

**MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E AMBIENTAL DOS SOLOS DO
COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE, REGIÃO METROPOLITANA
DO RECIFE, PERNAMBUCO, BRASIL.**

**PHYSICAL-CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL MONITORING OF SOILS IN THE
SUAPE PORT INDUSTRIAL COMPLEX, METROPOLITAN REGION OF RECIFE,
PERNAMBUCO, BRAZIL.**

**Rodrigo Atanasio Silva ¹
Alex Sousa Morais ²**

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao estudo das características físicas e químicas dos solos localizados nas áreas do complexo Industrial e Portuário de Suape. Foram obtidas através da realização de coleta em 11 pontos espalhadas dentro de uma área de 450 m² determinada, uniformemente, para ter uma maior e melhor representatividade da área de estudo. As análises feitas no laboratório serviram para determinação da granulometria, limites de consistência, cor e principais elementos presentes nos diversos tipos de solos. Os resultados obtidos mostram um agrupamento de dois grandes grupos S8, S9, S3, S4, S2, S5 e S7, S11, S10, S6, S1 o primeiro grupo apresenta solos com cores mais escuras que estão ligadas com a alta quantidade de argila e o elevado valor de IP. Já o segundo grupo apresenta cores mais claras e baixas quantidades de argilas, conseqüentemente, baixos valores de IP.

Palavra-Chave: EIA; RIMA; Limites de Atterberg; Plano Diretor.

ABSTRACT

The present work refers to the study of the physical and chemical characteristics of the soils located in the areas of the Industrial and Port complex of Suape. They were obtained by carrying out a collection in 11 points spread within an area of 450 m², uniformly determined, to have a greater and better representation of the study area. The analyzes made in the laboratory served to determine the granulometry, consistency limits, color and main elements present in the different types of soils. The results obtained show a grouping of two large groups S8, S9, S3, S4, S2, S5 and S7, S11, S10, S6, S1 the first group presents soils with darker colors that are linked with the high amount of clay and the high value of IP. The second group has lighter colors and low amounts of clay, consequently, low IP values.

Keyword: EIA; RIME; Atterberg limits; Master plan.

¹ Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2019

² Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

INTRODUÇÃO

Considera-se porto o conjunto de instalações com funções de abrigo, atracação, armazenagem e circulação em terra e mar (acessos marítimos), localizado em um território denominado sítio portuário (PORTO e TEIXEIRA, 2002). Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) a atividade portuária produz impactos ambientais e, dessa forma, deve ser provida de instrumentos que os combatam. Isto posto, os impactos decorrentes da implantação da infraestrutura portuária devem ser plenamente delineados pelo respectivo estudo ambiental para que possam ser controlados por instrumentos apropriados dentro da gestão ambiental da atividade.

Segundo Quintiere (2010), de modo geral, as alterações ambientais de um porto estão associadas à sua construção, ampliação, reforma ou modernização, onde estão presentes os reflexos negativos, comumente observados em construções civis de grande porte. Além disso, a própria operação portuária, englobando a manutenção da infraestrutura física, bem como os serviços e sistemas de carga/descarga, estocagem e transporte, possui, também, um grande potencial para geração de impactos ambientais (QUINTIERE, 2010). Dentre as alterações geradas, podem relacionar algumas, como, dragagens e disposição dos materiais dragados, produção de resíduos sólidos e líquidos, derramamento de produtos, drenagens de áreas, inserção de espécies exóticas através das águas de lastro, processos erosivos e alterações da linha costeira, entre outros. É possível citar, também, outras interações que ocorrem ao

redor dos portos, principalmente daqueles encravados em grandes centros urbanos, onde contribuem, significativamente, nas atividades e serviços oferecidos a uma sociedade, seja nos impactos causados através do uso dinâmico das malhas viárias, assim como na utilização dos territórios, tornando-se, muitas vezes, necessária uma readequação do espaço urbano (DIAS, 2013).

