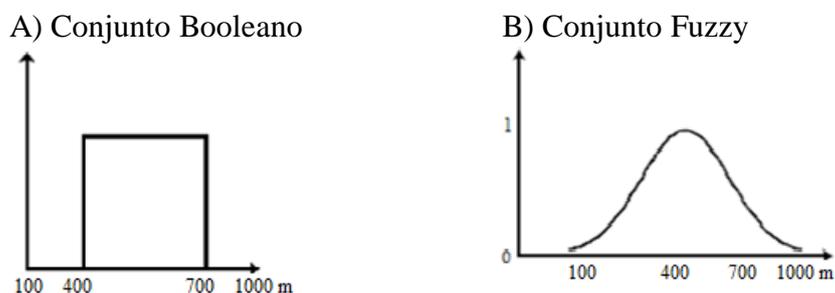


Figura 2. Conjuntos média elevação: (A) Definição de conjunto Booleano e (B) Definição de conjunto Fuzzy. Fonte: Adaptado de Mukaidono, (2001).

A função *fuzzy* deve assegurar que o valor do membro no centro do conjunto é “1”, e que este decai de maneira lógica através da fronteira *fuzzy* (zona de transição) para as regiões

fora do conjunto onde o valor deve ser “0”. O ponto onde o valor do membro é igual a 0,5 é denominado de “ponto de cruzamento” e ele deve coincidir com os contatos rígidos dos modelos *Booleanos*. A função deve ser definida de tal modo que esta condição seja respeitada. Entre as várias funções que definem os conjuntos fuzzy podem ser citadas: linear, não-linear, normal, gaussiana, trapezoidal, triangular, ascendente, descendente e a sigmóide, entretanto as mais utilizadas para determinar valores de membros *fuzzy* são funções lineares e senoidais (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).

A função linear *fuzzy* é definida por dois segmentos de reta inclinados que se encontram em um ponto central de valor $MFA(z) = 1$. Nas bordas o valor é $MFA(z) = 0,5$ e a inclinação das retas define a zona de transição *fuzzy* (Figura 3a)

Funções de associação para conjuntos *fuzzy* podem apresentar qualquer formato ou tipo determinado pelo especialista no domínio sobre o qual os conjuntos são definidos.

Embora na definição dos conjuntos *fuzzy* os especialistas possuam muita liberdade na seleção de funções de pertinência apropriadas, estas funções devem satisfazer as seguintes restrições: (i) o intervalo de uma função de pertinência deve ser $[0,1]$; e (ii) para cada $x \in X$, $\mu_A(x)$ deve ser único. Ou seja, ao mesmo elemento não se pode mapear diferentes graus de pertinência para o mesmo conjunto *fuzzy*.

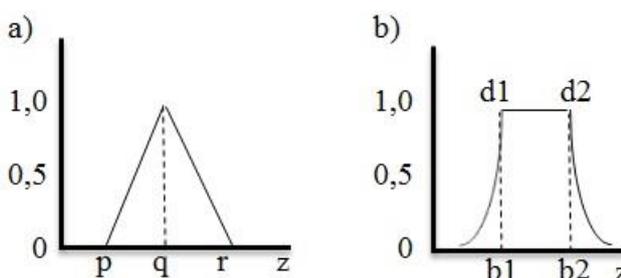


Figura 3. Representação de funções *fuzzy* linear (a) e quadrática (b). No gráfico a) o grau de relacionamento é 1 no ponto q, decaindo para 0 nos pontos p e r. No gráfico b) conjunto *fuzzy* é definido por duas funções quadráticas: os valores d1 e d2 correspondem à largura da zona de transição e os números b1 e b2 os pontos de cruzamento. Fonte: Adaptado de Fang (1997).

Existem várias formas de representar as funções *fuzzy*, sendo a mais comum a função triangular, embora curvas trapezoidais, além de outras formas também, sejam usadas, porém a forma geralmente é menos importante do que o número de curvas e a definição do local onde são postas. De três a sete curvas são geralmente apropriadas para cobrir a faixa requerida de valores de entrada (SUMATHI & SUREKHA, 2010). As funções *fuzzy* mais comuns e as propriedades dos conjuntos *fuzzy* são apresentadas no Anexo A.

2.3.2 Variáveis linguísticas

Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy*. Por exemplo, o tempo de um determinado processo pode ser uma variável linguística assumindo valores pouco, médio, e muito. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos *fuzzy*, representados por funções de pertinência.

De fato, uma variável linguística se caracteriza por $n, T, X, m(n)$ onde n é o nome da variável (por exemplo: velocidade pressão, umidade, etc.), T é o conjunto de termos linguística de n (alta, baixa, média, etc.), X é o domínio (Universo) de valores de n sobre o qual o significado do termo linguístico é determinado (elevação pode estar, por exemplo, entre 1500 e 1800 m), e $m(t)$ é uma função semântica que assinala para cada termo linguístico

$t \in T$ o seu significado, que é um conjunto *fuzzy* em X (ou seja, $m : T \rightarrow X$ onde X é o espaço dos conjuntos *fuzzy*).

A Figura 4 mostra um exemplo de variável linguística: o nome n da variável declividade; os termos linguísticos $t \in T$ que atribuem um significado semi-quantitativo à declividade são: baixa, média e alta; o domínio X da variável é o intervalo $[0, 100]$, e cada termo linguístico tem a ele associado um conjunto *fuzzy* $m(t)$ que o caracteriza.

As variáveis utilizadas em lógica *fuzzy* são chamadas linguísticas por não terem valores precisos podendo ser definidas como na linguagem, representando uma faixa de valores. Por exemplo, quando se diz que a declividade é ondulada não significa dizer um valor exato, mas um intervalo. Assim, definimos as variáveis *fuzzy* através de conjuntos para reaperar os intervalos conforme entendemos através das variáveis. Basicamente uma variável linguística corresponde ao nome de um conjunto *fuzzy*. Sendo os conjuntos *fuzzy*, na prática, funções que indicam o grau de relacionamento de um valor de entrada (atributo) para com um conjunto *fuzzy*.

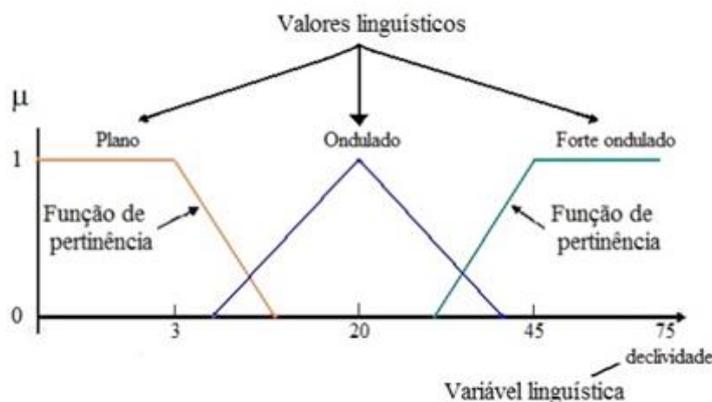


Figura 4. Funções de pertinência do conjunto declividade segundo a teoria clássica e a teoria *fuzzy* de conjuntos. Fonte: adaptado de Costa et al. (2003)

Sendo um conjunto *fuzzy* como um conjunto de pares de valores (FANG, 1997), pode-se observar na Tabela 1, que o primeiro valor é o membro do conjunto elevação para uma classe de solo - Latossolo, por exemplo. O segundo valor é o grau de relação do membro para com o conjunto. Logo, 200 m tem um grau de relação de 1 com o conjunto *fuzzy* elevação para Latossolo, onde a variável linguística é o “conjunto valores de elevação de alta ocorrência dos Latossolo”.

Tabela 1. Conjunto *fuzzy* valores de elevação para a ocorrência de Latossolo

Elevação (m)	Grau de relacionamento
200	1
150	0,9
80	0,1
120	0,7

2.3.3 Operadores *fuzzy*

A modelagem de dados pelo sistema *fuzzy*, requer o uso de operadores lógicos para combinação dos membros *fuzzy* definidos pelos conjuntos *fuzzy*. Na literatura destacam-se: a interseção lógica (*fuzzy*AND), união lógica (*fuzzy*OR), produto algébrico ‘*Fuzzy*’ (*fuzzy*PRODUCT), soma algébrica ‘*Fuzzy*’ (*fuzzy*SUM) e operação gama (*fuzzy*GAMMA). O texto aqui apresentada é baseada em Tanscheit (2003) e Meirelles (1997).

•Interseção lógica - <fuzzyAND>

É expresso por: $\mu_{\text{combinação}} = \text{Min}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots)$, onde μ_a equivale ao valor do membro *fuzzy* para um particular ponto (“pixel”) do plano de informação A; os valores μ_b e μ_c correspondem, respectivamente, aos membros dos planos B e C no mesmo ponto.

O operador define como resultado que o ponto do plano de informação resultante terá como valor de saída o menor valor dos membros *fuzzy* de entrada. Se tomarmos como exemplo os valores $\mu_a = 0,80$; $\mu_b = 0,35$ e $\mu_c = 0,97$, o valor adotado para o “pixel” do plano de informação final será $\mu_{\text{final}} = 0,35$. Percebe-se que o resultado obtido é muito restritivo com os valores dos membros *fuzzy*, logo este operador é indicado para situações altamente limitativas (“pessimista”), onde duas ou mais evidências são estritamente necessárias para satisfazer uma hipótese.

•União lógica - <fuzzyOR>

Nesse operador o valor de saída para um dado ponto será o maior valor de entrada dos planos de informação. As evidências são controladas segundo a função $\mu_{\text{combinação}} = \text{Max}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots)$, onde os valores de μ_a , μ_b e μ_c correspondem aos valores dos membros *fuzzy* das evidências. Considerando o exemplo acima o valor resultante seria $\mu_{\text{final}} = 0,97$. A união é o mais otimista dos operadores *fuzzy*, sendo indicado para situações onde a existência de apenas uma evidência é suficiente para indicar uma proposição.

•Produto algébrico ‘Fuzzy’ - <FuzzyPRODUCT>

Corresponde ao produto algébrico dos membros *fuzzy* dos diferentes planos de informação e seu valor de saída de um dado ponto tende a ser menor ou igual ao valor do menor membro *fuzzy*, devido a multiplicação de valores menores que 1.

A função que define este operador é expressa por:

$$\mu_{\text{combinação}} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

A partir do exemplo dado então $\mu_{\text{combinação}} = 0,8 * 0,35 * 0,97 = 0,27$

•Soma algébrica ‘Fuzzy’ - <fuzzySUM>

A soma algébrica *fuzzy* é definida pela função:

$$\mu_{\text{combinação}} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i$$

onde, o termo μ_i representa o valor dos membros *fuzzy* para um plano de informação “i”. O operador executa a multiplicação do termo $(1 - \mu_i)$. Na soma algébrica o resultado é sempre maior ou igual ao valor de entrada do maior membro *fuzzy* (μ_i).

•Operação gama - <fuzzyGAMMA>

Expresso pela função: $\mu_i = (\text{soma algébrica})^\gamma \times (\text{produto algébrico})^{1-\gamma}$, este operador é composto por dois termos, um produto algébrico *fuzzy* e uma soma algébrica *fuzzy*.

$$\mu_{\text{combinação}} = \left(1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \right)^\gamma \cdot \left(\prod_{i=1}^n \mu_i \right)^{1-\gamma}$$

No operador gama pode-se variar a importância de cada termo (soma algébrica e produto algébrico *fuzzy*). A importância de cada termo no operador gama é definida atribuindo-se valores entre (0,1) para o expoente “ γ ”. Quando $\gamma=0$ a combinação *fuzzy* é igual ao produto algébrico, e quando $\gamma=1$, é igual à soma algébrica. Segundo Bonham-Carter

(1994), os valores no intervalo $0 < \gamma < 0,35$ apresentam um caráter “diminutivo” para o fenômeno estudado, e valores no intervalo $0,8 < \gamma < 1,0$ têm um caráter “aumentativo”.

- Soma convexa

No método de soma convexa são atribuídos pesos a cada camada de tal forma que o somatório de pesos seja 1. Este método se assemelha a modelagem convencional de média ponderada por pesos e é geralmente utilizado quando os efeitos dos planos de informação manipulados não são iguais.

2.3.4 Sistema de inferência fuzzy

Os sistemas *fuzzy* resultam de um modo geral da incorporação dos conceitos nebulosos (vagos) ao sistema clássico. Os sistemas difusos estimam funções com descrição parcial do comportamento do sistema, onde especialistas podem prover o conhecimento heurístico, ou esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada-saída do sistema. Ou seja, são sistemas baseados em regras que utilizam variáveis linguísticas difusas (conjuntos difusos) para executar um processo de tomada de decisão.

No diagrama abaixo podem ser identificadas as funções dos blocos constituintes de um sistema *fuzzy* (Figura 5).



Figura 5. Sistema de inferência *fuzzy*. Fonte: adaptado de Tanscheit (2003)

Os dados de entrada geralmente são valores precisos, resultantes de medições ou observações (conjuntos de dados, por exemplo), logo, torna-se necessário efetuar um *mapeamento* destes dados para os conjuntos *fuzzy* de entrada relevantes, o que é realizado no estágio de *fuzzificação*, onde também há *ativação* das regras relevantes para uma dada situação. O conjunto *fuzzy* de saída é obtido através do processo de inferência e as interpretações das informações geradas por ele são efetuadas no estágio de *defuzzificação*.

2.3.5 Defuzzyficação

A defuzzificação é uma parte muito importante da lógica *fuzzy*. Ela é que pesa as diversas respostas fornecidas pelas regras lógicas e atribui à saída um número. Esse número é que dirá o que é mais pertinente em um determinado local: “Latossolo” ou “Argissolo” e com que grau. Essa ponderação de respostas pode ser realizada por diversos métodos.

No estágio defuzzificador, a variável difusa produzida pela inferência é transformada em variável numérica (determinística) que atuará no processo de forma a regulá-lo.

O termo defuzzificador equivale à transformação *fuzzy* - escalar, correspondendo a um mapeamento do espaço de ações de controle *fuzzy* e definido sobre o universo de discurso para o espaço de ações não *fuzzy* ou escalares. De forma a produzir um valor numérico para

aplicação ao processo, as variáveis linguísticas (conjunto) produzidas pela inferência devem ser defuzzificadas. Essa fase segue os seguintes passos para obter o resultado da inferência para um conjunto de fatos: fatos com premissas (antecedentes); grau de compatibilidade de cada regra; crença em cada regra e agregação.

Os métodos mais importantes são: centroide, baseado no centro de massa, média dos máximos das funções de pertinência, também conhecido como Mamdani e máximo. Por um desses métodos encontra-se o valor numérico no eixo “x” mais pertinente. Então, voltando às funções de pertinência elaboradas pelas regras, descobre-se o quanto esse valor do defuzzificador significa em termos das variáveis linguísticas “solo”, “declividade”, “elevação”, “umidade”, por exemplo.

2.3.6 Inferência média ponderada

Na inferência média ponderada os pesos de cada membro *fuzzy* de entrada (evidência) são definidos empiricamente de modo heurístico. A avaliação do peso depende da análise da importância da evidência. Essa ponderação resulta em um escalonamento das evidências segundo um grau de importância relativa entre elas. Isto permite uma ordenação das evidências por importância na formulação do modelo explorado.

Na literatura há uma série de técnicas para a definição dos pesos, porém Eastman et al. (1995) descrevem a técnica do Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchy Process - AHP), desenvolvida por Saaty em 1992, como sendo a mais promissora no contexto do processo de tomada de decisão. O passo inicial para a aplicação dessa técnica é a elaboração de uma relação de importância relativa entre as evidências (mapas das unidades de mapeamento). Essa relação é utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação par a par, onde são calculados os autovalores e autovetores da matriz. Os pesos de cada membro *fuzzy*, equivalem, então, aos autovetores da matriz de comparação par a par.

A função matemática é expressa por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} * y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

onde, w_{ij} é o peso da classe “i” do plano de informação “j”, e y_j o peso do plano de informação “j”.

O método da média ponderada permite maior flexibilidade na combinação dos mapas de possibilidades de ocorrência das classes de solo do que o método *Booleano*, uma vez que pode ser ajustado para refletir o julgamento do especialista, de acordo com os pesos e critérios definidos pela sua expertise.

2.3.7 Modelo de inferência *fuzzy* para solos

Nessa etapa, as regras são aplicadas sobre os valores de entrada já fuzzificados, fazendo, portanto, a integração dos mapas *fuzzy*. Aqui também é determinado como as regras são ativadas e combinadas, e é criada a região resultante da aplicação das regras.

O modelo de inferência de distribuição de solos (SoLIM), descrito por Zhu et al (2001), usa tecnologias novas (como o SIG e o sensoriamento remoto), combinada com o conhecimento de pedólogos e se baseia na equação dos fatores de formação do solo Dokuchaeiv (GLINKA, 1927) e Hilgard (JENNY, 1961), e no modelo de distribuição dos solos na paisagem descrito por Hudson (1992), para traçar um mapa de solos. Segundo esse último autor, se um pedólogo conhece as relações entre o solo e o ambiente de uma área,

então ele pode deduzir que o solo poderia estar em cada local da paisagem avaliando as condições ambientais daquele ponto.

As relações entre os solos e as condições ambientais de formação são extraídas por técnicos ou por observações de campo através de um conjunto de técnicas de inteligência artificial.

Os estudos apontam as seguintes vantagens do SoLIM em relação aos levantamentos de solo convencionais: os mapas de solos derivados são de alta qualidade em relação ao nível de detalhamento espacial e grau de precisão dos atributos e o modelo tornou mais eficiente a operacionalização dos levantamentos de solos possibilitando atualizações subsequentes, redução de tempo e custos. Em contrapartida, o grau de sucesso do SoLIM depende altamente da disponibilidade e qualidade de dados ambientais e da qualidade do conhecimento das relações solo-ambiente de uma determinada área de estudo (ZHU, A. X. 1998b; ZHU *et al.*, 1996; ZHU *et al.*, 2001; LIN, *et al.*, 2011)

A Figura 6 mostra o modelo convencional de levantamentos de solo, que também é baseado na equação dos fatores de formação e no conceito solo-paisagem. Nele as classes de solo são delineadas por polígonos que descrevem a extensão espacial de uma classe de solo (unidade simples) ou um grupo de classes associadas (unidades combinadas).

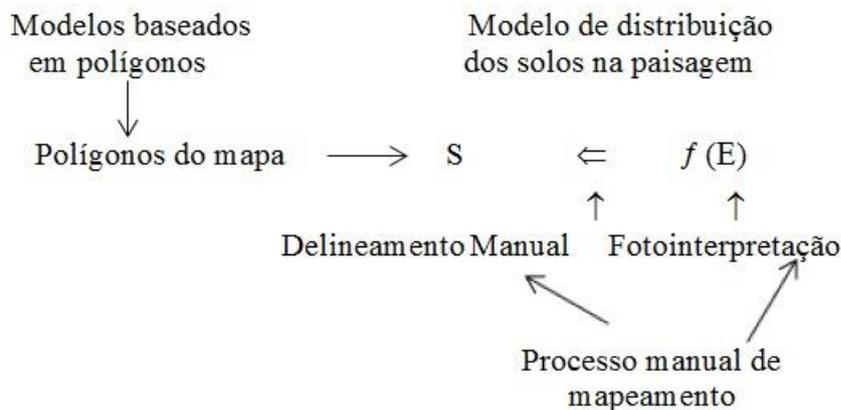


Figura 6. Mapeamento convencional de solo e seus fatores limitantes. Fonte: Adaptado de Zhu (1997a)

O primeiro problema associado à prática da cartografia baseada em polígonos está na limitação do tamanho do corpo do solo determinado pelo polígono no mapa. Corpos de solo menores, ou são ignorados ou fundidos nos corpos maiores. Esta limitação força o pedólogo a criar o múltiplo-componente para expressar a inclusão de unidades de solos diferentes no polígono (ZHU, 1998b). Porém, os locais e os espaços destes componentes não podem ser mostrados no mapa. Esta filtragem (incorporação) de corpos de solo pequenos, chamada de generalização de solos no domínio de espaço (ZHU, 1998a; ZHU, 2000, ZHU, 2001), pode ser muito significativa com unidades de solos incorporadas que variam de uma a algumas centenas de hectares dependendo da escala do mapa.

A segunda limitação desta prática está no fato dos polígonos representarem somente a distribuição de uma associação de classes de solos (conceitos centrais de solos). O mapa de solos nomeia a unidade de solos somente com o nome de uma das classes (classificação Booleana). Nomeada a unidade, ela passa a ser o solo típico do local. Assim, as condições particulares da unidade de solo são perdidas. Os técnicos locais podem saber que o solo localmente difere dos conceitos centrais da unidade de solo, mas este conhecimento usado na cartografia de solo convencional não pode ser transferido e é chamada de generalização de solos no domínio de parâmetros (ZHU, 1998b; 2001).

A generalização força os pedólogos a colocarem as variações espaciais de solos em um único polígono que aparece como uma única unidade de mapeamento. A experiência de campo mostra que embora espacialmente haja mudança abrupta de solos, as mudanças nas propriedades do solo ocorrem frequentemente de forma mais gradual e contínua do que a determinada pela prática da cartografia baseada em polígonos (ZHU, 1998b; 2000; 2001).

Durante o processo de confecção de um mapa convencional de solo, os pedólogos identificam os ambientes de formação por interpretação visual de mapas de vegetação, geologia, topográficos e imagens. As extensões destes ambientes formativos então são usadas para delinear as unidades de solos. O mapa de solos é construído através da compreensão das relações entre estas condições ambientais e as unidades de solos. Inicialmente os limites dos polígonos de solo são traçados em fotografias aéreas ou imagens e no campo são conferidos e compilados sobre um mapa básico (NOLASCO-CARVALHO, 2006). Segundo Zhu et al. (2001) as principais limitações associadas a este processo são:

- Surtis e importantes mudanças nas condições ambientais podem não ser facilmente observadas, devido a deficiência da percepção visual (especialmente quando se tenta processar muitas variáveis simultaneamente), o que pode resultar em omissão de pequenas unidades de solos;
- A interpretação visual é demorada e propensa a erros, logo interpretações distintas podem acontecer durante o processo de delimitação dos solos. A transcrição dos limites dos polígonos das fotografias para um mapa básico também é demorada e propensa a erros, que degradam a qualidade dos mapas de solos gerados. Este processo também obriga o pedólogo a perder muito tempo executando o trabalho cartográfico, que poderia ser direcionado para a pesquisa de solos e do ambiente no campo.

O SoLIM vem sendo apresentado como uma alternativa para minimizar estas limitações e consiste de três componentes principais: (i) um modelo de similaridade para representar os solos como um contínuo, (ii) técnicas automatizadas de inferências para mapear solos através de um modelo de similaridade, e (iii) um conjunto de procedimentos para derivar solos a partir dos produtos de informação do modelo de semelhança (ZHU, 2001).

O modelo de similaridade tem duas partes: (i) a representação raster de solos no domínio de espaço e (ii) a similaridade de representação de solos no domínio de parâmetros. Sob modelagem SIG dados raster de uma área podem ser representados por muitos quadrados pequenos (pixels), frequentemente com 30 m em cada lado, embora tamanhos menores sejam possíveis. Com a representação raster a generalização de solos pode ser fortemente reduzida no domínio de espaço e as pequenas variações de solos no espaço podem ser representadas com boa resolução espacial (ZHU, 1998ab; 2000; 2001)

O modelo de similaridade prevê uma flexibilidade somada para representar a variação do solo no espaço. Seu sucesso depende de como o modelo é povoado ou de como os valores de similaridade de solo no vetor são determinados para cada pixel. Os valores de similaridade dos solos são determinados através da equação dos fatores de formação do solo esboçada por Dokuchaev (GLINKA, 1927) e Hilgard (JENNY, 1961) e do modelo de solo-paisagem descrito por Hudson (1992), e no SoLIM é expressa em termos da semelhança entre um ambiente formativo típico para uma classe de solo e um ambiente particular (local) de uma área através da equação: $S^p = f(E)$, abaixo esquematizada (Figura 7).

A similaridade de representação de solo no domínio de parâmetro é baseada em lógica *fuzzy* (ZHU, 1997a). Sob a lógica *fuzzy*, o solo de um determinado pixel pode ser relacionado a mais de uma classe de solos com graus variados de associações com a classe. Estes graus de relação com as classes são chamados membros *fuzzy*. A resolução é ditada pela qualidade do banco de dados digital, e não por uma decisão a priori relativa à escala de mapa.

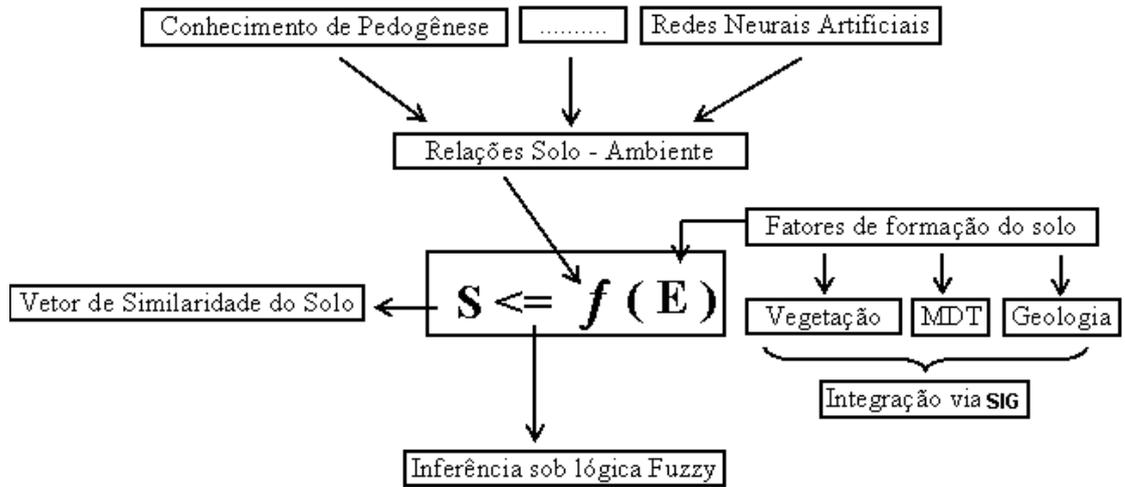


Figura 7. Modelo de inferência *fuzzy* para solos – SoLIM. Baseia-se no conceito de que o solo (S) é função(f) da interação dos fatores de formação (E). Fonte: Adaptado de Zhu (1999).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* pode certamente revolucionar os levantamentos de solo, pois lida de modo eficiente com os atributos quantitativos em processos de mineração de regras de associação, uma vez que conjuntos *fuzzy* são ótimas ferramentas para modelar termos e relações imprecisas comumente empregadas por seres humanos em comunicação e compreensão. Além do mais, é vastamente aceito que muitas relações naturais no mundo real são intrinsecamente *fuzzy* em vez de booleanas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este item descreve os instrumentos, os procedimentos e a aplicação do método para a predição de classes de solo por inferência *fuzzy*. Entretanto, para compreensão desta pesquisa torna-se necessário conceituar metodologia. Metodologia é o caminho do pensamento e a lógica dos procedimentos exercidos para abordar a realidade. Um método é constituído por um conjunto de regras sequenciais propostas para tentar solucionar um problema. Métodos são as técnicas ou ferramentas utilizadas (método = *meta* + *hodos*, além do caminho, seguir o caminho). Portanto, não existem métodos bons ou maus, eles podem ser adequados ou não à pesquisa que se pretende realizar (LUNA, 1998) e podem ser mais ou menos apropriados a pesquisas de determinada natureza, em função da área da ciência e de suas particularidades.

Segundo Silva & Menezes (2001), a natureza deste trabalho, que visa gerar conhecimento para aplicação prática à solução de problemas específicos e de interesses locais, é classificada como pesquisa aplicada. Quanto à forma de abordagem é predominantemente qualitativa, embora em algumas etapas o modelo quantifique os resultados e produza indicadores que podem ser verificados por equações matemáticas. Os métodos quantitativos empregam instrumental estatístico como base para analisar determinado problema. A característica intrínseca a pesquisa qualitativa é a de responder a questões particulares e a de trabalhar com nível de realidade que não pode ser totalmente quantificado, seja por sua natureza estocástica, seja por que diferem quanto a valores, conhecimento e percepções individuais.

As estratégias usadas para a execução dos trabalhos podem ser visualizadas no fluxograma metodológico (Figura 8), e estão apoiadas no uso de atributos do relevo gerados a partir de modelo digital do elevação – MDE e do mapa de geologia que foram integrados por inferência *fuzzy* através da expertise de pedólogos.

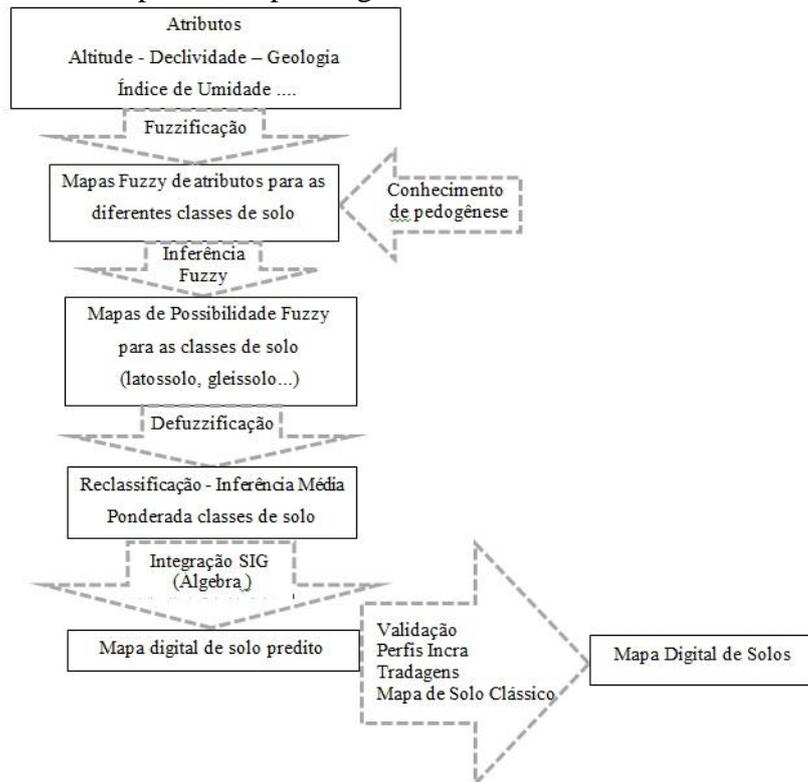


Figura 8. Fluxograma da metodologia para a predição de classes de solos.

A correlação ambiental destes dados é utilizada para análise da possibilidade de ocorrência dos solos e foi operacionalizada a partir da construção em ambiente SIG, com vistas à integração para a predição espacial das unidades/classes de solo.

3.1 Localização e Escolha da Área

A área de estudo está inserida na Região Norte do estado de Alagoas, microrregião da Mata Alagoana, mais especificamente no município de São Luís do Quitunde, e está geograficamente limitada pelas coordenadas $-9^{\circ} 16' 45''$ e $-9^{\circ} 17' 53''$ de latitude e $-35^{\circ} 38' 56''$ e $-35^{\circ} 37' 29''$ de longitude. Compreende uma microbacia do Rio Pindoba e abrange área de 358,85 ha, onde estão os assentamentos Sílvia Viana e Duas Barras II (Figura 9).

A escolha da área para testar o procedimento metodológico considerou a existência de pedólogos com expertise e que houvessem realizado levantamentos na região, além de dados de MDE com resolução que permitisse delinear mais classes de solo, e, por conseguinte possibilitassem um aumento da escala de mapeamento.

Os limites de uma microbacia foram usados no recorte por considerar que os processos na combinação dos diversos dados geomorfométricos, dentro desta unidade hidrológica, permitem melhor diferenciação e delimitação de áreas que possuem características homogêneas dentro da mesma.

3.2 Organização da Base de Dados

A construção de uma base de dados em formato digital e corretamente registrada (georreferenciada) é fator preponderante em qualquer projeto envolvendo SIG que requer, para a integração dos diferentes planos de informações, a sobreposição dos mesmos. Para fazer a modelagem para predição das classes de solos um banco de dados digital da área foi organizado e toda a base cartográfica com pixel de 5 m foi compatibilizada sendo adotado o sistema de Projeção Plana Universal Transverse Mercator (UTM), fuso 25 Sul e Datum SIRGAS 2000.

As informações sobre o relevo, reconhecido como um dos principais fatores de formação do solo, foram geradas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido por restituição aerofotogramétrica em escala 1: 8.000 com curvas de nível equidistantes em 5 metros. A partir do MDE foram derivados no programa ArcGIS 9.3 (Spatial Analyst – surface), os mapas de elevação, declividade, plano de curvatura, perfil de curvatura e índice de umidade. Estes atributos foram usados na modelagem com intervalos de valores e de cotas estabelecidos para cada classe de solo predefinida através de conhecimentos técnicos e empíricos.

Para compor o banco de dados da cobertura pedológica da área foram realizadas tradagens em pontos com intervalos que variaram em torno de 400 m. Para localização e georreferenciamento dos pontos de amostragem em campo usou-se GPS (Sistema de Posicionamento Global) do tipo GPS L1 – Promark. No campo os solos foram identificados a partir de cortes de estradas e de tradagens em transectos. Esse procedimento foi adotado para verificar a correlação espacial entre as variações dos solos e as diferentes feições ambientais locais e na pós-modelagem para, junto com os perfis georreferenciados preexistentes, validar o produto metodológico, abordando a pesquisa numa realidade prática.

As informações coletadas foram também utilizadas para confrontar aspectos “in situ” das variáveis empregadas com as extraídas do MDE.

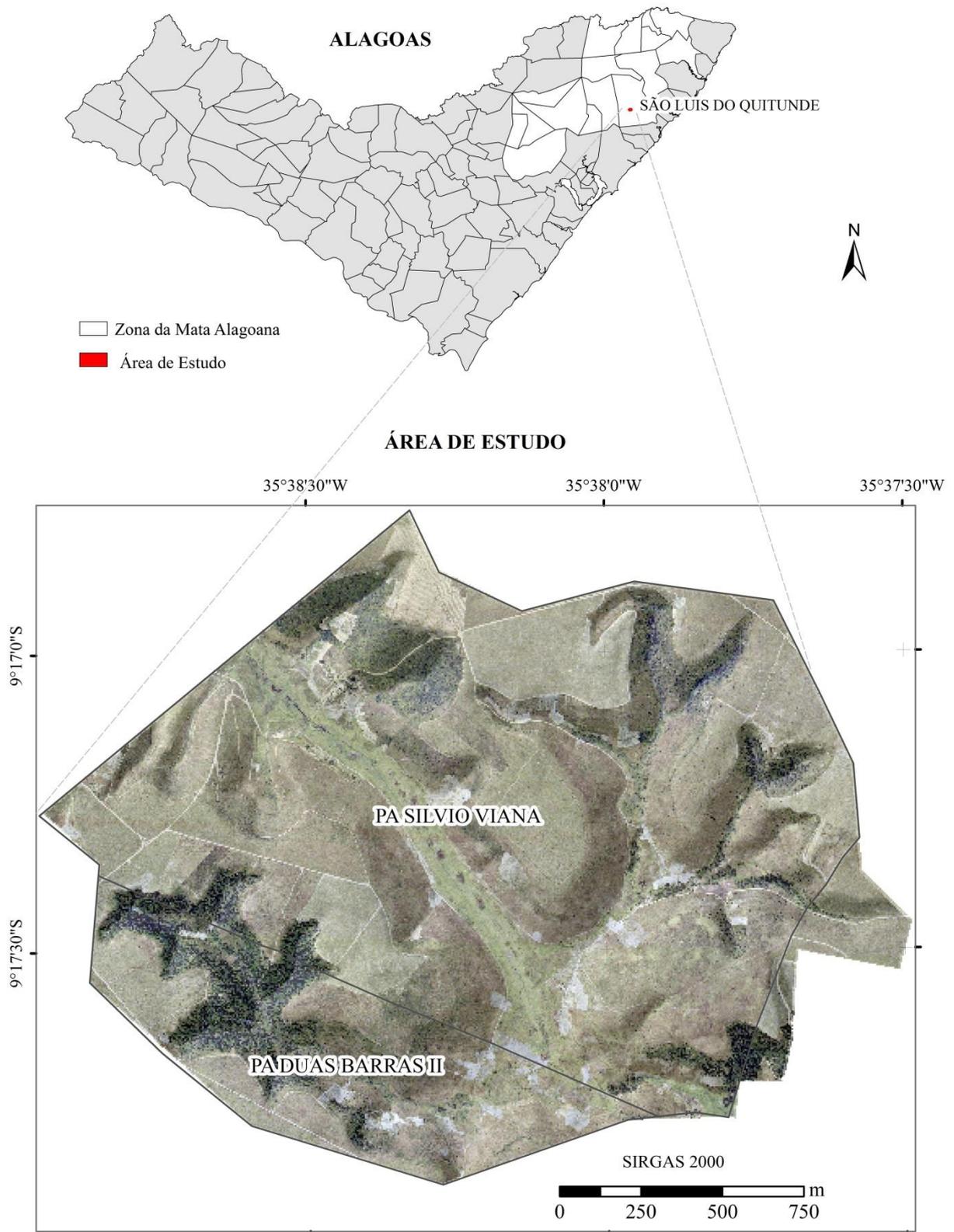


Figura 9. Localização da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL, Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

3.3 Mapa Convencional de Solos

O mapa de solos convencional da área foi obtido dos Estudos Pedoedafoclimáticos no Complexo de Assentamentos Agrisa - Estado de Alagoas. O levantamento, executado por método livre (baseado na equação dos fatores de formação do solo) e no nível de semidetalhe (escala 1:25:000), identificou classes taxonômica até o 4º nível com definição das unidades de mapeamento no campo a partir de topossequências selecionadas; da descrição de perfis; da análise do material de origem e de interpretação das relações solos-superfícies geomórficas (INCRA, 2009).

Mapas de solos podem ser definidos como a materialização de um conhecimento sistematizado sobre a distribuição da cobertura pedológica na paisagem (BUI, 2004). Eles identificam e separam unidades de mapeamento que tendem a ser cada vez mais homogêneas e simples quanto mais detalhado for o levantamento, e podem ter limites mais ou menos difusos ou nítidos em relação a outras unidades (IBGE, 2007).

Para cada nível de levantamento há indicação da densidade de observações visuais e de amostragens a serem realizadas no campo. Entretanto, essa densidade pode variar em função das características da área, da expertise do pedólogo, do uso de geotecnologias e da escala de apresentação do mapa final (IBGE, 2007).

