

# **Integração de dados no meio digital para a estimativa de unidades geotécnicas em zonas costeiras: o caso do município de São José do Norte (RS), Brasil**

## **Data Integration in the digital way for the estimate of geotechnical units in coastal areas: the case of the municipal district of São José do Norte (RS), Brazil**

**Antônio Luís Schifino Valente**

**Cezar Augusto Burkert Bastos**

**Carlos Sidney dos Santos Scott Hood**

*Fundação Universidade do Rio Grande -FURG, Rio Grande, RS, valente@vetorialnet.com.br*

**RESUMO:** O presente trabalho tem por finalidade a aplicação, em zona costeira, da metodologia proposta por Valente (1999) para a integração de dados do meio físico através de geoprocessamento, visando a estimativa de unidades geotécnicas. A metodologia utiliza técnicas de processamento e classificação de imagens orbitais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As unidades territoriais foram estimadas para o município de São José do Norte, pelo cruzamento digital de mapas geológicos e das unidades de solos, editados e atualizados sobre uma mesma base cartográfica, gerando um produto final na escala 1:100.000.

**ABSTRACT:** This paper has for purpose the application, in coastal area, of the methodology proposed by Valente (1999) for the integration of data of the physical environmental through geoprocessing, seeking the estimate of geotechnical units. The methodology uses processing techniques and classification of orbital images and Geographical Information Systems (GIS). The territorial units were dear for the municipal district of São José do Norte, for the digital crossing of geological maps and of the units of soils, edited and updated on a same cartographic base, generating a final product in the scale 1:100.000.

### **1. INTRODUÇÃO**

A ocupação do solo de forma desordenada e sem considerar os fatores condicionantes do meio físico, implica geralmente em grandes prejuízos sociais e econômicos. Em muitos casos, a ausência de um planejamento adequado para o uso racional do solo tem gerado situações de risco geológico com perdas de vidas e pesado ônus ao Poder Público, ref.[5]. Nas zonas costeiras, em especial, onde predominam ecossistemas frágeis e muito sensíveis às intervenções antrópicas, vivem segundo a UNESCO cerca de 60% da população mundial. São áreas onde conforme a ref.[8] constata-se uma crescente pressão sobre o meio ambiente devido ao fenômeno da urbanização, industrialização ou crescimento da atividade turística.

No entanto, esses efeitos nocivos podem ser evitados ou minimizados pelo conhecimento do meio físico e suas limitações, como no referente às características geotécnicas do solo.

Nesse sentido, a cartografia geotécnica tem sido um instrumento de grande relevância na avaliação do meio físico, auxiliando no estabelecimento de diretrizes de planejamento ou expansão urbana e industrial, na implantação das mais variadas obras civis, no direcionamento de atividades extrativas (como jazidas de solos), na definição de áreas próprias a deposição de resíduos urbanos e de áreas destinadas a preservação ambiental.

Nos últimos anos, os processos demorados e muitas vezes exaustivos tradicionalmente utilizados na elaboração de mapas geotécnicos de grandes áreas estão sendo implementados no meio digital através de diferentes metodologias que se

utilizam do aprimoramento das resoluções espacial, espectral e radiométrica dos sensores orbitais, do desenvolvimento das técnicas de processamento e classificação de imagens digitais e do surgimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). De acordo com a ref. [14], esses últimos, têm permitido a manipulação e a integração rápida de grandes volumes de dados georreferenciados.

O emprego de técnicas de geoprocessamento para a integração de dados na estimativa de unidades geotécnicas pode viabilizar um conhecimento mais ágil e eficiente do terreno em zonas costeiras e adjacências. Esses novos recursos constituem, sobretudo, instrumentos poderosos para a implementação de metodologias inovadoras que visem a formulação de diagnósticos e tomada de decisões sobre o meio físico, o estabelecimento de políticas públicas nas áreas de desenvolvimento urbano e rural, a execução de projetos de infra-estrutura, a preservação ambiental, além de fornecer subsídios técnicos para projetos sociais com a finalidade de propiciar melhores condições de habitabilidade às populações que ocupam áreas de risco.

O objetivo deste trabalho é a aplicação em zona costeira da metodologia para integração de dados por meio de técnicas de geoprocessamento para a estimativa de unidades geotécnicas proposta conforme a ref.[17].

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de São José do Norte (RS) (Figura 1), situado na restinga da Laguna dos Patos, porção da Planície Costeira do Rio Grande do Sul localizada entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico, moldada por processos de sedimentação e erosão em ambientes marinho, lagunar, praial e eólico, estabelecidos nas sucessivas regressões e transgressões marinhas durante o Quaternário.

O município manifesta uma expectativa de um grande crescimento urbano e econômico a médio e longo prazo em virtude de perspectivas de grandes investimentos na área portuária, de construção naval, de mineração e de florestamento. Entretanto, este crescimento está condicionado a investimentos públicos em infra-estrutura, em particular da conclusão das obras de pavimentação

da BR101 no trecho da restinga e da ligação a seco com o município de Rio Grande.

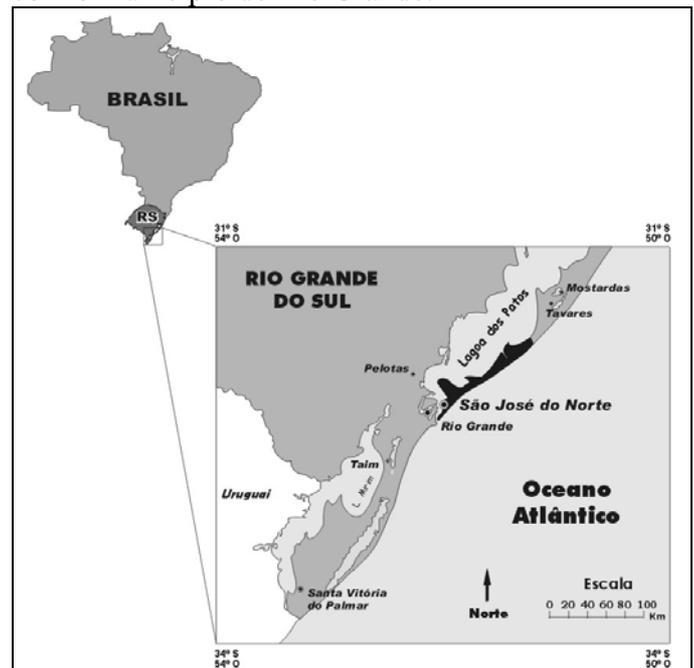


Figura 1 – A área de estudo: o município de São José do Norte (RS).