O complexo Industrial e Portuário de Suape, desponta como um completo pólo de negócios industriais e portuários da Região Nordeste que concentra intensa atividade de importação e exportação. Desenvolvido pelo Governo do Estado de Pernambuco no início da década de 1970, teve como meta inicial atrair indústrias de 1ª e 2ª geração, sem descartar a possibilidade de implantação de indústrias de 3ª geração. A partir de 1977, após a necessária desapropriação de cerca de 13.500 hectares de terras, começou o efetivo início das obras de infraestrutura, sistema viário interno (rodoviário e ferroviário), sistemas de abastecimento d'água, de energia e de telecomunicações, centro administrativo e obras complementares (SUAPE, 2009). Tais atividades portuárias, por estarem localizadas em regiões costeiras, promovem uma pressão sobre os recursos naturais nos ecossistemas estuarinos locais que, apesar de possuírem capacidade de adaptação e transformação dos materiais que nele aportam, existem limitações quanto ao impacto ambiental sofrido.

O plano de desenvolvimento institucional (PDI) UFRPE 2013-2020, dispõe que a Gestão Socioambiental surge como uma ferramenta capaz de mitigar, ou mesmo evitar, impactos causados pelas atividades humanas

em todas as áreas da sociedade. A preocupação com os impactos da atividade humana sobre o meio ambiente e o papel da Engenharia Civil neste contexto são ressaltados na disciplina de Gestão Ambiental (PDI UFRPE, 2019). Diante dessa necessidade de um reforço institucional para com a gestão ambiental, os autores produtivos precisam rever sua postura comportamental para adequar suas ações de modo a não repercutir uma degradação ambiental e, consequentemente, não comprometer o bem estar social e a eficiência produtiva e competitiva dos empreendimentos.

Assim, dentro da gestão ambiental da atividade, frequentemente, são utilizadas amostras de solos para o estudo da mobilidade e distribuição de elementos

PLANO DIRETOR DE SUAPE

No Brasil, as bases para o planejamento das cidades estão estabelecidas no Estatuto da Cidade (lei 10.257/2001). Ele estabelece as normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Em seu art. 2º, o Estatuto da Cidade dispõe que “a política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana”.

Dessa forma, visando a evitar problemas socioespaciais e minimizar os impactos no município, surgem Planos e Diretrizes para SUAPE. O primeiro Plano Diretor foi criado em 1973, ainda sem a existência do porto e do complexo de SUAPE, no qual apenas definiram-se áreas destinadas para essas finalidades (Decreto 2845

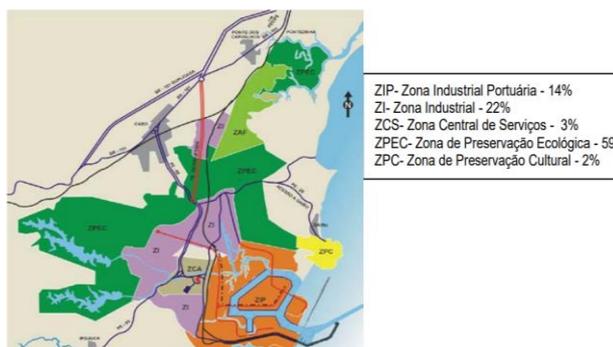
químicos, não apenas para estudos de meio ambiente, mas, também, para uma avaliação do acúmulo de dados em sedimentos de corrente (ALBA, 2008). As amostras de solos, quando analisadas, adequadamente possibilitam o fornecimento de subsídios que possam obter um bom monitoramento e avaliação de um corpo aquático que porventura seja receptor do seu material lixiviado, quantificando e determinando a contribuição terrígena através da assinatura geoquímica original do solo (MORAES, 2013).

Por conseguinte, é fundamental atrair recursos e parceiros capazes de realizar projetos que tenham viabilidade socioambiental e que venham a agregar valor às atividades produtivas alocadas no Complexo Industrial Portuário de SUAPE.

de 27/06/73). Em 2011, foi publicado o novo Plano Suape 2030, a partir do Decreto Nº 37.160, que prevê novos zoneamentos para os 13,5 mil hectares do Complexo de Suape até 2030, mapeia áreas de proteção ambiental, urbana, industrial e portuária, além de abordar questões econômicas, sociais, de desenvolvimento urbano e condições de uso, ocupação e parcelamento do solo (MEDEIROS et al, 2014).

De acordo com o art. 12 do referido plano, que trata do zoneamento ambiental, industrial e portuário do espaço territorial de Suape, objetiva-se regularizar o parcelamento, uso e ocupação do seu solo, estabelecendo as condições para autorização dessas modalidades de intervenção referente às diferentes características de seu sítio natural e construído (SUAPE, 2030). Subdividindo assim, em cinco Zonas mostradas a seguir:

Figura 01 - Zoneamento proposto.