Na área selecionada para teste o mapa convencional de solos identificou na legenda 8 classes de solo distribuídas em 3 unidades de mapeamento, sendo uma simples e 2 associações (Figura 10).

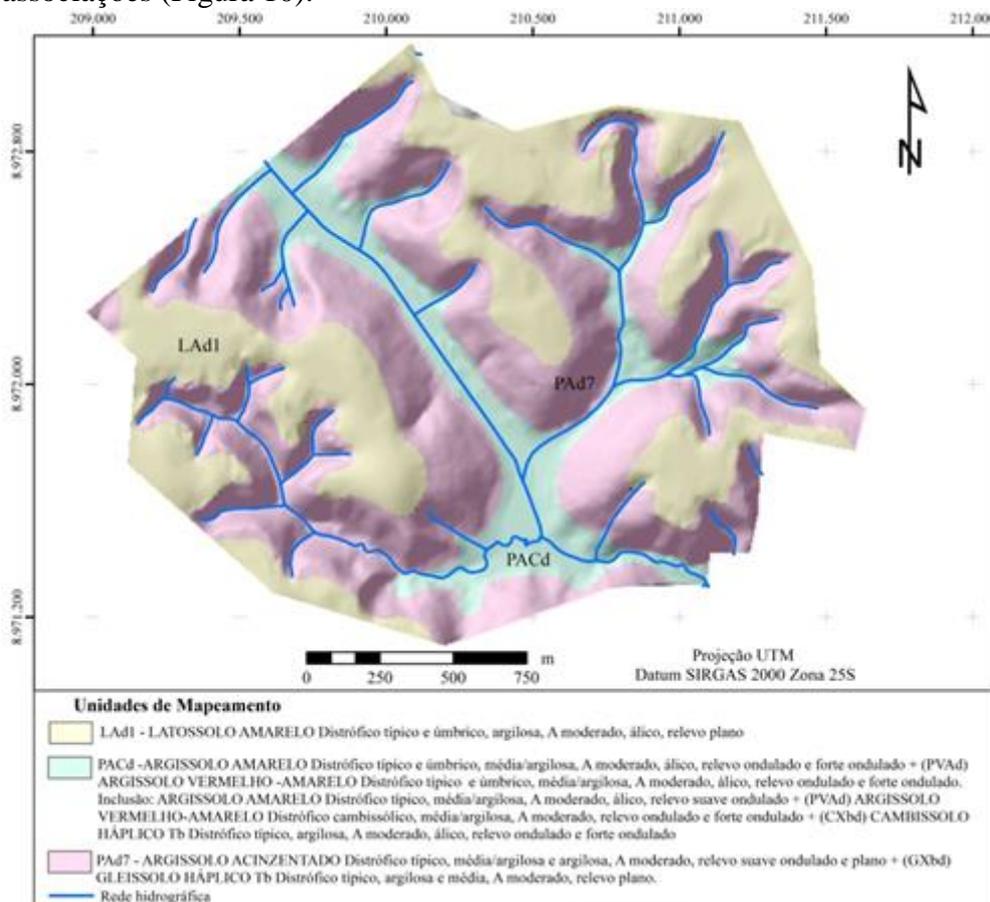


Figura 10. Mapa de solos pelo método de levantamento convencional da Região de São Luís do Quitunde, em Alagoas. Fonte: Extraído de INCRA, (2009).

As unidades de mapeamento abaixo relacionadas foram delineadas na área de estudo. A descrição foi elaborada a partir da compilação de informações contidas no relatório interno do Incra (2009).

- **Unidades relacionadas aos Topos** - representam superfícies geomórficas estáveis, relacionados com sedimentos do Grupo Barreiras onde foram individualizadas áreas com Latossolos Amarelos Distróficos típicos e úmbricos, horizonte A moderado, textura argilosa, relevo plano, unidade LAd1. A unidade está relacionada às partes mais altas da paisagem, topos de morros, com relevo plano e secundariamente suave ondulado, com solos profundos, porosos, textura argilosa, baixa vulnerabilidade à erosão e com baixa fertilidade (baixa soma de bases e álicos).
- **Unidades relacionadas às vertentes** - a dissecação fluvial controlada por estruturas atuou fortemente no setor relacionado com as ocorrências do Grupo Barreiras, onde vertentes predominantemente côncavas formando vales com fundo chato, localmente em V resultaram deste amplo processo de esculturação. Neste ambiente predomina a unidade de mapeamento PAd7, composta de Argissolos Amarelos Distrófico típico e úmbrico, textura média/argilosa, horizonte A moderado, álico, relevo ondulado e forte ondulado associados a Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos e úmbricos, textura média/argilosa, horizonte A moderado, álico, relevo ondulado e forte ondulado. Os Argissolos Vermelho-Amarelos, são derivados de fácies de cor vermelha. Em ambiente fortemente dissecado, em posições mais baixas da paisagem, em patamares, Argissolos Amarelos Distróficos típicos e úmbricos, textura média/argilosa, A moderado, álico, relevo suave ondulado associados a Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, cambissólicos e típicos, textura média/argilosa, horizonte A moderado, álico, relevo forte ondulado, associados à Cambissolos Háplicos Tb Distróficos típicos, textura argilosa, horizonte A moderado, álico, relevo forte ondulado que ocorrem localmente, em áreas fortemente dissecadas, com maior vulnerabilidade à erosão, relacionadas a cabeceiras de drenagens, geralmente esculpidas como anfiteatros. Nestas áreas declivosas a erosão remontante está agindo de forma rápida, havendo um maior peso relativo para a morfogênese em relação à pedogênese, quando comparado com outros setores da paisagem e a cobertura pedológica reflete esta evolução diferenciada, com solos menos desenvolvidos.
- **Unidades relacionadas com baixadas (Fundo de Vale)** - compreendem estreitas faixas entre patamares e sopés das vertentes, submetidos a um regime de umidade diferenciado e os terraços e várzeas fluviais, que são áreas ligeiramente mais baixas e periodicamente inundadas pelas águas dos rios, em alguns pontos sujeitos a processos de sedimentação (assoreamento) e em outros de grande energia a erosão. Os solos relacionados com estes ambientes guardam características específicas de gênese comandada por drenagem restrita, flutuação do lençol freático e encharcamento periódico. Os Argissolos Acinzentados Distróficos típicos, textura média/argilosa e argilosa, horizonte A moderado, relevo suave ondulado e plano associados à Gleissolos Háplicos Tb Distróficos típico, textura argilosa e média, horizonte A moderado, relevo plano da unidade PACd estão relacionados respectivamente aos sopés das vertentes, derivados de sedimentos do Grupo Barreiras e aos terraços com depósitos recentes colúvio-aluviais. É

importante destacar que sotoposto aos pacotes de sedimentos do Grupo Barreiras e dos depósitos colúvio-aluviais do fundo dos vales, ocorrem rochas do embasamento cristalino que localmente afloram e nesta unidade, representam a inclusão Afloramentos de Rochas.

A escala de apresentação final do mapa de solos considera o objetivo do levantamento e a resolução espacial do material cartográfico usado como base para delimitar as unidades de mapeamento (IBGE, 2007). Porém, a percepção das informações em um mapa temático como o de solo tem supremacia sobre as informações da própria base cartográfica utilizada. Portanto, a definição da escala deve considerar em primeira instância a resolução espacial e os conceitos relacionados ao erro gráfico e a área mínima mapeável.

O erro gráfico está relacionado com a exatidão planimétrica do produto cartográfico e está intimamente relacionado com a escala. Ele é o menor comprimento gráfico que se pode obter em uma representação cartográfica e corresponde à cerca de 0,2 mm (menor feição perceptível pela visão do usuário), logo também é o erro máximo admissível que se pode cometer ao efetuar uma medição sob a representação gráfica.

Como a escala é uma relação de proporção entre uma representação gráfica e a superfície terrestre, a exatidão da representação é função da relação entre o erro gráfico e a escala do documento cartográfico que pode ser obtido através das fórmulas: $E_g = 0,0002 \times F_e$ (1) e $E = 1 / F_e$ (2) sendo: E_g = erro tolerável (m), E = escala cartográfica e F_e = fator da escala cartográfica. Este cálculo também é utilizado antes de se iniciar um levantamento para que se possa fazer a definição do tamanho mínimo das feições que serão identificadas em uma área. Assim, para o levantamento de solos convencional na escala de 1 : 25.000, a dimensão linear da menor feição é: $E_g = 0,0002 \times 25.000 \Rightarrow E_g = 5 \text{ m}$.

Por outro lado, a escala cartográfica digital assume que para 1m (comprimento lateral de 1000 pixel), a menor área discernível é de 1 x 1mm, ou seja 1 pixel. Entretanto, as noções de microscopia, e o conceito de frequência de Nyquist, determinam que a resolução mínima deve corresponder à área de 2 x 2 pixels, tamanho padrão que foi designado de resolução espacial nominal (MCBRATNEY et al., 2003).

A decisão quanto ao nível de detalhamento ou quantidade de informações contidas em um mapa é conhecida por generalização (ZHU, 2000; ZHU, HUDSON, et al., 2001). A generalização corresponde ao grau de minunciosidade dos detalhes representados. Ela promove uma adaptação qualitativa e quantitativa dos elementos de forma a possibilitar a clareza da representação em uma determinada escala que deve ser considerada no mapeamento digital, principalmente quando se realiza compilação de documentos cartográficos.

A área mínima mapeável para a escala de 1:25.000 é de 2,5 ha (IBGE, 2007). É possível observar na Tabela 2, que os polígonos das unidades de mapeamento PAd7 e PAcD constituídas por associações de solo, possuem dimensões que permitem o delineamento de unidades mais homogêneas de mapeamento.

Embora a área mínima mapeável da escala do mapa convencional permita, a princípio, o delineamento de unidades de mapeamento mais homogêneas, estas não foram individualizadas. Esse dado reflete as imperfeições e incertezas que são encontradas frequentemente em mapas de solo convencionais. Elas decorrem tanto da dificuldade prática de transcrever a variação contínua e discreta dos solos quanto da generalização no domínio do espaço e dos parâmetros. As razões de situações como esta, de forma isolada ou associada decorrem da própria forma de representação cartográfica por polígonos; da escala da base cartográfica utilizada; de falhas e/ou lacunas eventuais nas observações de campo; da

complexidade da área; da metodologia aplicada e da subjetividade e expertise do especialista (PHILLIPS, 2013; BAZAGLIA-FILHO, 2012; MALONE et al., 2012; MILLER, 2012; ZHU, 2001; ZHU, 1998b).

Tabela 2. Razão entre área dos polígonos das unidades de mapeamento e área mínima mapeável.

Unidade de Mapeamento	Polígono	Área (ha)	
		Unidade de Mapeamento	Unidade de Mapeamento/2,5
LAd1	11,73	107,09	4,69
LAd1	45,15		18,06
LAd1	50,21		20,08
PAd7	1,88	193,95	0,75
PAd7	192,07		76,83
PAdc	54,11	54,11	21,64
Área Total		355,15	

3.4 Área de Estudo

3.4.1 Clima

O clima de acordo com a classificação de Köppen é tropical chuvoso com verão seco (As'). Os índices pluviométricos variam de 1.250 a 1.750 mm e a temperatura média anual varia de 24-26°C, chegando a 22°C. Na região de estudo onde predominam os Tabuleiros Costeiros, com elevação variando entre 40 e 150 m. Dados das estações meteorológicas de Flecheiras e São Luís do Quitunde registram médias térmicas anuais que oscilam em torno de 25°C, com variação pluviometria entre 1760 e 1800 mm, valores máximos de déficit hídrico em torno de 100 mm (nos meses de novembro a fevereiro) e excedente hídrico variando entre 100 e 180mm (INCRA,2009).

3.4.2 Vegetação

Fragmentos de Mata Atlântica e Floresta Ombrófila Densa são registros da vegetação que predominava na Região de São Luís do Quitunde. Atualmente devido ao processo de ocupação para produção agropecuária ou simplesmente para exploração dos recursos florestais, a vegetação nativa foi quase que totalmente suprimida. No local podem ser encontradas esparsamente em diferentes estágios de regeneração - Vegetação Secundária, e em áreas restritas de condições específicas os Campos de Várzeas. A região foi intensamente ocupada pela monocultura, e a vegetação remanescente forma mosaicos irregulares com variações fisionômicas nos domínios associadas às diferentes épocas e a intensidade das intervenções antrópicas. A economia do município gira basicamente em torno da agropecuária. Na região a indústria sucroalcooleira durante muitos anos explorou a cultura da cana-de-açúcar, que ainda é a cultura dominante, porém há pastagens, capoeiras e em menor escala o plantio de arroz e banana, além de culturas de subsistência como mandioca, milho, feijão e inhame. (INCRA, 2009).

3.4.3 Geologia

O mapa geológico da área foi extraído da Carta geológica da bacia Sergipe/Alagoas (BRASIL, 1975), escala 1:50.000. Capturado por escanerização foi transformado em mapa vetorial através do programa SPRING e registrado tendo sido adotado o sistema de Projeção Plana Universal Transverse Mercator (UTM) fuso 25 Sul com Datum SIRGAS 2000.

Posteriormente o recorte do mapa referente a Região de São Luís do Quitunde foi transformado em mapa raster com reamostragem de pixel para 5m (Figura 11).

Três unidades compõem o substrato geológico da área de estudo: a) Granito-gnaisse com biotita da unidade Gnaisse do Escudo Brasileiro, b) Biotita-granodiorito cinza-claro com gradações locais para biotita-quartzo monzonito, róseo-acinzentado e granito róseo da unidade rochas intrusivas ácidas do batólito de Pernambuco-Alagoas de idade Pré-Cambriana, e c) Arenitos com matriz argilosa e intercalações subordinadas de siltitos e argilas não-litificados do Grupo Barreiras.

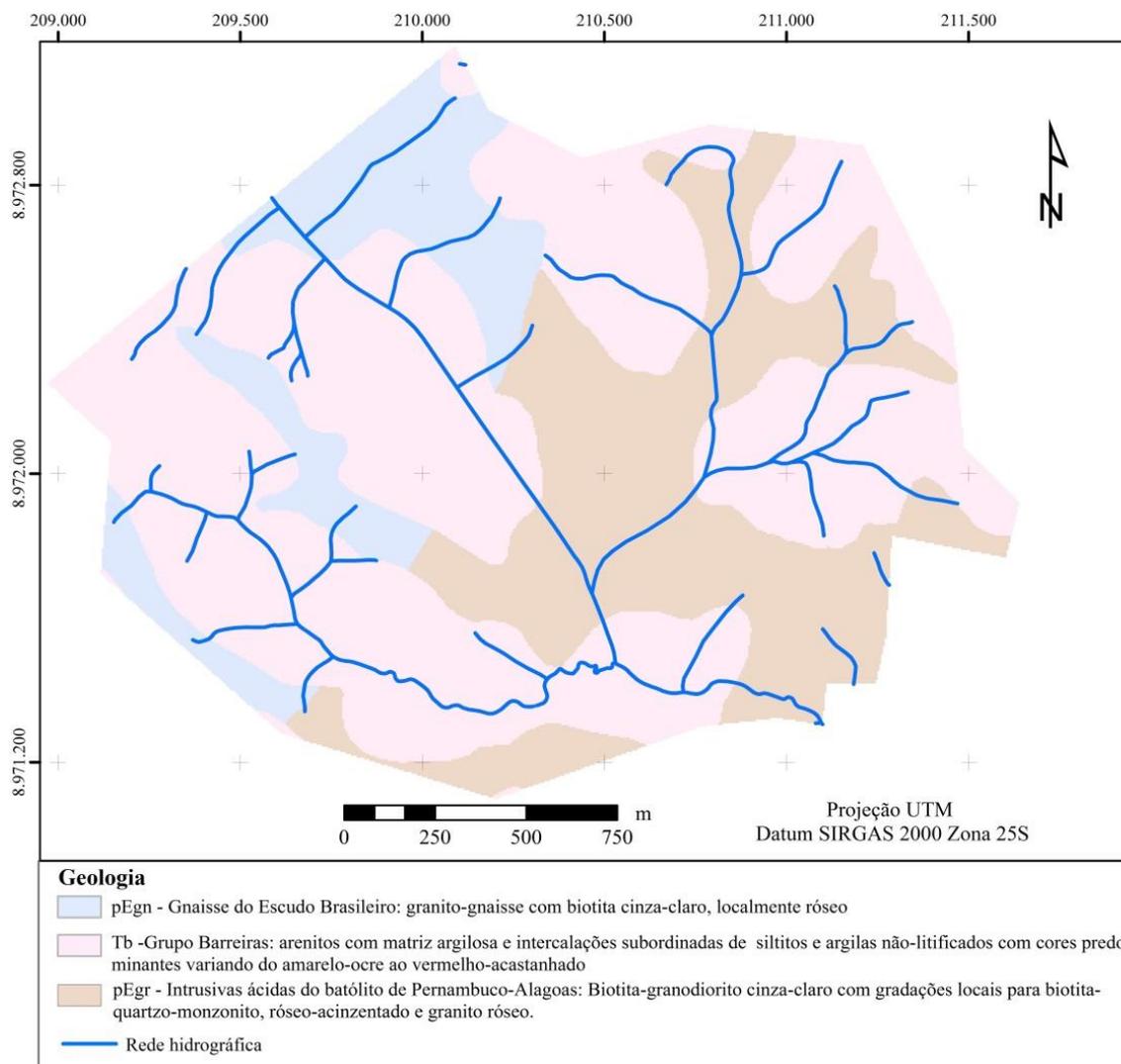


Figura 11. Mapa Geológico da área de estudo na Região de São Luís do Quitunde - AL. Fonte: Extraído de Brasil, (1975).

Antes da reamostragem procedeu-se à verificação da proporção da transformação da escala, para saber se era adequada. Esse valor é determinado pela razão dos fatores da escala ($Fe = E1/E2$) e permite verificar se há compatibilidade e se a ampliação causará problemas de precisão nas informações do mapa (MENEZES & COELHO-NETO, 1999; ROSETTE & MENEZES, 2003).

O fator escala calculado para ampliação do mapa geológico de 1:50.000 para 1:25.000, mostrou que houve uma redução de 2,0. Portanto, a reamostragem do pixel com

valores de 5m para este mapa é compatível e não degrada a precisão das informações neles contidas (Tabela 3).

Tabela 3. Cálculo da Precisão Gráfica.

Escala	N x 0,2mm*	Precisão Gráfica
1:50.000	50.000 x 0,2mm = 10.000mm	10 m
1:25.000	25.000 x 0,2mm = 5.000mm	5m

* Erro Gráfico

3.4.4 Geomorfologia

Segundo Brasil (1975), a área apresenta recobrimento argilo-arenoso pouco espesso sobre o Pré-Cambriano e relevo ondulado, tipo Mar de Morros. Localmente predominam modelados de dissecção formando uma paisagem de relevo ondulado ou forte ondulado, com morros e colinas de topos retilíneos e convexos concordantes e vertentes convexa-côncavas. Secundariamente ocorrem feições aplainadas parcialmente conservadas, formando interflúvios estreitos e alongados que balizam vales de fundo chato colmatados por depósitos aluvionares, escavados nos sedimentos do Grupo Barreiras. A dissecção fluvial atinge rochas do embasamento cristalino subjacente, processo evidenciado pelas frequentes exposições, nos talwegues dos vales mais profundos, de litologias subjacentes ao Grupo Barreiras.

A importância das variáveis morfológicas do relevo em levantamentos de solo é descrita em diversos trabalhos. Estes elementos da paisagem influenciam de forma direta e indireta na dinâmica do fluxo de água, matéria e energia; no balanço hídrico; na formação de microclimas e nos processos de formação do solo originando ambientes com diferentes características físicas e biológicas (SIRTOLI, 2008; CHAGAS, 2006; FARIAS, 2008; VALERIANO, 2003; KLINGEBIEL, 1987).

A combinação entre os componentes responsáveis pela elaboração do modelado, como as alternâncias climáticas, as variações estruturais e litológicas determinam a intensidade e os tipos de processos pedogenéticos atuantes. Dentro desta lógica, os atributos do relevo podem ser usados para distinguir unidades de solos.

3.5 Avaliação da Confiabilidade da Classificação

3.5.1 Matriz de erro

Muito utilizada em sensoriamento remoto a matriz de confusão ou de erros (CONGALTON & GREEN, 1999), tem sido aplicada na avaliação de mapas obtidos por métodos convencional e digital (BAZAGLIA-FILHO, 2012). A técnica faz a correspondência espacial e compara informações de locais de referência no mapa com informações contidas neste mesmo local da área (verdade de campo), avaliando dessa forma o resultado da classificação e possibilitando a verificação da qualidade dos dados contidos no mapa gerado. As porções do mapa que são amostradas são usadas para avaliação da acurácia. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, do registro e do conhecimento (CONGALTON & GREEN, 1999).

Na matriz os dados de entrada das colunas são tomados por corretos. Os dados de referência e as linhas são usados para mostrar o que foi classificado no mapa, neste caso a classe predita pela técnica de mapeamento digital.

A matriz de erro (Figura 12) é construída com “n” elementos amostrais distribuídos dentro de k^2 células, onde cada elemento amostral é atribuído a uma das k classes na classificação (usualmente as linhas) e, independentemente, para uma mesma classe k no

conjunto de dados de referência (usualmente as colunas). Logo, ij denota o número de amostras classificadas dentro da categoria i ($i=1, 2, \dots, k$) na classificação predita e categoria j ($j=1, 2, \dots, k$) no conjunto de referência.

A acurácia pode ser analisada individualmente por meio da análise dos erros de inclusão (erros de comissão) e erros de exclusão (erros de omissão) presentes na classificação (GONGALTON & GREEN, 1999). São erros de omissão as inclusões de solos na classe/unidade à qual ele não pertence e os de omissão quando o solo é excluído da classe/unidade a que pertence. Na matriz de erro esses valores são obtidos por meio das exatidões do usuário e do produtor.

i+= linhas (classificação)	+i = colunas (referências)			Total da linha
	1	2	k	X_{i+}
1	X ₁₁	X ₁₂	X _{1k}	X ₁₊
2	X ₂₁	X ₂₂	X _{2k}	X ₂₊
K	X _{k1}	X _{k2}	X _{kk}	X _{k+}
Total da coluna	X ₊₁	X ₊₂	X _{+k}	N

Figura 12. Representação da Matriz de Confusão. Extraído de Congalton & Green, (1999).

A medida mais simples de acuracia obtida pela matriz é a exatidão geral, que é calculada pela expressão:

$$Eg = \frac{\sum x_{ii}}{N} * 100 \quad \text{onde:}$$

x_{ii} = Elementos da diagonal principal

r = Número de classes

N = Número total de elementos amostrais

A exatidão do usuário é expressa pela razão do número de elementos distribuídos corretamente em uma classe pelo número total de elementos classificados na mesma.

Esta medida reflete os erros de comissão na classificação e indica a probabilidade de dentro daquela área uma determinada classe realmente pertencer à mesma (LILLESAND & KIEFER, 2007). É calculada pela expressão: $eu = \chi_{ii} / \chi_{i+}$

onde:

χ_{ii} = Número de elementos classificados corretamente

χ_{i+} = Total de elementos classificados para uma classe i

A exatidão do produtor (ep) é a razão entre o número de elementos classificados corretamente em uma determinada classe pelo número de elementos de referência amostrados para a mesma classe (LILLESAND & KIEFER, 2007). Esta medida reflete os erros de omissão da classificação sendo expressa por: $ep = \chi_{ii} / \chi_{+i}$

onde:

χ_{ii} = Número de elementos classificados corretamente

χ_{+i} = Total de elementos classificados para uma classe i

A matriz de erro não indica simplesmente o correto ou incorreto e sim, onde está o erro e quais classes estão sendo confundidas. Para essa exatidão ser útil, o usuário deve ter confiança de que a avaliação é uma exata representação da verdade terrestre.

3.5.2 Índice de *Kappa*

Em mapeamento digital, independente da técnica e da metodologia utilizada, medir de alguma maneira a acurácia dos mapas gerados tem se tornado uma preocupação crescente. Conhecer a qualidade de um mapa é fundamental para orientar a tomada de decisões. Isso permite avaliar a sua adequação às demandas dos diferentes usuários (ROSSITER, 2004; CARRÉ et al., 2007)

A matriz de erro e medidas simples como os erros de inclusão, de omissão e a exatidão geral, não levam em conta os casos em que as concordâncias entre o mapa estimado e o mapa convencional de solos e os pontos de amostras em campo usados como referência podem ocorrer puramente devido ao acaso (CONGALTON, 1991; PONTIUS, 2000). Para compensar as concordâncias devido ao acaso, a estatística mais frequentemente empregada é o índice *Kappa* (COHEN, 1960). Essa técnica multivariada discreta é usada para mensurar a concordância entre as categorias estimadas e as categorias de referência.

O índice de *Kappa* é calculado de acordo com a equação abaixo (ELNAGGAR, 2007). Ele considera o número total de acertos, os erros de omissão e os erros de inclusão.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Onde: *K* é o índice *Kappa*, *N* é o número total de posições na matriz de erro, *r* é o número de linhas na matriz, *x_{ii}* são as entradas diagonais da matriz, *x_{i+}* e *x_{+i}* indicam a soma da linha *i* e a soma da coluna *i* da matriz, respectivamente.

Dessa forma, o índice *Kappa* expressa o grau de concordância entre os dados estimados e os dados de referência, após a concordância devido ao acaso ter sido eliminada. Em avaliações de mapeamentos, o índice *Kappa* geralmente varia de 0 a 1, sendo que zero (0) indica ausência de concordância, ou seja, a estimativa e a referência são estatisticamente independentes (ELNAGGAR, 2007), e um (1) indica total concordância. Valores negativos de *Kappa* podem ocorrer quando a concordância encontrada é menor do que aquela devido ao acaso, embora isso raramente ocorra em mapeamentos de solos (CONGALTON, 1991; PONTIUS, 2000).

Os valores do índice de *Kappa* em mapeamentos de um modo geral são avaliados a partir de uma escala de concordância que adota os seguintes intervalos de valores: de 0,81 – 1,00 = excelente; 0,61 – 0,80 = muito boa; 0,41 – 0,60 = boa; 0,21 – 0,40 = razoável; 0,00 – 0,20 = ruim (LANDIS & KOCH, 1977).

Uma das vantagens alegadas para uso do *Kappa* é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas as dos bem classificados como a exatidão global.

De forma simplificada, a exatidão global é um índice que superestima a confiabilidade da classificação, e o *Kappa* tem sido adotado como uma forma de avaliação mais adequada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos do Relevo

A elevação, declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal são atributos que possibilitam a distinção de formas de relevo em uma determinada área com características semelhantes. Essa similaridade permite admitir que a elaboração dessas formas se processou em determinada condição morfoclimática, que se correlaciona com a litologia. Portanto, elas devem apresentar traços genéticos comuns como fatores que possibilitam sua ocorrência em um determinado ambiente, e, conseqüentemente evidenciam o resultado das relações processuais e suas respectivas implicações registradas ao longo do tempo.

Para obter os atributos usados na modelagem um MDE da área foi gerado pelo método da Rede Triangular Irregular – TIN (Triangulated Irregular Network). Os dados digitais de restituição aerofotogramétrica na escala 1:8.000 (INCRA, 2009), importados para o ArcGIS 9.3, foram interpolados através dos valores das curvas de nível com equidistância de 5 m. criando triângulos entre uma linha e outra das curvas. Esse procedimento possibilitou obter o modelo matemático com os valores de elevação.

Os mapas de declividade, plano de curvatura e perfil foram derivados do MDE e obtidos através da ferramenta Surface do Spatial Analyst Tool no ArcGIS 9.3.

4.1.1 Elevação e declividade

O relevo forte ondulado prevalece em 33,5% da área com encostas extremamente íngremes que se entremeiam entre as áreas planas (Figura 13). No terço superior e inferior das vertentes dos vales de fundo chato prevalecem os declives suaves ondulados e nos vales em “V” no terço inferior predominam relevos ondulados e forte ondulados (Figura 14).

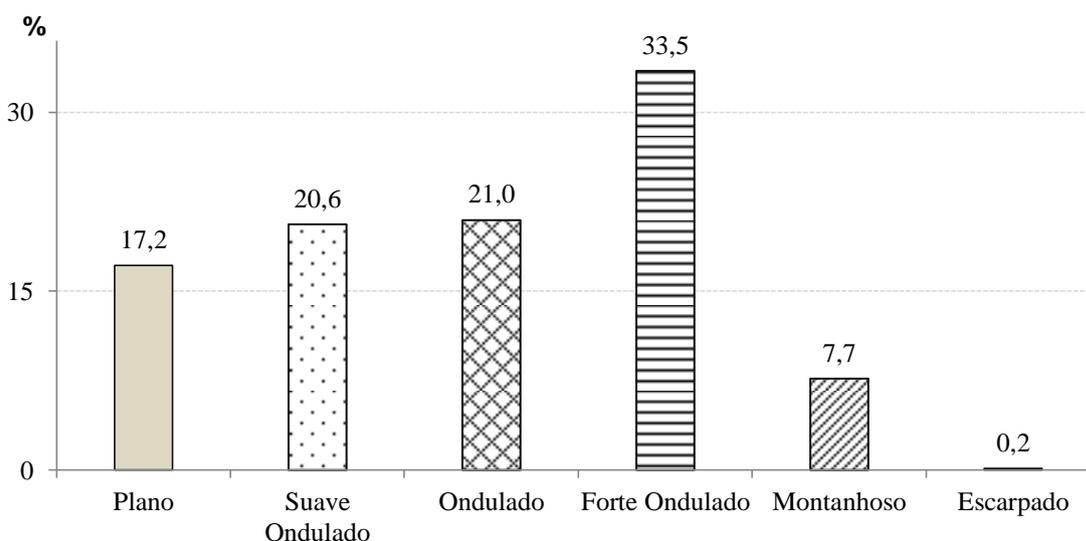


Figura 13. Histograma das classes de declividade da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

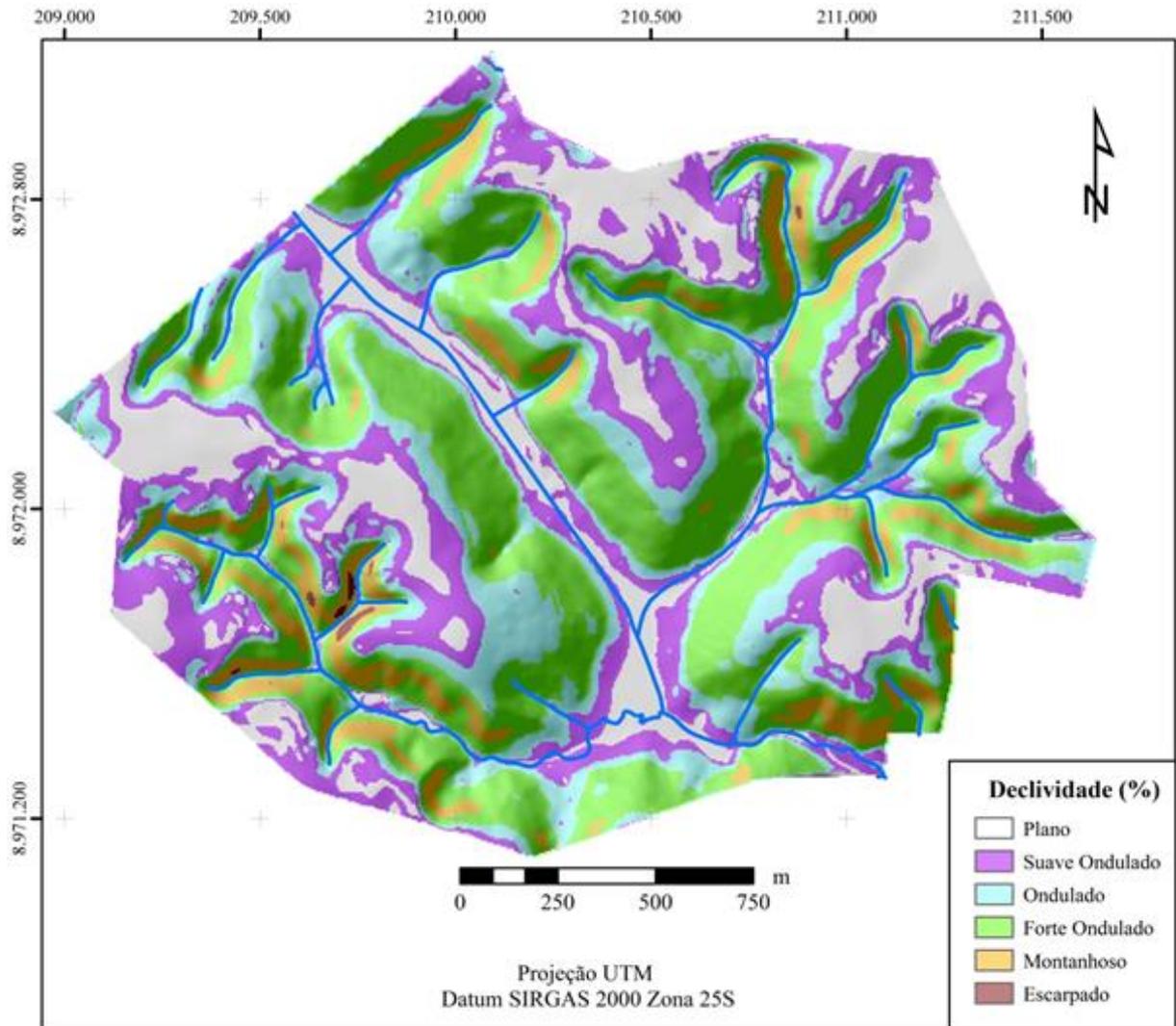


Figura 14. Declividade da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL.
Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

As pendentes estão orientadas predominantemente na direção NW-SW, característica determinada pela influência do alinhamento estrutural (Figura 14).

A média de elevação dentro da microbacia da área de estudo é de 84,5 m, com valores hipsométricos que variam de 49 a 120 m (Figura 15).

As áreas de menor elevação compõem os vales de fundo chato onde a água se acumula nas épocas de chuva favorecendo os processos de hidromorfia. Nos vales mais estreitos em forma de “V” e com declives entre 45-75% os processos de remoção são mais intensos e a erosão favorece o processo de rejuvenescimento da cobertura pedológica. Nessas áreas são comuns afloramentos de rocha.

As áreas mais elevadas correspondem aos topos aplainados e convexos retilíneos de origem sedimentar dos tabuleiros com elevação em torno de 110 m, onde a cana-de-açúcar é a cultura predominante (Figura 16).

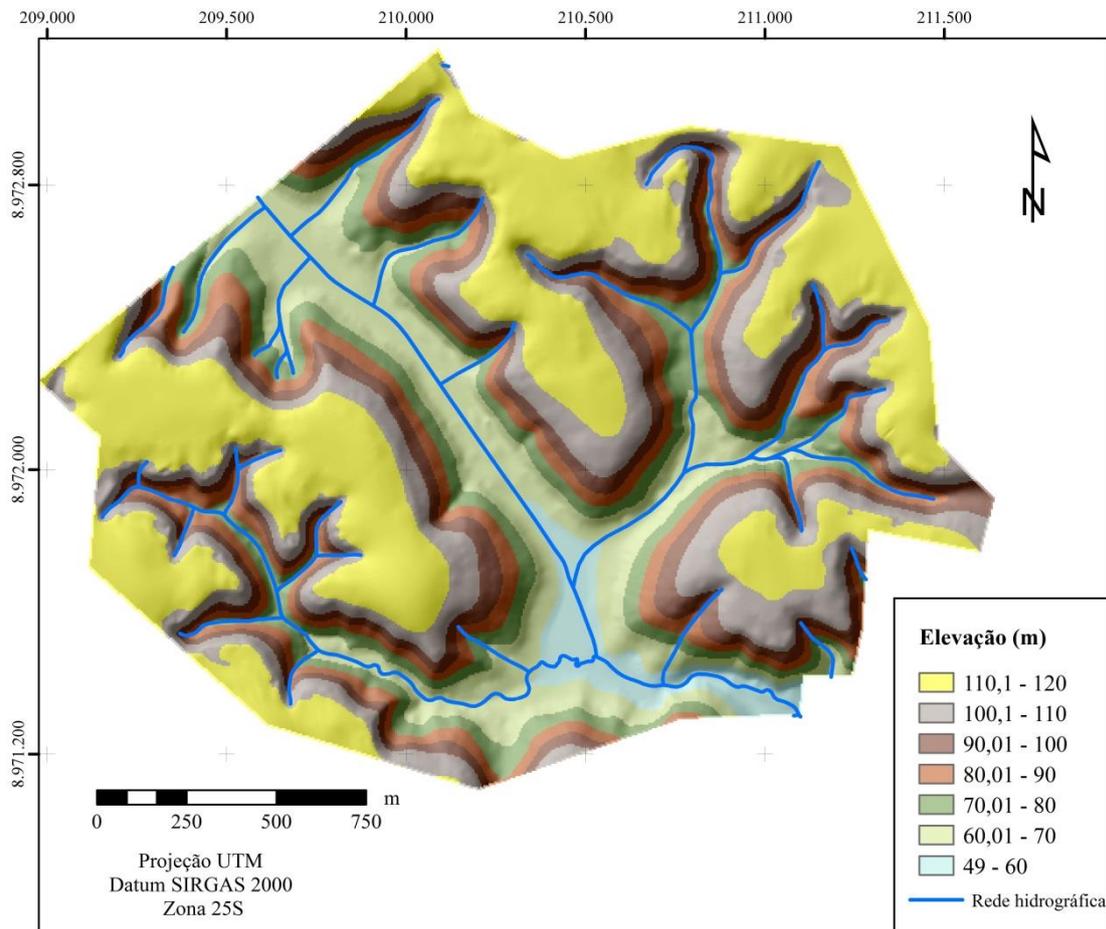


Figura 15. Elevação da área de estudo na Região de São Luís do Quitunde – AL. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.



Figura 16. Imagens da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde, mostrando vales de fundo chato e em “V”; encostas predominantemente convexas; cultivo de cana-de-açúcar e remanescente da Mata Atlântica. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

4.1.2 Perfil de curvatura

O perfil de curvatura refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em projeção vertical. O padrão de distribuição destas formas na área de estudo mostra certa regularidade dentro da microbacia, porém as superfícies convexas ocupam a maior parte da área (39,1%), quando comparado com as demais (Figura 17 e 18).