## 3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada para a estimativa das unidades geotécnicas baseou-se na proposta especificada na ref.[17] para a identificação, em meio digital, de unidades homogêneas sob o ponto de vista da Engenharia, descritas a seguir:

### Etapa 1 – Elaboração dos Modelos Conceitual e Lógico

Identificação das variáveis necessárias e disponíveis para o estudo e definição dos planos de informações correspondentes às informações sobre o meio físico de acordo com a ref. [7] para a estimativa no meio analógico das unidades geotécnicas.

### Etapa 2 – Definição do Modelo Físico

Estabelecimento das estruturas dos arquivos de dados para armazenamento no meio digital das informações gráficas e descritivas de cada plano de informação. Para os dados gráficos (mapas temáticos e imagens de satélites) foram escolhidos ambos formatos raster e vetorial. As informações descritivas foram armazenadas num banco de dados relacional (Access for Windows®).

### **Etapa 3 – Levantamento dos Dados Existentes e Seleção do Material.**

Levantamento e seleção do material necessário à aquisição de dados georreferenciados para posterior armazenamento e manipulação num Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os dados espaciais foram obtidos a partir de mapas temáticos, cartas topográficas e imagens orbitais. Dentre os dados espaciais empregados pode-se citar: mapa geológico-geomorfológico, ref.[11]; mapa de solos do município de São José do Norte, Tavares e Mostardas, ref.[6]; imagem LANDSAT/TM7, bandas 3, 4 e 5, de 24 de fevereiro de 2000; carta topográfica da Divisão do Serviço Geográfico do Exército (DSG-1977) escala 1.50.000. Os dados descritivos resultaram dos trabalhos realizados na região e especificados nas ref.[1], ref. [6] e ref.[13].

### **Etapa 4 – Escolha da Base Cartográfica e Delimitação da Área de Estudo**

Atualização, no meio digital, dos contornos das áreas emersas do município de São José do Norte (RS) apresentadas na carta do Serviço Geográfico do Exército, utilizada como base cartográfica, através do processo de classificação visual da composição colorida (3B,4G,5R) da imagem LANDSAT/TM7.

### **Etapa 5 – Caracterização Geral do Meio Físico e Adaptação dos Mapas Temáticos para Estudos Geotécnicos**

Entre os benefícios proporcionados pela metodologia de mapeamento geotécnico, ref.[7], destaca-se a utilização de mapas existentes sobre o meio físico. No entanto, esses mapas, realizados por técnicos das específicas áreas, necessitam geralmente ser adaptados para o uso na Geotecnia.

A etapa 5 teve por finalidade promover a adequação dos mapas existentes, em especial os mapas geológico e pedológico, à atividade de mapeamento geotécnico através de dois procedimentos: a) definição de Agrupamentos Geológico-Geomorfológicos para fins geotécnicos com base no mapa geológico-geomorfológico; b) definição de Agrupamentos das Unidades Pedológicas para fins geotécnicos com base no mapa das unidades de solos.

### **Etapa 6 – Conversão dos dados para o formato digital**

O método empregado para a conversão dos dados espaciais para o formato digital foi a digitalização de mapas, procedida por meio de um sistema CAD (Computer Aided Design), em particular o AutoCAD<sup>®</sup>. Já os dados descritivos correspondentes às características e propriedades dos materiais existentes no meio físico foram armazenados num banco de dados relacional (Access for Windows<sup>®</sup>), estruturado conforme ref.[17].

### **Etapa 7 – Classificação de imagens digitais para edição dos mapas temáticos.**

Classificação visual da imagem LANDSAT/TM7 e da composição colorida para o reconhecimento de alvos (estradas, áreas urbanas, corpos d'água) e atualização dos limites de algumas classes temáticas dos mapas originais ref.[6] e ref.[11] em função da base cartográfica utilizada e das modificações ocorridas no terreno, em especial junto às margens da Laguna dos Patos.

### **Etapa 8 – Implementação de Técnicas de SIG para Estimativa das Unidades Geotécnicas**

Os mapas das unidades de solos e das unidades geológico-geomorfológicas já no formato digital e editados na etapa anterior foram armazenados no programa IDRISI<sup>®</sup> desenvolvido pela Graduate School of Geography, Clark University, originando diferentes planos de informações. Cada plano de informação passou a conter, de forma georreferenciada, todas as informações gráficas sobre a geologia e as unidades de solos na área de estudo. Em seguida, esses arquivos digitais foram reclassificados por meio de algoritmos de manipulação das imagens, gerando novos mapas derivados que passaram a representar os agrupamentos geológico-geomorfológicos e das unidades de solos definidos na etapa 5 da metodologia. Finalmente, após a elaboração de um modelo cartográfico baseado na ref. [7], (Figura 2), esses mapas foram cruzados, reclassificados e editados de acordo com os procedimentos descritos na ref. [17], gerando no computador, a imagem final da estimativa das unidades geotécnicas para o município de São José do Norte (RS).