Fonte: MEDEIROS et al, 2014.

Zona Industrial Portuária – ZIP e Zona Industrial - ZI: Áreas destinadas predominantemente à implantação de empreendimentos de produção industrial, priorizados aqueles que mantêm correlações com a estrutura portuária;

Zona Central de Serviços - ZCS: Área destinada a usos e atividades diversificados, como um pólo de empreendimentos, que deverá ser o principal centro de serviços;

Zona de Preservação Ecológica - ZPEC: Compreende a parcela de terras com características ambientais diversas que circunda as zonas produtivas de SUAPE, delimitada como área de proteção para fins de preservação ecológica por determinação legal, bem como para a promoção de compensação ambiental futura;

Zona de Preservação Cultural – ZPC: Compreendem sítios de especial interesse arquitetônico ou arqueológico, podendo se sobrepor a todas as zonas de SUAPE, os quais deverão ser protegidos e explorados em suas características singulares para fins de pesquisa e divulgação do patrimônio cultural.

Assim, no uso e ocupação do solo no Complexo Industrial Portuário de SUAPE vêm sendo percebidos um crescimento acelerado,

principalmente, no que se refere ao setor produtivo, exigindo, dessa forma, um fortalecimento institucional para a adoção e aplicação prática cotidiana de um aparato legal e regulatório, que norteie o comportamento empresarial perante a preservação e gestão do ambiente, no qual a base industrial está se consolidando.

Isso posto, uma ferramenta que pode auxiliar essa evolução é o georreferenciamento por imagem ou mapa, no qual tal sistema torna suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência. Este processo inicia-se com a obtenção das coordenadas (pertencentes ao sistema no qual se planeja georreferenciar) de pontos da imagem ou do mapa a serem georreferenciados, conhecidos como Pontos de Controle. Os Pontos de Controle são locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável, tais como intersecções de estradas e de rios, represas, pistas de aeroportos, edifícios proeminentes, topos de montanha, dentre outros. A obtenção das coordenadas dos Pontos de Controle pode ser realizada em campo, a partir de levantamentos topográficos, *Global Positioning System (GPS)* (EPUSP, 2006).

2.2 PROPRIEDADES DO SOLO

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o solo é um sistema aberto entre os diversos geo-ecossistemas do nosso planeta, que está constantemente sob ação de fluxos de matéria e energia. Essa condição o torna um sistema dinâmico, ou seja, o solo evolui se desenvolve e se forma de maneira contínua no ambiente em que está inserido. O solo é um corpo natural, tendo componentes físicos, minerais, orgânicos, composição química, e biológica. Dessa forma, as propriedades do solo não são apenas

uma concentração simples das características combinadas dos componentes que compõem o solo (KABATA, 2011).

A suscetibilidade à compactação do solo, devido ao uso de maquinários pesados, dentre outros fatores, depende do estado de consistência do solo. Em função do teor de umidade, o solo pode apresentar características iguais às de um líquido ou de um sólido, no qual entre estes dois estados limites, o solo passará, ainda, por outros dois estados, o plástico e semissólido, sendo estes denominados estados de consistência dos solos (RIBEIRO et al., 2018).

São parâmetros para medição da consistência do solo, os limites de *Atterberg*, que referem-se ao limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e limite de contração (LC), sendo iguais aos valores de umidades que separam um estado de consistência do solo de outro. Conhecendo-se os valores dos limites de *Atterberg*, é possível verificar, em função da umidade natural do solo (U), se o mesmo encontra-se no estado sólido ($U < LC$), no estado friável ($LC < U < LP$), no estado plástico ($LP < U < LL$) ou no estado viscoso ($U > LL$), sendo a passagem de um estado de consistência para outro gradual (Figura 02).

No estado viscoso ou líquido, a massa de solo apresenta propriedades e aparência de uma suspensão, ou seja, não possui forma própria e tem resistência ao cisalhamento nula. Já no estado plástico, a massa de solo pode ser moldada sem apresentar variação sensível do seu volume, ruptura ou fissuramento. O estado friável ou semissólido, a massa de solo tem a aparência de um sólido, mas sofre redução de volume se for submetido à secagem. Por fim, no estado sólido, a secagem da massa de

solo não mais provoca redução de seu volume (GRECO, 2015).