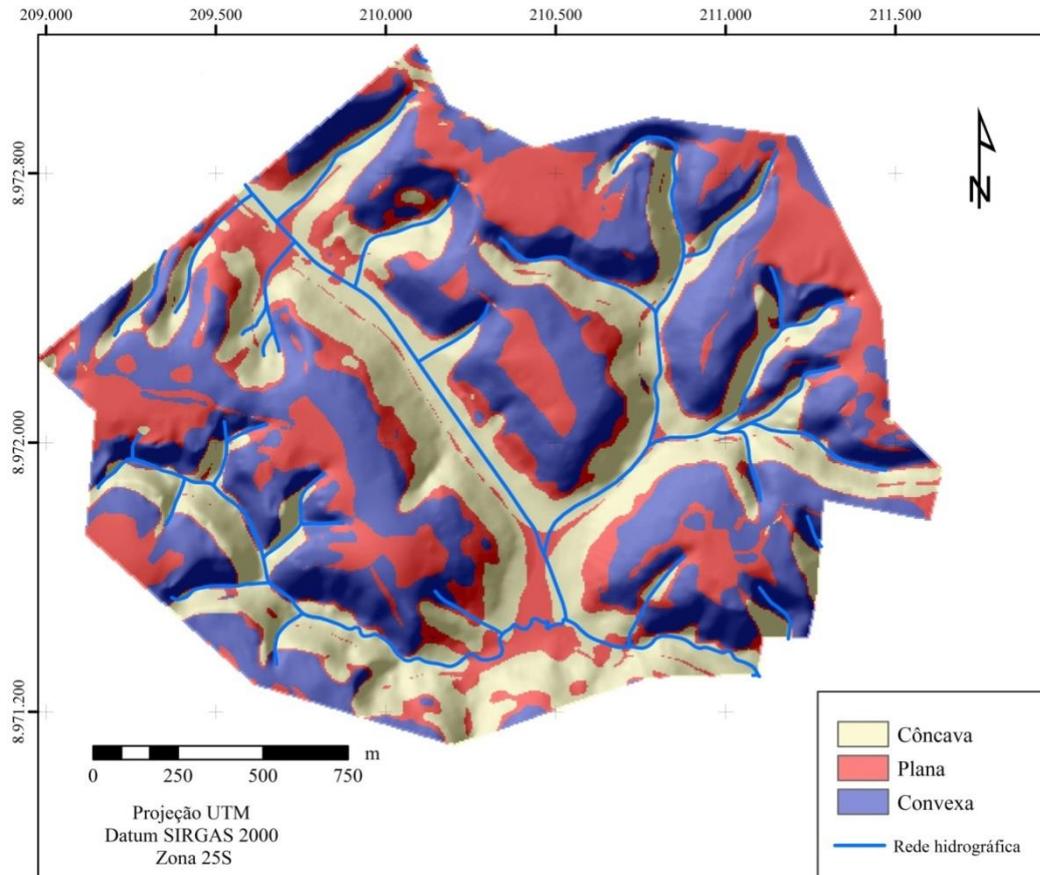


Figura 17. Perfil de curvatura da área no Município de São Luís do Quitunde – AL Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

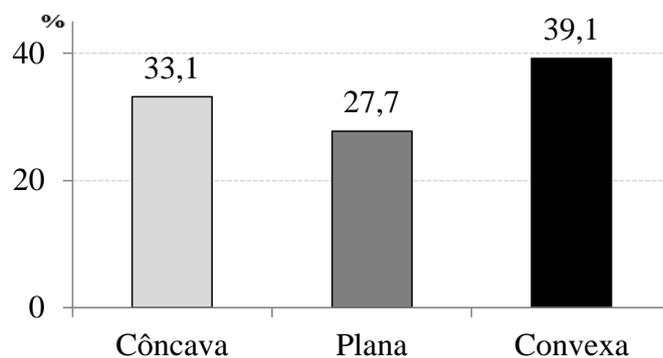


Figura 18. Histograma mostrando a distribuição das classes do perfil de curvatura. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

Os valores positivos correspondem à forma convexa que apresenta aumento gradual do ângulo de inclinação do topo para a base da vertente. Os padrões retilíneos mostram ângulos com inclinação constantes próximos de zero e podem ocorrer tanto em áreas de superfície plana quanto em ambiente onde a declividade é constante. Nas áreas côncavas a redução do ângulo de curvatura se dá a jusante, isso permite maior acúmulo e mais lenta dissipação da água favorecendo a processos de hidromorfia nas áreas mais baixas.

4.1.3 Plano de curvatura

Por sua vez, plano de curvatura corresponde ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno, quando analisado em projeção horizontal. Em terrenos convergentes as direções de maior declividade em diferentes pontos do terreno tendem a se encontrar. De modo inverso nos terrenos divergentes as direções de maior declividade em diferentes pontos tendem a separar-se. A análise deste atributo permite relacionar áreas onde há acúmulo de umidade e do fluxo da água superficial e sub-superficial na vertente. As áreas convergentes representam os vales e as divergentes os interflúvios

A forma retilínea ocorre em 41,5% da área e sua distribuição está associada aos topos de tabuleiros, as partes planas e baixas dos vales de fundo chato e das vertentes (Figura 19 e 20).

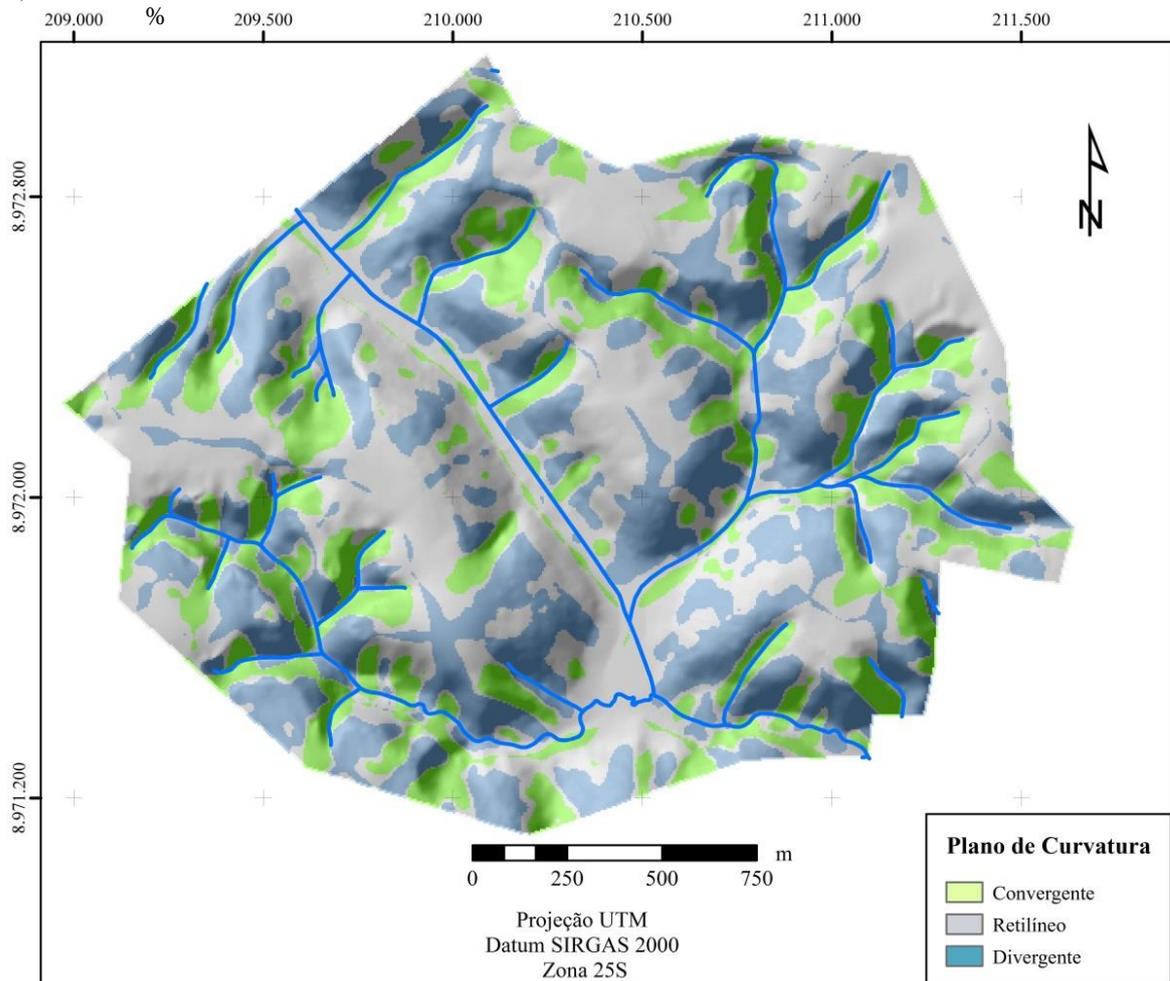


Figura 19. Plano de curvatura da área no Município de São Luís do Quitunde – AL. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

Estas variáveis influenciam diretamente os processos de migração e acúmulo de água, minerais e materiais orgânicos em superfície e subsuperfície no solo, através da gravidade, e, por conseguinte desempenham importante papel sobre o balanço hídrico e os processos de pedogênese (VALERIANO, 2003; CARVALHO-JUNIOR, 2014).

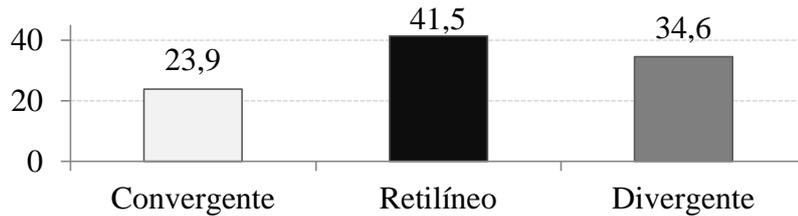


Figura 20. Histograma mostrando a distribuição das classes do plano de curvatura. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

4.1.4 Geoformas

A combinação das variáveis perfis e plano de curvatura possibilita a caracterização das formas do terreno, que se associam diretamente a propriedades hidrológicas, logo indicativas de locais com maior possibilidade erosão, de afloramento de rochas e oscilações do lençol freático. Silva-Neto (2013) verificou em seu trabalho que as formas côncavo-convergente, plano-convergente e convexo-convergente corresponderam às classes de maior vulnerabilidade aos processos erosivos.

A convexização reflete no jogo das forças antagônicas responsáveis pelo processo evolutivo (pedogênese-morfogênese), o predomínio de dispersão de fluxos de escoamento superficiais responsáveis pela erosão e dissecação na área.

As formas planas retilíneas são dominantes nos fundos dos vales chatos onde há hidromorfia e nos topos dos tabuleiros dissecados onde os processos de lixiviação são acentuados. Já as superfícies convexo-retilíneas estão associadas às encostas de vales de fundo estreito onde os processos de remoção (erosão) são mais intensos e onde foram observados afloramentos de rocha (Figura 21).

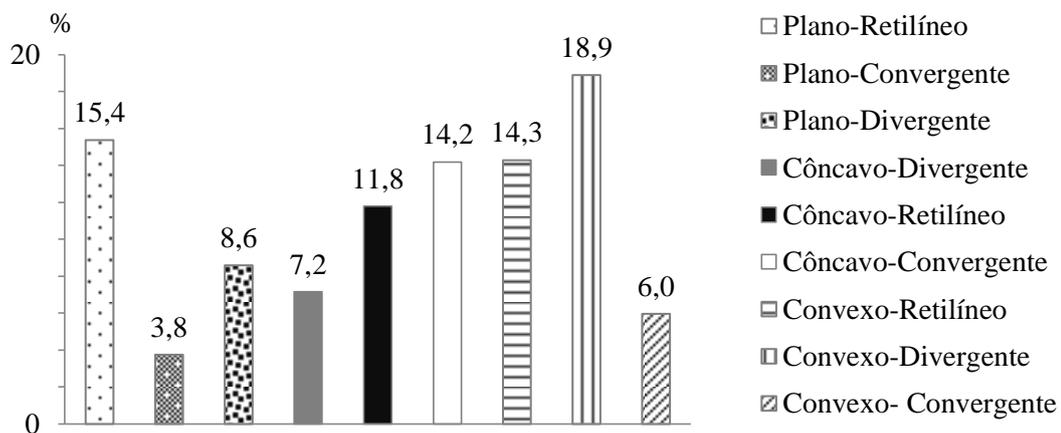


Figura 21. Histograma mostrando a distribuição das geoformas no Município de São Luís do Quitunde – AL. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

Especificamente na área de estudo as vertentes apresentam geoformas predominantemente convexo-divergente e convexo-retilíneas (Figura 22). Localmente essas

mudanças implicam em variações ambientais que alteram a dinâmica dos processos em pequenas escala e podem determinar a diferenciação de solos dentro da cobertura pedológica da área.

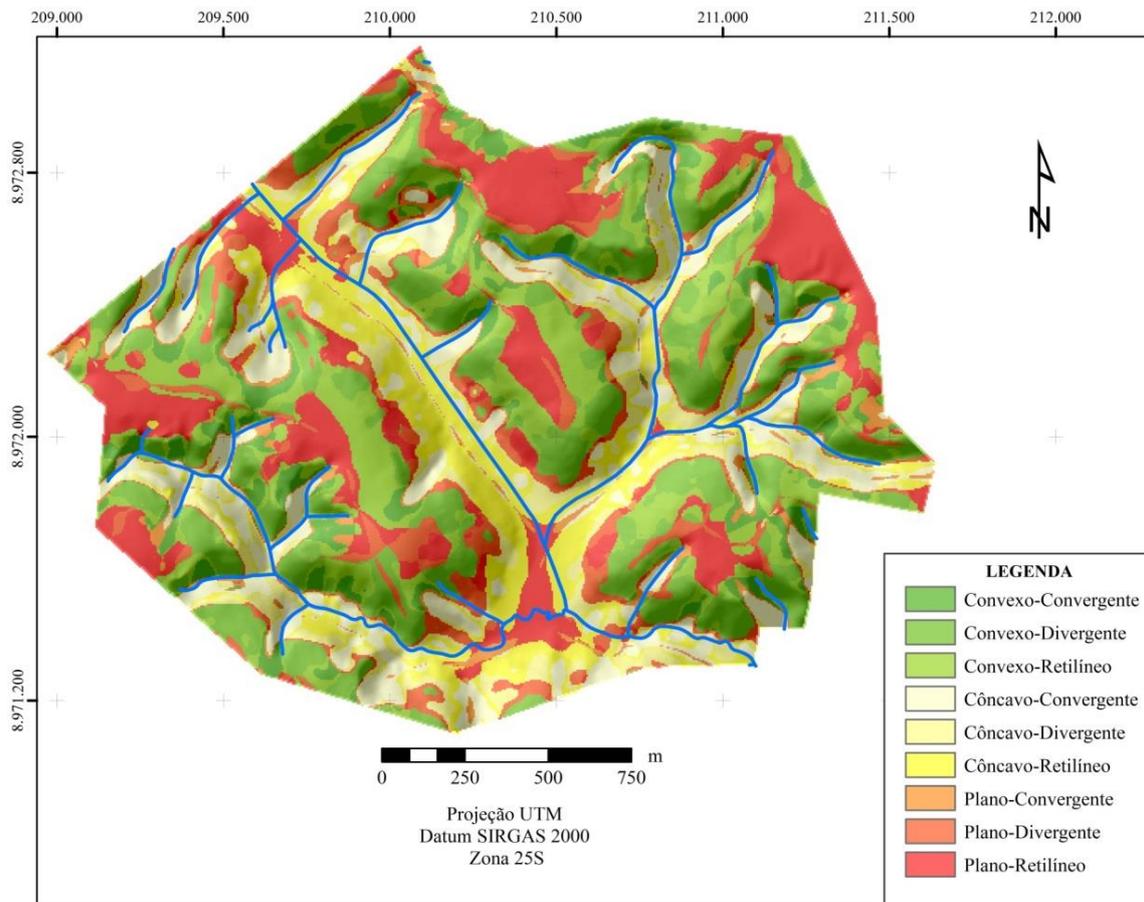


Figura 22. Geformas da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL. Fonte: Nolasco-Carvalho, 2015.

4.1.5 Índice de umidade

O Índice Topográfico de Umidade - IUT caracteriza a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens e pode ser aplicado em situações onde é importante considerar o controle da topografia sobre a variação espacial de condições hidrológicas no terreno. É um atributo topográfico secundário e foi desenvolvido para ser aplicado em estudos de catenas em áreas de relevo movimentado.

A determinação do IUT permite identificar áreas com diferentes regimes de umidade resultantes das diferenças de configuração das encostas. O IUT também denominado de índice topográfico, índice de umidade, e ainda, índice topográfico composto, foi obtido através do comando Hydrology extensão ArcSIE para ArcGIS 9.3 pelo logaritmo natural da razão entre a área de contribuição (A_s) e a tangente da declividade do terreno $IUT = \ln(A_s/\tan\beta)$, onde: $A_s = (\text{fluxo acumulado} + 1) * (\text{resolução do pixel})$ (WILSON e GALLANT, 2000).

Para a classificação da umidade topográfica, os índices foram adaptados às condições do ambiente em que a área está inserida, já que os intervalos de classes encontrados na literatura não representavam a realidade local. Foram feitas simulações de intervalos de classes de umidade e comparações com as curvas de nível.

Valores altos do IUT estão relacionados a áreas planas de baixada, ou áreas côncavas que favorecem o acúmulo de água. Na área da microbacia o valor máximo de IUT computado foi de 22,5. Valores mais baixos estão relacionados aos interflúvios, onde estão as áreas relacionadas aos topos aplainados de morros e as encostas com declive acentuado. Os valores máximos às partes mais baixas onde a rede de drenagem está inserida (Figura 23).

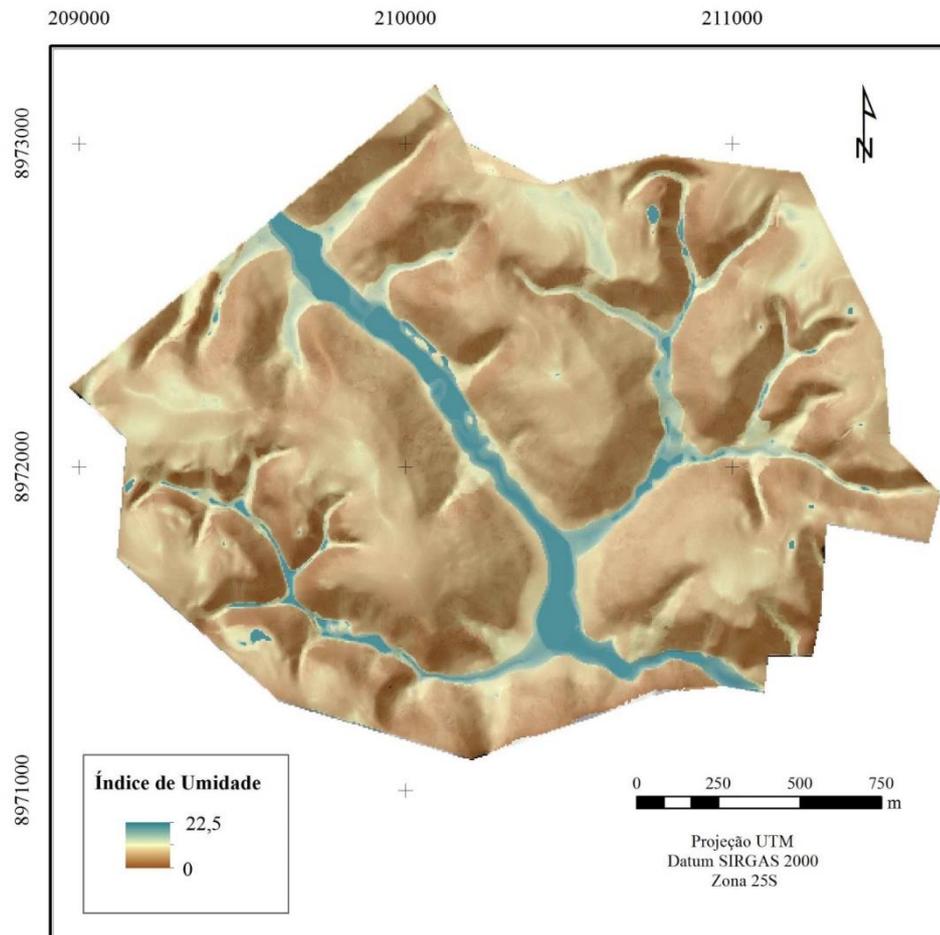


Figura 23. Índice de umidade da área de estudo no Município de São Luís do Quitunde – AL. Fonte. Nolasco-Carvalho, 2015.

4.2 Sistematização e Integração de Dados para Modelagem *Fuzzy*

No caso do raciocínio pedológico, é fundamental que o modelo proposto capte a estrutura de raciocínio do especialista e possa representá-la computacionalmente. Uma representação adequada é fundamental no desenvolvimento de sistemas inteligentes que possam colaborar com o especialista na busca de resultados que representem a variabilidade espacial dos solos e de seus atributos na paisagem. A complexidade é uma característica do raciocínio pedológico, que é muitas vezes mesclado de lacunas, incertezas e ambiguidades, pois é um raciocínio de natureza mais qualitativa do que quantitativa, embora para a classificação de solos sejam necessários a quantificação de atributos físicos e químicos determinados através de análises em laboratório.

A modelagem foi executada com as ferramentas contidas no Spatial Data Modeller – SDM para ArcGIS 9.3 (SAWATZKY et al, 2004), em 4 etapas: a) transformação dos mapas de atributos de relevo e geologia em mapas *fuzzy* determinando assim, espacialmente os graus de pertinências das classes de solo relacionada a cada atributo; b) integração dos mapas *fuzzy*

de atributos e produção de mapas de evidências *fuzzy* para cada classe de solo; c) defuzzificação com reclassificação dos mapas de possibilidades; e d) integração por inferência média ponderada dos mapas reclassificados para predição do mapa de solos e validação.

4.2.1 Mapas de possibilidade *fuzzy* dos atributos para as classes de solo

A partir da legenda do mapa de solo convencional e das informações obtidas nas entrevistas com pedólogos que mapearam os solos da Microrregião da Mata Alagoana, foram eleitas 6 classes de solo que ocorrem na área para modelagem e predição por inferência *fuzzy*.

A base de dados do conhecimento dos especialistas (coletada nas entrevistas) possibilitou a construção de um conjunto de regras relacionais (Tabela 4). Essas regras acomodam as ambiguidades da linguagem e da lógica humana para o mundo real. O objetivo foi capturar informações sobre as relações solo-paisagem e o modelo mental da distribuição dos solos na cobertura pedológica da área, elaborado pelos especialistas.

Nas entrevistas os especialistas descrevem as características ambientais de locais específicos da paisagem onde havia a possibilidade de ocorrência de Latossolo Amarelo (LAd); Argissolo Amarelo (PAd); Argissolo Acinzentado (PAcd); Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd); Cambissolo (CXbd) e Gleissolo (GXbd), solos eleitos para a predição. Também especificaram, analisando cada feição da paisagem, qual o grau de possibilidade de um determinado solo ocorrer em função das características de cada um dos atributos usados para a inferência de cada uma das classes. Essa etapa permitiu a fuzzificação dos atributos para gerar o mapa de possibilidades para cada uma das classes de solo predefinidas.

Para gerar o mapa de possibilidades, diferentes funções *fuzzy* foram testadas. O procedimento facultou a seleção das funções que expressavam de forma mais adequada um determinado atributo para a ocorrência de uma classe de solo específica (Anexo B). Aplicada a função, o resultado é uma superfície de decisão, onde é possível definir as áreas de maior ou menor adequação para uma determinada classe, ou para uma zona de transição, em função da maior ou menor influência do atributo para a classe de solo a ele relacionada (Figura 24).

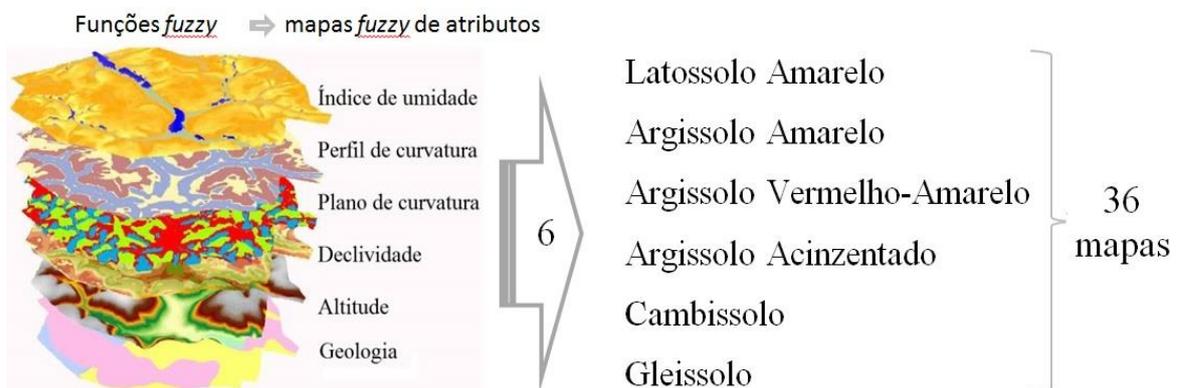


Figura 24. Esquema mostrando o procedimento usado para a partir de 6 atributos gerar mapas de possibilidades *fuzzy* desses atributos para as 6 classes de solo predefinida.

O procedimento consistiu em criar para cada classe de solo eleita à predição um conjunto com seis mapas *fuzzy* (5 atributos do relevo, mais o mapa geológico), totalizando 36 mapas de evidências (Figuras 25). Os mapas de evidências para as classes de solos gerados a partir de diferentes proposições de funções *fuzzy* foram divididos em 3 classes, onde os valores maiores indicam as zonas de maior possibilidade de ocorrência do solo especificado para aquele atributo (Figuras 26, 27, 28, 29, 30).

Tabela 4. Regras relacionais empregadas para a modelagem *fuzzy* das unidades de mapeamento arbitradas por pedólogos.

Classe de solo	Perfil de curvatura			Plano de curvatura			Índice de umidade			Transição entre classes
	*conc	plan	conv	**cvg	ret	dvg	**A	M	B	
LAd	B	A	M	B	A	B	0 - 4,5	4,5 - 6	> 6	Nítido
PAd	B	M	A	B	A	M	2 - 3,6	0 - 2	> 6	Nítido
PAd	M	A	B	B	A	M	4,5 - 6	3 - 4,5	> 4,5	Pouco nítido
PVAd	A	M	B	M	A	B	1 - 3	3 - 4	> 4	Pouco nítido
CXbd	M	B	A	M	B	A	0 - 3	3 - 4,5	> 4,5	Difuso
GXbd	A	M	B	A	M	B	>12	12 - 8	< 8	Pouco nítido

• Geformas: conc-concavo; plan- plano; conv- convexo; cvg- convergente; ret- retilíneo; dvg- divergente.

** Valores linguísticos: A - alto; M - médio e B - baixo.

Possibilidade de ocorrência: A - alta (> 0,75); M - média (0,75, - 0,5); B - baixa (< 0,5).

Classe de solo	Tb	Geologia			Elevação			Declividade		
		pEgn	pEgr	A	M	B	A	M	B	
LAd	A	M	M	110 - 120	100 - 110	<100	0 - 5	5 - 8	>8	
PAd	A	B	M	110 - 100	100 - 80	<80	8 - 35	>35	0-3	
PAd	A	M	B	65 - 70	70 - 80	>80	0 - 3	3 - 8	>8	
PVAd	B	A	A	110 - 100	100 - 90	<90	50 - 75	30 - 45	<30 e >50	
CXbd	M	A	A	105 - 95	95 - 75	<75	>50	35 - 50	<35	
GXbd	A	B	B	<60	60 - 70	>70	0 - 3	3 - 5	>5	

Geologia: Tb - Formação Barreiras; pEgr - granodioritos/Rochas intrusivas ácidas; pEgn - Granito-gnaiss do Escudo Brasileiro.

LAd - Latossolo Amarelo; PAd - Argissolo Amarelo; PAd - Argissolo Acinzentado; PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo; CXbd - Cambissolo;

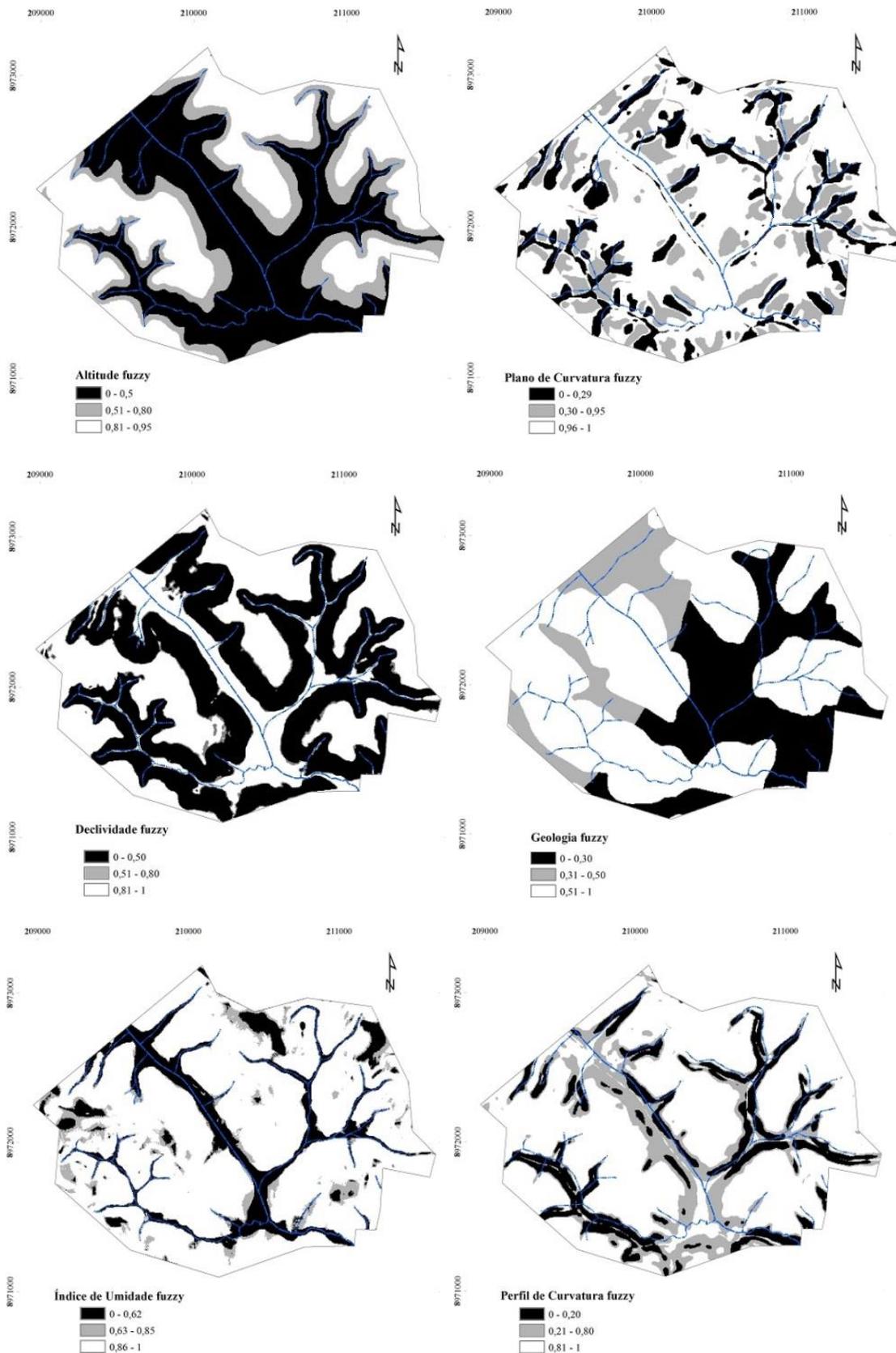


Figura 25. Conjunto de mapas *fuzzy* de atributos para Latossolo Amarelo.

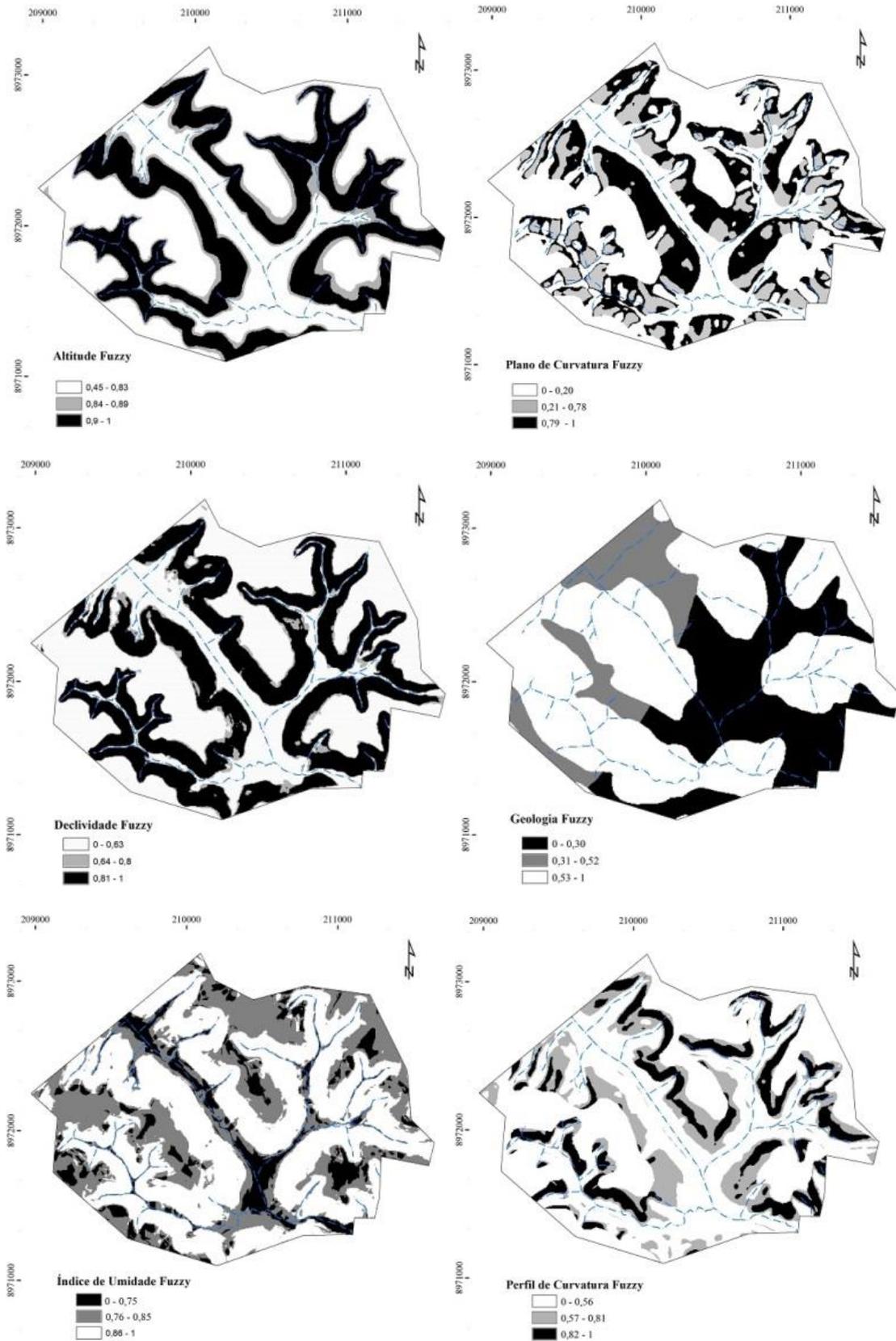


Figura 26. Conjunto de mapas *fuzzy* de atributos para Argissolo Amarelo.

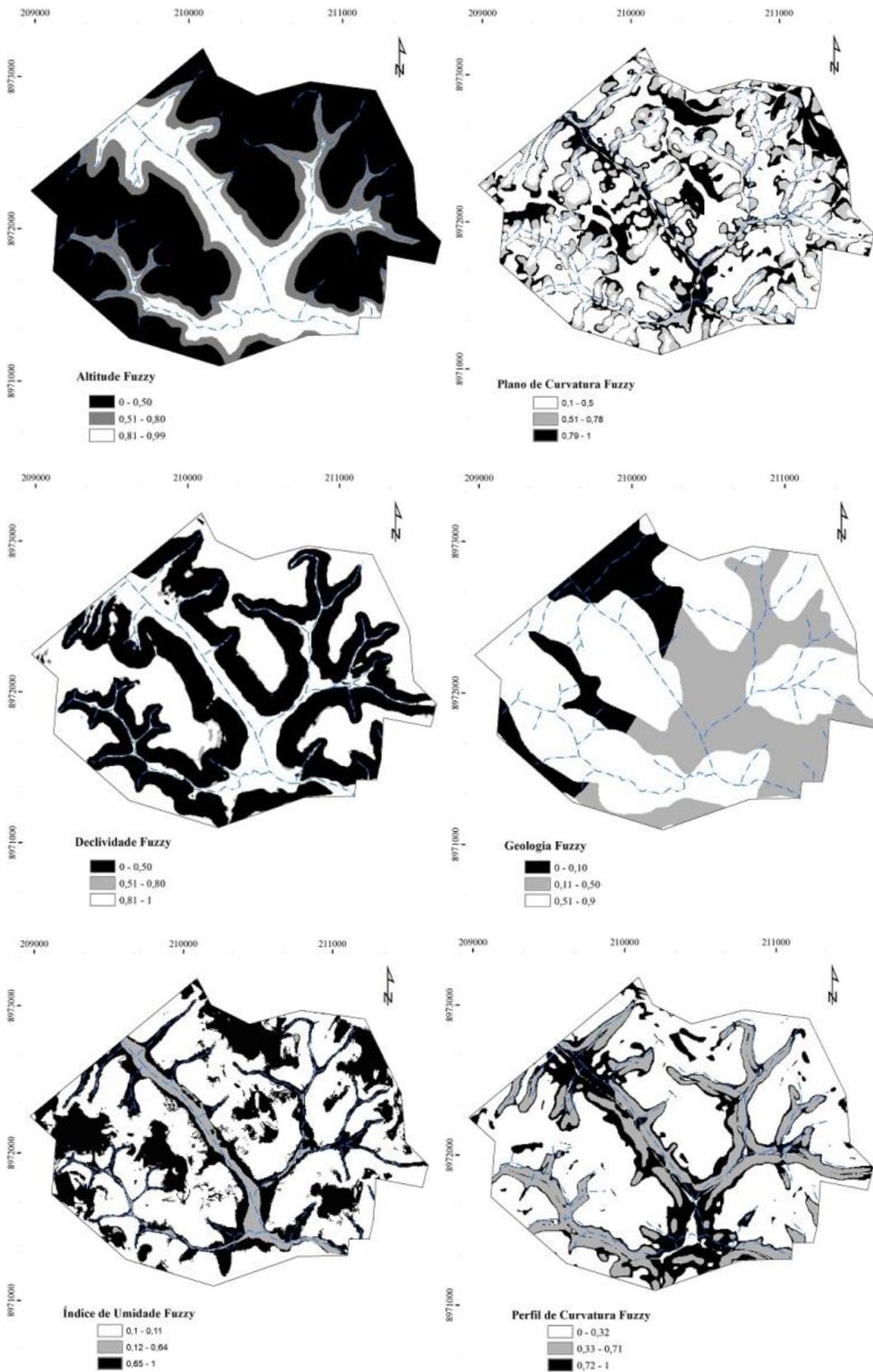


Figura 27. Conjunto de mapas *fuzzy* de atributos para Argissolo Acinzentado.