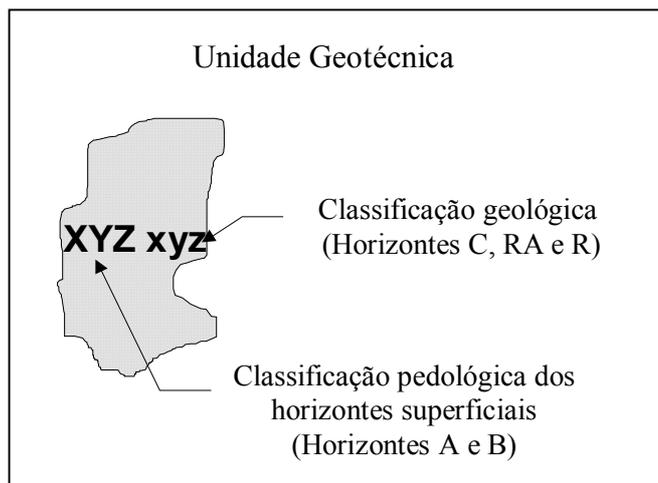


Figura 2 – Simbologia para a identificação das unidades geotécnicas de acordo com a ref.[7].

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

A partir do mapa geológico-geomorfológico, escala 1:100.000, ref.[11], com a análise de feições estruturais, características texturais e mineralogia básica conforme descrito na ref. [15] foram definidos os agrupamentos geológico-geomorfológicos. Para o município de São José do Norte (RS), constituído basicamente por terrenos sedimentares marinhos, eólicos e lagunares pleistocênicos na parte central e mais alta da restinga e por sedimentos mais modernos (holocênicos) nas zonas mais baixas, junto às bordas da Laguna dos Patos foram identificadas seis unidades geológico-geomorfológicas: Dunas Vivas (dv), Dunas Obliteradas (do), Terraços Lagunares (tl), Banhados (b), Mantos de Aspersão Eólica (ma) e Barreira Litorânea 3 (b3).

Desde o mapa de solos no município, escala 1:100.000, ref.[6], os agrupamentos pedológicos identificados foram: Associação de Areias Quartzosas Hidromórficas e Podzólico Vermelho-Amarelo (AQH+PV); Associação de Planossolos e Solonetz (PL+SO); Associação de Solonchack e Solos Glei (SK+G); Solos Glei (G) e Areias Quartzosas Hidromórficas (AQH)

Uma descrição detalhada das características físicas de cada agrupamento geológico-geotécnico ou unidade de solo pode ser encontrada na ref.[17].

A aplicação, no município de São José do Norte (RS), da metodologia proposta na ref.[16] para a estimativa de unidades geotécnicas por meio de geoprocessamento na escala 1:100.000, permitiu a

identificação, de 14 (catorze) unidades territoriais com perfis de solos praticamente homogêneos quanto às suas características geotécnicas (Figura 3). As principais características das unidades geotécnicas são descritas a seguir.

#### Unidade 1: HAQ+PV do

Unidade geotécnica encontrada nas regiões sul, central e norte do município e constituída pela associação de perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) e de Podzólico Vermelho-Amarelo plíntico (PV), formados no ambiente de campos de Dunas Obliteradas (do).

Os perfis de solos são desenvolvidos sobre dunas semi-fixadas pela vegetação ou pela umidade, localizadas no interior de São José do Norte, chamadas de dunas obliteradas. Conforme a ref.[11], constituem superfícies conservadas por um período de oxidação intensa e que não sofreram processos erosivos eólicos posteriores. Ocorrem na unidade geomorfológica descrita na ref.[6] como Lombada.. São caracterizadas por deposições de sedimentos arenosos de nível mais elevado, estando situadas sobre a denominada Barreira Litorânea 3. De acordo com a ref.[6], nessa região as areias e óxidos de ferro, transportados pelo vento, construíram um manto arenoso avermelhado de espessura variável sobre a camada argilosa da Barreira 3. Os perfis de solo apesar da homogeneidade do material de origem apresentam variações referentes às imobilizações e remobilizações do ferro. Por outro lado, graças à espessura variável do manto arenoso, nos períodos de chuva ocorre a formação de áreas submersas até mantos apenas úmidos, na parte superficial. Já a parte inferior do solo (Barreira 3), se apresenta plana, argilosa e impermeável. Logo, conforme a ref. [6], a água de saturação da camada arenosa apresenta-se como uma lâmina de profundidade variável nas diferentes estações do ano. Essa água de saturação normalmente constitui o veículo de transferência constante do ferro solubilizado das partes altas para as cotas inferiores com posterior concrecionamento do ferro.

Nesta unidade, em áreas mais elevadas, é verificada a zona de ocorrência de Podzólicos Vermelho-Amarelo, onde destaca-se a presença de um horizonte B areno-argiloso oxidado avermelhado que contrasta com o horizonte superficial arenoso. O caráter plíntico do horizonte

B, evidenciado pelo nítido mosqueado do horizonte, é atribuído à oscilação sazonal do lençol freático descrita anteriormente. O perfil é frequentemente recoberto por deposições eólicas recentes.

Em áreas mais baixas do relevo local na unidade encontram-se os perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas, onde a superficialidade sazonal do lençol freático é característica. O perfil A-C é essencialmente arenoso, sendo inexistente o gradiente textural.

As áreas mais elevadas da unidade são aquelas mais próprias a ocupação. O solo do horizonte B, de comportamento laterítico e levemente cimentado apresenta-se como um terreno de fundação de razoável capacidade de suporte, boa escavabilidade e boa drenagem. Estudos têm sido conduzidos para emprego do solo deste horizonte como material de construção de base de pavimentos, face a similaridade com os solos arenosos finos lateríticos muito empregados em pavimentação econômica no sudeste do país, ref.[2]. Entretanto cuidados devem ser tomados na preservação da vegetação rasteira nativa destas áreas, fundamental na estabilidade destas dunas. A degradação desta vegetação leva a reincidência de processos erosivos eólicos.