Figura 02 - Estados Atterberg.



Fonte: O autor.

A partir do LL e do LP, pode-se calcular o índice de plasticidade do solo (IP), que é expresso em porcentagem e pode ser interpretado, em função da massa de uma amostra, como a quantidade máxima de água que pode lhe ser adicionada, a partir de seu Limite de plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica, obtido a partir da Equação 01 abaixo:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 01})$$

Além do conhecimento das propriedades plásticas do solo uma das características físicas mais importantes do mesmo é a textura ou granulometria, que caracteriza as quantidades de areia, silte e argila presentes no solo. Solos que apresentam alta porcentagem de finos são muito influenciados pela umidade, causando grandes variações nas suas propriedades plásticas (SOUZA et al., 2000). Nessas circunstâncias, a simples análise granulométrica, não é confiável para caracterizá-los, sendo recomendada a caracterização granulométrica juntamente, com a de consistência.

A composição granulométrica do solo é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões e é usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens

entre certos intervalos de abertura das peneiras (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Em uma visão geológica dos solos, incluem-se rochas e alterações no solo provado pelos agentes intempéricos, que têm sido bastante estudados pelo menos, desde o período Arqueano.

Apesar dos diversos sistemas de classificação dos solos não considerarem a presença ou concentração de elementos químicos, alguns estudos de fertilidade agrícola têm abordado esse tema com maior frequência e destinado mais importância quanto à presença desses elementos (MORAES, 2013). O quimismo do fundo geológico é predominante neste aspecto, responsável pela herança geoquímica que os solos recebem na rocha mãe, e também são de grande importância as resultantes de forças e dos processos que envolvem o intemperismo e da pedogênese na lixiviação, migração, dispersão e concentração desses elementos no solo (MINEROPAR, 2005).

EIA / RIMA

O Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) são um dos instrumentos da política Nacional do Meio Ambiente instituído pela Resolução CONAMA N.º 001/86, de 23/01/1986. São atividades utilizadoras de Recursos Ambientais consideradas de significativo potencial de degradação ou poluição que dependerão do EIA/RIMA para seu licenciamento ambiental.

A Portaria SUDEMA/DS nº 071, de 27 de maio de 2011, estabelece a obrigatoriedade da realização de audiências públicas em todos os processos de licenciamento ambiental nos quais se requisitar o EIA/RIMA

que permite a participação pública na aprovação de um processo de licenciamento ambiental que contenha este tipo de estudo. Desta forma, as informações que serão apresentadas nesse artigo poderão fornecer dados de grande relevância para a produção do EIA/RIMA na área de estudo, no que se refere ao monitoramento geoquímico e ambiental, aos impactos associados.

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Diante da diversidade das fontes dos elementos químicos investigados, é imprescindível a utilização de métodos estatísticos multivariados, uma vez que a predição do comportamento geoquímico no ambiente em estudo não é evidente, pois é considerada uma área com histórico de diversos fatores antrópicos, tais como agricultura intensa, e obras de construção civil (JUAHIR, 2008). A denominação "Análise Multivariada" corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos (NETO, 2004).

A Análise de Componentes Principais (ACP) configura-se por ser um método que pode ser usado para se reduzir a dimensionalidade de dados multivariados. Ela permite reexpressar os dados (através de combinações lineares dos dados originais) para que as primeiras poucas variáveis novas resultantes (componentes) respondam por tantas informações disponíveis quanto possível. Se uma redundância substancial estiver presente no conjunto de dados, então é possível explicar a maioria das informações do conjunto original de dados com um número relativamente pequeno de

componentes. Essa redução de dimensão torna mais direta a visualização dos dados e sua subsequente análise, mais administrável (LATTIN, 2011).

Nesse método, é realizada uma rotação do sistema de eixos originais que tenta, simultaneamente, encontrar no espaço de dimensão “n” (amostras e análises realizadas) em uma direção ao longo da qual, os pontos se encontrem espalhados de forma máxima, e no qual se espera encontrar algum tipo de padrão, abrigo ao máximo a informação de partida (dados brutos). Através da utilização da técnica multivariada (Análise de Componentes Principais) é possível identificar assinaturas geoquímicas existentes em testemunhos sedimentares, onde os elementos químicos analisados são agrupados, de acordo com a sua afinidade geoquímica.