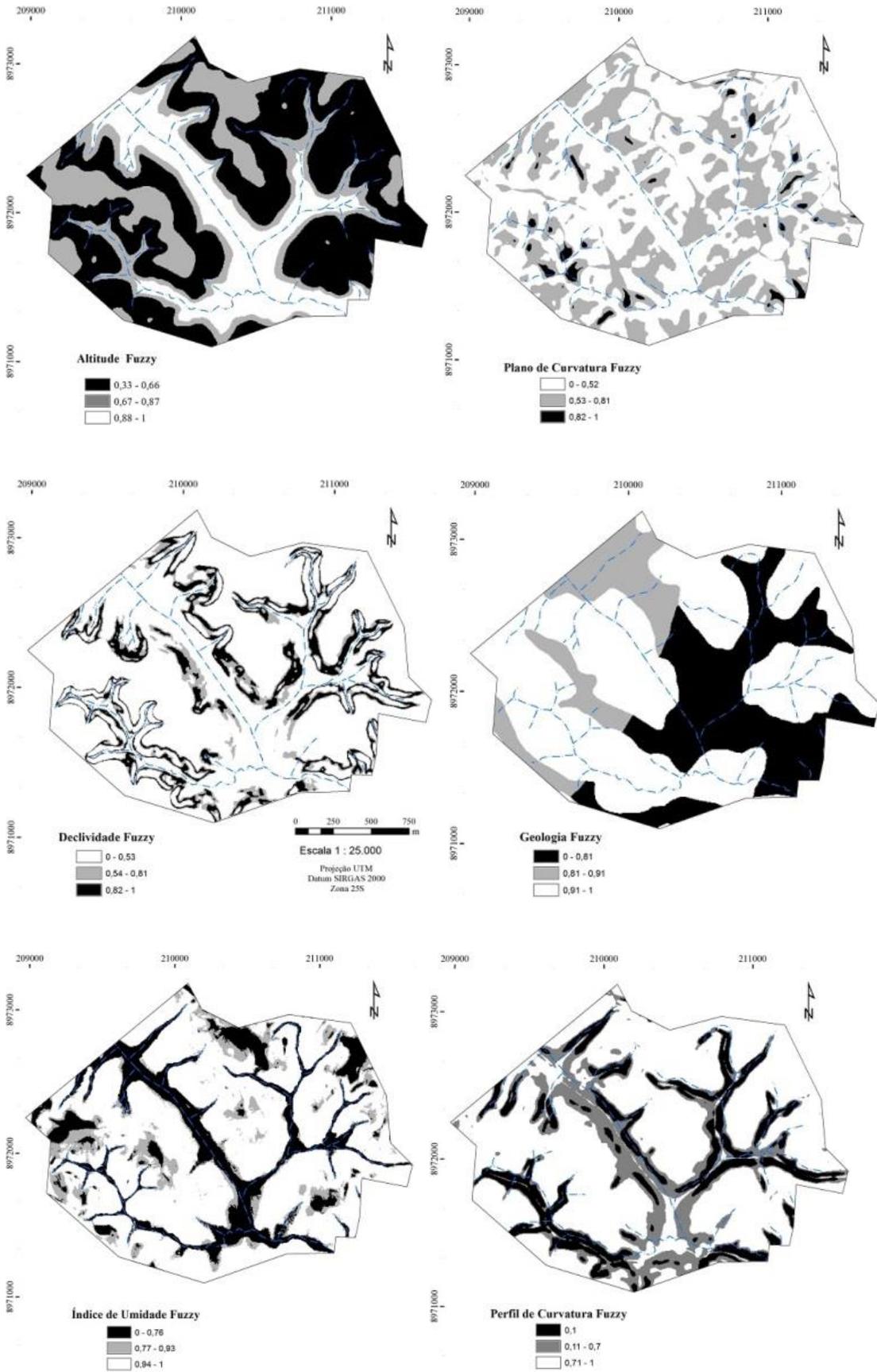


Figura 28. Conjunto de mapas *fuzzy* de atributos para Argissolo Vermelho-Amarelo.

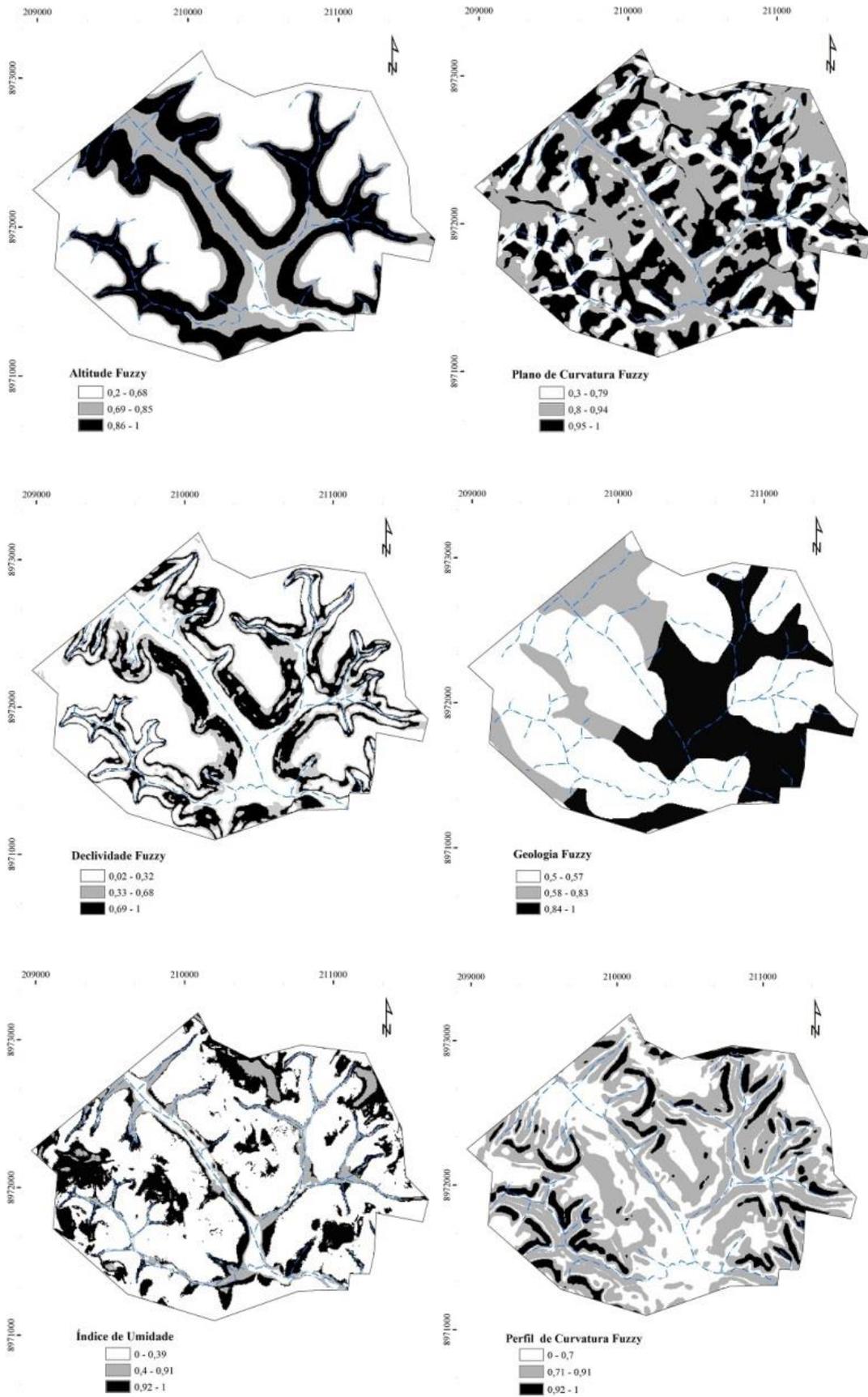


Figura 29. Conjunto de mapas *fuzzy* de atributos para Cambissolo.

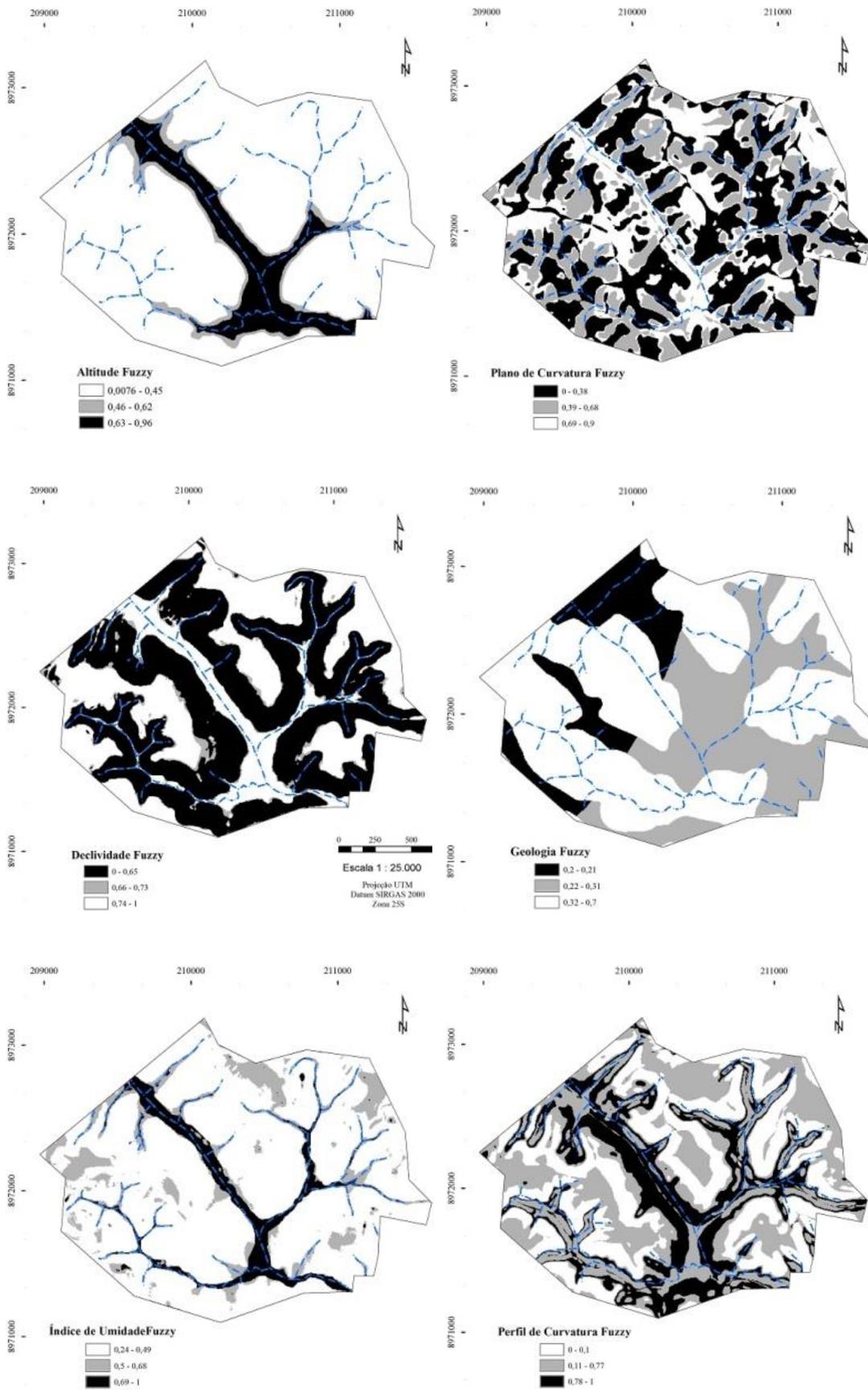


Figura 30. Conjunto mapas *fuzzy* de atributos para Gleissolo.

4.2.2 Geração de mapas de possibilidade *fuzzy* para as classes de solo

Nessa etapa cada conjunto contendo os seis atributos fuzzyficados para as seis classes de solo preestabelecidas, foi integrado via SIG (Sistema de Informações Geográficas). Esse procedimento gerou os mapas com as possibilidades de ocorrência dos solos, e, foi executado a partir de diferentes proposições de operadores *fuzzy*.

O exame visual, indicou que as melhores modelagens resultaram com a aplicação dos operadores fuzzyGAMA e soma convexa. O operador fuzzyGama com os intervalos utilizados produziu valores de saída que garantiram uma certa flexibilidade entre a tendência de maximização e minimização dos fatores e para os especialistas foi o mais eficiente na modelagem do mapa de possibilidades para o Gleissolo e para o Argissolo Acinzentado (Figura 31 A e B).

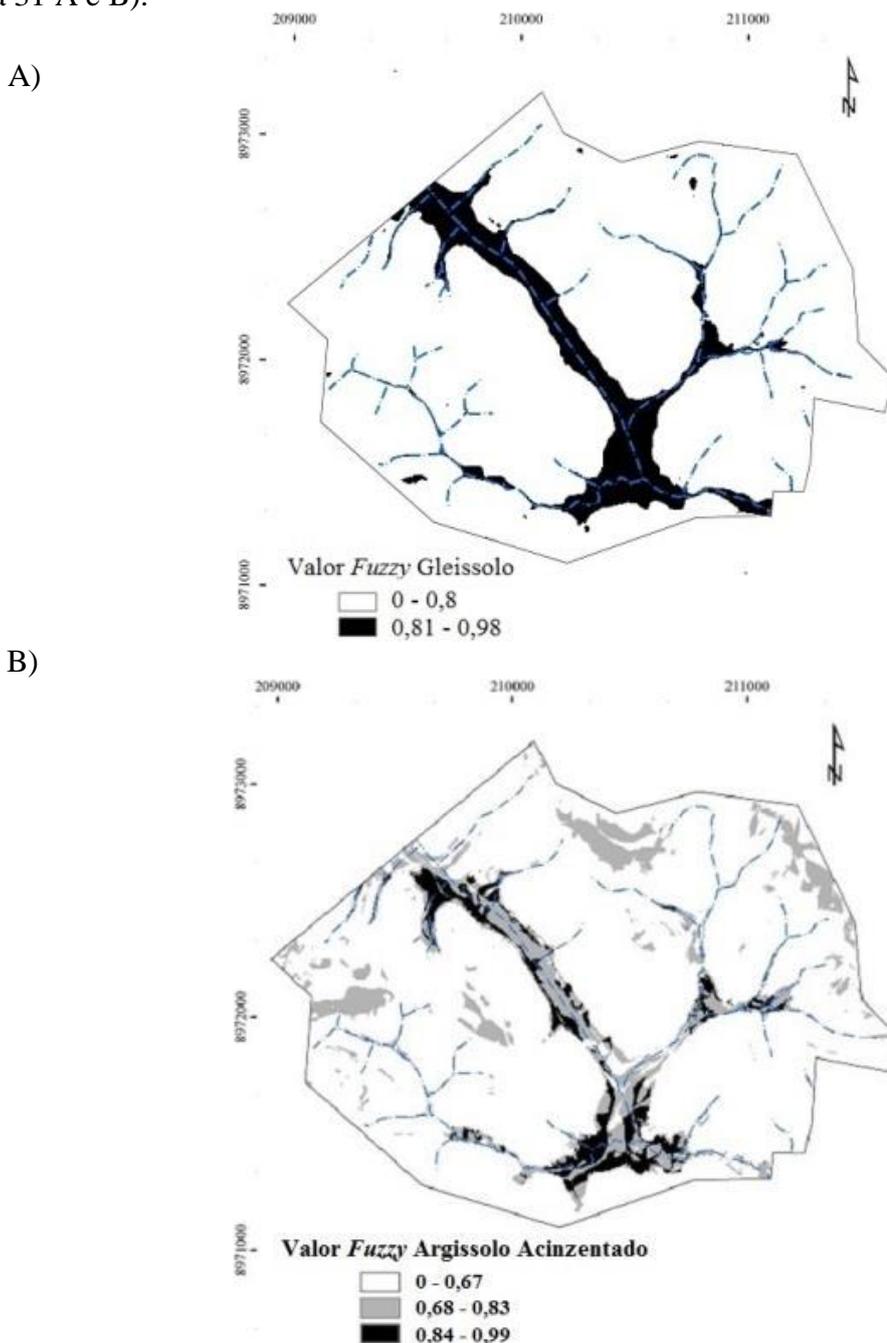


Figura 31. Mapas fuzzy de possibilidades para: a) Argissolo Acinzentado, b) Gleissolo.

A soma convexa (*weight sum*) que adota pesos para camadas específicas de atributos foi mais adequada para gerar os mapas de evidências dos Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Cambissolo e Argissolo Vermelho-Amarelo (Figuras 32 e 33). Esse operador produz estimativas mais conservadoras, implicando pedologicamente na modelagem de associações de atributos dominantes, ou seja, na seleção mais rigorosa de um ou mais atributos como elementos diferenciadores na determinação do local de maior possibilidade de ocorrência de uma classe de solo específica. O peso das camadas é determinado a partir de uma série de testes com valores estipulados pelo conhecimento tácito dos especialistas, que avaliam o resultado final e indicam a partir da análise visual o mapa que melhor reflete as possibilidades de ocorrência da classe predefinida.

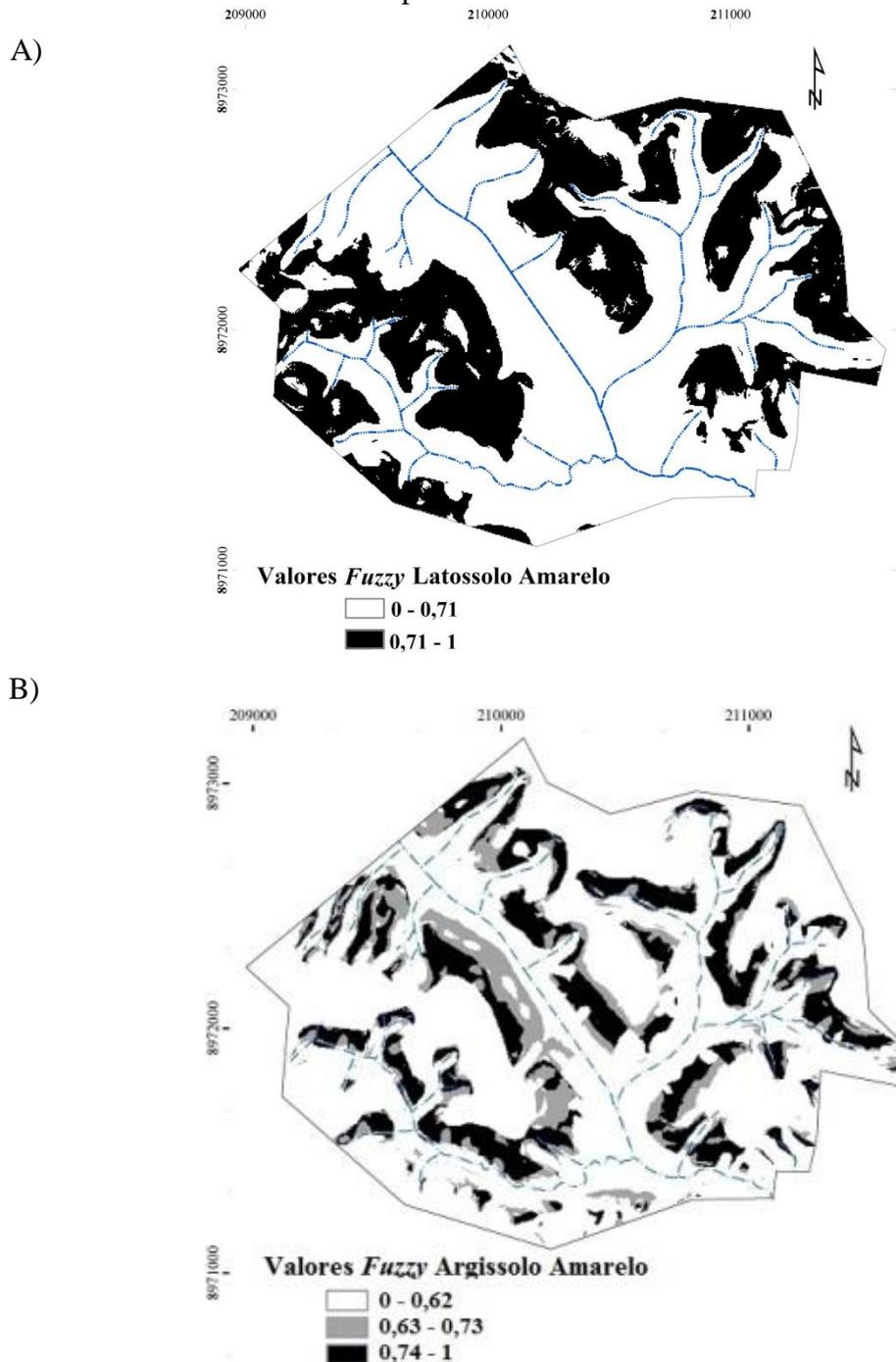
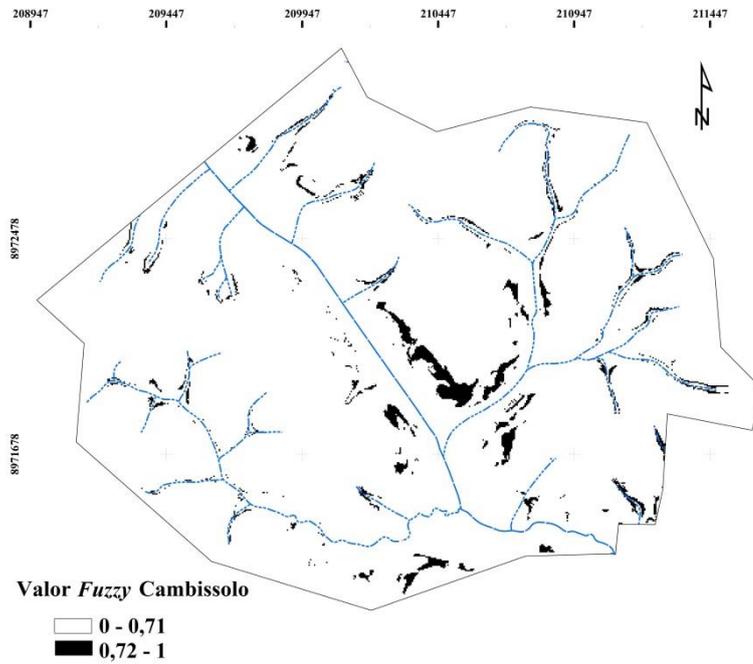


Figura 32. Mapas *fuzzy* de possibilidades para: a) Latossolo Amarelo, b) Argissolo Amarelo.

A)



B)

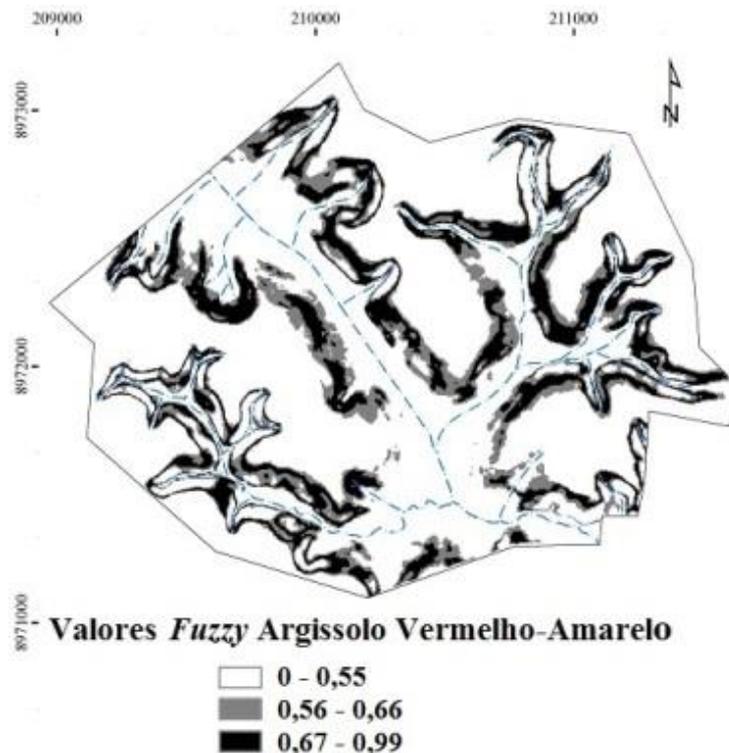


Figura 33. Mapas *fuzzy* de possibilidades para: A) Cambissolo B) Argissolo Vermelho-Amarelo.

O uso de diferentes operadores *fuzzy* permite adequar a modelagem para representar situações em que as variações na distribuição do solo na cobertura pedológica estejam associadas a fatores mais ou menos determinísticos e mais ou menos estacionários.

Os pesos estabelecidos para cada atributo de cada uma dessas classes, bem como os valores adotados para o operador fuzzyGAMA utilizados na integração dos atributos para geração dos mapas de evidências do Gleissolo e Argissolo Acinzentado encontram-se na Tabela 5.

No passo seguinte os mapas de possibilidades dos solos foram defuzzificados pelo método dos máximos com fatiamento de valores de possibilidades para as ocorrências das classes de solo. O método consiste em examinar os valores escalares de saída no mapa e escolher, a faixa de valores de precisão, ou seja, o intervalo de valor no universo de discurso da variável de saída (Cambissolo de 0,92, a 1 por exemplo) para o qual o grau de pertinência é máximo.

Valores mais próximo de 1 indicam, mais alta possibilidade de ocorrência da classe de solo em uma região específica do mapa e os intermediários áreas de transição entre solos ou onde podem haver coocorrências de classes que configuram no resultado da modelagem indicações de áreas onde podem haver transições, associações, inclusões ou distinção de uma mesma classe em função de variações ambientais (Figura 31, 32 e 33).

Esses intervalos de valores arbitrados seguiram unicamente o conhecimento do especialista em solo.

Tabela 5. Operadores fuzzy aplicados para integração dos mapas de atributos e produção do mapa de possibilidades fuzzy para as classes de solo.

Mapa de possibilidade <i>fuzzy</i>	Pesos aplicados						Operador <i>fuzzy</i>
	Altitude	Declividade	Índice de Umidade	Perfil de Curvatura	Plano de Curvatura	Geologia	
Latossolo Amarelo	5	0,5	2	1,5	0,3	0,5	Weight sum
Argissolo Amarelo	1	0,9	0,2	0,1	0,5	0,3	Weight sum
Argissolo Vermelho –Amarelo	0,8	1	0,7	0,1	0,2	0,7	Weight sum
Cambissolo	1	0,9	0,5	0,3	0,4	0,5	Weight sum
Argissolo Acinzentado	-	-	-	-	-	-	Gama 0,9
Gleissolo	-	-	-	-	-	-	Gama 0,94

4.2.3 Reclassificação e integração dos mapas de possibilidade *fuzzy* das classes de solo

Após o fatiamento os mapas de possibilidades das unidades de solo ou mapas de evidências foram reclassificados sendo associados às faixas de valores, uma sequência ordenada de potências de 2 (Tabela 6). O valor “0” (zero) de uma região indica ausência (negativo) para ocorrência da unidade de mapeamento e os valores das potências presença (positivo).

O artifício aplicado para fusão dos seis mapas de possibilidades das unidades de mapeamento (planos de informação) permite, após o processamento, que os valores simultâneos relacionados à ocorrência de diferentes unidades no mapa predito fossem expressos por valores reconhecíveis, que separam e identificam espacialmente as unidades e/ou zonas de transições. A técnica evita resultados ambíguos, que poderiam conduzir a

interpretações e à distribuição espacial incorreta dos solos na confecção do mapa digital de solos (SILVA, 2003). Para as classes dos Argissolos, os especialistas definiram 3 faixas uma de não ocorrência, outra de maior possibilidade e uma intermediária correspondendo a áreas onde podem haver solos “intergrades” ou associações ou inclusões ou ainda limites difusos entre classes coocorrentes em um mesmo sítio.

A fusão dos mapas de evidências foi realizada por inferência média ponderada com a associação de pesos aos mapas de evidências das classes de solo (Tabela 6 e Figura 31, 32, 33). Ela permite a análise e verificação de ocorrências e coocorrência das classes pela combinação dos pesos das evidências especificadas nos mapas.

Os valores de saída das classes no mapa digital predito resultam, por essa técnica, da adição direta da multiplicação dos valores de possibilidades. Para cada um dos mapas de evidências de classes, foram arbitrados pesos segundo critérios dos especialistas.

As áreas mais favoráveis para ocorrência de uma classe correspondem ao valor máximo da evidência - por exemplo, para LAd corresponde a 1. A soma deste valor “1” com um valor intermediário resulta, por exemplo, em 4 (quando somado com o valor 3 da faixa intermediária do PAd), que corresponde a classe cujo mapa recebeu um peso na inferência maior - nesse caso ao PAd (Tabela 6).

Tabela 6. Valores exponenciais usados na reclassificação dos mapas de possibilidades de solos e peso das evidências arbitrado por especialista.

Classes	Valor <i>Fuzzy</i>	Reclassificação 2^x	Peso das Evidências	
Latossolo Amarelo - LAd	0 – 0,71	0	1	0
	0,72 – 1	1		1
Argissolo Amarelo - PAd	0 – 0,62	0	1,5	0
	0,63 - 0,73	2		3
	0,74 – 1	4		6
	0 – 0,67	0	2	0
Argissolo Acinzentado - PAd	0,67 – 0,83	8		16
	0,84 – 0,99	16		32
Argissolo Vermelho-Amarelo - PVAd	0 – 0,55	0	2,5	0
	0,56 – 0,66	32		40
	0,67 – 0,99	64		80
Cambissolo - CXbd	0 – 0,91	0	1	0
	0,92 – 1	128		128
Gleissolo - GXbd	0 – 0,8	0	1	0
	0,81 – 0,98	256		256

Quando a combinação ocorre com os valores máximos (1 + 6, por exemplo, valores do LAd e PAd. respectivamente) o resultado pode indicar uma zona de transição entre os solos. Portanto, os valores combinados identificam as classes que prevalecem e/ou determinam transições ou associações, pois mantém a relação com os valores das evidências das classes inseridas no modelo.

No levantamento de solos tradicional a distribuição dos diferentes solos na paisagem é baseada no modelo discreto. Sabe-se que a variação espacial dos solos não se dá ao acaso e que resulta da atuação dos fatores de formação. Os pedólogos, a partir de conhecimentos técnicos e empíricos, constroem modelos que são equações mentais onde a combinação da soma da intensidade de cada fator em um determinado local é responsável por um processo,

portanto, pela ocorrência de um determinado tipo de solo. O pedólogo sabe que solos podem apresentar limites mais nítidos ou mais difusos. Sabe também que a natureza do solo é contínua e raramente muda de forma abrupta. Entretanto, é forçado pela escala e pelo sistema taxonômico a arbitrar limites e individualizar no mapa unidades que espacialmente contêm solos que são distintos ou que são constituídas por solos que apresentam sobreposições e/ou variações mais ou menos discreta de propriedades que localmente determinam variações de comportamento.

A lógica *fuzzy* é usada na modelagem como forma de transpor os limites rígidos concebidos pela representação cartográfica em polígonos. Ela considera as limitações inerentes ao processo artificial de organização taxonômica, e a partir do conhecimento, imprime as incertezas das características dos solos, que não podem ser captadas pela incompletude do nosso conhecimento, diante da complexidade da combinação dos fatores envolvidos. Ela permite variações na modelagem para associar os níveis de incerteza e o peso de um fator, logo pode ser adequada a diferentes circunstâncias com resultados que diferem em função da base de dados ambientais utilizada e da expertise do pedólogo. Implica na concepção de uma nova forma de visualização cartográfica da cobertura pedológica, onde há indicação de zonas de transição entre classes. Estas zonas são áreas com variações de propriedades muito amplas, onde coexistem características de classes diferentes de solos.

No mapa digital de solo predito, zonas de transição foram delineadas como forma de representar a intercambialidade, que é o parâmetro espacial dominante das propriedades dos solos. Estas zonas são propostas como forma de expressão mais realista do comportamento da cobertura pedológica. A concepção de faixas flexibiliza os limites no processo de individualização das classes e representa os solos de modo mais compatível com a forma que interagem na natureza. É também uma maneira de expressar a dificuldade de estabelecer o padrão de ocorrência de classes em seções específicas do ambiente, onde a variação dos fatores envolvidos é complexa e não possibilita em uma determinada escala, ou, com os dados existentes a distinção de classes por limites mais precisos. A espessura das faixas dimensiona a amplitude de variação das propriedades dos solos nas zonas de transição. Ou seja, para espaços mais centrais dentro das unidades de mapeamento, a classe nominada é considerada homogênea. Porém, à medida que nos afastamos deste espaço e caminhamos em direção ao centro de classes vizinhas, a amplitude de variação das propriedades interclasses pode ser expressa a partir de um determinado ponto, por zonas de transição, mais largas ou mais estreitas, indicativas de variações mais bruscas ou mais discretas (limites mais claros ou mais difusos entre classes). Essa informação, expressa no mapa, pode ser usada para indicar o comportamento diferenciado do solo, frequentemente observado em campo, quando submetido ao uso dentro de unidades tidas a princípio como “homogêneas” e, auxiliar a tomada de decisão, implicando em usos e/ou manejos diferenciados para essas zonas.

O MDS, produto da modelagem com as unidades de mapeamento, subgrupos aos quais estão relacionadas, as descrições dos atributos e as zonas de transição indicadas estão descritas no próximo item.

4.3 Mapa Digital de Solos

As unidades de mapeamento preditas para a área (Figura 34) estão relacionadas principalmente ao material parental de origem sedimentar. Os solos identificados possuem baixa saturação por bases, portanto baixa fertilidade natural. O clima tropical e a intensa utilização agrícola, bem como o manejo a qual foram e estão submetidas as terras, acentuam essa característica e determinam processos erosivos com empobrecimento químico e remoção de partículas, principalmente nos horizontes superficiais.

A descrição e as análises das observações de campo encontram-se no Anexo C e D. Durante os trabalhos de campo, principalmente na classe dos Argissolos Amarelos e Vermelho - Amarelos situados em relevo movimentado constatou-se perda significativa do horizonte superficial, na forma de transporte lateral, com decapitação parcial do horizonte, o que dificultou a caracterização do gradiente textural, atributo essencial para enquadramento na classe dos Argissolos. Por esta razão para a área de estudo, apesar da maioria dos perfis analisados não apresentarem relação textural satisfatória, optou-se pelo seu enquadramento na classe dos Argissolos, com indicação de fase erodida. As evidências morfológicas e ambientais indicam que a pedogênese ocorreu nesta direção. Para reforçar esta interpretação, alguns perfis mais preservados foram encontrados e apresentaram gradiente textural satisfatório, ou próximo dos valores preconizados no sistema taxonômico (Anexo D).

Os solos analisados possuem saturação por alumínio trocável maior que 50% e um teor de alumínio extraível maior que 0,5 cmol_c/kg, logo classificados como álicos, uma característica evidenciada no 5º nível categórico do SiBCS (EMBRAPA, 2006), que afeta de forma prejudicial à produtividade da maioria das culturas. Como em partes da área ainda são feitas correções e adubações constantes (relacionadas a lavoura de cana-de-açúcar), pontualmente esses valores estão abaixo do requisitado. Porém, este atributo restritivo foi sistematicamente incluído na descrição das classes de solos.