As áreas mais baixas apresentam como maior limitante a superficialidade sazonal do lençol freático, que restringe a efetividade da drenagem urbana em períodos chuvosos e dos sistemas domésticos de tratamentos de esgotos (fossa séptica e sumidouro). Por outro lado, apesar de arenosos finos, são terrenos mais estáveis frente à erosão eólica pela maior umidade dos materiais e pela maior concentração de matéria orgânica no horizonte superficial, também responsável pela facilidade maior na fixação da vegetação por gramíneas nestes perfis.

### **Unidade 2: PL+SO do**

Unidade geotécnica constituída pela associação de perfis de Planossolos e de Solonetz (PL + SO) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico Dunas Obliteradas (do). Esta unidade ocorre, única e exclusivamente, na altura do Saco do Rincão, próxima à porção central do município.

Sob o ponto de vista geológico-geomorfológico apresenta as mesmas características da unidade

anterior. Já os perfis de solos desenvolvidos diferem em aspectos importantes. São formados perfis de Planossolos, caracterizados pelo gradiente textural entre os horizontes superficial e subsuperficial e pela superficialidade sazonal do lençol freático. Os perfis de Solonetz são morfologicamente semelhantes aos Planossolos, diferenciando-se pelo caráter nátrico (saturação em sódio), que podem atribuir dispersividade a fração fina presente no horizonte subsuperficial.

A ocupação urbana nesta unidade é limitada pelas condições de drenagem dos terrenos. A potencial dispersividade dos solos saturados em Na, deve ser considerada, limitando o uso destes materiais em obras hidráulicas em terra (pequenas barragens, taipas e outras estruturas similares). Por outro lado, os terrenos apresentam maior resistência a reativação de processos erosivos eólicos

### **Unidade 3: PL+SO tl**

Unidade geotécnica constituída pela associação de perfis de Planossolos e Solonetz (PL + SO) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico Terraços Lagunares (tl). Ocorre predominantemente junto ao distrito de Bojuru, localizado na parte norte do município, embora também ocorra, em menor escala na parte central do mesmo.

Os Terraços Lagunares, de uma forma geral, constituem-se de sedimentos de fundo de lagos, depositados em condições de água salobra e expostos no final do Pleistoceno (Sombroek, 1969). Possuem o relevo essencialmente plano, diferenciam-se uns dos outros, pelas suas altitudes.

No município de São José do Norte, associada a esta unidade, tem-se o Terraço Lagunar 3, que constitui uma faixa estreita, com relevo plano (planície sem meso-relevo) e cotas entre 2 e 6 metros, composta de sedimentos siltosos, onde os processos erosivos que modelam a superfície praticamente não atuaram. Na porção norte do município, de acordo com a ref.[9], o Terraço 3 nesta unidade geotécnica está relacionado à unidade geomorfológica denominada de Planície Média, ref.[6].

Ainda segundo a ref.[6], nesta feição do Terraço 3 os processos pedológicos têm sido menos atuantes do que nas zonas mais altas do relevo devido a um menor tempo de exposição. Nessa

planície, o autor menciona características de hidromorfismo constante nos solos por estarem localizados em zonas mais baixas do relevo e destaca: “... a evolução do solo se processa com o nível freático sempre próximo à superfície no inverno, embora no verão, possa chegar a 2m abaixo de profundidade. Em decorrência tornam-se comuns perfis onde o sódio não foi removido da parte superior do horizonte B<sub>t</sub> do solo.” Nessa região, o autor identificou a presença de Planossolos e solos Solonetz e Solonetz salino. Além disso, destaca como principal fator restritivo ao uso agrícola, a má drenagem e recomenda o uso de uma irrigação efetuada com excesso de água para controlar a ascensão do sódio e uma drenagem superficial conveniente para evitar maiores problemas com hidromorfismo.

Como na unidade anterior, a restrição à ocupação urbana na unidade está associada a problemas de drenagem. A dispersividade da fração fina dos solos (pela saturação com sódio) restringe o uso destes solos em obras de terra de cunho hidráulico.

#### **Unidade 4: PL+SO ma**

Unidade geotécnica constituída pela associação de perfis de Planossolos e Solonetz (PL + SO) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico Mantos de Aspersão Eólica (ma). Esta unidade é encontrada predominantemente junto ao terceiro distrito, próximo à Vila de Bojuru e ao norte, arredores do distrito denominado Estreito.

Os mantos de aspersão eólica, de acordo com a ref.[6], são superfícies que sofreram desagregação e transporte eólico sobre vários ambientes (cordões litorâneos e terraços lagunares) posteriormente a um período de oxidação intensa. Compreendem, portanto, as terras sedimentares pleistocênicas e holocênicas, que sofreram retrabalhamento eólico.

No município de São José do Norte, em correspondência ao trabalho citado na ref.[6], os mantos de aspersão eólica pertencentes a esta unidade geotécnica ocorrem em pequenas áreas da unidade geomorfológica denominada Planície Alta.

Na área de ocorrência dos mantos de aspersão correspondente à Planície Alta, a ref. [6] descreve a existência de perfis de Planossolos e Solonetz. As características e as restrições a ocupação destes

perfis são as mesmas descritas para as unidades 2 e 3.

#### **Unidade 5: PL+SO b3**

Unidade geotécnica constituída pela associação de perfis de Planossolos e Solonetz (PL + SO) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico Barreira Litorânea 3 (b3). Foi constatado que esta unidade tem predominância no primeiro distrito (distrito sede), localizado na porção centro-sul do município, onde desenvolve-se desde o Saco do Rincão até à BR-101. Parte expressiva desta unidade é encontrada, ainda, na porção central do município junto ao segundo distrito (Estreito).