Modelo de cor CIE LAB

Conforme Leão (2005, p. 44 - 45) o modelo de cor *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) LAB foi criado pela CIE para aumentar a

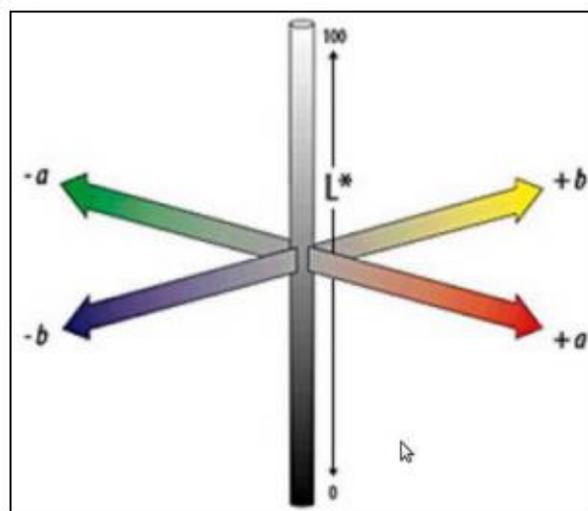
METODOLOGIA

COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

As amostras dos solos foram coletadas utilizando um trado tipo holandês, em uma profundidade de aproximadamente 50 cm para eliminar a possível contaminação do horizonte orgânico, em uma malha com cerca de 100 metros entre cada amostra em uma área de aproximadamente 450 m² (Figura 1). Após a retirada de cerca de 2 kg do material, o solo foi acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados até chegar ao laboratório. Assim, 11 amostras de solo foram coletadas e são

uniformidade das cores percebidas pelo sistema visual humano. O L* representa o valor de luminosidade da cor, enquanto que a* pode variar do verde para o vermelho e b* do amarelo para o azul. Minolta (2007) coloca que o modelo de cor CIE LAB (Figura 11) é um modelo de cor muito utilizado para medição de cores de um objeto e está presente em todos os campos de aplicação.

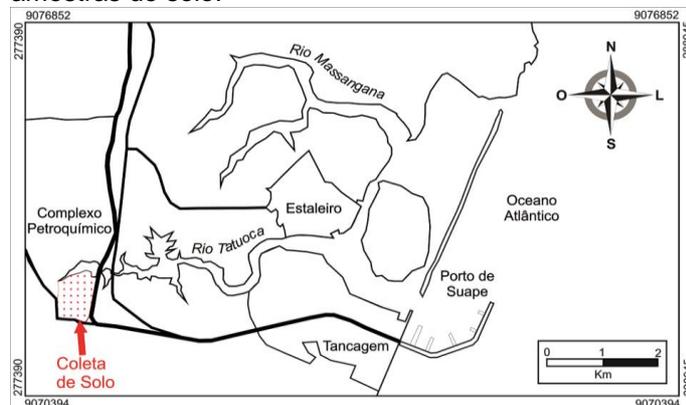
Figura 03: Modelo de cor CIE LAB



Fonte: Leite, 2006.

apresentadas neste trabalho de P1 até P11.

Figura 4 - Mapa de localização das 11 amostras de solo.



Fonte: O autor.

Figura 5 - Coleta de solo com trado tipo holandês.



Fonte: O autor

ANÁLISES LABORATORIAIS

O programa de investigação laboratorial (ensaios) do material a ser analisado foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira a caracterização física e, a segunda, a caracterização química das amostras.

Caracterização Física

- **Granulometria**

Foi realizada a análise granulométrica das amostras de solos de acordo com a NBR 7181:1984, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento

Tabela 3.2.1 - Classificação granulométrica dos sedimentos.

Classificação o	Phi (φ)*	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia Média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia Fina	2 a 3	0,25 a 0,125

Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

Fonte: Wentworth, 1922.

* Phi (φ) corresponde à unidade de medida do diâmetro da partícula do solo, cuja equivalência em milímetros é representada na coluna 3 da tabela 3.2.1.

- **Limite de Liquidez**

Foi determinado o Limite de Liquidez (LL) dos solos a partir da metodologia da NBR 6459:1984, utilizando o aparelho de Casagrande.