A descrição das unidades de mapeamento é apresentada a seguir:

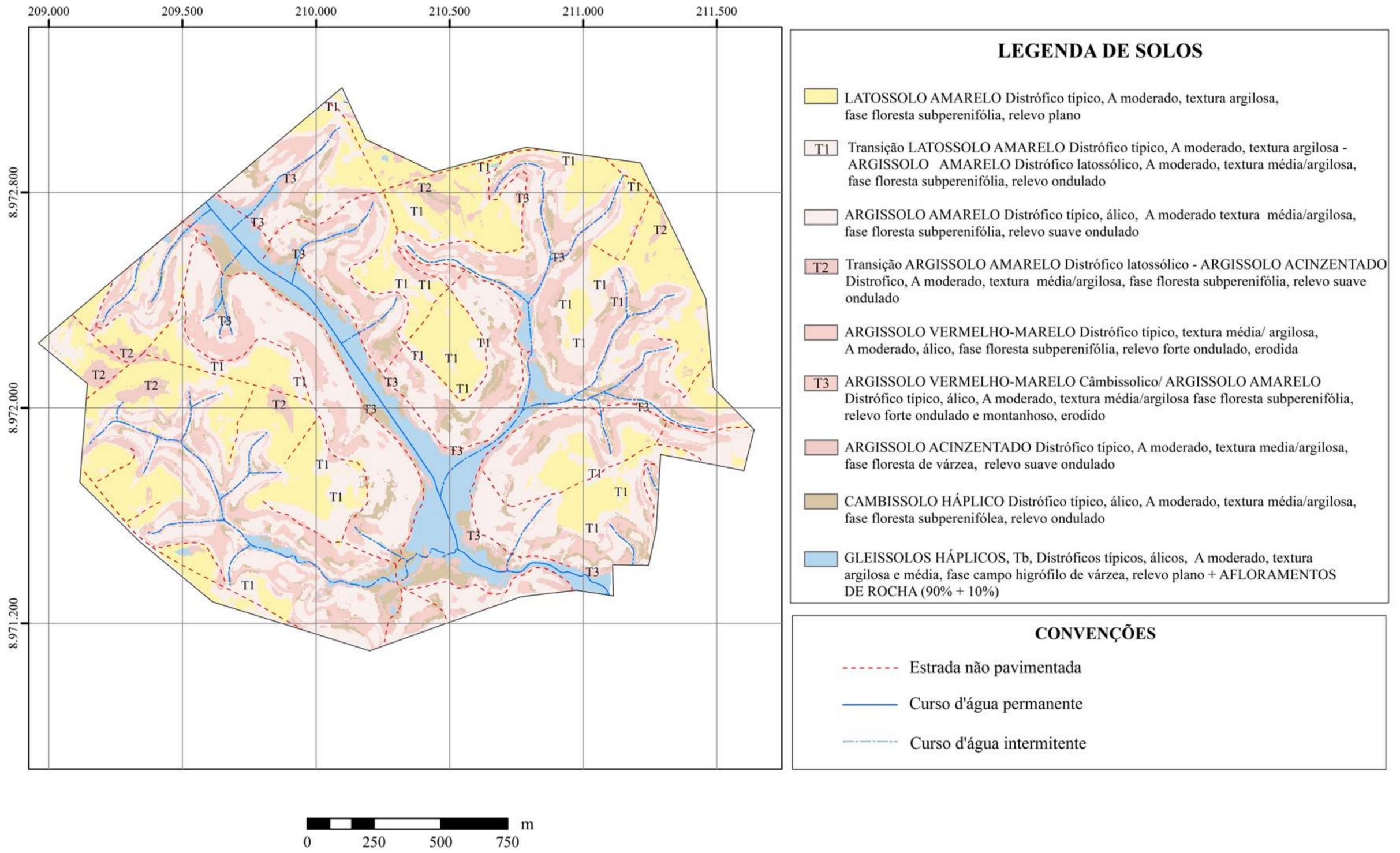
Latossolo Amarelo Distrófico típico (LAd)

Possuem horizonte A moderado, textura argilosa e ocorrem nos topos aplainadas e nos terços superiores onde sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras. Na transição entre o topo e o terço superior e onde há mudança gradual do relevo de plano para suave ondulado, bem como no topo das colinas onde pequenas depressões concorrem para processos de podzolização localizados, a modelagem indicou a coocorrência de LAd/PAd. Portanto, na modelagem foi interpretada e identificada como uma zona de transição. Diversos estudos realizados em áreas de tabuleiros costeiros e interioranos (SILVA et al., 2012; LIMA-NETO et al. 2009; MOREAU et al., 2006, RIBEIRO, 1991), evidenciam a possibilidade de ocorrência tanto de solos intergrades, quanto de PAd e Espodossolos, associadas a depressões fechadas. (Perfis 0, 8, 9, 10 e 19 do Anexo D).

Argissolos Amarelos Distróficos típicos (PAd)

Os solos dessa unidade apresentam horizonte A moderado, são profundos e com textura média/argilosa. São álicos e possuem baixa atividade de argila. Distribuem-se nos terços médios das vertentes nas classes de relevo suave ondulado e ondulado. São desenvolvidos a partir da pedogênese de sedimentos detríticos argilo-arenosos de origem colúvio-eluvionar (coberturas) e de sedimentos do Grupo Barreiras (Perfis 1, 2, 5, 6, 7, 14, 15 e 16 do Anexo D).

MAPA DIGITAL DE SOLOS DOS ASSENTAMENTOS SILVIO VIANA E DUAS BARRAS II - SÃO LUIS DO QUITUNDE - AL



0 250 500 750 m

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000 Zona 25S

Figura 34. Mapa Digital de Solos obtido por modelagem sob inferência fuzzy da área de estudo no município de São Luís do Quitunde – AL.

Argissolos Vermelho Amarelos Distróficos típicos (PVAd)

No quarto nível categórico foram identificados na área; os subgrupos típico e cambissólicos (com horizonte B incipiente em evolução para horizonte B textural, expresso por contribuição de material descontínuo subjacente). Esses solos são profundos com atividade de argila baixa, horizonte superficial A do tipo moderado, álicos e com textura média/argilosa. Na área a sua ocorrência está associada a pedogênese de feições de cores avermelhadas relacionadas aos sedimentos do Grupo Barreiras e a rochas do embasamento cristalino (Complexo Nicolau – Campo Grande e Suíte Intrusiva Itaporonga). São em geral profundos e se distribuem em relevo forte ondulado a montanhoso, principalmente no terço médio de vertentes com declives acentuados (Perfis 11 e 13 do Anexo D).

A modelagem indicou para setores relacionadas a cabeceiras de drenagem (anfiteatros), com declividade superior a 35% coocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos, Podzolicos Amarelos e Cambissolos (PAVd/PAd/CXbd). Em alguns trechos onde a dissecação é intensa, foi possível perceber que alterações de rochas do embasamento sotopostas aos sedimentos do Grupo Barreiras mostravam discordância de material e indicavam a presença do caráter cambissólico. De forma esparsa e pontual foram também identificados afloramentos de rocha (blocos e matacões). Como o padrão de ocorrência era confuso optou-se por caracterizar estas áreas como zona de transição associada ao PVAd cambissólico, descrito em perfil preexistente (Perfil 3). As observações de campo, em função da dificuldade de acesso relacionada ao relevo e a presença de mata fechada, não foram suficientes para afirmar a existência de amplitude de variações dentro desta unidade que indicassem uma individualização.

Argissolos Acinzentados Distróficos típicos (PAcd)

Associados a pedogênese de sedimentos areno-argilosos, do Grupo Barreiras, estes solos localmente possuem influência de sedimentos aluviais. Na área o horizonte superficial é do tipo A moderado e a textura média/argilosa (Perfis 17 do Anexo D).

A inferência *fuzzy* indicou coocorrência de classes. Entre os terços médio e inferior das encostas onde o relevo é suave ondulado, em alguns setores, uma faixa foi delineada indicando a transição do PAd para o PAcd. Em campo, nas áreas investigadas, não foi possível vislumbrar mudança clara entre as classes e a possibilidade de ocorrência de solos intergrades, ou seja, com maior ou menor predominância de características de uma das classes.

Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (CXbd)

Na área estes solos possuem horizonte A moderado e ocorrem particularmente associados à pedogênese de sedimentos de cores avermelhadas das Coberturas Cenozóicas detriticas argilo-arenosas de origem colúvio-aluviais e das rochas do embasamento cristalino (Complexo Nicolau – Campo Grande e Suíte Intrusiva Itaporonga). Com textura argilosa se distribuem nos terços médio e inferior das encostas, em relevo ondulado a montanhoso (Perfis 4 e 12 do Anexo D).

Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (GXbd)

Ocorrem associados a sedimentos recentes colúvio-aluviais, retrabalhados, oriundos das partes mais altas da paisagem e do transporte fluvial. O horizonte superficial A na área é do tipo moderado, com textura argilosa e muito argilosa. Estão localizados nas várzeas e terraços das drenagens em relevo plano onde predominam formas côncavas planas e convergentes, sob forte influência de oscilação do lençol freático. Localmente são álicos,

possuem baixa fertilidade natural e seu uso é limitado em função de estarem sujeitos a inundações constantes no período das águas. Nos vales mais fundos e estreitos eventualmente afloramentos de rocha podem ser observados (Perfis 18 e 20 do Anexo D).

4.3.1 Validação do mapa de solos digital predito

Para avaliação comparativa entre o mapa digital e o mapa convencional obteve-se a matriz de confusão através da ferramenta Tabulate Area da extensão Spatial Analys - ArcGIS 9,3. Os mapas por esta ferramenta foram sobrepostos e a correlação foi considerada positiva sempre que a classe predita ocorria dentro do polígono da unidade de mapeamento convencional no qual ela estava inserida (como associação ou inclusão).

Para validação foram usadas as informações relacionadas aos 21 perfis de solo do INCRA (2009) e 50 observações complementares de campo (Figura 35 e 36).

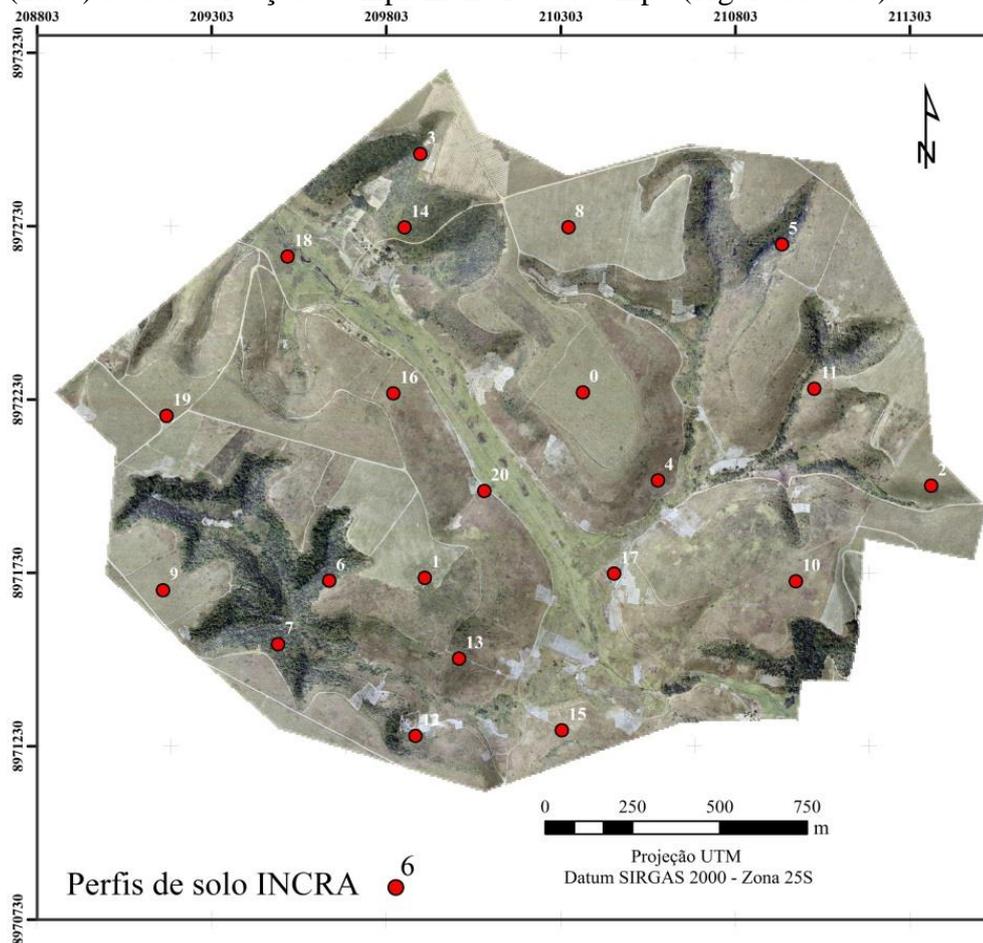


Figura 35. Localização dos perfis preexistentes da área de estudo no município de São Luís do Quitunde – AL (INCRA, 2009).

Em campo as tradagens foram realizadas em pontos com intervalos irregulares de 200 a 600 m definidos em função das variações de relevo observadas no MDE. Entretanto, durante a prospecção para permitir uma melhor correlação com mapa digital de solos a ser predito, alguns pontos foram realocados para registrar as variações dos solos ao longo de toposequências.

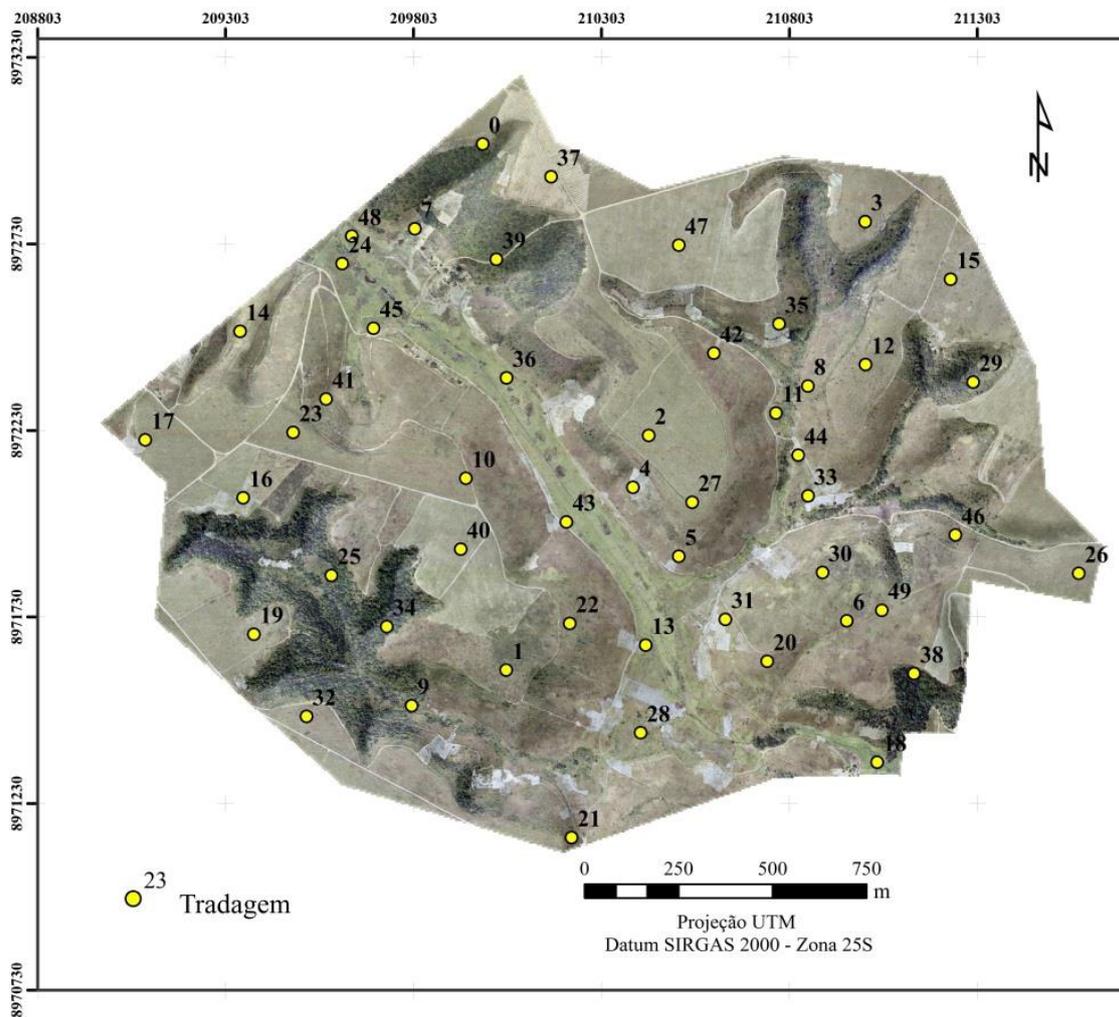


Figura 36. Localização das tradagens realizadas na área de estudo no município de São Luís do Quitunde –AL

Para analisar estatisticamente a confiabilidade dos dados foram utilizados a Matriz de Confusão ou Erro, a exatidão global e o índice de *Kappa* (Cohen, 1960; Pontius, 2000). A concordância foi avaliada confrontando o mapa predito e os pontos de amostragem em campo e, o mapa predito e o mapa convencional de solos preexistente. A comparação entre cada mapa estimado e o mapa de referência foi efetuada com a rotina arcMap, que executa uma análise de tabulação cruzada entre mapas matriciais contendo variáveis categóricas. O resultado é uma tabela completa de classificação cruzada, chamada de matriz de erro, acompanhada de uma estatística Chi quadrado (χ), e do respectivo nível de significância, além do índice *Kappa*.

4.3.2 Comparação entre o mapa digital e o mapa convencional de solos

A fidedignidade das classes preditas no mapa digital de solos foi aferida, através do cruzamento, por correspondência espacial com as informações contidas no mapa de solo convencional (Figura 37).

A correlação foi considerada positiva quando classes de solo especializadas no mapa predito, porém não delineadas no mapa convencional, estavam contidas dentro do polígono das unidades de referência do mapa convencional nas unidades dos Argissolos Acinzentados -

PAd e Argissolos Amarelos – PAd7 (unidades de mapeamento do tipo associação no mapa clássico).

Com os dados da matriz de confusão gerou-se o índice *Kappa* para expressar o grau de concordância entre o mapa estimado e o mapa de referência, após a concordância devido ao acaso ter sido eliminada.

A Tabela 7 apresenta os erros de omissão e de comissão para as classes. Na comparação a exatidão global encontrada foi de 81,2% de e o índice de *Kappa* 0,696 - valor considerado como muito bom pela escala de concordância de Landis & Koch, (1977). Os resultados mostram que a modelagem com dados de atributos em escala maior e a combinação de regras de conhecimento possibilitaram a desagregação de classes e a individualização, no cômputo geral, dentro do domínio espacial da unidade de mapeamento de referência.

Sarmento, (2010), Hempel et al. (2008), MacMillan (2008) e Zhu (2000) relatam que a seleção das variáveis usadas no modelo e o grau das combinações estabelecidas através de uma análise pixel a pixel da área mapeada possibilitam a espacialização de classes agregadas (generalizadas) e a produção de mapas mais detalhados.

Em seu trabalho Nolasco-Carvalho (2006), ressalta a importância do uso das informações vinculadas a MDE de maior resolução espacial. Elas possibilitam, na modelagem, o refinamento da escala e o delineamento no mapa predito de classes que não estavam espacializadas no mapa convencional.

Tabela 7. Matriz de confusão: correlação espacial entre o mapa digital e o convencional.

		Referência			Total	Omissão	E. U*
		LAd	PAcd	PAd			
Estimado	LAd	975725	3800	96900	1076425	0,09	90,64
	PAcd	16050	396400	121625	534075	0,74	74,22
	PAd	310550	28925	1121500	1460975	0,77	6,76
Total		1302325	429125	1340025	3071475		
Comissão		25,08	7,63	0,16		E. G*.	81,2%
E. M.*		75%	92%	84%		Índice de Kappa	0,696

*E.U. - exatidão do usuário; E. M. - exatidão do mapeador; E.G.- exatidão global.

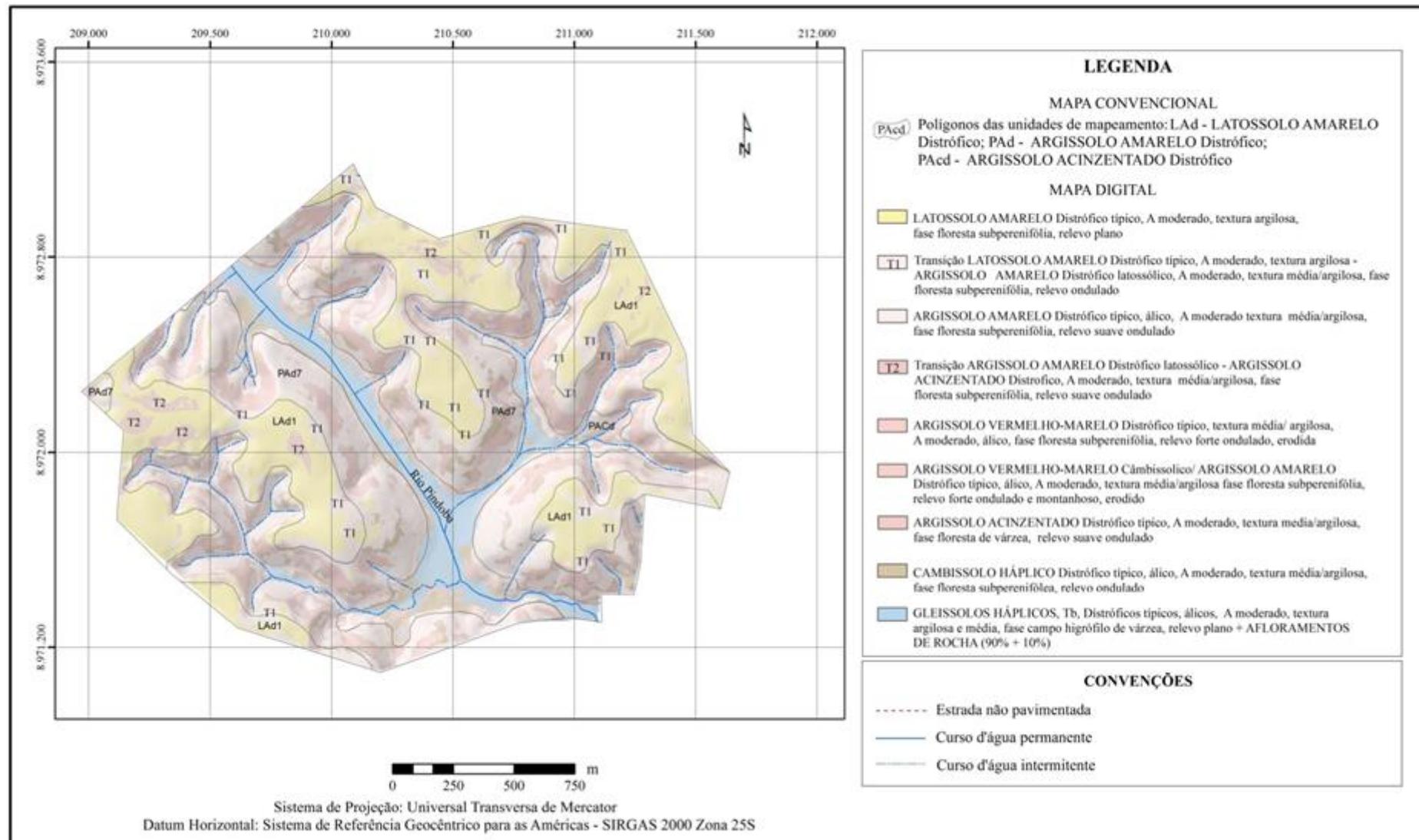


Figura 37. Imagem mostrando a sobreposição dos mapas convencional e digital de solos da área de estudo em São Luís do Quitunde – AL para análise da correlação espacial entre as classes de solo.

4.3.2 Validação do mapa digital com informações de campo

A concordância foi avaliada confrontando o mapa predito, com pontos de amostragem em campo, e, os perfis preexistentes.

A medida de precisão entre os dois mapas foi obtida através da matriz de erros de onde foram derivados a exatidão global e o índice de *Kappa* (COHEN, 1960).

A avaliação de acurácia mostrou que o conjunto de variáveis utilizado foi adequado, uma vez que a exatidão geral e o índice *Kappa* encontrados situam-se em patamares considerados muito bons. Como o relevo é o fator preponderante na área de estudo, variáveis que representam bem a forma e energia do relevo tendem a funcionar como boas preditoras dos tipos de solos. Assim, como destacado por Rossiter (2004), o fato de aproveitar o conhecimento de especialistas com experiência local (NOLASCO, 2006; FLORES et al., 2007; SARMENTO et al., 2008; NOLASCO et al., 2009) para a seleção de variáveis que caracterizam as forças dominantes de formação dos solos da área, também colabora neste sentido.

Os dados das informações relacionadas aos 21 perfis de solo do INCRA (2009) e das 50 observações complementares de campo foram cruzados gerando a matriz de correlação da Tabela 8. Cientes de que as tradagens não chegaram a profundidades maiores que 60 cm, para não maximizar os resultados na demonstração de equivalência entre as classes espacializadas e os dados das observações de campo, a correlação foi considerada negativa para as zonas de transição, quando na descrição do perfil ou da tradagem relacionadas ao ponto não havia informação descritiva da presença de caráter transicional.

Tabela 8. Matriz de confusão - correlação entre o mapa digital e as observações de campo

	Campo						Total	Omissã o	E.U*.	
	PA									
	LAd	d	PVAd	PAcd	CXbd	GXbd				
Predito	LAd	15	1	-	-	-	-	6	6,25	1,13
	LAd/PAAd	3	4	-	-	-	-	7	-	-
	PAAd	-	11	-	-	-	-	11	0	100
	PVAd	-	2	10	-	-	-	12	16,67	83,33
	PVAd/PAAd cam	-	3	1	-	-	-	4	-	-
	PAcd	-	-	-	4	-	3	7	42,86	57,14
	PAcd/PAAd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PAcd/GXbd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CXbd	-	1	-	-	4	-	5	20	80
	GXbd	-	-	-	-	-	9	9	0	100
	Total	18	22	11	4	4	12	71		
	Comissão	16,67	50	9,09	0	0	25	E.G.		74,65%
	E.M.*	83,33	50	90,91	100	100	75	Índice de Kappa		0,705

*E.U. - exatidão do usuário; E. M. - exatidão do mapeador; E.G.- exatidão global.

Pela matriz de confusão houve uma inclusão de 42,86% do PAcd na classe à qual ele não pertence (GXbd). Ao examinarmos o conjunto de regras elaboradas pelos especialistas percebemos que os intervalos de valores estabelecidos para a classe dos Argissolos Acinzentados e Gleissolos no parâmetro declividade são iguais e que o índice de umidade constitui um parâmetro diferencial para os Gleissolos. Esse fato aponta a necessidade de uma

análise minuciosa no processo de escolha dos operadores usados no processo de integração dos mapas *fuzzy* de atributos para as classes de solo. Essa é uma etapa que antecede a geração do mapa de possibilidades de ocorrência das classes. Assim, se o parâmetro dominante na definição da classe de solo não for identificado e utilizado de forma eficiente, o mapa de possibilidades para a classe de solo não vai maximizar os locais de ocorrência da classe e evidenciar o seu delineamento na modelagem. Partindo desse princípio, o uso de um operador mais flexível para gerar o mapa de possibilidades do Gleissolo, pode ter promovido à inclusão dos Argissolos na classe do Gleissolo no processo de modelagem final. Porém, ressaltamos que os pontos relacionados às inclusões de Argissolos Acinzentados no Gleissolo, no mapa predito, estão localizados justamente em zona de transição (Figura 38).

Para os Argissolos Amarelos obteve-se 50% de comissão, o que significa dizer que na modelagem metade da predição para esses solos os excluiu da classe a qual pertence. Porém, os pontos considerados excludentes também estão localizados em zonas de transição, logo apontam a possibilidade de ocorrência desta classe.

As classes preditas no mapa digital de solos foram aferidas pelo cruzamento com as informações de campo e obtiveram uma acurácia de 74,65%.

O objetivo da modelagem computacional em ciências do solo é desenvolver modelos baseados no mundo real. As informações dos solos no mapa digital predito são resultantes do tratamento quali-quantitativo dos dados, através do uso de funções e de operadores *fuzzy*, que possibilitaram a indexação (agregação) de conhecimento (científico e tácito). O modelo metodológico proposto captou a estrutura de raciocínio do pedólogo e representou a distribuição espacial e a variação dos solos na paisagem de forma adequada e com resultados considerados muito bons pelo índice de Kappa (0,705).

No entanto, ao se desenvolver um modelo representativo do mundo real com métodos *fuzzy*, é importante dotar os dados de informações. Logo o conhecimento de pedólogos é fundamental na proposição de funções e operadores para a modelagem, que é por sua vez influenciada pela experiência e grau de conhecimento do especialista em solos. Portanto, esse conhecimento e a qualidade dos dados ambientais de maior escala, quando associados, podem determinar a maior ou menor “proximidade” do modelo de distribuição de solos proposto com o existente na cobertura pedológica da área mapeada e possibilitar o refinamento da escala.

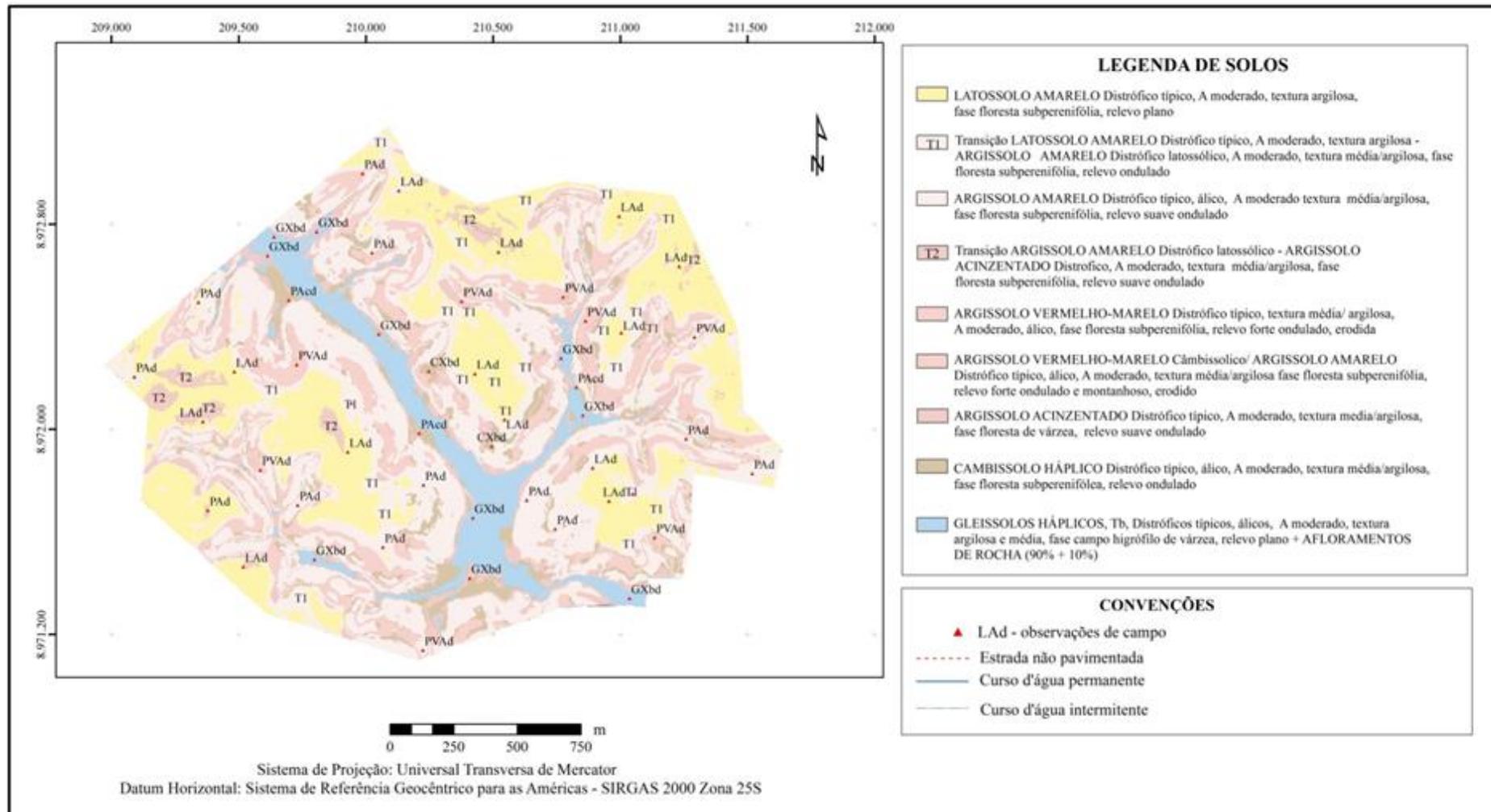


Figura 38. Pontos de observação de campo x pontos do mapa digital de solos na área de estudo em São Luís do Quitunde, mostrando a ocorrência de inclusões de Pacd e as exclusões de PAd em zonas de transição.

4. 4 Definição da Escala do Mapa

Conduzido por novas tecnologias o MDS emerge da Ciência do Solo provocando a mutação do modelo conceitual qualitativo usado para retratar a distribuição dos solos na paisagem para o modelo quantitativo. A necessidade crescente de atender a demanda por levantamentos de solos mais detalhados leva os especialistas a se debruçarem em pesquisas que buscam estabelecer um protocolo de procedimentos técnicos (ZHU, 1997; SHI et al., 2004; GRAY et al., 2009). Essa é uma tarefa desafiadora diante da complexidade do sistema solo que, em função de pequenas variações do ambiente, replica processos que operam em uma escala de tempo muito menor, e determinam portanto, variações locais nas características do solo. Para enfrentar esse desafio o conhecimento acumulado pela pedologia convencional e por pedólogos experientes é insubstituível, portanto, inerente ao processo de elaboração do modelo quantitativo e a ele, imprime qualidade.

Mas enquanto mapa temático, as técnicas de MDS devem considerar o raciocínio espacial (objeto de estudo da cartografia), e, portanto as evidências advindas da ciência cognitiva no tocante à percepção humana que auxiliam na geração de mapas adequados a um determinado público (MACEACHREN, 1995), e a níveis de decisões. Como a cartografia digital é ainda muito recente, não há um padrão aceito pela comunidade científica com normas para produção de mapas digitais de solos (HEMPEL et al., 2008). Assim, o MDS segue pesquisando variáveis, propondo métodos com indicações de precisão e confiabilidade que transmitam informações espaciais mais adequadas aos programas de desenvolvimento local.

A dificuldade do MDS em estabelecer protocolos decorre da transversalidade dos conhecimentos exigidos para a concepção dos mapas, da complexidade da interação das variáveis ambientais, da escala que está relacionada com a quantidade e qualidade das informações produzidas, do formato que é função das características do leitor que decodificará posteriormente o mapa e, no caso de mapas de classificação, dos limites rígidos que o sistema taxonômico impõe. O que se busca não é somente representar os solos e suas características, mas tornar esta representação legível e passível de exploração pelo usuário.

Nesse sentido, procedeu-se a análise de alguns critérios recomendados para levantamento de solos e apontados em estudos de MDS, para determinar a escala mais adequada ao produto metodológico. Inicialmente é preciso considerar que a combinação e análise das variáveis preditoras em modelagens SIG para predição de solos é executada pixel a pixel, logo são as dimensões deste, que a princípio definem a menor unidade de mapeamento. Percebe-se então, que a expressão espacial em mapas digitais de solo difere da usada na cartografia convencional (BISHOP et al., 2001), logo o conceito de escala é mais difícil de ser estabelecido e melhor definido por resolução e espaçamento (MCBRATNEY et al., 2003).

Dentro das perspectivas cartográficas atuais, para definição da escala de representação espacial é preciso considerar a incorporação de métodos e técnicas computacionais e a inter-relação do banco de dados usados para a construção dos mapas. Partindo dessa premissa, procedeu-se a análise conjugada, embasada no tamanho do pixel e nas resoluções para mapas digitais sugeridas por McBratney et al. (2003) (Tabela 9), na frequência de amostragem e no conceito de área mínima mapeável para indicar a escala do mapa digital de solos.

Para o pixel de 5m, usado nesta modelagem, a escala sugerida para o mapa de solos predito é de 1:5.000 ou maior e a área mínima mapeável de 90m².

Segundos as normas preconizadas para levantamentos de solos (EMBRAPA, 1995), para as escalas de detalhe são exigidos uma frequência de amostragem de 0,2 a 4 observações / ha e para caracterização dos solos em escalas de 1:4 000 a 1:10 000, um (1) perfil completo a cada 29 ha e uma amostra extra.

Tabela 9. Sugestão de resolução para o mapa de solo digital com pixel de 5 m (extraída e adaptada de McBratney et al., 2003)

Tamanho do Pixel	Área mínima Mapeável*	Resolução espacial nominal	Extensão**	Escala cartográfica
5 m	30x30m =90 m ²	10 x 10m	0,5 – 50km	1: 5.000

* (0,6 x 0,6 cm); ** calculado com um mínimo de 100 e o máximo de 10.000 pixels

Neste estudo foram realizadas 71 observações (considerando 21 perfis completos e 50 tradagens), para uma área mapeada de 358,8 ha. O total de observações efetuadas representa o limite mínimo de 0,2 observações / ha recomendado. A relação perfil completo seria de 1 a cada 17 ha (21 perfis), e a densidade de pontos extras (50), corresponde a 2,3 vezes a quantidade sugerida.

Ao se proceder a modelagem as variáveis selecionadas são aplicadas uniformemente sobre toda a área a ser mapeada. Isso por um lado é positivo, pois locais frequentemente inacessíveis durante o trabalho de campo podem ter suas relações solo-paisagem inferidas a partir de observações feitas em outros locais. Por outro lado, pode conduzir a resultados superestimados, justamente por não ser possível durante o processo de validação de campo, conferir se as variáveis usadas na modelagem possuem realmente correlação com a “verdade de campo” e se a classe predita corresponde as existentes nestes locais.

Observações de campo pós-modelagem para checar algumas áreas delineadas no MDS poderiam consolidar os resultados e o grau de acurácia encontrados. Portanto com base nos dados utilizados; no fato de que a expressão mais realista dos resultados exige observações direcionadas a pontos específicos, e que para indicar de forma criteriosa uma escala de ultradetalhe seria necessário usar uma malha de observação menor e mais densa para validação, consideramos definir como produto da metodologia um mapa em escala de 1: 15.000.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto uma metodologia para distribuição espacial de classes de solo com refinamento de escala. O raciocínio é inerente à cartografia e as evidências advindas do processo cognitivo de pedólogos agregados a informações ambientais auxiliaram a geração de mapa com ampliação de escala para a área testada.

O MDS obtido pelo procedimento metodológico usando inferência *fuzzy*, quando confrontado com o mapa convencional, apresentou correlação espacial de 81,2% entre as classes desagregadas e as unidades de mapeamento na qual elas estavam inseridas. Quando confrontado com as observações de campo o MDS encontrou correlação espacial de 74,65%.

Os atributos (declividade, umidade, geformas e geologia), combinados por graus de possibilidade, associadas por regras de conhecimento arbitradas exclusivamente pelo conhecimento (científicos e tácitos) de pedólogos, mostraram ser a inferência sob lógica *fuzzy* uma ferramenta capaz de extrair informação de dados preexistentes (mapas legados, perfis existentes, entre outros), de agregar valor a novos dados (MDE) e de ampliar a escala de mapas de solo preexistentes.

A técnica além de possibilitar a expressão da expertise do pedólogo para espacializar solos em locais específicos, permite armazenar as regras de conhecimento e resgatá-las para inferências em ambientes similares.

A modelagem por inferência *fuzzy* espacializa áreas onde há coocorrência de classes - zonas de transição, que compõem unidades de mapeamento com espessura que pode ser reajustadas através de observações direcionadas em campo.

As zonas de transição indicam incertezas onde ocorrem solos intergrades, ou caracterizam unidades de mapeamento complexas onde as relações entre os solos são muito difusas ou complexas e não permitem sua individualização nesta escala de levantamento. São áreas onde existe a possibilidade de individualizar classes em uma escala maior de mapeamento, através de estudo mais detalhados.