Na restinga litorânea de São José do Norte, conforme a ref.[6], a Barreira Litorânea 3, citada na ref.[11] e que constitui uma faixa sedimentar estreita (200 m) que se alarga gradativamente ao norte, caracteriza-se por um meso-relevo mais acentuado, quando comparada com as planícies aluviais holocênicas completamente planas (Terraços Lagunares, ref. [11], ou Planícies Baixa e Média, ref.[6]). Segundo a ref. [6], o meso-relevo é decorrente dos processos erosivos (água sobre superfície) e aditivos (areias eólicas), nos materiais provenientes de antigas dunas ou transgressões marinhas. Nas áreas de relevo mais plano as declividades médias são inferiores a 0,1%.

No município, a Barreira 3 corresponde à unidade geomorfológica Planície Alta, ref.[6], de perfil arenoso, onde verifica-se a ocorrência de um maior tempo de atuação dos processos erosivos e aditivos após a sua exposição no Pleistoceno. Conforme a ref.[12], essa área sedimentar, com origem no Pleistoceno Médio, é marcante em toda a planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com a ref[6], a região apresenta evidências de ter sido cortada por leitos antigos e estreitos que ligavam a Laguna do Patos com o mar. O autor constata também que, nessa unidade geomorfológica, os sedimentos são menos argilosos à medida que a faixa sedimentar se estreita para o sul.

Em geral, nas partes altas, são encontrados Planossolos, ref.[3]. Nas partes planas, menos afetadas pelos processos erosivos e aditivos, ocorrem Planossolos típicos, com horizontes de perdas laterais pouco espessos, sobre horizonte B<sub>t</sub>

impermeáveis. Por outro lado, nas partes baixas do relevo há um processo de adição de partículas finas com água de drenagem, constituindo superfícies abaciadas que formam, muitas vezes, pequenas lagoas, quando a drenagem é obstruída. Nesses locais, o solo é constituído por uma camada franco-argilosa compacta com transição gradual e com pouca diferenciação textural entre os horizontes A e B<sub>t</sub>. Segundo a ref. [10] esse conjunto de solos é classificados como Planossolos Solódicos (6-15 % de saturação com sódio no complexo de troca de cátions). Entretanto, para a ref.[6] existe evidência de que o processo de dessalinização da Planície Alta foi completo, exceto nas bordas, para onde convergem as águas de drenagem.

As características e as restrições a ocupação destes perfis são as mesmas descritas para as unidades 2, 3 e 4, isto é, referem-se a deficiente drenagem dos terrenos e a potencial dispersividade da fração fina dos solos pela saturação em sódio.

#### **Unidade 6: SK + G tl**

Unidade geotécnica constituída pela associação de perfis de Solonchak e Solos Glei (SK + G) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico Terraços Lagunares (tl). Esta unidade é encontrada desde à Barra Falsa até o Saco do Rincão, numa faixa de terra adjacente à Laguna dos Patos. Encontra-se, ainda, em porções menores, junto à Laguna dos Pastos, no primeiro distrito. Nesta unidade geotécnica encontram-se os Terraços Lagunares 3 e 4.

O Terraço 3 relacionado à Planície Baixa, segundo a ref.[6], é caracterizado por superfícies sedimentares holocênicas expostas na borda da Laguna dos Patos. São áreas sujeitas a alagamentos eventuais e temporários nos períodos de outono e na primavera.

O Terraço 4, em relevo plano e solo mais lixiviado, igualmente constituído por sedimentos de fundo de lagos depositados em condições de água salobra, também está relacionado à Planície Baixa descrita na ref.[6]. Na realidade, o terraço corresponde a uma parte da unidade geomorfológica Planície Baixa e apresenta uma altitude média de 0,5 m, caracterizando também zonas periodicamente inundáveis, ref.[9]. No município, o Terraço 4, também formado por superfícies sedimentares holocênicas expostas na

borda da Laguna dos Patos, originou-se a partir de deposição em ambientes aquáticos, de areia fina, que cobrem os sedimentos argilosos da Planície Média e Alta mapeadas conforme ref.[6]. Segundo essa referência, na superfície dos sedimentos arenosos finos há uma sedimentação mais recente de partículas argilosas ou siltosas, principalmente nas bordas da planície. Em áreas onde ocorrem depressões são encontrados extratos siltosos e argilosos mais espessos na superfície.

Contrariando os depósitos aluviais, sujeitos à erosão ao longo do tempo, esses sedimentos são estáveis, homogêneos e pouco se modificaram, pois a dinâmica do processo ocorre com energia baixa e constante. Constituem-se atualmente em ambientes sujeitos a alagamentos periódicos em épocas de maior pluviosidade, como no inverno e final da primavera.

Os solos formados são predominantemente gleizados (quase sempre estão saturados de água, ocorrendo as transformações químicas na ausência de oxigênio) e férteis, embora arenosos e com ocorrência localizadas de altos teores de sais e sódio trocável. Além de saturados de água, estão sujeitos à baixa movimentação de água no interior do perfil o que propicia a sua fertilidade e uma maior retenção dos sais no solo.

Em ambos terraços (Terraço 3 – Planície Baixa e Terraço 4), de acordo com a ref.[6] ocorre a presença de solos do tipo Solonchak e Glei Pouco Húmido Salino. São solos muito mal drenados e com elevada concentração de sais. Constata-se o uso atual na forma de cultivo de arroz com alto risco, pois as enchentes podem ocorrer na época de preparo do solo atrasando o cultivo ou no período de colheita. No entanto, segundo descreve, a região é apropriada para muitos cultivos desde que realizada drenagem e irrigação adequadas (Sistemas de Taipas e Bombeamento).

A ocupação urbana nesta unidade é seriamente comprometida pela má drenagem e baixa capacidade de suporte dos horizontes superficiais e subsuperficiais destes perfis. Já a salinidade restringe a exploração agrícola dos terrenos da unidade.

#### **Unidade 7: G tl**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Solos Glei (G) desenvolvidos no agrupamento geológico-geomorfológico-geotécnico Terraços

Lagunares (tl). Esta unidade é constituída por uma faixa estreita ao longo da BR-101, no primeiro distrito (sede), na porção centro-sul do município. As características da unidade assemelham-se àquelas descritas para a unidade anterior, sendo entretanto mais restrita a presença de solos salinos (Solonchak). É formada por solos alagadiços, gleizados, com horizonte superficial rico em matéria orgânica. A baixa capacidade de suporte do solo superficial e a má drenagem são limitantes a ocupação urbana na unidade.