- **Limite de Plasticidade**

A partir da NBR 7180:1984, será determinado o Limite de Plasticidade (LP) dos solos, para posterior cálculo do índice de plasticidade dos mesmos.

- **Cor**

A cor do solo foi descrita por códigos numéricos da tabela de cores de Munsell. A cor das amostras de solo foi determinada pelo sistema L*a*b* através do Aparelho Colorímetro *Gretag Macbeth Color-Eye 2180*.

Caracterização Química

Preparo das amostras

As amostras coletadas foram colocadas em estufa a 50°C para secagem. Depois de secas, elas foram retiradas da estufa e colocadas em bancada até atingirem temperatura ambiente. Em seguida, as amostras

foram desagregadas e homogêneas em almofariz de porcelana. Separam-se 10 g de cada amostra que foram, posteriormente, enviadas ao Laboratório Geosol-Lakefield. Uma alíquota de 1,0g de cada amostra foi solubilizada com água-régia em placa aquecedora a 100°C por 12 horas.

Após esse período, as amostras foram deixadas em repouso até atingirem temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram filtradas, colocadas em balão volumétrico de 50ml e o volume aferido com solução de HNO₃ a 5%. As análises químicas foram efetuadas pela técnica de espectrometria de plasma de emissão

atômica (IPC/AES), na qual foram analisados os seguintes elementos: Al, Fe, Ca, K, Mg, P, Ti, Ba, Be, Cr, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y, Zn, Zr.

Análise multivariada

Para a interpretação dos resultados foram utilizadas técnicas de estatísticas multivariadas, confecção de mapas dos principais parâmetros analisados no artigo para monitoramento ambiental e subsídios para propostas de soluções no que concerne à preservação de áreas impactadas com possibilidade de risco e dano às características naturais.

CONCLUSÕES

Características físicas

- **Granulometria**

Os resultados da análise granulométrica realizada nas amostras de solo são mostrados a seguir:

Tabela 4.1 - Resultado do ensaio de granulometria das amostras.

Sa mpl e ID	Ar gil a	Silt e	A. Fin a	A. Mé dia	A. Gro ssa	Pedre gulho
	%	%	%	%	%	%
P1	40	18	24	13	3	2
P2	80	18	2	0	0	0
P3	63	18	18	1	0	0
P4	78	12	5	2	2	1
P5	75	15	5	4	1	0

P6	34	15	35	12	4	0
P7	27	45	28	0	0	0
P8	68	17	12	3	0	0
P9	74	16	7	3	0	0
P10	34	14	32	18	2	0
P11	25	22	43	8	1	0

Fonte: O autor

Como pode-se observar na Tabela 4.1, as amostras de solo coletadas apresentam, predominantemente, uma porcentagem granulométrica do solo maior para partículas com menor área superficial. Por conseguinte, como todas as amostras apresentaram uma porcentagem de argila maior de que 30% na composição geral dos grãos, são caracterizados solos argilosos, sendo as amostras P2, P3, P4, P5, P8 e P9 as amostras que apresentaram maiores teores de argila.

Esse tipo de solo possui partículas muito pequenas

(microporos), ou seja, como os espaços entre os grãos (os poros), também são muito pequenos, eles retêm mais água. Quando seco e compacto, sua porosidade diminui ainda mais, tornando-o duro e ainda menos arejado.

Limites de consistência e índice de plasticidade

Os resultados do ensaio de Limite de Liquidez e de Plasticidade das amostras de solo, são mostrados na Tabela 4.2, sendo o Índice de Plasticidade calculado a partir da Equação 01 mostrada anteriormente.

Tabela 4.2 - Resultados dos limites de plasticidade e liquidez e índice de plasticidade das amostras.