Diante do ambiente incerto, quanto a variabilidade espacial das propriedades inerentes a cada tipo de solo, definida pela integração de informações advindas de atributos de relevo (derivadas de curvas com espaçamento de 5 m) e de dados geológicos (1:50.000), associadas pela expertise de pedólogos por inferência *fuzzy*, pode-se afirmar que a técnica possibilitou o refinamento da escala com desagregação de unidades e gerou um novo mapa de solos com representação cartográfica compatível com a de um levantamento em escala de detalhe e adequada a escala de 1:15.000.

Para gestão sustentável do recurso solo a escala obtida representa os limites de possibilidade de fundamentação das decisões. Permite ponderar sobre quais são as expectativas máximas e quais são as limitações das terras, bem como quais usos e práticas podem ser adotadas para controlar processos de degradação, face às incertezas de variações locais, não descritas e não identificadas dentro dessa escala. Isso significa dizer que os resultados das ações concebidas com base nas propriedades relacionadas aos dados das análises químicas e físicas do solo e nas características das classes descritas tendem a ser tão mais efetivas quanto mais próximas estiverem do ponto de observação que gerou a informação.

Sabe-se que levantamentos de solos mais detalhados, exigem muito tempo, trabalho e, em geral, têm custo muito elevado. A produção de mapas detalhados por inferência *fuzzy* é uma metodologia alternativa que possibilita o refinamento da escala de mapa legados através

do resgate do conhecimento de pedólogos experientes, agiliza os trabalhos de campo ainda necessários e essenciais e reduz o tempo do mapeamento.

O método pode ser replicado e deve ser testado em outras áreas, com outros atributos e com regras arbitradas por pedólogos que tenham conhecimento acumulado em levantamentos de solo, porém por ser uma técnica quali-quantitativa é extremamente dependente da expertise do especialista em levantamentos de solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, G. P. de; DEMATTÊ; J. A. M.; CHAGAS, C. da S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:327-338, 2013.
- ASSAD, E. D. **Sistemas de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: [s.n.], 1998. 434p.
- ASSIS SILVA, S. de; SOUZA LIMA, J. S. de. Lógica fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. **Idesia** [online], v.27, n.3, p. 41-46, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292009000300007&script=sci_arttext> Acesso em: 10 ago. 2014.
- BAZAGLIA FILHO, O. C. da S. **Comparação entre mapas de solos obtidos por métodos convencional e digital numa área complexa**. 2012. 190p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesedimplificado/tde_arquivos/25/TDE-2006-11-07T142021Z-64/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 29 maio 2014
- BEN-DOR, E.; CHABRILLAT, S.; DEMATTÊ, J. A. M.; TAYLOR, G. R.; HILL, J.; WHITING, M. L.; SOMMER, S. Using imaging spectroscopy to study soil properties. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, p. 538-555, 2009.
- BENEDIKTSSON, J. A.; SWAIN, P. H.; ERSOY, O. K. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.28, n.4, p. 540- 552. 1990
- BISHOP, T. F. A., MCBRATNEY, A. B., WHELAN, B. M. Measuring the quality of digital soil maps using information criteria. **Geoderma**, v.105, p. 93– 111, 200.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Pergamon, Oxford, 398 p. 1994
- BÖNISCH, S.; LOPES ASSAD, M. L.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Representação e propagação de incertezas em dados de solos. Atributos categóricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 21-32, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a03v28n1.pdf>>. Acesso em 10 março 2013.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **Carta geológica da bacia Sergipe/Alagoas**. Folha SC.25 – V – C – I – 4. São Luís do Quitunde. Escala: 1:50.000. 1975. Convênio Petrobras/ Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Divisão de Geologia.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Pedológica, Embrapa. **Levantamento de Reconhecimento-exploratório de solos do Estado de Alagoas**. Recife, 1975. 532p. (Boletim Técnico, 35).
- BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão**. 1996. 101p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- BROCCA, L.; MORBIDELLI, R.; MELONE, F.; MORAMARCO, T. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology**, v.333, n.1, p.356-373, 2007.
- BUI, E. N. Soil survey as a knowledge system. **Geoderma**, n.120, p.17-26, 2004.

- BURROUGH, P A. Natural objects with indeterminate boundaries. In: Burrough, P, and Frank, A, eds **Geographic Objects with Indeterminate Boundaries**. GISDATA Series, V. 2, p. 3-28 London. 1996.
- BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 40, p. 477-482, 1989.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. *Principles of geographical information Systems*, London, Oxford, 1998. 333p.
- CÂMARA, G; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C. C.; ALMEIDA FILHO, R; BÖNISCH, S. Inferência geográfica e suporte à decisão, In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução a ciência da geoinformação*. 49p. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap9-inferencia.pdf>. Acesso em: 20 nov 2014.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARRÉ, F.; McBRATNEY, A. B.; MAYR, T.; MONTANARELLA, L. Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma*, Amsterdam, v. 142, p. 69 – 79, 2007.
- CARVALHO, C. C. N. de, FRANCA-ROCHA, W. ESPIRITO-SANTO, E. B. Predição de unidades de mapeamento digital de solo usando modelagem sob inferência fuzzy estudo de caso em uma área na região de Mucugê-BA. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: INPE, 2007. p. 305-312.
- CARVALHO, C. C. N. de; CARVALHO, F. N.; ANTUNES, M. H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da Industrialização brasileira à era da informação. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.65, v.5, p. 997-1013, 2013.
- CARVALHO, J. B. de. **Mapas cognitivos baseados em regras difusas: modelação e simulação da dinâmica de sistemas qualitativos**. 2001. 361p. Tese (Doutorado). Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. 2001. Disponível em: <<http://digitais.ist.utl.pt/uke/papers/TeseRB-FCM.pdf>> Acesso em: 4 janeiro 2015
- CARVALHO-JUNIOR, V. de; CHAGAS, C. da; LAGACHERIE, P.; BRAZ CALDERANO-FILHO, B.; BHERING, S. B. Avaliação de modelos estatísticos e geoestatísticos no mapeamento digital de propriedades dos solos, em regiões tropicais montanhosas. *R. Bras. Ci. Solo*, n. 38, p.706-717, 2014.
- CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. 2006. 223p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, 2006. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/25/TDE-2006-11-07T142021Z-64/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 29 mai 2014
- CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; BHERING, S. B. Integração de dados do Quickbird e atributos do terreno no mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 693-704, 2011.
- CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JUNIOR, W. de; PEREIRA, N. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, oeste catarinense, para o cultivo de grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 509-522, 2006

CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, Baltimore, v. 67, p. 81-91, 1949

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. *Sociedade Natureza*, v.25, n.1 Uberlândia, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132013000100012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt> Acessado em: 20 mai 2014

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. 2005. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60 p. (EMBRAPA Milho e Sorgo. Documentos n. 46).

COELHO, F. F. 2010. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25062/000751278.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 abril 2014.

COLEMAN, T. L.; MONTGOMERY, O. L. Assessment of spectral characteristics for differentiating among soil categories in the southeastern United States. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, p.1659-1663, 1990.

CONGALTON, R. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, n.49, p.69-74, 1983.

CONGALTON, R. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, n.10, p.321-328, 2001.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, p. 35-46, 1991

CONGALTON, R.; GREEN, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Lewis Publishers, USA.1999.

COSTA, da A.; RODRIGUEZ, A. G.; e. SIMAS, E. P. L.; ARAÚJO, R. da S. **Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações**, 2003. Disponível em: <http://www.inf.unisinos.br/~cazella/dss/fuzzy_relatorio.pdf#search='alex%20costa%20logica%20fuzzy'>. Acesso em 05 mai 2011.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. de M. Mineração de dados para a inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. *Revista Agropecuária Brasileira*, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009. Disponível em: 479 480 481 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-482-483-484-485204X2009001200021&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 mai. 2012.

DEMATTÊ, J. A. M.; CAMARGO, W.P.; FIORIO, P.R.; NANNI, M. Diferentes produtos do sensoriamento remoto como auxílio no mapeamento de solos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2001. p.1381-1389.

DEMATTÊ, J. A. M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.327-342, 1999.

DEMATTÊ, J. A. M.; GENÚ, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A.; LISSONI, H. C. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto

espectral e pelo método convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p. 1219-1229, 2004.

Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>>. Acesso em: 29 mai 2015.

DOBOS, E.; MICHELI, E.; BAUMGARDNER, M. F.; BIEHL, L.; HELT, T. Use of combined digital elevation model and satellite data for regional soil mapping. **Geoderma**, v.97, p.367-391, 2000. Disponível em : <http://www.uni-miskolc.hu/~ecodobos/cikk.pdf>. Acessado em 7 abr 2013.

EASTMAN, R. J. Idrisi Andes: Guide to GIS and image processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA, 2006.

ELNAGGAR, A. A. Development of Predictive Mapping Techniques for Soil Survey and Salinity Mapping. 2007. Thesis (PhD) - Oregon State University

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro, RJ. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: /SPI. 1995. 101p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro, RJ. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006. 306 p.

FANG, J. H. Fuzzy logic & geology. **Geotimes: News and Trends in the Geoscience**, v. 42, n. 10, p. 23-26, 1997.

FARIAS, M. F. R. **Integração de parâmetros morfométricos e interpretação de imagens orbitais para o auxílio no mapeamento de solos no Parque Nacional de Brasília**. Brasília, 2008. 136p. (Dissertação Gestão ambiental e Territorial) - UNB-GEA.

FIGUEIREDO, S. R.; GIASSON, E.; TORNQUIST, C. G.; NASCIMENTO, P. C. do. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no planalto médio do RS. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 3, n. Especial, p. 2779-2785, 2008.

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Equações Discriminantes para Solos, Utilizando Variáveis Espectrais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, GO, INPE, p. 111-118, 2005.

FRANK, T. D. Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain front range with Landsat Thematic mapper and digital terrain data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, p.1727-1734. 1988.

GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I. Variability of laboratory measured soil lines of soil from southeastern Brazil. **Remote Sens. Environ.**, 6, 166-181, 1998.

GERBERMANN, A.H.; NEHER, D.D. Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, p.1145-1151, 1979.

GIASSON, E.; CLARKE, R. T.; INDA- JUNIOR, A. V.; MERTEN, G. H.; TORNQUIST, C. G. Digital soil mapping using multiple logistic regression on terrain parameters in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v.63, p.262-268, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162006000300008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev 2012.

- GIASSON, E.; SARMENTO, E.C.; WEBER, E.; FLORES, C.A. & HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steeplands. *Sci. Agrí.*, n.68, p. 167- 174, 2011.
- GLINKA, K. D. **The great soil groups of the world and their development.** (Translated from by C.F. Marbut.) Edwards Bros., Ann Arbor, MI. 1927.
- GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. Soil-landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v.26, p.41-45, 2001.
- HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. **MATLAB® 6: Curso completo.** São Paulo: Prentice Hall, 2003. 676p.
- HARRIS, J. Data integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS. **Annals...Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology**, Calgary, Canada, October 2-6. 233-248p., 1989.
- HEMPEL, J.W.; HAMMER, R.D.; MOORE, A.C.; BELL, J.C.; THOMPSON, J.A. & GOLDEN, M.L. Challenges to digital soil mapping. In: **Global workshop on digital soil mapping**, 2, Rio de Janeiro, 2006. Proceedings. Rio de Janeiro, 2006. CD-ROM.
- HUDSON, B.D. The soil survey as paradigm-based science. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 56, p.836–841, 1992.
- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia/IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 300 p. il. (Manuais técnicos em geociências, n.4).
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Manual técnico de geomorfologia/IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em geociências, n.5)
- INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agraria. **Estudos pedoedafoclimáticos no complexo de assentamentos Agrisa, Estado de Alagoas.** Relatório técnico, 2009. Levin Engenharia Levantamentos Inteligentes, 253p. il, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Manual do Spring: Noções de Geoprocessamento. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- IPPOLITI R., G. A.; COSTA, L. M. da; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de Mar de Morros (MG). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.269-276, 2005.
- JENNY, H. **The soil resource: origin and behavior.** Springer-Verlag, New York. 1980. 377p. (Ecological Studies, v.37).
- JENNY, H. E. W. **Hilgard and the birth of modern soil science.** Farallo Publication, Berkeley, CA. 1961.
- JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology.** McGraw-Hill, New York. 1941.
- KATINSKY, M. **Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems.** MsC Thesis. University of Wisconsin-Madson, USA. 1994.

- KLINGEBIEL, A. A.; HORVARTH, E. H.; MOORE, D. G.; REYBOLD, W. U. Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys. Madison: **Soil Science Society of America**. 1987. (SSSA Special Publication, 20).
- KLIR, G.; CLAIR, U. H. St.; YUAN, Bo. Fuzzy Set Theory – Foundations and Applications, Estados Unidos : ed. Prentice Hall, 1997.
- LAGACHERIE, P. **Digital soil mapping**: A state of the art. In: HARTEMINK, A.E.; McBRATNEY, A.B. & MENDONÇA-SANTOS, M. L., eds. Digital soil mapping with limited data. Dordrecht, Springer, 2008, p. 3-14.
- LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M., Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. *Developments in Soil Science*, v. 31, cap.39, Elsevier, Amsterdam, p. 523-541, 2007.
- LANDIM P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didática*, v.2, n.1, p.19-33. 2006 <http://www.ige.unicamp.br/ojs/terraedidatica/article/viewFile/1008/442> Acesso em: 20 setembro 2014.
- LANDIS, J., KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159 – 174, 1977
- LEE, C.C. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, part I and II. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, v. 20, p. 404-435, 1990.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 6 ed., 2007. 724p.
- LIMA-NETO, J. de A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA-JÚNIOR, V. S. de; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. de A. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, n. 4, p. 1001-1011, 2009.
- LIN, Y.; YOU, J.; SHERIF, F.; Zhu, ZHU, A. X.; SHELDON, H.; Burt, J. E.; Qi, F.: Updating Conventional Soil Maps through Digital Soil Mapping. *Soil Science Society of American Journal*, v.75, p.1044-1053, 2011.
- LIU, J.; ZHU, A. Mapping with Words: A New Approach to Automated Digital Soil Survey. *International Journal of Intelligent Systems*, v. 24, p. 293 - 311, 2009.
- LÓPEZ, L. R. Pedologia quantitativa: espectrometria VIS-NIR-SWIR e mapeamento digital de solos. Dissertação ESALQ/USP, Piracicaba. 171p., il. 2009. Disponível em: http://www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/dissertacao/2007_07_20_kraemer.pds. Acesso em 3 jun 2014.
- LOSS, A.; CHAVES, A. C.; BERNINI, T. A.; COUTO, W. H. do; MIGUEL, D. L.; FRANCELINO, M. R.; ANJOS, L. H. C. dos. Aplicação de modelo digital de elevação para o levantamento de solos da microbacia do rio Bengala, Cachoeiras de Macacu, RJ, Brasil. *Revista de Ciencia y Tecnología da América, Interciência*, v. 36, n.2, p. 121-127, fev/2011
- LUNA, S. V. Planejamento de pesquisa: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1998, 108p.
- MACMILLAN, R. A. Experiences with Applied DSM: Protocol, Availability, Quality and Capacity Building. In: HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. (Ed.). *Digital Soil Mapping With Limited Data*. New York: Springer, 2008, p. 113 - 135.

- MALONE, B.P.; McBRATNEY, A.B.; MINASNY, B. Spatial Scaling for digital soil mapping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.77, p.890-902, 2012.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, n.7, v.1, p.1-13. 1975.
- MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.
- MCBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O.A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S.; SHATAR, T. M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**. Amsterdam, v. 97, n. 3-4, p. 293-327, 2000.
- MCKENZIE, N. J., RYAN, P. J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, v.89, p. 67-94, 1999.
- MCKENZIE, N. J.; AUSTIN, M. P. A quantitative Australian approach to medium and small scale surveys based on soil stratigraphy and environmental correlation. **Geoderma** v.57, p.329-355, 1993.
- MEIRELLES, M.S.P. Análise integrada do ambiente através do geoprocessamento: uma proposta metodológica para a elaboração de zoneamentos. UFRJ 1997. Rio de Janeiro, 192p. Tese (Doutorado em Geografia). 1997.
- MELLO, C. R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da Equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.925-933, 2003.
- MELLO, J. M. de; BATISTA, J. L. F.; JÚNIOR, P. J. R.; OLIVEIRA, M. S. de. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis** n. 69, p.25-37, 2005.
- MELO, L. V. de. The use of artificial neural networks in the soil mapping in Bacia do Rio Turvo Sujo - Viçosa MG. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química,) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufv.br/handle/123456789/5473>, Acesso em: 28 jul 2014.
- MENDONÇA-SANTOS M. L.; MANZATTO C.V. Pedologia ou Pedometria? Modelo discreto ou contínuo? Mapeamento tradicional ou digital? **Boletim informativo da SBCS**, v. 32, n. 1, 2007.
- MENDONÇA-SANTOS, M. de L; SANTOS, H. G. dos. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas** / . - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p. (Embrapa Solos. Documentos, n.55)
- MENEZE, P. M. L. de; COELHO NETO, A. L. Escala: estudo de conceitos e aplicações. 6p., In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, CD ROM, 1999. Disponível em:<<http://cartografia.ime.eb.br/artigos/escala1.pdf>> Acesso em: 10 mai 2013.
- MILLER, B.A. The Need to continue improving soil survey maps. **Soil Horiz.**, v. 53, p.14-15, 2012.
- MONTGOMERY, E.G. **Experiments in wheat breeding: experimental error in the nursery and variation in nitrogen and yield**. Washington, DC.: US. Dept. Agric., 1913.

- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSEN, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p. 443-452, 1993.
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v.5, p.3-30, 1991.
- MOREAU, A. M. S. dos S.; KER, J. C.; COSTA, L. M. da; GOMES, F. H. Caracterização de solos de duas toposseqüências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 30, n. 6, 2006.
- MOREIRA, F. R. da S. **Uso e avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas**. 2001. 164p. Dissertação (Mestrado) – INPE. São José dos Campos. 2001. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Moreira-F-R-S-2001/publicacao.pdf>>. Acesso em 05 novembro 2013.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Ed. Com Deus. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.
- MOREIRA, W.H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; COSTA, M.A.T.; FRANCO, H.H.S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura pecuária. **Rev. Bras. de Ciênc. do Solo**, v.36, p.389400, 2012.
- MORRIS, D. K.; STIENHARDT, G. C.; NIELSEN, R. L.; HOSTETTER, W.; HALEY, S.; STRUBEN, G. R. **Using GPS, GIS, and remote sensing as a soil mapping tool**. In: International Conference on Precision Agriculture, 5., Bloomington, 2000. Proceedings. St. Paul, Center for Precision Agriculture, University of Minnesota, 2000. (CD-ROM).
- MUKAIDONO, M. **Fuzzy Logic for beginners**, Singapore: ed. World Scientific, 2001.
- NANNI, M. R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos**. 2000. 366p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- NANNI, M. R., DEMATTÊ J. A. M.; FIORIO, P. R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. **Pesq. Agropec.Bras.**, Brasília, v.39, n.10, p.995-1006, out. 2004
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p. 1031-1038. Viçosa. 2006
- NANNI, M.R.; ROCHA, H.O. da. Delimitação de unidades fisiográficas para estudo de solos através da associação da análise de agrupamentos e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, Viçosa, MG,1995. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1995. p.1651-1653.
- NIELSEN, D. R.; WENDROTH, O. **Spatial temporal statistics: sampling fields soils and their vegetation**. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag, 2003. 398p.
- NISTAL, M. A. I. Criterios para la creacion de um sistema de informação territorial. In: Conferência Latinoamericana sobre informática em geografia. San Jose. **Anais...**, p. 347- 374, 1987.

- NOLASCO-CARVALHO, C. C. J. M. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência *fuzzy*. Monografia (de especialização). Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana - BA. 73 p., 2006.
- NOLASCO-CARVALHO, C. C.; FRANCA-ROCHA, W.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência *fuzzy*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 46-55, 2009. <http://www.agriambi.com.br>.
- ODEH, I. O. A., CHITTLEBOROUGH, D. J., MCBRATNEY, A. B., Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. **Geoderma**, v.49, 1-32, 1991.
- ODEH, I. O. A., MCBRATNEY, A. B., CHITTLEBOROUGH, D. J., Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: application to classification and soil-landform interrelationships. **Soil Science Society of America Journal** 56, 505-516. 1992a.
- ODEH, I. O. A.; MCBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Design of optimal sample spacings for mapping soil using fuzzy-k-means and regionalized variable theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 47, p. 93-122, 1990.
- ODEH, I. O. A.; MCBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regressionkriging. **Geoderma**, Amsterdam, v. 67, p. 215-225, 1995.
- ODEH, I. O. A.; MCBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Fuzzy-c-means and kriging for mapping soil as a continuous system. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1848-1854, 1992b.
- OLIVEIRA, J. B. de. O Emprego da Estatística e da Informática nos trabalhos brasileiros de levantamento de solos, p.3-7. 1978. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do solo – IA**, Campinas, SP v.3 n.1. 1978. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/boletins/V3-N1-02.pdf>>. Acesso em março/2012.
- ORTIZ, G.C.; PIEDADE, S.M.S.; OLIVEIRA, M.C.N. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. 2002. 75p. Dissertação. (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz – USP, Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-21082002-135604/pt-br.php>>. Acesso dezembro. 2014.
- PENNOCK, D. J.; ZEBARTH, B. J.; DE JONG, E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, v.40, p.297-315, 1987.
- PHILLIPS, J.D. Evaluating taxonomic adjacency as a source of soil map uncertainty. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 64, p.391-400, 2013.
- PONTIUS-JR, R. G.; MILLONES, M. Death to *Kappa*: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**,
- PONTIUS, R. G. Quantification Error versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, n.8, p. 1011 - 1016, 2000
- QI, F.; ZHU, A. X. Knowledge discovery from soil maps using inductive learning. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n.8, p. 771 – 795, 2003.
- RIBEIRO, L. P. Primeiras avaliações sobre a gênese dos solos coesos da Região de Cruz das Almas, BA. In: Table ronde sur l'organization et dynamique interne de la couverture pédologique et son importance pour la morfogenèse. **Caen: CNRS**. 1991. 35p.

RICHTER, A. J.; SIMÕES, I. A. **Carta Geológica da Bacia Sergipe Alagoas**. Folha SC25-V-C-I-4 São Luís do Quitunde. Estado da Alagoas. Brasil. Ed. Petrobras / DNPM, Ministério das Minas e Energia: Petrobras. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1975. Colorido. Escala 1:50.000.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1. São Paulo, SP, 1990. **Anais...** São Paulo, SP. 1990. p.1-26.

ROSA, A. S. 2012. Funções de predição espacial de propriedades do solo. 201 p.; il. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ROSA, R. Geomática no Brasil: histórico e perspectivas futuras. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica – GeoFocus (Informes y comentarios)**, n.9, p. 29-40, 2009. Disponível em: http://geofocus.rediris.es/2009/Informe3_2009.pdf Acesso maio. 2015.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n.16, p. 81-90, 2005. Disponível em: http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf. Acesso dezembro. 2014.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento**: Sistema de Informações Geográficas. Uberlândia, EDUFU. 104p. 1996

ROSETTE, A. C. MENEZES, P. M. L. de. ERROS COMUNS NA CARTOGRAFIA TEMÁTICA - Comissão Técnica: Cartografia. 9p. 2003. Disponível em: http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/2003/Erros_Cart_Tematica_2003.pdf. Acesso em: 10 mai 2013.

ROSSITER, D. G. Digital soil resource inventories: status and prospects. *Soil Use and Management*, v. 20, p. 296 – 301, 2004.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. *Ver. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.9, n.4, p. 489- 495, 2005.

SANTOS, H. G. dos; AGLIO, M. L. D.; DART, R. O.; BREFFIN, M. de L. M. S.; SOUZA, J. S. de; MENDONÇA, L. R. Distribuição Espacial dos Níveis de Levantamento de Solos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, Florianópolis, SC, 2013. **Programas e resumos...** Florianópolis, SC: Epagri, SBCS, 2014, v. 2, p.332-334.

SANTOS, G. J. C. Lógica Fuzzy. Monografia (de conclusão do curso). Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC, Ilhéus - BA. 2003. Disponível em: <<http://www.uesc.br/arbels/arquivo/monografias/2003.2/logica-fuzzy.pdf> >. Acesso em 25 abr 2013.

SANTOS, L. A. N. dos. Contribuição da mineração de dados e da otimização heurística para a interpretação dos dados da produção científica brasileira. 114 f.; il. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/7837/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Levi_2011.pdf>. Acesso em 2 abr 2014.

SARMENTO, E. C. **Comparação entre quatro algoritmos de aprendizagem de máquina no mapeamento digital de solos no Vale dos Vinhedos**. Dissertação UFRS, Rio Grande do Sul, 109p., il., 2010. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25977/000756046.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 7 nov. 2013.

SARMENTO, E. C.; GIASSON, E.; WEBER, E. J.; FLORES, C. A.; ROSSITER, D. G.; HASENACK, H. Caracterização de mapas legados de solos: uso de indicadores em mapas com diferentes escalas no Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, v. 38, p.1672-1680, 2014

SAWATZKY, D. L.; RAINES, G. L.; BONHAM-CARTER, G. F.; LOONEY, C. G., 2009, Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm>. Acesso em: 7 jul. 2011.

SELLITTO, M. A. Inteligência Artificial: Uma Aplicação em uma Indústria de Processo Contínuo. Gestão & Produção, v.9, n.3, p.363-376, 2002. Disponível em: <Inteligencia artificial page....<http://www.scielo.br/pdf/gp/v9n3/14574.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

SHI X.; ZHU, A. X.; BURT, J. E.; QI, F.; SIMONSON, D. A Case-based Reasoning Approach to Fuzzy Soil Mapping. Soil Science Society of America Journal, Madison. v. 68, p. 885 – 894, 2004.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas – SP: Ed. da Unicamp, 2003. 236p. il.

SILVA, C. C. da; COELHO; R. M; OLIVEIRA, S. R. de M.; ADAMI, S. F. Mapeamento pedológico digital da folha Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3): treinamento de dados em mapa tradicional e validação de campo. Rev. Bras. Ciênc. Solo; v.37, n.4, p. 846-857; 2013

SILVA, E. A.; SILVA, A. C.; SILVA, I. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; ARAUJO, E. F. de; CARVALHO, S. A.; SILVA, S. H. G.; CURI, N. Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 36, n. 4, 2012.

SILVA, E. da; SILVA; S. H. G., PINTO, L. C.; SILVA, V. A.; MARQUES, J. J. Mapa de solos da Fazenda Muquém/UFLA confeccionado por novas técnicas de mapeamento digital de solos. In... Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 22, 2013, Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG, 2013. 6p. Disponível em: <http://www.apg.ufla.br/resumos/resumo_2013/anais/resumo_6_118_1.pdf>. Acesso em 23 ago. 2014.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação. 3. ed. rev. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. <<http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2014.

SILVA, R. R. da. **Metodologia para mapeamento de solos na escala 1:100.000 usando tecnologias da geoinformação.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação), UFPE, Recife, 2011 Disponível em: <https://www.ufpe.br/lasenso/images/pdf/da%20silva%202011.pdf>. Acesso em: 8 abr 2014.

SILVA, R. R. da; CANDEIAS, A. L. B.; ARAÚJO- FILHO , J. C. de. Utilização da Lógica Fuzzy para mapeamento de solos do município de Petrolândia – PE. . In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba, PR, 2011. **Anais...** Curitiba, PR: SBSR, 2011. p.568-575

SILVA, S. A. de; LIMA, J. S. de S.; SOUZA, G. S. de; OLIVEIRA, R. B. de. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão, IDESA (Chile), v. 26, n 2; p.75-81, 2008. Disponível em:

<http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292008000200010>. Acesso em 20 de jul. 2014

SILVA-JUNIOR, J. F. da; MARQUES-JUNIOR, J.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. de B.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n. 6 p.1690-1703, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832012000600003&script=sci_arttext>. Acesso em: 7 jul. 2014.

SILVA-NETO, J. C. A. da. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. *Geografia (Londrina)*, v. 22, n. 1., p.05-25, jan/abr. 2013 Acesso em 10 jan. de 2015. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/viewFile/12722/14443> Acesso em: 7 jul. 2014.

SILVEIRA, C.T da. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamentos de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais.** 2010. 153p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

SIQUEIRA, J. M.; ROCIO, V. Sistema pericial em PROLOG no diagnóstico do potencial agrícola de solos. In: Congresso Ibérico de Agro-Engenharia, 6, 2011, Évora, Portugal. **Anais...** Évora, Portugal, 2011, p.1-13. Disponível em: <<http://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1900/1/005.pdf>>. Acesso 14 fev. de 2012

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais.** Curitiba, 2008. 114p. (Tese Geologia Ambiental) – UFPR, 2008.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais.** Curitiba, 2008. 114p. (Tese Geologia Ambiental) – UFPR.

SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 449-456, 2008.

SOUSA LIMA, L. A. de; NEUMANN, M. R. B.; REATTO, A.; ROIG, H. L **Mapeamento de Solos: do tradicional ao digital.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 52 p. 2013. (Doc. 316). <http://www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/Geocerrado/PA3_Caracterizaca_de_Solos/Caracterizacao_Pedologica/mapeamento_solos_tradiconal_digital.pdf> Acesso em: 7 jul. 2015.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo relevo. **Ciência Rural**, v.36, p.892836, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**. v.63, n.2, p. 161-168, 2006.

SUMATHI, S. SUREKHA, P. *Computacional intelligence paradigms: theory e applications using MATLAB.* New York: Taylor and Francis Group, 2010.

TANSCHWEIT, R. **Fundamentos da lógica Fuzzy e controle Fuzzy**. [online] Disponível em: < http://www.ica.ele.puc-rio.br/cursos/download/SI-Logica_Control_Fuzzy.pdf>. Acesso em 05 abr 2012a.

TANSCHWEIT, R. **Sistemas Fuzzy**. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 4 Bauru, SP, Minicurso, SP.2003. 35p. Disponível em: <<http://www.ica.ele.puc-rio.br/cursos/download/LN-Sistemas%20Fuzzy.pdf>> Acesso em 05 abr 2012b.

TEN-CATEN, A. **Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informação espacial de solos**. 2011. 106p Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2011. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%20E7%20F5es%20e%20teses/teses/Alexandre%20ten%20Caten%20TESE.pdf>>. Acesso em 29 julho 2012

TEN-CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; GIASSON, E. **Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira**. Ciência Rural, v. 42, n. 11 p. 449-456, Santa Maria, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782012001100013&script=sci_arttext>. Acesso em 29 julho 2015.

TEN-CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R.S. Mapeamento digital de solos através da aplicação de componentes principais em modelos logísticos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: INPE, 2009. p.7677-7684.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VALERIANO, M. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008

VALLADARES, G. S. Geoestatística no mapeamento digital de solos dos tabuleiros costeiros no litoral norte do Estado do Ceará. *Revista Equador (UFPI)*, V.1, n.1, p. 26-43, 2012.

WALSH, S. J. Geographic information systems for natural resource management. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 40, n. 5, p. 202-205, 1985.

WEBSTER, R. Is soil variation random? *Geoderma* v.97, p.149–163, 2000.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, New York, v. 3, p. 1-70, 1984.

WILDING, L. P.; LIN, H. 2006. Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience. *Geoderma*, n. 131, p.257–274.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In:_____ (Ed.). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: Wiley & Sons, 2000, p. 1-27

X. SHI.; LONG, R.; DEKETT, R.; PHILIPPE, J. Integrating Different Types of Knowledge for Digital Soil Mapping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.73, p. 1682-1692, 2009

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility**. **Fuzzy Sets and Systems**.100 Supplement. North-Holland, p. 9-34. 1999. Disponível em: <ftp://148.231.212.8/Backups/CISE/RESPALDO_ARTTESIS/METODOLOGIA/FUZZY_T EORIAS.pdf> Acesso em 04 março 2013

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**. v. 8, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. Fuzzy Logic. *IEEE Computer*, April, p. 83-92, 1988.

ZANARDI, R. P. **Geração de modelo digital de terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas**. 2006. 83p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006 Disponível em: <http://www.ppgsr.ufrgs.br/publicacoes/Dissert_RafaelZanardi.pdf >. Acesso em: 29 maio 2015

ZEILHOFER, P. Modelação do relevo e obtenção de parâmetros fisiográficos na Bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 3, p. 95-109, 2001.

ZHU, A. X. A personal construct-based knowledge acquisition process for natural resource mapping using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, v.13, n.2, p.119–141. 1998b.

ZHU, A. X. A similarity model for representing soil spatial information. *Geoderma*, v.77, p.217–242. 1997a.

1. ZHU, A. X. Fuzzy Inference of soil patterns: Implications for watershed modeling. In: Corwin, D. L.; Loague, K.; Ellsworth, T. R. (ed.) *Application of GIS, Remote Sensing, Geostatistical and Solute Transport Modeling to the Assessment of Nonpoint Source Pollution in the Vadose Zone*. *Geophys. Monogr.* 108, Am. Geophys. Union, Washington, p.135–149. 1998a

ZHU, A. X. Mapping soil landscape as spatial continua: The neural network approach. **Water Resour. Res.**, v.36, p.663–677. 2000

ZHU, A. X. Measuring uncertainty in class assignment for natural resource maps using a similarity model. **Photogrammetric Engineering Remote Sensing**, v.63. p. 1195 –1202. 1997b.

ZHU, A. X. Modeling spatial variation of classification uncertainty under fuzzy logic. In: C. Hunsaker, M.F. Goodchild, M. Friedl, and Case (eds.) *Spatial Uncertainty In Ecology*, Springer, New York, p. 330-350. 2001

ZHU, A. X. **Soil pattern inference using GIS under Fuzzy logic**. Ph.D. Diss., Department of Geography, University of Toronto - Toronto. 177 p. 1994.

ZHU, A. X., BAND, L. E; VERTESSY, R.; DUTTON, B. Deriving soil property using a soil land inference model (SoLIM). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.61, p.523–533. 1997.

ZHU, A. X.; BAND, L. E. A knowledge-based approach to data integration for soil mapping. **Can. J. Remote Sens.**, v.20, p.408–418. 1994.

ZHU, A. X.; BAND, L. E; DUTTON, B.; NIMLOS. T. Automated soil inference under fuzzy logic. **Ecol. Modell**, v.90, p.123–145. 1996.

ZHU, A. X.; HUDSON, B.; BURT, J.; LUBICH, K.; SIMONSON, D. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Science Society of American Journal*, v.65, p.885-894, 2001.

ZHU, A. X.; SCOTT-MACKAY, D, Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. **Journal of Hydrology**, v. 248, p. 54-77, 2001.

ZHU, A. X.; YANG, L.; LI, B.; QIN, C.; ENGLISH, E.; BURT, J. E.; ZHOU, C. Purposive Sampling for Digital Soil Mapping for Areas with Limited Data. In: HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. (Ed.). *Digital Soil Mapping With Limited Data*. New York: Springer, 2008. p. 233 – 245.

7 ANEXOS

ANEXO A

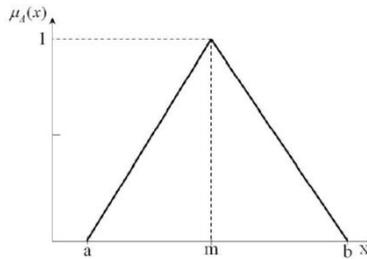
- Funções *fuzzy* mais comuns

Triangular:

Este tipo de função serve para indicar apenas um único ponto de máximo no conjunto. Um número *fuzzy* A é dito de função triangular se sua função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{se } x \in [m, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases}$$

O gráfico da função de pertinência de um número *fuzzy* triangular tem a forma de um triângulo, que tem como base o intervalo $[a, b]$ e como único vértice fora desta base o ponto $(m, 1)$.

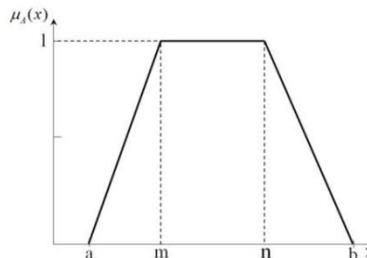


Trapezoidal:

Um número *fuzzy* A é dito de função trapezoidal se sua função de pertinência tem a forma de um trapézio, dada por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases}$$

O gráfico da função de pertinência de um número *fuzzy* trapezoidal tem forma de trapézio, que tem como base o menor intervalo $[m, n]$ e a base maior o intervalo $[a, b]$.

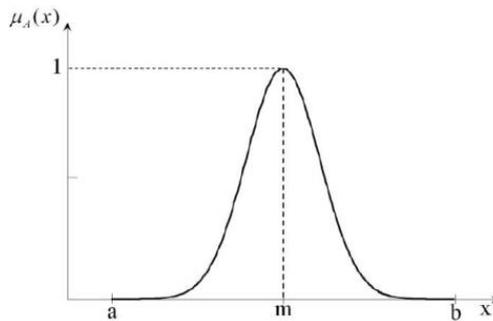


Gaussiana

Um número *fuzzy* A é dito de função gaussiano ou em forma de sino se sua função de pertinência é dada pela equação:

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{\sigma}}$$

sendo σ o desvio padrão.

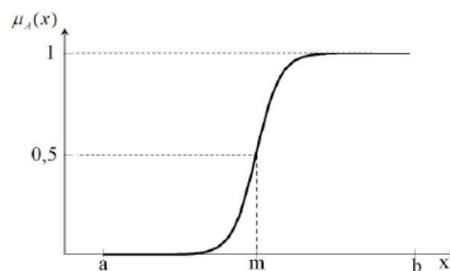


Sigmoidal

Um número *fuzzy* A é dito de sigmoidal se a sua função de pertinência é dada pela equação:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{(x-m)}{\beta}}}$$

Onde β é a inclinação da curva sigmoide. A função pode ser representado conforme a figura abaixo.



ANEXO B

Funções *fuzzy* aplicadas aos mapas de atributos: índice de umidade, geologia e elevação

Unidade de mapeamento	Função Fuzzy		
	Índice de umidade	Geologia	Altitude
Latosolo	Near	pEgn	0,5
	Midpoint / Spread	Tb	1,0
	6 /0,05	pEgr	0,3
Argissolo Amarelo	Near	pEgn	0,4
	Midpoint / Spread	Tb	1
	3 /0,009	pEgr	0,3
Argissolo Vermelho-Amarelo	Near	pEgn	1
	Midpoint / Spread	Tb	0,5
	2 /0,005	pEgr	0,8
Argissolo Acinzentado	Near	pEgn	1
	Midpoint / Spread	Tb	0,9
	6/0,0001	pEgr	0,2
Gleissolo	Near	pEgn	0,2
	Midpoint / Spread	Tb	0,7
	13/0,004	pEgr	0,3
Cambissolo	Gausiana	pEgn	0,8
	Midpoint / Spread	Tb	0,5
	5,2 /0,05	pEgr	0,9

Funções *fuzzy* aplicadas aos mapas de atributos: perfil de curvatura, plano de curvatura e declividade.