#### **Unidade 8: G b**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Solos Glei (G) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Banhados (b). Esta unidade é constituída por pequenas áreas, localizadas na região centro-sul, junto ao Saco do Rincão e na região norte, no terceiro distrito (Bojuru). O agrupamento Banhados está relacionado ao chamado Terraço Lagunar 5 que caracteriza o nível de inundação atual na região, com a formação de banhados permanentes e cotas de 0 m.

No município de São José do Norte (RS), conforme a ref. [9], o Terraço 5 é constituído por camadas argilosas, siltosas e até orgânicas, sobre areias holocênicas. Conforme destaca o autor, em algumas áreas, esse terraço resultou da colmatação de antigos leitos de rios ou lagoas e quando depositados em ambientes marinhos ou estuarinos, encontram-se colonizados por vegetação halófitas.

Os terrenos permanentemente alagados tornam-se restritos à ocupação urbana. A ocupação urbana em áreas de banhados apresenta restrições da legislação ambiental vigente. Mesmo assim, o aterramento destas áreas deve ser executado somente após uma criteriosa avaliação dos impactos ambientais decorrentes.

#### **Unidade 9: G ma**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Solos Glei (G) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Mantos de Aspersão Eólica (ma). A unidade aqui descrita compreende uma área que se desenvolve ao sul do município, estendendo-se desde o Canal do Norte até alcançar o Oceano Atlântico.

Esta unidade geotécnica leva em conta os mantos de aspersão eólica que ocorrem ao sul do município, relacionado a unidade geomorfológica denominada Planície Baixa Marinha, segundo a ref.[6]. É importante destacar, que na região da Planície Baixa Marinha predominam áreas alagáveis durante as chuvas ocasionais, por curto período ou alagáveis temporariamente, quando os banhados se mantêm com níveis alto no inverno. Segundo o autor, que identificou nessa região a presença de Gleis Pouco Húmicos e Gleis Húmicos, na maior parte, os solos são predominantemente de natureza argilosa superficialmente constituído por sedimentos finos situados sobre as areias da praia, que erodiram da Barreira Litorânea 3. A ref.[6] destaca ainda uma provável constituição salina dos solos, a descontinuidade e heterogeneidade na natureza dos sedimentos e a provável constituição de perfis com estratos orgânicos fossilizados.

Da mesma forma que para as unidades 7 e 8, o alagamento dos terrenos e as deficientes propriedades geotécnicas dos solos superficiais dos Solos Gleis, restringem o potencial de uso urbano dos solos desta unidade.

#### **Unidade 10: D + HAQ dv**

Unidade geotécnica constituída por Dunas e perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Dunas Vivas (dv). Esta unidade possui maior representatividade entre todas as unidades geotécnicas estimadas (21,59% da área total do município). Ocorre praticamente em toda a porção leste do município, junto ao oceano Atlântico e em menor extensão, na porção sul, junto à Laguna dos Patos.

As dunas vivas compreendem, segundo a ref.[11], as deposições de areias quartzosas próximas ao mar (dunas marinhas) e as formações arenosas contínuas junto à borda da Laguna dos Patos (dunas lagunares). Representam, portanto, as dunas litorâneas atuais e as que ocorrem no interior da Restinga da Laguna dos Patos. Segundo a ref.[9], essas feições geológico-geomorfológicas foram formadas a partir do começo do Holoceno, por deslocamento e deposição de areias recentes conforme descreve a ref.[4], constituindo depósitos de areias quartzosas inconsolidadas e formando uma faixa contínua ao longo das duas restingas.

As dunas marinhas constituem as praias, podendo ser aplainadas ou apresentarem características de movimentação pelo vento. Em geral, nessas áreas, o relevo é movimentado e apresenta deficiência de umidade por algum período. Já as dunas lagunares são formações semelhantes às dunas marinhas, mas com menor possibilidade de ocorrência de sais solúveis, ref.[6].

Nas regiões de ocorrência das dunas vivas, o relevo encrespado muda continuamente devido à dinâmica associada à ação eólica.

As dunas constituem um tipo de terreno sem evolução pedogenética, formado pelo depósito eólico superficial de areias finas eólicas. Já os perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas tendem a formarem-se nas áreas deprimidas entre dunas. São perfis essencialmente arenosos enriquecidos superficialmente em matéria orgânica. Estão fortemente susceptíveis a soterramento pela movimentação das areias das dunas adjacentes. Junto às dunas lagunares no município de São José do Norte, a ref.[6] descreve perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas com cultivos de *Pinus Sp.*

A ocupação urbana em áreas de dunas vivas apresenta restrições da legislação ambiental vigente. Os processos de erosão eólica atuantes constituem outro forte fator restritivo a ocupação destas áreas.

#### **Unidade 11: HAQ do**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Dunas Obliteradas (do). Esta unidade, é constituída por pequenas áreas que aparecem em diversos pontos do município, predominantemente no primeiro e terceiro distritos.

É constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas, como descritos na unidade anterior, em um ambiente de dunas fixadas pela vegetação, como descrito na unidade 1.

As limitações a ocupação urbana estão relacionadas a superficialidade sazonal do lençol freático e a necessidade de preservação da vegetação nativa responsável pela estabilidade do sistema.

#### **Unidade 12: HAQ tl**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Terraços Lagunares (tl). Esta unidade ocorre na parte central do município, junto à orla atlântica, com pouca expressão territorial.

É constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas, como descritos na unidade 10, em um ambiente de terraços lagunares como descrito para a unidade 3.

A principal limitação à ocupação urbana está relacionada aos problemas de drenagem associados a superficialidade sazonal do lençol freático.

#### **Unidade 13: HAQ b**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Banhados (b). Esta unidade encontra-se ao norte, próxima ao município de Tavares e na porção centro-sul, na altura do Saco do Rincão.

É constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas, como descritos na unidade 10, em um ambiente do Terraço Lagunar 5 como descrito para a unidade 8.

A principal limitação à ocupação urbana está relacionada aos problemas de drenagem associados a superficialidade sazonal do lençol freático e a restrição ambiental imposta a ocupação dos terrenos alagadiços de banhados.

#### **Unidade 14: HAQ ma**

Unidade geotécnica constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas (HAQ) formados no agrupamento geológico-geomorfológico Mantos de Aspersão Eólica (ma). Esta unidade compreende uma área que envolve praticamente todo o Pontal do Bojuru.

Correspondem aos mantos de aspersão eólica que ocorrem ao norte, em pequenas áreas das unidades denominadas Dunas Lagunares conforme a ref.[6]. As dunas lagunares são formações semelhantes às dunas marinhas, mas com menor possibilidade de ocorrência de sais solúveis. É constituída por perfis de Areias Quartzosas Hidromórficas, como descritos na unidade 10.

As restrições a ocupação urbana está associada a superficialidade sazonal do lençol freático. A mineração destas areias na busca de elementos minerais de grande valor comercial constitui um grande potencial econômico para a região. Qualificados estudos de impacto ambiental devem acompanhar a implantação destes investimentos.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia proposta na ref.[16] para a integração de dados do meio físico, visando a estimativa de unidades geotécnicas, mostrou-se adequada e eficiente, ratificando a importância e a contribuição da ferramenta básica geoprocessamento para os estudos geotécnicos, mesmo em áreas com características geomorfológicas tão complexas como as zonas costeiras. As diferentes etapas da metodologia executadas na seqüência proposta agilizaram sobremaneira a identificação de unidades com perfis de solos com comportamento praticamente homogêneos sob o ponto de vista geotécnico.

No entanto, tendo em vista a ocorrência de alterações morfológicas freqüentes em zonas costeiras, devido a fatores oceanográficos (ondas, marés, correntes litorâneas, etc.), processos erosivos, transporte de sedimentos, variação do nível do mar e a própria intervenção do homem, torna-se necessário para a aplicação da metodologia nessas regiões, o dispêndio de um maior tempo na execução da etapa 7. Nessa fase do trabalho é preciso proceder a atualização da linha de costa e dos contornos das classes temáticas dos mapas existentes sobre o meio físico para, posteriormente, integrá-los no meio digital. Nesse sentido, no município de São José do Norte (RS), além da feição litorânea junto ao Oceano Atlântico e do contorno da Laguna dos Patos, foi procedida a atualização dos limites das unidades de solos, sobretudo das unidades denominada dunas vivas e mantos de aspersão, alteradas ao longo do tempo graças a processos erosivos eólicos intensos. Cabe destacar para esse procedimento, a importância do emprego de técnicas de processamento e classificação visual ou digital de imagens orbitais e/ou sub-orbitais, principalmente se considerarmos a elevada resolução espacial das imagens de sensoriamento remoto atualmente disponíveis. Contudo é importante também lembrar que a alta reflectância das areias presentes em quase todas as

unidades de solos mapeadas nas zonas costeiras, dependendo do produto de sensoriamento remoto utilizado, podem dificultar o reconhecimento nas imagens das classes de solos mapeadas na área de estudo, exigindo um trabalho mais detalhado de campo.

A breve análise da aptidão à ocupação urbana para as diferentes unidades geotécnicas encontradas para o município de São José do Norte permitiu identificar algumas potencialidades e limitações. Dentre as restrições, cabe destacar terrenos com superficialidade sazonal ou permanente do lençol freático e decorrente má drenagem, terrenos com potencial reativação de processos erosivos eólicos e terrenos protegidos por legislação ambiental (dunas vivas e banhados).

A partir deste trabalho básico, outros poderão serem desenvolvidos, como cartas e/ou estudos temáticos específicos. Espera-se, acima de tudo, que as informações geradas sejam aplicadas no planejamento do município de São José do Norte, tão necessário nas condições atuais e principalmente frente às perspectivas de desenvolvimento vislumbradas