Unidade de Mapeamento	Função fuzzy				Declividade
	Perfil de curvatura		Plano de curvatura		
	côncavo/plano/convexo		convergente/retilíneo/divergente		
	-----Old values-----	--News values--	-----Old values-----	--News values--	
Latossolo Amarelo	-2,1899 - -0,32126	0	-2,62094 - -0,75725	0	Gausiana
	-0,32126 - 0,22454	10	-0,75725 - -0,08025	10	Midpoint / Spread
	0,22454 - 1,52638	6	-0,080255 - 1,60399	8	15/8
Argissolo Amarelo	-2,1892 - -0,08703	0	-2,62095 - -0,14467	2	Linear
	-0,08703 - 0,24342	8	-0,14467 - 0,188141	10	0-25
	0,24342 - 1,52638	6	0,188141- 1,603991	4	
Argissolo Vermelho-Amarelo	-2,1899 - -0,08703	3	-2,62095 - 0,07	0	Near
	-0,08703 - 0,24342	7	0,07 - 0,615785	8	Midpoint / Spread
	0,24342 - 1,52638	10	0,615785 - 1,603991	10	37/0,009
Argissolo Acinzentado	-2,18929 - -0,28373	4	-2,62095 - -0,04	5	Small
	-0,28373 - -0,03038	10	-0,04 - 0,027103	10	Midpoint / Spread
	-0,03038- 1,526384	0	0,027103 - 1,140053	2	15/8
Gleissolo	-2,18929 - -0,03096	10	-2,62094 - -0,043392	7	Near
	-0,03096 - 0,18582	6	-0,043392 - 0,179109	9	Midpoint / Spread
	0,18582 - 1,526384	1	0,179109 - 1,603991	8	10/0,09
Cambissolo	-2,18929 - -0,04989	0	-2,62094 - -0,07	3	Near
	-0,04989 - 0,24931	1	-0,07 - 0,07	8	Midpoint / Spread
	0,24931 - 1,60906	2	0,07 - 1,603991	10	2/0,0002

ANEXO C

Descrição morfológica das Tradagens - Datum de referência Sirgas 2000 zona 25S

N.º 1 Coordenadas: 210.051/ 8.972.983

ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/3	franco-argilosa
BA	20-50	10YR5/8	argila

N.º 2 Coordenadas: 210.050/ 8.971.588

ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilosa
Bt1	20-50	10YR5/6	argila

N.º 3 Coordenadas: 210.429/ 8.972.217

LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilosa
Bw1	20-60	10YR5/8	argila

N.º 4 Coordenadas: 211.005/ 8.972.790

LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilosa
BA	20-60	10YR6/8	argila

N.º 5 Coordenadas: 210.335/8.972.062

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR3/1	franco-argilosa
Bi	15-40	10YR5/6	argila

N.º 6 Coordenadas: 210510/8971892

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR4/3	argila
Bi	20-50	7,5YR5/8	argila

N.º 7 Coordenadas: 211.088 / 8.971.682

LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/2	argilo-arenosa
Bw	20-50	10YR5/6	argilo-arenosa

N.º 8	Coordenadas: 209.807/ 8.972.771		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR4/1	argilo-arenosa
C1	15-40	10YR5/3	argila
N.º 9	Coordenadas: 210.870/8.972.333		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
BA	20-50	5YR4/6	franco-argilo-arenosa
N.º 10	Coordenadas: 209.790/ 8.971.484		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR4/1	argilo-arenosa
C1	15-50	10YR5/3	argila
N.º 11	Coordenadas: 209.943/8.972.102		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-10	10YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	10-35	10YR4/6	argilo-arenosa
N.º 12	Coordenadas: 210.768/8.972.277		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-10	10YR3/1	argilo-arenosa
C1	10-40	10YR6/1	argila
N.º 13	Coordenadas: 210.421/8.971.655		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR3/4	argilo-arenosa
C1	15-50	10YR5/1	argila
N.º 14	Coordenadas: 211.006/ 8.972.407		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
Bw2	50-120	10YR7/8	argilo-arenosa
N.º 15	Coordenadas: 211.037/ 8.971.341		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-10	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
C1	10-35	10YR5/1	argilo-arenosa

N.º 16	Coordenadas: 211.147/8.972.874		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-60	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 17	Coordenadas: 211.126/8.972.844		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 18	Coordenadas: 210.173/ 8.971.195		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
BA	20-40	5YR4/6	franco-argilo-arenosa
N.º 19	Coordenadas: 209. 342/8.971.684		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 20	Coordenadas: 209.037/8.972.654		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR4/1	argilo-arenosa
C1	15-50	10YR5/1	argila
N.º 21	Coordenadas: 209.562/8.971.880		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-25	5YR3/1	franco-argilo-arenosa
BA	25-45	5YR4/8	franco-argilo-arenosa
N.º 22	Coordenadas: 209.090/8.972.205		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-60	10YR5/8	argilo-arenosa
N.º 23	Coordenadas: 211.326/ 8.972.374		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	Franco-argilo-arenosa
BA	20-50	5YR4/6	Franco-argilo-arenosa

N.º 24	Coordenadas: 210.717/8.971.572		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-60	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 25	Coordenadas: 209.483/8.972.225		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-45	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 26	Coordenadas: 210.408/8.971.420		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-10	10YR3/2	argilo-arenosa
C1	10-45	10YR6/1	argila
N.º 27	Coordenadas: 210.776/8.972.516		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/1	franco-argilo-arenosa
BA	20-60	5YR4/6	franco-argilo-arenosa
N.º 28	Coordenadas: 209.379/8.971.684		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 29	Coordenadas: 210.545/8.972.038		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-60	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 30	Coordenadas: 210.853/ 8.972.055		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
C1	20-60	10YR5/1	argila
N.º 31	Coordenadas: 210.633/8.971.724		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
BA	20-50	5YR4/6	franco-argilo-arenosa

N.º 32	Coordenadas: 210.874/8.971.850		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 33	Coordenadas: 210.220/ 8.971.713		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-25	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	25-50	10YR5/8	argilo-arenosa
N.º 34	Coordenadas: 209.519/ 8.971.464		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-60	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 35	Coordenadas: 210.051/8.972.371		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-10	10YR4/1	argilo-arenosa
C1	10-45	10YR7/1	argila
N.º 36	Coordenadas: 211.588/ 8.971.888		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-25	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	25-45	10YR5/8	argilo-arenosa
N.º 37	Coordenadas: 211.136/8.971.579		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
BA	20-45	5YR4/8	franco-argilo-arenosa
N.º 38	Coordenadas: 209.640/8.972.751		
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-15	10YR3/1	argilo-arenosa
C1	15-50	10YR4/1	argila
N.º 39	Coordenadas: 209.737/8.971.799		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	10YR5/8	argilo-areno

N.º 40	Coordenadas: 210.475/8.971.206		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	5YR4/8	franco-argilo-arenosa
N.º 42	Coordenadas: 210.027/ 8.972.682		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-40	10YR5/8	argilo-arenosa
N.º 43	Coordenadas: 209.929/8.971.912		
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 44	Coordenadas: 210.591/ 8.972.357		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-45	5YR4/6	franco-argilo-arenosa
N.º 45	Coordenadas: 211.049/8.971.748		
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa
N.º 46	Coordenadas: 210.210/8.971.985		
ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-45	7,5YR6/3	franco-argilo-arenosa
N.º 47	Coordenadas: 210.827/8.972.164		
ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.			
Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-50	7,5YR6/3	argilo-arenosa

N.º 48 Coordenadas: 209.673/ 8.972.512

ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	5YR3/2	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-55	7,5YR5/3	franco-argilo-arenosa

N.º 49 Coordenadas: 211.245/8.971.950

ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/3	franco-argilo-arenosa
Bt1	20-55	10YR5/6	franco-argilo-arenosa

N.º 50 Coordenadas: 210.509/8.972.727

LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Textura
Ap	0-20	10YR3/1	argilo-arenosa
Bw1	20-50	10YR6/8	argilo-arenosa

ANEXO D

Análises químicas das tradagens

Tradagem 1

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹				Cmole kg ⁻¹		Cmole kg ⁻¹		%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
A	0-20	5,6	0,7	0,5	0,12	0,02	1,34	0,6	5	6,34	21	31	2,4	19,35	33,5
BA	20-50	5,1	0,3	0,2	0,05	0,01	0,56	0,7	5	5,56	10	56	1,9	12,4	21,33

Tradagem 2

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹				Cmole kg ⁻¹		Cmole kg ⁻¹		%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5	0,3	0,2	0,12	0,01	0,63	1,9	4,6	5,23	12	74	3,5	14,5	24,9
Bt1	20-50	4,5	0,2	0,1	0,07	0,01	0,38	1,6	5,9	6,18	6	91	1,6	4,1	7,1

Tradagem 3

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹				Cmole kg ⁻¹		Cmole kg ⁻¹		%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	4,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	2,1	6,2	6,56	5	85	4,4	10,8	18,6
Bw1	20-60	4,2	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	2,3	4	4,34	8	87	1,8	2,7	4,6

Tradagem 4

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹				Cmole kg ⁻¹		Cmole kg ⁻¹		%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	6,5	3,9	0,9	0,08	0,04	4,92	0	3	7,92	62	0	4,8	22,3	38,4
BA	20-60	4,9	0,7	0,5	0,05	0,01	1,26	0,9	4,3	5,56	23	42	2,7	9,9	17

Tradagem 5

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-15	5,1	0,3	0,1	0,06	0,01	0,47	0,9	4	4,47	11	66	20,6	9,9	17
Bi	15-40	4,5	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,5	4,6	4,95	7	91	7,7	3,6	6,2

Tradagem 6

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,2	0,5	0,4	0,14	0,02	1,06	0,9	3,7	4,76	22	46	3,4	7,1	12,2
Bi	20-50	4,8	0,4	0,2	0,04	0,01	0,65	1,2	3,7	4,35	15	65	2	1,9	3,1

Tradagem 7

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	4,6	0,3	0,2	0,07	0,02	0,59	1,5	5,9	6,39	9	72	4,5	12	20,6
Bw	20-50	4,4	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,8	5,9	6,15	6	94	2,9	10,6	19,2

Tradagem 8

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-15	4,6	0,2	0,1	0,06	0,01	0,37	1,4	5,8	6,17	6	79	15	12,4	21,3
BA	15-40	4,4	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,8	5,8	6,14	6	84	3,7	9,7	15

Tradagem 9

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
(cm)															
Ap	0-20	5,7	1,3	0,8	0,18	0,04	2,32	0,3	4,3	6,62	35	11	5,9	15,3	26,3
Bt1	20-50	4,9	0,4	0,1	0,07	0,01	0,58	0,5	4,6	5,18	11	46	4,4	12,9	22,2

Tradagem 10

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
(cm)															
Ap	0-15	5,6	1,6	0,5	0,11	0,03	2,24	0,5	4,6	6,84	33	19	37,3	15,5	26,7
C1	15-50	5,1	0,4	0,1	0,05	0,03	0,58	0,9	4	4,58	13	58	21,9	6,4	11

Tradagem 11

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
(cm)															
Ap	0-15	5,8	1,3	1,1	0,16	0,03	2,59	0,3	4,3	6,89	38	10	5,9	15,3	26,3
Bt1	15-45	5,5	0,9	0,6	0,12	0,03	1,65	0,5	4,6	6,25	26	23	4,4	12,9	22,2

Tradagem 12

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
(cm)															
Ap	0-10	5,4	1,3	0,1	0,11	0,02	1,83	0,5	5,4	7,23	25	21	34,4	15,4	26,5
C1	10-40	5,3	0,8	0,4	0,06	0,01	0,97	0,7	4,3	5,27	18	42	23,3	6,2	10,7

Tradagem 13

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-15	6,1	1,2	0,8	0,08	0,05	2,13	0,3	3,7	5,83	37	12	30,5	13,5	23,2
C1	15-50	5,3	0,3	0,1	0,02	0,01	0,436	0,5	2,2	2,63	16	54	5,5	2,0	3,4

Tradagem 14

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,1	0,6	0,4	0,09	0,01	1,1	1,2	6,7	7,9	14	52	3,7	15,3	26,3
Bw1	20-50	4,7	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,2	4,3	4,64	7	78	1,9	6,7	11,5

Tradagem 15

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-10	5,6	1,2	0,2	0,13	0,05	1,58	0,5	4,6	6,18	26	24	36,5	14,7	25,3
C1	10-30	5,4	0,9	0,1	0,06	0,03	1,09	0,8	5	6,09	18	42	24,3	4,3	7,4

Tradagem 16

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,4	0,1	0,3	0,11	0,03	1,44	0,7	4,3	5,74	25	33	34,2	14,3	24,6
Bt1	20-60	5,4	0,8	0,1	0,04	0,02	0,96	0,7	5	5,96	16	42	19,5	3,9	6,5

Tradagem 17

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹	

		(cm)														
Ap	0-20	4,4	0,4	0,1	0,05	0,01	0,56	1,5	6,7	7,26	8	73	3,1	15,1	26	
Bt1	20-50	4,3	0,3	0,1	0,04	0,01	0,45	1,3	5	5,45	8	74	1,9	6	10,3	

Tradagem 18

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.			
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹						%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
	(cm)																
Ap	0-20	5,8	1,6	0,6	0,13	0,02	2,35	0,3	4,3	6,65	35	11	5,6	17,9	30,9		
BA	20-45	5,6	1,4	0,4	0,11	0,02	1,93	0,5	4	5,93	33	21	4,4	15,1	26		

Tradagem 19

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.			
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹						%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
	(cm)																
Ap	0-20	5,6	0,9	0,6	0,23	0,04	1,77	0,7	3,4	5,17	34	29	7,5	12	20,6		
Bt1	20-60	4,8	0,2	0,1	0,06	0,01	0,37	0,9	4,6	4,97	7	71	3,9	2,9	5		

Tradagem 20

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.			
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹						%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
	(cm)																
Ap	0-15	5,6	1,4	0,4	0,12	0,03	1,95	0,4	4,6	6,55	30	17	34,8	15	25,8		
C1	15-50	5,3	0,6	0,1	0,05	0,03	0,78	0,9	4	4,78	16	54	23,8	6,7	11,5		

Tradagem 21

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-25	5,8	1,4	1,2	0,14	0,03	2,77	0,3	4,3	7,07	39	10	4,6	20,3	34,9
BA	25-45	5,8	1,2	1	0,12	0,03	2,35	0,5	4	6,35	37	18	4,4	16,9	29,1

Tradagem 22

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,4	0,7	0,4	0,24	0,04	1,38	0,7	5	6,38	22	34	9	12,6	21,7
Bt1	20-60	4,6	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1	4	4,35	8	74	3,2	3,4	5,8

Tradagem 23

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,8	1,8	1,1	0,19	0,03	3,12	0,2	5	8,12	38	6	5,6	17,8	30,6
Bt1	20-50	5,8	1,7	1	0,14	0,02	2,86	0,3	5	7,86	36	9	5,4	15,9	27,3

Tradagem 24

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,7	1,8	0,3	0,17	0,04	2,31	0,4	4,6	6,91	33	15	34,8	17,8	30,6
Bt1	20-60	5,4	0,9	0,1	0,08	0,03	1,11	0,7	4,6	5,71	19	39	28,4	15,9	27,3

Tradagem 25

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-20	4,9	0,4	0,3	0,11	0,01	0,82	1,2	5	5,82	14	59	8,5	16,5	28,4
Bw	20-50	4,4	0,2	0,1	0,08	0,01	0,39	1	4,3	4,69	8	72	2,7	7,7	13,2

Tradagem 26

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-10	6	1,5	0,3	0,11	0,01	0,82	1,2	5	5,82	14	59	8,5	16,6	28,4
C1	10-45	5,4	0,8	0,1	0,08	0,01	0,39	1	4,3	4,69	8	72	2,7	7,7	13,2

Tradagem 27

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-20	5,9	1,9	1,3	0,14	0,03	3,37	0,3	4,3	7,67	44	8	9,6	17	29,2
BA	20-60	5,6	1,2	0,9	0,11	0,02	2,23	0,5	4,3	6,53	34	18	5,6	15,1	26

Tradagem 28

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-20	5,5	0,7	0,4	0,22	0,03	1,35	0,9	3,7	5,05	27	37	5,9	13,1	22,5
Bt1	20-50	4,7	0,2	0,1	0,07	0,01	0,38	0,9	4	4,38	9	70	2,7	3,4	5,8

Tradagem 29

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹				%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
Ap	0-20	5	0,2	0,2	0,09	0,01	0,8	1,4	5	5,8	14	64	7,9	17,8	30,6
Bw1	20-60	4,5	0,1	0,1	0,04	0,01	0,35	1,2	6,2	6,55	5	77	2,7	4,6	7,9

Tradagem 30

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹				%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
Ap	0-20	6,1	1,6	0,7	0,19	0,05	2,54	0,2	3,7	6,24	41	7	23	12,9	22,2
C1	20-50	5	0,5	0,2	0,08	0,02	0,80	0,1	5	5,8	14	56	6,4	6,9	11,9

Tradagem 31

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹				%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
Ap	0-20	5,9	2,4	1,7	0,11	0,02	4,23	0,6	4,3	8,53	50	7	5,9	18,1	31,1
BA	20-50	5,6	1,6	0,5	0,01	0,02	2,22	0,6	4	6,22	36	21	4,1	15,8	27,2

Tradagem 32

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹				%		mg/dm ³	g/kg ⁻¹					
Ap	0-20	4,9	0,2	0,1	0,17	0,01	0,48	0,9	5,4	5,88	8	65	10,6	14,3	24,6
Bw1	20-50	4,4	0,2	0,1	0,06	0,01	0,37	1,4	5	5,37	7	79	2,7	4,6	7,9

Tradagem 33

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-25	5,6	0,7	0,4	0,21	0,04	1,35	0,6	5,4	6,75	20	31	6,9	13,7	23,6
Bt1	25-50	4,8	0,3	0,1	0,03	0,01	0,44	1	3,7	4,14	11	69	3,4	1,8	3,1

Tradagem 34

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-20	4,8	0,3	0,2	0,08	0,02	0,59	1,1	5,8	6,39	9	65	8,7	15,8	27,2
Bw1	20-60	4,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,4	5,4	5,76	6	80	2,7	5,5	9,5

Tradagem 35

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-10	5,6	1,3	0,5	0,14	0,05	1,99	0,5	4,6	6,59	30	20	36,9	16,4	28,2
C1	10-45	5,3	0,8	0,1	0,07	0,03	1	0,9	4,6	5,6	18	47	24,1	5,7	9,8

Tradagem 36

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-25	5,2	0,6	0,4	0,1	0,04	1,14	0,6	4,6	5,74	20	34	8,6	11,5	19,8
Bt1	25-50	4,7	0,5	0,1	0,09	0,01	0,64	1,1	3,4	4,04	16	63	3,6	3,4	5,8

Tradagem 37

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,9	1,8	1	0,09	0,02	2,91	0,2	3,7	6,61	44	6	5,4	16	27,5
BA	20-50	5,9	1,8	1	0,08	0,01	2,89	0,4	4,3	7,19	40	12	3,8	15,5	26,7

Tradagem 38

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
A	0-15	5,8	1,4	0,5	0,06	0,02	1,98	0,4	4,3	6,29	32	17	32	14,5	24,9
C1	15-50	5,4	0,9	0,1	0,03	0,01	1,04	0,9	3,7	4,74	22	46	22	6,4	11

Tradagem 39

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,3	0,6	0,4	0,07	0,02	1,09	0,7	5	6,09	18	39	9,2	10,6	18,2
Bt1	20-50	4,7	0,3	0,1	0,04	0,01	0,45	1,1	3,4	3,85	12	71	3,7	2,5	4,3

Tradagem 40

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.rg	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	4,8	0,5	0,3	0,09	0,01	0,9	1,2	5,4	6,3	14	57	7,9	13,5	23,2
Bw1	20-60	4,5	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,5	5,8	6,15	6	81	2,2	6,2	10,7

Tradagem 41

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺⁺ A l	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Or	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	.....Cmole					kg-	.....%...		mg/dm ³	.....g/kg- 1.....			
Ap	0-20	5,4	0,6	0,4	0,09	0,02	1,11	0,4	2,7	3,81	29	26	5,6	12	20,6
Bt1	20-50	5,3	0,4	0,2	0,07	0,02	0,69	0,7	4,3	4,99	14	50	4	2,2	3,8

Tradagem 42

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺⁺ A l	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Or	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	.....Cmole					kg-	.....%...		mg/dm ³	.....g/kg- 1.....			
Ap	0-20	5,1	0,6	0,3	0,07	0,01	0,98	0,7	4,6	5,58	18	42	4,8	11,9	20,5
Bt1	20-45	4,6	0,2	0,1	0,06	0,01	0,37	1,1	3,4	3,77	10	75	3,4	1,8	3,1

Tradagem 43

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺⁺ A l	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Or	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	.....Cmole					kg-	.....%...		mg/dm ³	.....g/kg- 1.....			
Ap	0-20	4,8	0,6	0,3	0,23	0,03	1,16	1,1	5,4	6,56	18	49	9,1	17,7	30,4
Bw1	20-50	4,4	0,2	0,1	0,04	0,01	0,37	1,2	4,6	4,95	7	77	2,5	3,8	6,5

Tradagem 44

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	.....Cmole kg-1.....					kg-1.....	.....%		mg/dm ³	.....g/kg ⁻¹			
Ap	0-20	4,9	0,8	0,4	0,07	0,01	1,28	1,0	4,6	5,88	12	22	9,6	16,9	29,1
Bt1	20-50	4,4	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,6	4,6	4,95	6	7	9,2	9,9	17

Tradagem 45

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,4	0,8	0,5	0,22	0,03	1,55	0,6	5	6,55	24	28	6,5	12	20,6
Bt1	20-50	4,6	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,1	4	4,34	8	76	3,1	2	3,4

Tradagem 46

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
A	0-20	5,4	0,6	0,2	0,18	0,02	1	0,7	4,3	5,3	19	41	4,4	10,1	17,4
Bt1	20-45	5,4	0,4	0,1	0,05	0,01	0,56	0,4	2,7	3,26	17	42	1,9	2,2	3,8

Tradagem 47

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,1	0,9	0,1	0,17	0,04	1,11	1,1	4,6	5,71	19	50	6,6	12,4	21,3
Bt1	20-50	4,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,2	3,7	4,06	9	77	3	2,2	3,8

Tradagem 48

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof.	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
	(cm)														
Ap	0-20	5,4	0,8	0,4	0,23	0,05	1,48	0,7	5	6,48	23	32	7,8	12,9	22,9
Bt1	20-55	4,5	0,3	0,1	0,03	0,01	0,44	1,1	3,7	4,14	11	71	2,9	2,2	3,9

Tradagem 49

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
Ap	0-20	4,7	0,5	0,3	0,11	0,01	0,92	0,9	5	5,92	16	49	8	14,8	25,5
Bt1	20-55	4,3	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,3	4,3	4,65	8	79	2,4	5,9	10,1

Tradagem 50

Hor.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺ +Al	Valor T	Valor V	Sat Al	P	C.Org	M. O.	
Simb.	Prof. (cm)	Água	Cmole kg ⁻¹								%	mg/dm ³	g/kg ⁻¹		
A	0-20	5,1	0,8	0,1	0,17	0,01	1,11	1,1	4,6	5,71	19	50	6,6	12,4	21,3
Bt1	20-50	4,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,2	3,7	4,06	9	77	3	2,2	3,8

ANEXO E

Descrição dos perfis preexistente e resultados das análises físico-químicas (extraído de INCRA, 2009)

PERFIL – 0

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.450 m E. e 8.972.282 m N

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração de coberturas argilo-arenosas do Tércio-Quaternário.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – barranco de estrada em topo convexo. Elevação 116 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e suave ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem de braquiária.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-15 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1); franco-argilosa; fraca, muito pequena e pequena granular associada a fraca pequena blocos subangulares; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 15-25 cm; Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

A 25-43 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6); argila; fraca pequena blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

w1 43-95 cm; Amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6); argila; fraca pequena blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

w2 95-150 cm⁺; Amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); argila; fraca pequena, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas e médias no Ap1 e Ap2, e poucas finas e médias nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- Amostras coletadas úmidas;
- Presença de atividade biológica (cupins);
- Muitos poros muito pequenos, pequenos e médios nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns pequenos e médios nos demais horizontes.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSa g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
0	Ap1	00-15	0	0	1000	272	115	237	375	franco-argilosa	
	Ap2	15-25	0	0	1000	289	107	229	375	franco-argilosa	
	BA	25-43	0	0	1000	240	98	212	450	argila	
	Bw1	43-95	0	0	1000	203	80	217	500	argila	
	Bw2	95-150	0	0	1000	202	58	215	525	argila	

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d S/m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	98	x	2,12	1,07	50	x	15,0	9,9	100	x
9	98	x	2,11	1,14	46	x	16,5	10,3	0	x
10	98	x	2,12	1,09	49	x	14,8	9,6	0	x
9	98	x	2,15	1,12	48	x	16,3	10,6	0	x
6	99	x	2,12	1,04	51	x	25,0	14,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol/dm³ = mEq/100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O 1:2,5	KCl 1:1	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
6,1	5,1	2,0	1,8	0,08	0,02	3,90	0,2	4,0	7,90	49	5
6,1	5,1	1,7	1,0	0,09	0,02	2,81	0,1	3,7	6,51	43	3
6,1	5,2	1,7	0,5	0,05	0,01	2,26	0,0	3,4	5,66	40	0
6,0	5,6	1,8	0,8	0,02	0,01	2,63	0,0	3,0	5,63	47	0
5,5	5,2	0,6	0,4	0,02	0,01	1,03	0,2	3,2	4,23	24	16

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm³	BORO mg/dm³	COBRE mg/dm³	FERRO mg/dm³	MANGANÊS mg/dm³	ZINCO mg/dm³	COBALTO mg/dm³	ENXÓFRE mg/dm³
29,5	50,7	24,6	1	2,1	x	x	x	x	x	x	x
22,6	38,9	13,4	2	1,7	x	x	x	x	x	x	x
13,9	23,9	14,4	1	1,6	x	x	x	x	x	x	x
7,4	12,7	6,2	1	1,8	x	x	x	x	x	x	x
5,7	9,8	4,9	1	1,3	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 1

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.023 m E. e 8.971.717 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração de sedimentos do Grupo Barreiras sobre rochas gnaisses e granulitos do Complexo Nicolau/Campo Grande.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – terço médio de encosta. Elevação 118 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e suave ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Cana-de-açúcar.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-20 cm; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilo-arenosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito friável, plástica e pegajosa; transição plana gradual.

p2 20-45 cm; bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido); franco-argilo-arenosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t1 45-70 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido), mosqueado abundante, médio e grande, difuso, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4); argilo-arenosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

t2 70-105 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido), mosqueado comum, médio e grande, difuso bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4); argila; moderada, pequena e média, blocos subangulares; cerosidade comum e fraca: friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

t3 105-125 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; moderada, pequena e média, blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e abrupta (120-130 cm).

Bt4 125-180 cm⁺; vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido); argila; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; cerosidade comum e fraca; firme, muito plástica e muito pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

1– Linha de pedras entre 125 a 135 cm desarestadas e parcialmente desarestadas com 0,5 a 4,0 cm de eixo maior.

Muitos poros muito pequenos e pequenos nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns muito pequenos e pequenos e poucos poros médios nos demais horizontes

RAÍZES: comuns finas no Ap1 e Ap2, poucas finas no Bt1 e ausentes nos demais horizontes.

Nº FERRE	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS (g/kg)	CASCALHO (g/kg)	FUMA (g/kg)	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
1	Ap1	00-20	0	0	1000	531	88	60	300	Yanco-argilo-arenosa
	Ap2	20-45	0	0	1000	439	113	148	300	Yanco-argilo-arenosa
	Bt1	45-70	0	0	1000	398	71	156	375	argilo-arenosa
	Bt2	70-105	0	0	1000	342	36	219	400	argila
	Bt3	105-125	0	0	1000	268	40	217	475	argila

ARGILA NATURAL (g/Kg)	GRAU DE FLOCULAÇÃO (%)	CONUTIVIDADE HERRAJUCA (cm/h)	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL (%)	UNIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (umhos/cm)	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO (d.S/m)
			REAL (g/mL)	APARENTE (g/mL)		0,01 MPa (%)	0,033 MPa (%)	1,5 MPa (%)		
8	97	x	2,46	1,26	49	x	10,5	7,8	0	x
8	97	x	2,29	1,20	48	x	10,8	7,6	0	x
8	98	x	2,26	1,18	48	x	11,0	8,7	0	x
8	98	x	2,16	1,07	50	x	14,4	10,5	0	x
6	99	x	2,17	1,13	48	x	10,9	7,0	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (emol/dm³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
4,8	3,9	0,3	0,1	0,20	0,02	0,62	1,1	5,8	6,42	10	64
4,5	3,8	0,2	0,1	0,08	0,01	0,39	1,7	5,8	6,19	6	81
4,3	3,9	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,6	4,6	4,96	7	82
4,4	3,9	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,0	4,3	4,65	8	74
4,8	4,1	0,3	0,1	0,07	0,01	0,48	1,1	4,0	4,48	11	70

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO (g/Kg)	MAT. ORGÂNICA (g/Kg)	NITROGÊNIO (g/Kg)	RELAÇÃO C/N sem acidade	FÓSFORO (mg/dm³)	BORO (mg/dm³)	COBRE (mg/dm³)	FERRO (mg/dm³)	MANGANÉS (mg/dm³)	ZINCO (mg/dm³)	COBALTO (mg/dm³)	ENXOFRE (mg/dm³)
12,9	22,2	12,4	1	16,6	x	x	x	x	x	x	x
11,7	20,1	10,7	1	8,4	x	x	x	x	x	x	x
9,2	15,8	8,9	1	4,3	x	x	x	x	x	x	x
4,5	7,7	4,2	1	1,9	x	x	x	x	x	x	x
3,0	5,2	2,7	1	1,4	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 2

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 211.471 E. e 8.991.970 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração de coberturas argilo-arenosas do Tércio-Quaternário.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – terço médio de encosta. Elevação 107 m.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem com braquiária.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 **0-10 cm**; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 **10-35 cm**; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t1 **35-60 cm**; bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido); franco-argilosa; fraca e moderada pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t2 **60-85 cm**; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); franco-argilosa; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t3 **85-150 cm⁺**; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); franco-argilosa; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Muitas finas e médias no Ap1, comuns finas e médias no Ap2, comuns finas no Bt1 e poucas finas nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

1– Perfil coletado úmido;

2– Muitos poros muito pequenos e pequenos nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns pequenos e poucos médios e grandes nos demais horizontes.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSa g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
2	Ap1	00-10	0	0	1000	568	66	90	275	franco-argilo-arenosa
	Ap2	10-35	0	0	1000	468	86	121	325	franco-argilo-arenosa
	Bt1	35-60	0	0	1000	386	78	161	375	franco-argilosa
	Bt2	60-85	0	0	1000	329	97	174	400	franco-argilosa
	Bt3	85-150	0	0	1000	340	81	178	400	franco-argilosa

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d S/m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	97	x	2,44	1,19	51	x	8,8	4,6	0	x
8	98	x	2,32	1,10	53	x	10,5	6,9	0	x
10	97	x	2,25	1,26	44	x	12,0	7,9	0	x
8	98	x	2,33	1,14	51	x	12,8	8,6	0	x
7	98	x	2,22	1,29	42	x	13,3	9,7	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol/dm³ = mEq/100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
4,8	4,1	0,2	0,1	0,06	0,02	0,38	1,8	5,4	5,78	7	83
4,5	4,0	0,4	0,1	0,05	0,01	0,56	1,5	5,8	6,36	9	73
4,7	4,0	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,8	5,0	5,34	6	82
4,6	4,1	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,7	4,6	4,95	7	83
4,7	4,1	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,7	5,0	5,34	6	83

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm³	BORO mg/dm³	COBRE mg/dm³	FERRO mg/dm³	MANGANÊS mg/dm³	ZINCO mg/dm³	COBALTO mg/dm³	ENXÓFRE mg/dm³
13,3	22,9	13,6	1	4,5	x	x	x	x	x	x	x
12,7	21,8	12,1	1	2,7	x	x	x	x	x	x	x
8,1	13,9	9,1	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x
6,0	10,3	5,4	1	1,2	x	x	x	x	x	x	x
4,6	7,9	4,1	1	1,3	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 3

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico cambissólico, textura média/argilosa, A moderado, fase erodida, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: : 210.140 m E. e 8.972.794 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração de sedimentos do Grupo Barreiras e de granitos e granodioritos da Suíte Intrusiva Itaporonga adjacentes.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta terço médio de encosta. Elevação 93m.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-8 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t1 8-18 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido); franco- argilo-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

t2 18-36 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bt3 36-80 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); argila; moderada, média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

C 80-150 cm⁺; vermelho (2,5YR 4/6, úmido); argila; moderada, média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas e médias no Ap e Bt1, e raras finas nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido;
- 2- Horizonte Ap parcialmente erodido;
- 3- Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios no horizonte Ap, poros comuns muito pequenos e pequenos no Bt1, Bt2 e 2Bt3 e poucos poros muito pequenos e pequenos no 2C.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSa g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
3	Ap	00-8	0	0	1000	406	117	153	325	franco-argilo-arenosa	
	Bt1	8-18	0	0	1000	395	61	194	350	franco-argilo-arenosa	
	Bt2	18-36	0	0	1000	223	40	262	475	argila	
	2Bt3	36-80	0	0	1000	176	56	267	500	franco-argilo-arenosa	
	2C	80-150	0	0	1000	218	90	267	425	argila	

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	98	x	2,26	1,20	47	x	11,7	7,1	0	x
9	97	x	2,18	1,18	46	x	12,1	7,6	0	x
8	98	x	2,11	1,14	46	x	12,0	7,8	0	x
7	99	x	2,16	1,01	53	x	15,9	9,5	0	x
7	98	x	2,26	1,09	52	x	12,2	7,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1:1										
4,7	4,0	0,3	0,1	0,06	0,01	0,47	1,4	4,6	5,07	9	75
4,7	4,0	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,5	4,3	4,66	8	81
4,8	4,0	0,4	0,1	0,04	0,01	0,55	1,5	4,6	5,15	11	73
5,0	4,1	0,2	0,1	0,04	0,02	0,36	1,3	4,3	4,66	8	78
5,0	4,1	0,3	0,2	0,08	0,02	0,60	1,4	4,0	4,60	13	70

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÉS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
10,6	18,2	10,2	1	3	x	x	x	x	x	x	x
6,9	11,9	7,2	1	1,7	x	x	x	x	x	x	x
5,0	8,6	5,1	1	1,4	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,8	1,9	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,1	2	1,3	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 4

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.680 m E. e 8.971.995 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço inferior de encosta. Elevação 72 m.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-10 cm; bruno-escuro (10YR 4/3, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares associada à fraca pequena e média granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

A 10-28 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); argila; fraca, pequena e média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

i1 28-57 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; fraca média e grande blocos subangulares; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa.

i2 57-100 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argila; fraca média e grande blocos subangulares; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa.