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

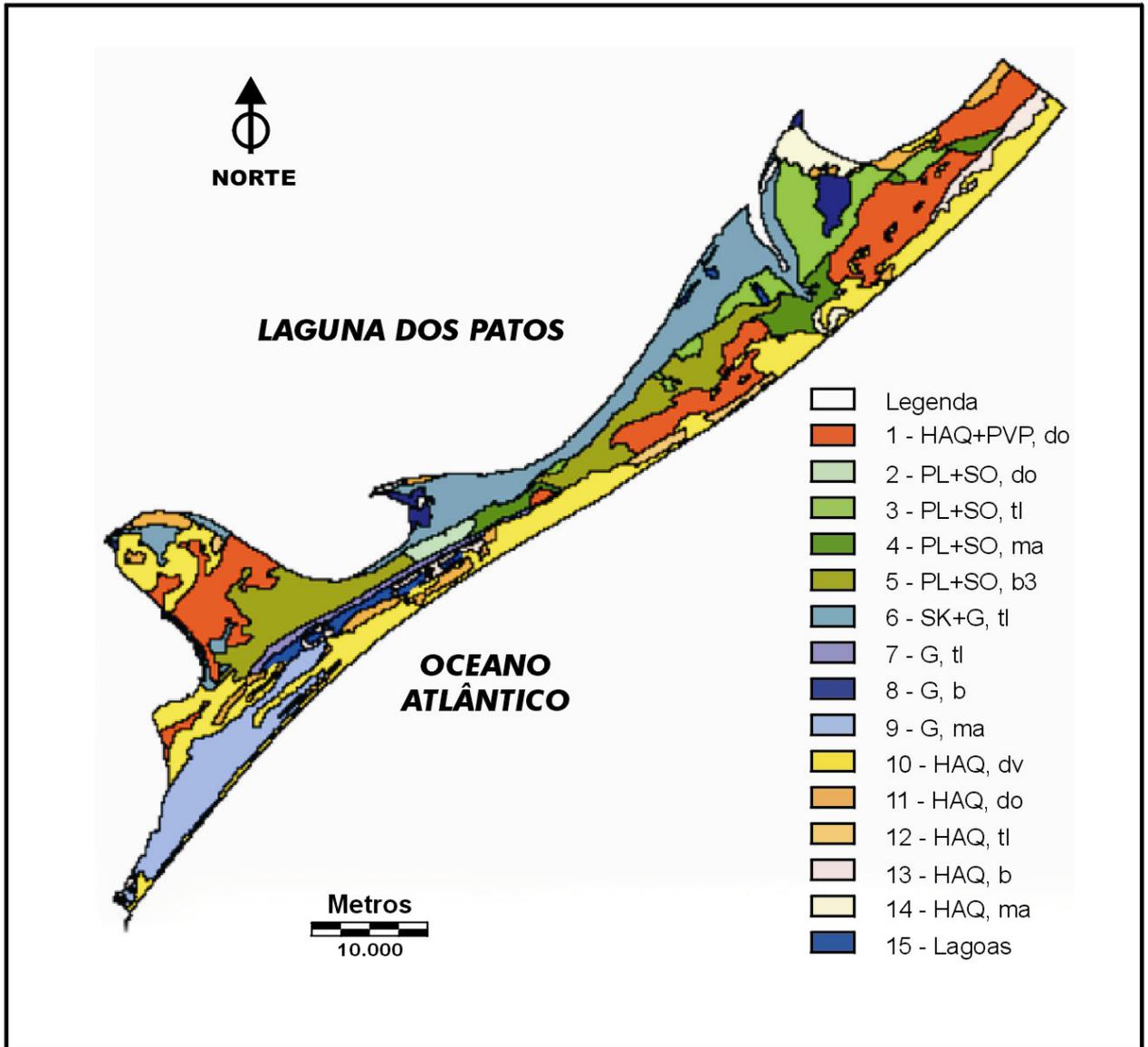
## REFERÊNCIAS

1. Bastos, C.A.B. *Reconhecimento e caracterização geotécnica dos solos da Planície Costeira Sul do RS*. Relatório técnico de pesquisa FAPERGS. Porto Alegre. 79p. e anexos (não publicado), 1996.
2. Bastos, C.A.B. *Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul*. Anais do II Seminário de Engenharia Geotécnica – Geors'2003. Rio Grande/RS. Editor Bastos, C.A.B., DMC-FURG/ABMS-NRRS: Rio Grande/RS. p.31-40., 2003
3. Brasil - Depto. Nacional de Pesquisa Agropecuária - Divisão de Pesquisa Pedológica *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 431p. (Boletim técnico, 30), 1973.

4. Casella, L.L.C. *Análise e Planejamento Ambiental do Município de Rio Grande, RS. Rio Grande.* Trabalho de conclusão de curso, Oceanologia. FURG, 1994.
5. Cerri, L. E. S.; Amaral, C. P. *Riscos geológicos.* In: Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, p.301-310, 1998.
6. Cunha, N.G. *Caracterização dos solos dos municípios de São José do Norte, Tavares e Mostardas.* 2a ed. Pelotas: EMBRAPA/CPACT; Ed. UFPEL, 1997. 47p. (Documentos CPACT 7/94), 1997.
7. Davison Dias, R. *Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais.* Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v.especial, p.51-55, 1995.
8. Fornasari Filho, N.; Infanti Jr. N. *Processos de Dinâmica Superficial.* In. Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo, 1998.
9. Gautério, R. C. *Áreas com restrição de uso legal no município de São José do Norte.* Trabalho de conclusão de curso em Geografia. FURG. Rio Grande, 1997.
10. IBGE Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: *geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.* Rio de Janeiro, 796p. 6 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, vol.33), 1986.
11. Long, T. *Le Quaternaire du Rio Grande do Sul. Temoins des Quatre Derniers Episodes Eustatiques Majeurs Geologie et Evolution.* Bordeaux, France: Tese de doutorado. Universidade de Bordeaux, 1989.
12. Sombroek, W.G. *Soil studies in the Merin Lagoon basin.* Merin Lagoon regional project. Treinta y Tres: CLM/PNUD/FAO. v. 1., 1969.
13. Tagliani, C.R.A. *Proposta Para o Manejo Integrado da Exploração de Areia no Município Costeiro de Rio Grande, RS, Dentro de Um Enfoque Sistêmico.* São Leopoldo: Dissertação de Mestrado, Geologia. Departamento de Geologia/UNISINOS, 1997.
14. Valente, A.L.S. *Desenvolvimento de uma metodologia para planejamento urbano, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, modelagem numérica do terreno e sistema de informações geográficas.* Porto Alegre, 182 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da UFRGS, 1995.
15. Valente, A.L.S.; Koppe, J.C.; Strieder, A. J. S.; Quadros, T.F.P. *Considerações sobre procedimentos para a integração de dados por meio de sistema de informações geográficas (SIG) visando a análise do meio físico e estudos geotécnicos.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., Florianópolis, SC, 1998.
16. Valente, A.L.S. *Integração de dados por meio de geoprocessamento para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana.* Tese de doutorado em andamento, UFRGS, 1999.
17. Valente, A.L.S. *Integração de dados por meio de geoprocessamento para realização do mapeamento geotécnico na região costeira sul/RS.* Projeto ARD/FAPERGS. 120p., 2002.

390000, 6530000

490000, 6530000



390000, 6440000

490000, 6440000

Figura 3 – Estimativa das unidades geotécnicas para o município de São José do Norte (RS).