C 100-150 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argila; fraca média e grande blocos subangulares; friável, muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas e médias no Ap, BA e Bi1, e ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- 1– Perfil coletado úmido;
- 2– A partir de 100 cm de profundidade ocorrência de quartzo arestado na forma de dique ao lado do perfil;
- 3– Muitos poros muito pequenos e pequenos no horizonte Ap e comuns muito pequenos e pequenos nos demais horizontes.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TPSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
4	Ap	00-10	0	0	1000	380	61	184	375	franco-argilosa	
	BA	10-28	0	0	1000	299	53	223	425	argila	
	Bi1	28-57	0	0	1000	288	48	164	500	argila	
	Bi2	57-100	0	0	1000	232	47	221	500	argila	
	BC	100-150	0	0	1000	229	50	221	500	argila	

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	98	x	2,11	1,20	43	x	x	x	0	x
6	99	x	2,15	1,19	45	x	x	x	0	x
7	99	x	2,33	1,17	50	x	x	x	0	x
7	99	x	2,11	1,13	46	x	x	x	0	x
6	99	x	2,13	1,14	46	x	x	x	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mL / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,1	4,2	0,4	0,3	0,19	0,02	0,91	0,8	4,6	5,51	17	47
4,4	4,1	0,2	0,1	0,10	0,01	0,41	1,2	4,6	5,01	8	75
4,2	4,1	0,2	0,1	0,09	0,01	0,40	1,4	4,6	5,00	8	78
5,4	5,4	0,8	0,4	0,06	0,01	1,27	0,1	3,4	4,67	27	7
5,4	5,6	1,2	0,2	0,07	0,01	1,48	0,0	3,2	4,68	32	0

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
13,5	23,2	12,4	1	5,9	x	x	x	x	x	x	x
7,4	12,7	5,9	1	3,7	x	x	x	x	x	x	x
4,6	7,9	1,2	4	3,4	x	x	x	x	x	x	x
2,0	3,4	1,2	2	2,7	x	x	x	x	x	x	x
1,3	2,2	0,7	2	2,9	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 5

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 211.055 m E. e 8.972.677 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta terço inferior de encosta. Elevação 98 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e suave ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem com braquiária.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-12 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares associada a fraca pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t1 12-38 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouco e fraca; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

t2 38-78 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouco e fraca; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

C 78-128 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

CR 128-170 cm⁺; amarelo (10YR 7/8, úmido), mosqueado comum, médio e grande distinto, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8) e comum, médio e grande, proeminente, vermelho (2,5YR 4/8); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas no Ap, raras finas no Bt1, Bt2 e BC e ausentes no 2CR.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido;
- 2- Muitos poros muito pequenos, pequenos e médios no horizonte Ap, comuns pequenos no Bt1 e poucos poros pequenos nos demais horizontes

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TPSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
5	Ap	00-12	0	0	1000	484	46	145	325	franco-argilo-arenosa	
	B11	12-38	0	0	1000	361	45	194	400	argila	
	B12	38-78	0	0	1000	315	38	198	450	argila	
	BC	78-118	0	0	1000	350	37	188	425	argila	
	CR	128-170	0	0	1000	277	40	258	425	argila	

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umshs/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	98	x	2,29	1,27	45	x	11,8	8,3	0	x
7	98	x	2,14	1,30	39	x	12,1	8,7	0	x
7	98	x	2,28	1,09	52	x	19,4	14,5	0	x
8	98	x	2,23	1,12	50	x	11,2	8,3	0	x
7	98	x	2,19	1,26	42	x	12,7	9,4	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol / dm³ = nE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H₂O	KCl	Ca**	Mg**	K*	Na*	Valor "S"	Al***	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1:1										
4,8	4,0	0,8	0,1	0,05	0,01	0,98	0,9	4,0	4,98	19	48
4,7	4,1	0,3	0,1	0,03	0,01	0,44	1,0	4,0	4,44	10	69
4,8	4,1	0,3	0,1	0,03	0,01	0,44	0,7	3,4	3,84	11	61
4,8	4,1	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	0,9	3,7	4,04	8	73
4,9	4,3	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	0,6	3,4	3,73	9	65

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm³	BORO mg / dm³	COBRE mg / dm³	FERRO mg / dm³	MANGANÊS mg / dm³	ZINCO mg / dm³	COBALTO mg / dm³	ENXÓFRE mg / dm³
8,3	14,3	9,8	1	4,5	x	x	x	x	x	x	x
4,8	8,3	5,1	1	3,5	x	x	x	x	x	x	x
3,4	5,8	3,4	1	3,2	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,8	2,2	1	3,1	x	x	x	x	x	x	x
1,3	2,2	1,1	1	2,7	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 6

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 209.753 m E. e 8.971.713 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta. Elevação 104 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e suave ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-15 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); argila; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

A 15-30 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); argila; fraca, pequena e média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

t1 30-70 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

t2 70-125 cm; bruno-amarelado (7,5YR 5/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t3 125-150 cm⁺; bruno-amarelado (7,5YR 5/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas e médias no Ap, poucas finas no BA e Bt1, comuns finas no Bt2 e poucas finas no Bt3

OBSERVAÇÕES:

- 1– Perfil coletado úmido;
- 2– Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios no horizonte Ap, muitos poros muito pequenos e pequenos no BA, poros comuns muito pequenos e pequenos nos horizontes Bt1 e Bt2 e poucos poros pequenos no Bt3.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (µg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS µkg	CASCALHO µkg	TFSA µkg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	ELTE	ARGILA		
6	A	00-15	0	0	1000	317	94	163	425	argila	
	DA	15-30	0	0	1000	210	97	194	520	argila	
	D:1	30-70	0	0	1000	200	76	191	525	argila	
	B:2	70-125	0	555	444	181	56	108	575	argila	
	B:3	125-150	0	600	700	153	61	236	550	argila	

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	3,01 MPa %	UMIDADE		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA µmhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL			ELITE MPa %	1,5 MPa %		
8	98	X	2,23	1,19	17	X	14,5	9,4	0	X
8	98	X	2,18	1,13	48	X	11,1	7,1	0	X
8	99	X	2,16	1,09	50	X	12,6	8,8	0	X
8	99	X	2,15	1,21	30	X	15,2	9,9	0	X
7	99	X	2,09	1,26	70	X	13,4	8,0	0	X

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c /dm ³ - mE/100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDZ TOTAL (H ⁺ + Al)	Valor "T"	CASE V (%)	ALUVIÃO A (%)
12,2	1,1	0,3	0,1	0,13	0,02	0,56	1,2	5,8	6,35	0	60
4,8	4,1	0,2	0,1	0,04	0,01	0,36	1,0	4,6	4,96	7	74
4,6	4,3	0,2	0,1	0,01	0,01	0,36	0,7	4,0	4,36	8	67
4,8	4,5	0,2	0,1	0,07	0,01	0,36	0,5	3,7	4,08	0	57
4,7	4,5	0,2	0,1	0,01	0,01	0,36	0,5	3,7	4,06	8	59

DIMENSÃO (MILÍMETRO)					MICROELEMENTOS						
CARBONO D / %	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N por unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	CUMBU mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÉS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXOFRE mg / dm ³
15,6	26,8	12,8	1	2,7	X	X	X	X	X	X	X
5,1	13,9	3,3	1	1,7	X	X	X	X	X	X	X
5,3	9,1	5,4	1	1,3	X	X	X	X	X	X	X
2,3	4,0	2,2	1	1,4	X	X	X	X	X	X	X
4,1	7,1	4,3	1	1,4	X	X	X	X	X	X	X

PERFIL – 7

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 209.608 m E. e 8.971.524 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – terço inferior de encosta. Elevação 94 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Cana-de-açúcar.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-20 cm; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

p2 20-37 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t 37-80 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; cerosidade comum e fraca: friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

C 80-120 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido), mosqueado abundante, pequeno, proeminente, vermelho-claro-acinzentado (10 YR 6/3); argila; fraca média e grande, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

120-180 cm⁺; amarelo (10YR 7/8, úmido), mosqueado abundante, grande, proeminente, vermelho-claro-acinzentado (10 YR 6/3); argila; fraca média e grande, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

C. RAÍZES: Comuns finas no Ap1 e Ap2, raras finas no Bt e BC e ausentes no horizonte C.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido.
- 2- Muitos poros muito pequenos e pequenos e poros comuns médios nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns muito pequenos e pequenos e poucos médios nos demais horizontes.

Perfil 7

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
7	Ap1	00-20	0	0	1000	349	90	211	350	franco-argilosa
	AP2	p	0	0	1000	403	74	173	350	franco-argilosa
	Bt	37-80	0	0	1000	257	69	174	500	argila
	BC	80-120	0	0	1000	144	51	305	500	argila
	C	120-180	0	0	1000	137	91	322	450	argila

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
10	97	x	2,13	1,15	46	x	23,1	15,7	0	x
8	98	x	2,30	1,24	46	x	22,8	15,8	0	x
6	99	x	2,18	1,22	44	x	24,2	15,6	0	x
7	99	x	2,65	1,21	54	x	22,8	13,8	0	x
7	98	x	2,24	1,21	46	x	26,2	16,7	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _d / dm ³ = nE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O 1:2,5	KCl 1:1	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
6,6	6,3	3,4	1,9	0,07	0,03	5,40	0,0	2,7	8,10	67	0
6,8	5,8	2,5	1,6	0,04	0,01	4,15	0,0	3,0	7,15	58	0
5,8	5,4	1,0	0,5	0,02	0,01	1,53	0,1	2,7	4,23	36	6
5,5	5,0	0,9	0,6	0,02	0,01	1,53	0,2	2,7	4,23	36	12
5,2	4,4	0,9	0,2	0,02	0,01	1,13	0,8	3,0	4,13	27	41

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÉS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
17,0	29,2	17,1	1	8,6	x	x	x	x	x	x	x
14,1	24,3	12,6	1	5	x	x	x	x	x	x	x
2,3	4,0	2,2	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,1	2	1,5	x	x	x	x	x	x	x
1,3	2,2	0,8	2	1,3	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 8

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.446 m E. e 8.972.729 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta em topo aplainado. Elevação 115 m.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado. EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- 0-10 cm**; Preto (10YR 2/1, úmido); argila; plástica e pegajosa.
- p**
- 10-25 cm**; Bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argila; plástica e pegajosa.
- A**
- 25-60 cm**; bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido); argila; plástica e pegajosa.
- w1**
- 60-120 cm**; Bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); argila; muito plástica e pegajosa.
- w2**
- 120-150 cm**⁺; Amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido); argila; muito plástica e muito pegajosa.
- w3**

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido com trado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
8	Ap	00-10	0	0	1000	294	120	161	425	argila	
	BA	10-25	0	0	1000	266	95	189	450	argila	
	Bw1	25-60	0	0	1000	281	52	193	475	argila	
	Bw2	60-120	0	0	1000	219	74	207	500	argila	
	Bw3	120-150	0	0	1000	266	70	165	500	argila	

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	98	x	2,13	1,13	47	x	19,1	12,0	0	x
8	98	x	2,07	1,34	35	x	23,9	14,8	0	x
8	98	x	2,15	1,19	45	x	20,7	12,3	0	x
6	99	x	2,18	1,09	50	x	19,7	12,1	0	x
6	99	x	2,30	1,52	34	x	21,5	14,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol / dm³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H₂O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1:1										
5,4	4,4	0,2	0,1	0,14	0,01	0,45	1,1	4,0	4,45	10	71
5,0	4,3	0,2	0,1	0,09	0,01	0,40	1,2	4,3	4,70	9	75
4,8	4,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,0	4,0	4,36	8	74
5,1	4,5	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	0,7	3,4	3,74	9	67
5,0	4,4	0,2	0,1	0,03	0,00	0,33	0,5	3,2	3,53	9	60

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm³	BORO mg / dm³	COBRE mg / dm³	FERRO mg / dm³	MANGANÊS mg / dm³	ZINCO mg / dm³	COBALTO mg / dm³	ENXÔFRE mg / dm³
12,6	21,7	12,1	1	3,2	x	x	x	x	x	x	x
11,2	19,3	8,1	1	2	x	x	x	x	x	x	x
7,6	13,1	6,3	1	1,4	x	x	x	x	x	x	x
2,9	5,0	2,1	1	1,7	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,1	2	1,7	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 9

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas 209.282 m E. e 8.916.683 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVÇÃO – Coleta em topo aplainado. Elevação 116 m.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-20 cm; Cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilosa; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

p2 20-30 cm; Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilosa; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

w1 30-70 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; plástica e pegajosa.

w2 70-100 cm; Amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido); argila; plástica e pegajosa.

w3 100-150 cm⁺; Amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); argila; plástica e pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

- Perfil coletado úmido e com trado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
9	Ap1	00-20	0	0	1000	349	115	161	375	franco-argilosa	
	Ap2	20-30	0	0	1000	362	102	161	375	franco-argilosa	
	Bw1	30-70	0	0	1000	300	123	101	475	argila	
	Bw2	70-100	0	0	1000	284	109	107	500	argila	
	Bw3	100-150	0	0	1000	254	103	143	500	argila	

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	98	x	2,40	1,23	49	x	23,7	15,3	0	x
9	98	x	2,38	1,16	51	x	21,8	14,7	100	x
11	98	x	2,47	1,77	28	x	21,2	12,0	0	x
10	98	x	2,52	1,62	36	x	22,3	13,7	0	x
11	98	x	2,47	1,73	30	x	22,4	12,9	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol / dm³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
6,4	5,2	8,8	0,6	0,37	0,04	9,81	0,2	3,2	13,01	75	2
6,3	5,3	8,6	0,6	0,31	0,04	9,55	0,1	3,4	12,95	74	1
6,7	5,7	1,6	0,5	0,10	0,01	2,21	0,0	2,5	4,71	47	0
6,8	6,0	2,2	0,5	0,07	0,01	2,78	0,0	2,5	5,28	53	0
6,8	6,1	2,0	0,5	0,06	0,01	2,57	0,0	2,5	5,07	51	0

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm³	BORO mg / dm³	COBRE mg / dm³	FERRO mg / dm³	MANGANÉS mg / dm³	ZINCO mg / dm³	COBALTO mg / dm³	ENXÓFRE mg / dm³
14,9	25,6	13,5	1	1080	x	x	x	x	x	x	x
15,6	26,8	15,9	1	1036	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,6	2,1	1	34,5	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,6	1	6,2	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 10

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 211.077 E. e 8.971.690 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta em topo aplainado. Elevação 111 m.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-20 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); argiloarenosa; plástica e pegajosa.

B 20-40 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); argiloarenosa; plástica e pegajosa.

w1 40-70 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); argila; muito plástica e muito pegajosa.

w2 70-120 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); argila; muito plástica e muito pegajosa.

w3 120-150 cm⁺; amarelo (10YR 7/8, úmido); argila; muito plástica e muito pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

1– Perfil coletado úmido e com trado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
10	Ap	00-20	0	0	1000	392	112	71	425	argilo-arenosa	
	AB	20-40	0	0	1000	394	94	87	425	argilo-arenosa	
	Bw1	40-70	0	0	1000	372	51	101	475	argila	
	Bw2	70-120	0	0	1000	361	54	110	475	argila	
	Bw3	120-150	0	0	1000	358	32	110	500	argila	

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d S/m
			REAL g/nL	APARENTE g/nL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	98	x	2,40	1,28	47	x	21,2	12,5	0	x
8	98	x	2,34	1,36	42	x	18,8	10,1	0	x
8	98	x	2,37	1,42	40	x	18,5	9,2	0	x
6	99	x	2,26	1,44	36	x	21,6	11,1	0	x
6	99	x	2,26	1,36	40	x	23,0	12,9	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _d / dm ³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O 1:2,5	KCl 1:1	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
5,7	4,7	2,2	1,6	0,05	0,01	3,86	0,1	3,7	7,56	51	3
5,3	4,4	0,6	0,5	0,04	0,01	1,15	0,8	4,3	5,45	21	34
4,8	4,2	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,2	4,6	4,94	7	78
4,6	4,2	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	1,2	4,6	4,93	7	78
4,5	4,2	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	1,2	4,3	4,63	7	78

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
15,8	27,2	14,8	1	9,4	x	x	x	x	x	x	x
13,8	23,7	9,3	1	8,5	x	x	x	x	x	x	x
9,1	15,7	6,4	1	2,8	x	x	x	x	x	x	x
5,9	10,1	4,1	1	1,7	x	x	x	x	x	x	x
4,5	7,7	2,2	2	1,5	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 11

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 211.151 m E. e 8.972.267 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço inferior de encosta. Elevação 91 m.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-20 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca, pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 20-45 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca, pequena, granular; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t1 45-75 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido); argila; fraca, pequena e média, blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t2 75-90 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); argila; fraca e moderada pequena e média blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

t3 90-120 cm; amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

C 120-160 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

160-170 cm⁺; vermelho (2,5YR 4/8, úmido); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas e médias no Ap1 e Ap2, poucas finas e médias no Bt1 e raras finas nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Linha de pedras entre 120 e 135 cm e saprolito a partir de 160 cm de profundidade;
- 2- Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios nos horizontes Ap1, Ap2 e Bt1, poros comuns muito pequenos e pequenos nos demais horizontes.
- 3- Os horizontes BC e C não foram coletados.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
11	Ap1	00-20	0	0	1000	410	64	176	350	franco-argilosa
	Ap2	20-45	0	0	1000	370	73	182	375	franco-argilosa
	Bt1	45-75	0	0	1000	295	81	199	425	argila
	Bt2	75-90	0	0	1000	232	66	252	450	argila
	Bt3	90-130	0	0	1000	144	70	337	450	argila

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	97	x	2,15	1,23	43	x	12,6	8,6	0	x
9	98	x	2,20	1,10	50	x	14,2	9,1	0	x
9	98	x	2,22	1,25	44	x	14,0	8,8	0	x
6	99	x	2,11	1,12	47	x	15,0	10,5	0	x
6	99	x	2,10	1,30	38	x	16,6	10,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mEq / 100 mL)							SATURAÇÃO DE		
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor " S "	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor " T "	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,6	4,5	0,8	0,5	0,24	0,02	1,56	0,4	4,0	5,56	26	20
4,5	4,0	0,3	0,2	0,12	0,01	0,63	1,5	5,8	6,43	10	70
4,8	4,2	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	0,9	4,6	4,96	7	71
5,1	4,6	0,3	0,1	0,06	0,01	0,47	0,4	3,4	3,67	12	46
5,4	5,2	0,4	0,2	0,07	0,01	0,68	0,2	3,2	3,68	16	23

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO CIN sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
14,7	25,3	11,7	1	4,2	x	x	x	x	x	x	x
11,5	19,8	8,8	1	3,1	x	x	x	x	x	x	x
8,1	13,9	6,1	1	1,9	x	x	x	x	x	x	x
4,8	8,3	2,6	2	1,7	x	x	x	x	x	x	x
2,5	4,3	1,3	2	1,3	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 12

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.425 m E. e 8.971.281 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras retrabalhados com material do Complexo Nicolau/Campo Grande.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço médio de encosta. Elevação 80 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-15 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, blocos subangulares associada a fraca, pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.

i 15-30 cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

C 30-55 cm; vermelho (10R 5/8, úmido); argila; fraca pequena blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

55-100 cm⁺; vermelho (10R 5/8, úmido); argila; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas no Ap, raras finas no Bi e ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido;
- 2- Horizonte Ap parcialmente erodido;
- 3- Presença de concreções esparsas na massa do solo dos horizontes Bi e BC;
- 4- Linha de pedras desarestadas de quartzo a 150 cm de profundidade com 0,5 a 3,0 cm de eixo maior;
- 5- Muitos poros muito pequenos e pequenos no Ap, comuns muito pequenos e pequenos nos demais horizontes;
- 6- O horizonte C não foi coletado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
12	Ap	00-15	0	0	1000	328	118	179	375	franco-argilosa	
	Bi	15-30	0	0	1000	249	103	173	475	argila	
	BC	30-55	0	0	1000	299	97	154	450	argila	

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	98	x	2,17	1,34	38	x	13,5	8,6	0	x
8	98	x	2,15	1,18	45	x	11,6	7,1	0	x
6	99	x	2,23	1,26	43	x	12,4	7,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _e / dm ³ = mEq / 100 mL)								SATURAÇÃO DE	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,2	4,3	0,4	0,3	0,10	0,02	0,82	0,5	4,0	4,82	17	38
4,8	4,2	0,3	0,2	0,05	0,01	0,56	0,7	3,7	4,28	13	56
4,6	4,1	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	0,9	3,0	3,33	10	73

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
12,8	22,0	10,4	1	35,6	x	x	x	x	x	x	x
5,2	8,9	5,3	1	82,9	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,7	1	2,2	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 13

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico, textura média/argilosa, A moderado, relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.171 m E. e 8.971.569 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço inferior de encosta. Elevação 98 m.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-25 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca, pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

p2 25-45 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); argila; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

3 45-65 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); franco-argilosa; fraca, pequena, e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t1 65-95 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); argila; moderada, pequena e média, blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (85-105 cm).

t2 95-125 cm; vermelho (2,5YR 5/8, úmido); argila; moderada, pequena e média blocos subangulares; cerosidade comum e moderado; friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (120-130 cm).

C 125-150 cm; vermelho (2,5YR 4/8, úmido); argila; moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual (145-155 cm).

150-170 cm; vermelho (2,5YR 5/6, úmido); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas no Ap1 e Ap2 e raras finas nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido;
- 2- A partir de 170 cm saprolito;
- 3- Muitos poros muito pequenos e pequenos e poucos poros médios nos horizontes Ap1, Ap2 e A3, poros comuns muito pequenos e pequenos nos demais horizontes.
- 4- Os horizontes BC e C não foram coletados.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TSSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
13	Ap1	00-25	0	0	1000	439	47	189	325	franco-argilo-arenosa	
	Ap2	25-45	0	0	1000	371	42	162	425	argila	
	A3	45-65	0	0	1000	372	64	189	375	franco-argilosa	
	Bt1	65-95	0	0	1000	329	50	198	425	argila	
	Bt2	95-125	0	0	1000	276	53	247	425	argila	

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/ml	APARENTE g/ml		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
10	97	x	2,12	1,12	47	x	12,8	8,4	0	x
10	98	x	2,20	1,20	45	x	13,4	9,1	100	x
9	98	x	2,15	1,22	43	x	13,4	8,7	0	x
8	98	x	2,16	1,20	44	x	14,0	9,2	0	x
6	99	x	2,09	1,27	39	x	12,8	8,2	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol / dm³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H₂O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
4,5	4,3	0,6	0,5	0,25	0,03	1,38	0,7	4,6	5,98	23	34
4,5	4,0	0,2	0,1	0,17	0,02	0,49	1,4	5,8	6,29	8	74
4,5	4,0	0,2	0,1	0,09	0,01	0,40	1,8	5,8	6,20	6	82
4,8	4,3	0,2	0,2	0,08	0,01	0,47	0,8	4,3	4,77	10	83
5,4	5,1	0,6	0,3	0,04	0,01	0,95	0,2	3,2	4,15	23	17

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm³	BORO mg / dm³	COBRE mg / dm³	FERRO mg / dm³	MANGANÊS mg / dm³	ZINCO mg / dm³	COBALTO mg / dm³	ENXÓFRE mg / dm³
13,8	23,7	12,4	1	5,8	x	x	x	x	x	x	x
12,9	22,2	10,2	1	2,8	x	x	x	x	x	x	x
10,1	17,4	7,3	1	2	x	x	x	x	x	x	x
5,2	8,9	3,5	1	1,6	x	x	x	x	x	x	x
5,9	10,1	4,1	1	1,7	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 14

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.594 m E. e 8.972.726 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço médio de encosta. Elevação 83 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-13 cm; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 13-25 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t1 25-55 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; fraca e moderada pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t2 55-95 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t3 95-130 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BC 130-150 cm⁺; amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmido), mosqueado comum, médio e grande, distinto, vermelho (2,5 YR 4/8); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares e angulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Poucas finas no Ap1 e Ap2, raras finas no Bt1 e ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

1. Perfil coletado úmido.
2. Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns muito pequenos e pequenos dos demais horizontes.
3. **Horizonte 2BC não coletado.**

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
14	Ap1	00-13	0	0	1000	589	46	115	250	franco-argilo-arenosa
	Ap2	13-25	0	0	1000	516	70	114	300	franco-argilo-arenosa
	Bt1	25-55	0	0	1000	378	12	175	435	argila
	Bt2	55-95	0	0	1000	364	111	100	425	argila
	Bt3	95-130	0	0	1000	344	62	168	425	argila

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA µsmhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	97	x	2,46	1,33	46	x	9,0	5,3	0	x
8	97	x	2,44	1,30	47	x	12,0	8,7	0	x
10	98	x	2,41	1,40	42	x	11,1	7,5	0	x
7	98	x	2,44	1,34	45	x	11,9	8,3	0	x
8	98	x	2,26	1,20	47	x	12,1	7,8	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol/dm³ = mEq/100 mL)								SATURAÇÃO DE	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor ⁻ S ⁻	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor ⁻ T ⁻	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
4,9	3,9	0,4	0,2	0,10	0,01	0,71	0,9	4,6	5,31	13	56
4,7	3,9	0,2	0,2	0,13	0,01	0,54	1,2	5,0	5,54	10	69
4,5	3,9	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,2	4,3	4,66	8	77
4,4	4,0	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	1,1	4,0	4,36	8	75
4,8	4,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,36	0,8	3,7	4,06	9	69

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm³	BORO mg/dm³	COBRE mg/dm³	FERRO mg/dm³	MANGANÊS mg/dm³	ZINCO mg/dm³	COBALTO mg/dm³	ENXÓFRE mg/dm³
11,3	19,4	11,1	1	12,2	x	x	x	x	x	x	x
10,6	18,2	10,2	1	10,1	x	x	x	x	x	x	x
6,9	11,9	6,6	1	2,4	x	x	x	x	x	x	x
2,9	5,0	2,5	1	1,7	x	x	x	x	x	x	x
2,3	4,0	1,8	1	1,4	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 15

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 209.971 m E. e 8.972.726 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta terço médio de encosta. Elevação 129 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-10 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 10-20 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares, associada à fraca pequena granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

t1 20-50 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca e moderada pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t2 50-100 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouco e fraca; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t3 100-150 cm⁺; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouco e fraca; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas no Ap1 e Ap2, raras finas no Bt1 e ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

1. Perfil coletado úmido.
2. Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns muito pequenos e pequenos e poucos médios nos demais horizontes.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
15	Ap1	00-10	0	0	1000	526	102	122	250	franco-argilo-arenosa	
	Ap2	10-20	0	0	1000	530	68	101	300	franco-argilo-arenosa	
	Bt1	20-50	0	0	1000	411	85	129	375	argilo-arenosa	
	Bt2	50-100	0	0	1000	392	61	147	400	argilo-arenosa	
	Bt3	100-150	0	0	1000	273	71	156	500	argila	

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d.S/m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	96	x	2,31	1,35	42	x	12,4	8,2	0	x
9	97	x	2,30	1,23	47	x	12,2	8,1	0	x
8	98	x	2,23	1,32	41	x	12,2	7,2	0	x
8	98	x	2,19	1,30	41	x	12,0	7,2	0	x
8	98	x	2,16	1,08	50	x	11,8	6,5	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _e / dm ³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O 1:2,5	KCl 1:1	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
5,1	4,1	0,2	0,2	0,14	0,03	0,57	0,7	4,6	5,17	11	55
4,9	4,0	0,2	0,1	0,09	0,01	0,40	1,1	5,0	5,40	7	73
4,5	4,1	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,1	4,6	4,94	7	76
4,6	4,2	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,1	4,3	4,64	7	76
5,1	4,6	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	0,5	3,4	3,74	9	60

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm ³	BORO mg/dm ³	COBRE mg/dm ³	FERRO mg/dm ³	MANGANÊS mg/dm ³	ZINCO mg/dm ³	COBALTO mg/dm ³	ENXÓFRE mg/dm ³
7,9	13,6	6,2	1	15,3	x	x	x	x	x	x	x
7,4	12,7	7,7	1	10	x	x	x	x	x	x	x
2,7	4,6	2,2	1	2,4	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,6	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x
1,3	2,2	0,6	2	1,8	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 16

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 208.539 m E. e 8.972.342 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVAÇÃO – Coleta em terço médio de encosta. Elevação 126 m.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem com resto de cana.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p1 0-15 cm; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

p2 15-25 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, pequena, blocos subangulares associada à fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

t1 25-55 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca e moderada pequena e média blocos subangulares; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

t2 55-90 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouco e fraca; friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

t3 90-128 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); argila; fraca e moderada, pequena e média blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BC 128-160 cm⁺; amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmido), mosqueado comum, médio e grande, distinto vermelho (2,5 YR 4/8); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares e angulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Comuns finas no Ap1 e Ap2, raras finas no Bt1 e Bt2 e ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES:

1– Perfil coletado úmido;

2– Penetrações de matéria orgânica, nos horizontes Bt1, Bt2 e Bt3;

3– Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios nos horizontes Ap1 e Ap2, poros comuns muito pequenos e pequenos nos demais horizontes.

4– Horizonte 2BC não foi coletado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSa g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
16	Ap1	00-15	0	0	1000	591	50	84	275	franco-argilo-arenosa
	Ap2	15-25	0	0	1000	542	42	116	300	franco-argilo-arenosa
	Bt1	25-55	0	0	1000	458	52	140	350	franco-argilo-arenosa
	Bt2	55-9	0	0	1000	429	44	152	375	argilo-arenosa
	Bt3	90-128	0	0	1000	326	37	186	450	argila

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
8	97	x	2,44	1,54	37	x	13,0	8	0	x
9	97	x	2,41	1,49	38	x	10,6	6,7	100	x
7	98	x	2,29	1,39	39	x	11,1	7,5	0	x
8	98	x	2,27	1,35	41	x	12,2	8,5	0	x
8	98	x	2,18	1,36	38	x	13,4	9,3	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO [cmol _c / dm ³ = mEq / 100 mL]								SATURAÇÃO DE	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor ⁻ S ⁻	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor ⁺ T ⁺	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,2	4,1	0,3	0,2	0,27	0,01	0,78	0,6	4,6	5,38	14	43
4,7	3,9	0,3	0,1	0,06	0,01	0,47	1,1	5,0	5,47	9	70
4,4	4,0	0,2	0,1	0,21	0,03	0,54	1,3	4,3	4,84	11	71
4,5	4,1	0,3	0,1	0,04	0,01	0,45	0,7	3,4	3,85	12	61
4,8	4,3	0,3	0,1	0,04	0,02	0,46	0,7	3,4	3,86	12	60

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
11,5	19,8	12,6	1	14,3	x	x	x	x	x	x	x
9,9	17,0	10,2	1	2,3	x	x	x	x	x	x	x
5,3	9,1	5,8	1	6,9	x	x	x	x	x	x	x
3,0	5,2	3,1	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,8	2,1	1	1,5	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 17

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Acinzentado Distrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.707 m E. e 8.971.478 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVação – Coleta em área plana próxima a um rio. Elevação 70 m.

RELEVO REGIONAL – Plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-10 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); argilossiltosa; plástica e pegajosa.

t1 10-25 cm; bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmido); argilossiltosa; muito plástica e muito pegajosa.

t2 25-45 cm; bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, úmido), mosqueado, comum, pequeno, difuso, bruno (10YR 4/3); argilossiltosa; muito plástica e muito pegajosa.

t3 45-60 cm⁺; bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, úmido), mosqueado, comum, pequeno, difuso, bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/4); argilossiltosa; muito plástica e muito pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Perfil coletado úmido e com trado;
- 2- Lençol freático a 60 cm.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
17	Ap	00-10	0	0	1000	26	8	441	525	argilo-siltosa	
	Bt1	10-25	0	0	1000	3	3	444	550	argilo-siltosa	
	Bt2	25-45	0	0	1000	3	3	419	575	argilo-siltosa	
	Bt3	45-60	0	0	1000	2	3	419	575	argilo-siltosa	
GRADIENTE TEXTURAL											
ARGILA NATURAL g / Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm / h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d. S / m	
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %			
10	98	x	2,11	1,16	45	x	24,4	12,4	100	x	
9	98	x	2,11	1,17	45	x	23,9	12,5	0	x	
6	99	x	2,24	1,12	50	x	17,2	10,4	0	x	
6	99	x	2,11	1,48	30	x	20,8	11,4	0	x	
COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mEq / 100 mL)											
pH										SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,6	4,6	1,3	0,6	0,29	0,07	2,26	0,3	5,4	7,66	30	12
5,0	4,2	0,6	0,5	0,08	0,02	1,20	0,8	4,6	5,80	21	40
5,2	4,5	0,9	0,6	0,06	0,02	1,58	0,3	3,7	5,28	30	16
5,6	4,9	0,8	0,6	0,04	0,03	1,47	0,2	3,4	4,87	30	12
COMPLEXO SORTIVO											
CARBONO g / Kg	MAT. ORGÂNICA g / Kg	NITROGÊNIO g / Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
21,0	36,1	22,2	1	25	x	x	x	x	x	x	x
8,1	13,9	7,9	1	4,2	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,8	1,3	2	5,9	x	x	x	x	x	x	x
14,4	24,8	15,0	1	11,6	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 18

CLASSIFICAÇÃO – Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 209.632 m E. e 8.972.625 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Sedimentos fluviais do Holoceno.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVÇÃO – Coleta em área de baixada. Elevação 65 m.

RELEVO REGIONAL – Plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Imperfeitamente a mal drenado.

EROSÃO – Nula.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

0-10 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

10-40 cm; cinzento (2,5Y 5/0, úmido), mosqueado comum, pequeno e médio, proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); franco-argilo-arenosa; plástica e ligeiramente pegajosa.

40-60 cm⁺; cinzento-claro (2,5Y 7/0, úmido), mosqueado comum, pequeno e médio, proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); franco-argilo-arenosa; plástica e pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

1– Perfil coletado úmido e com trado;

2 - Lençol freático a partir de 50 cm.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)					CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA		
18	Ap	00-10	0	0	1000	464	84	202	250	franco-argilo-arenosa	
	C1	10-40	0	0	1000	476	102	147	275	franco-argilo-arenosa	
	C2	40-60	0	0	1000	434	52	190	325	franco-argilo-arenosa	
GRADIENTE TEXTURAL											
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA µmhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d S/m	
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %			
9	96	x	2,23	1,59	29	x	23,2	12,6	100	x	
9	97	x	2,39	1,72	28	x	20,2	11,7	0	x	
9	97	x	2,40	1,55	35	x	20,2	11,0	0	x	
pH											
pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mE / 100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1:1										
5,2	4,4	0,6	0,3	0,13	0,05	1,08	0,8	4,3	5,38	20	43
5,2	4,2	0,2	0,1	0,05	0,02	0,37	0,8	4,6	4,97	7	68
5,0	4,1	0,4	0,1	0,03	0,02	0,55	0,9	4,6	5,15	11	62
COMPLEXO SORTIVO											
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm ³	BORO mg/dm ³	COBRE mg/dm ³	FERRO mg/dm ³	MANGANÊS mg/dm ³	ZINCO mg/dm ³	COBALTO mg/dm ³	ENXÓFRE mg/dm ³
15,1	26,0	10,8	1	37,4	x	x	x	x	x	x	x
6,0	10,3	4,9	1	18,3	x	x	x	x	x	x	x
3,9	6,7	2,3	2	5,9	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 19

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 209.287 m E. e 8.972.183 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Produto da alteração dos sedimentos do Grupo Barreiras.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta em topo aplainado. Elevação 116 m.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

p 0-20 cm; Cinzento muito escuro (10YR 3/1); argilo-arenosa; plástica e pegajosa.

B 20-45 cm; Bruno-escuro (10YR 3/3); argila; plástica e pegajosa.

w1 45-80 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6); argila; muito plástica e muito pegajosa.

w2 80-115 cm; Bruno-amarelado (10YR 5/8); argila; muito plástica e muito pegajosa.

w3 115-150 cm⁺; Amarelo-brunado (10YR 6/8); argila; muito plástica e muito pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

1– Perfil coletado úmido e com trado.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSA g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
19	Ap	00-20	0	0	1000	430	75	120	375	argilo-arenosa
	AB	20-45	0	0	1000	372	61	142	425	argila
	Bw1	45-80	0	0	1000	369	48	133	450	argila
	Bw2	80-115	0	0	1000	328	60	137	475	argila
	Bw3	115-150	0	0	1000	319	49	132	500	argila

GRADIENTE TEXTURAL										
ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d.S/m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
9	98	x	2,26	1,46	35	x	13,6	7,3	0	x
8	98	x	2,25	1,24	45	x	12,0	6,9	0	x
6	99	x	2,24	1,41	37	x	15,5	9,1	0	x
7	99	x	2,22	1,30	41	x	16,4	10,6	0	x
8	98	x	2,29	1,64	28	x	19,0	11,6	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol/dm³ = mEq/100 mL)								SATURAÇÕES POR	
H₂O	KCl	Ca**	Mg**	K*	Na*	Valor "S"	Al***	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1:1										
6,0	4,9	0,8	0,1	0,07	0,02	0,99	0,2	4,0	4,99	20	17
5,0	4,9	0,2	0,1	0,08	0,02	0,40	1,0	4,6	5,00	8	71
4,7	4,2	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	0,9	4,3	4,63	7	73
4,7	4,3	0,2	0,1	0,03	0,01	0,34	1,0	4,3	4,64	7	75
5,4	4,3	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	1,0	4,3	4,63	7	75

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg/dm³	BORO mg/dm³	COBRE mg/dm³	FERRO mg/dm³	MANGANÊS mg/dm³	ZINCO mg/dm³	COBALTO mg/dm³	ENXÔFRE mg/dm³
12,9	22,2	14,2	1	7,5	x	x	x	x	x	x	x
10,8	18,6	10,2	1	5	x	x	x	x	x	x	x
5,0	8,6	5,6	1	1,2	x	x	x	x	x	x	x
2,2	3,8	2,1	1	1,3	x	x	x	x	x	x	x
1,8	3,1	1,5	1	1,2	x	x	x	x	x	x	x

PERFIL – 20

CLASSIFICAÇÃO – Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM SIRGAS 2000/25S: 210.353 m E. e 8.971.870 m N.

MAT. DE ORIGEM/GEOLOGIA – Sedimentos fluviais do Holoceno.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E ELEVACÃO – Coleta em área de baixada. Elevação 65 m.

RELEVO REGIONAL – Plano.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregosa e não rochosa.

DRENAGEM - Imperfeitamente a mal drenado.

EROSÃO – Nula.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

0-20 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido); franco-argilo-arenosa; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

20-50 cm; bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido); franco-argilo-arenosa; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

50-105 cm; cinzento-claro (10YR 6/1, úmido), mosqueado abundante, pequeno, difuso amarelo-brunado (10YR 6/6); argilo-arenosa; plástica e ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

1- Perfil coletado úmido e com trado;

2- Lençol freático a partir de 100 cm.

Nº PERFIL	QUADRANTE	PROFUNDIDADE (cm)	FRAÇÕES DA AMOSTRA TOTAL			GRANULOMETRIA (g/kg)				CLASSE TEXTURAL
			CALHAUS g/kg	CASCALHO g/kg	TFSa g/kg	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
20	Ap	00-20	0	0	1000	609	101	90	200	franco-argilo-arenosa
	C1	20-50	0	200	800	609	79	62	250	franco-argilo-arenosa
	C2	50-105	0	210	790	517	60	73	350	argilo-arenosa

GRADIENTE TEXTURAL

ARGILA NATURAL g/Kg	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	CONDUTIVIDADE HIDRAULICA cm/h	DENSIDADE		POROSIDADE TOTAL %	UMIDADE			CONDUTIVIDADE ELÉTRICA umhos/cm	EC a 25°C EXT. SATURAÇÃO d S / m
			REAL g/mL	APARENTE g/mL		0,01 MPa %	0,033 MPa %	1,5 MPa %		
7	97	x	2,37	1,35	43	x	6,8	3,7	100	x
8	97	x	2,55	1,82	29	x	7,7	4,1	0	x
7	98	x	2,39	1,62	32	x	8,3	4,8	0	x

pH		COMPLEXO SORTIVO (cmol _c / dm ³ = mEq / 100 mL)							SATURAÇÃO DE		
H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor "S"	Al ⁺⁺⁺	ACIDEZ TOTAL (H + Al)	Valor "T"	BASE V (%)	ALUMÍNIO Al (%)
12,5	1,1										
5,2	4,3	0,6	0,2	0,13	0,03	0,96	0,4	4,0	4,96	19	29
4,6	4,0	0,2	0,1	0,04	0,01	0,35	1,2	4,3	4,65	8	77
4,8	4,1	0,2	0,1	0,02	0,01	0,33	1,2	3,4	3,73	9	76

COMPLEXO SORTIVO					MICROELEMENTOS						
CARBONO g/Kg	MAT. ORGÂNICA g/Kg	NITROGÊNIO g/Kg	RELAÇÃO C/N sem unidade	FÓSFORO mg / dm ³	BORO mg / dm ³	COBRE mg / dm ³	FERRO mg / dm ³	MANGANÊS mg / dm ³	ZINCO mg / dm ³	COBALTO mg / dm ³	ENXÓFRE mg / dm ³
15,1	26,0	11,6	1	50,8	x	x	x	x	x	x	x
5,0	8,6	2,5	2	9,6	x	x	x	x	x	x	x
1,3	2,2	0,3	4	3,3	x	x	x	x	x	x	x