Sample (ID)	L.P.	L.L.	I.P.
	%	%	%
P1	23,96	42,58	18,62
P2	14,66	75,36	60,7
P3	32,61	54,22	21,61
P4	46,2	74,6	28,4
P5	37,44	65,56	28,12
P6	21,11	36,6	15,49
P7	29,85	42,85	13
P8	36,75	59,56	22,81
P9	34,55	61,2	26,65
P10	23,36	40,97	17,61
P11	15,55	24,98	9,43

Fonte: O autor

A partir dos resultados obtidos, mostrados na tabela acima, pode-se separar as amostras em dois grupos,

destacados na tabela como grupo amarelo (P1, P6, P7, P10 e P11) e grupo laranja (P2, P3, P4, P5, P8 e P9). Essa divisão ocorreu, a partir do parâmetro de Índice de Plasticidade, sendo adotado o valor mediano de 20%. Dessa forma, o grupo em destaque amarelo é o de porcentagem inferior a 20% e o grupo em destaque laranja o que apresentou valores superiores.

Sabendo que quanto maior for o valor do IP, maior é a capacidade do solo de absorver água, mantendo a sua consistência plástica (não entrando em estado de liquidez), as amostras que apresentaram teores de IP superiores (grupo laranja) são as mesmas que foram identificadas com maiores teores de argila, ou seja, pode-se concluir que quanto maior a quantidade de grãos de argila no solo, maior é a sua capacidade plástica do solo.

Análise estatística

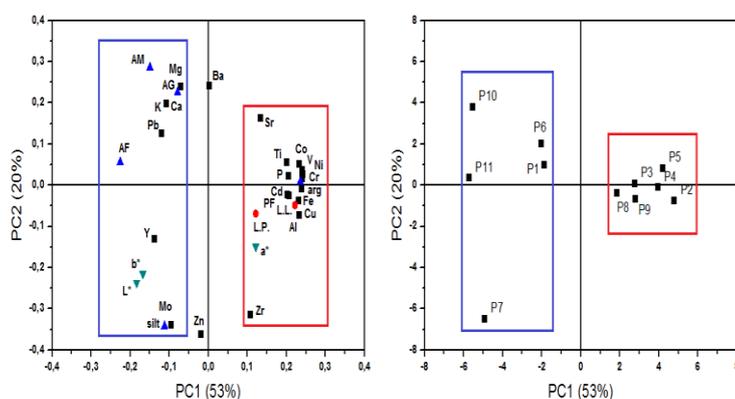
Tabela 4.3 - Resultados da colorimetria do sistema L*a*b* do solo

Sample (ID)	L*	a*	b*
P1	44,81	3,84	10,78
P2	36,40	4,66	5,43
P3	39,60	4,22	7,34
P4	41,13	5,90	9,03
P5	40,70	4,78	8,20
P6	40,91	2,49	7,40
P7	61,35	5,04	16,03
P8	43,03	4,25	9,27
P9	42,79	4,98	9,19
P10	45,38	4,46	10,94
P11	53,03	2,77	10,53

Fonte: O autor.

A análise multivariada mostrou que existe o agrupamento em torno de PC1 (53%) em dois grupos, sendo o primeiro formado pelas amostras P1, P6, P7, P10 e P11, juntamente com os parâmetros L*(maior luminosidade), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF) e silte, configurando a fração mais grossa entre as amostras. Ainda neste grupo, estão os elementos Mo, Y, Pb, Ca, K e Mg, provavelmente, devido à adubação da cultura de cana-de-açúcar e calagem do solo na área (Figura 6).

Figura 6 – Análise multivariada.



Fonte: O autor

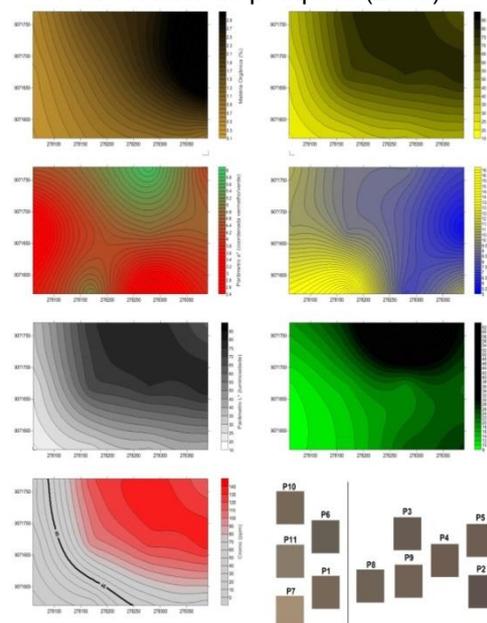
O outro grupo observado pelo gráfico de ACP contém os pontos P2, P3, P4, P5, P8 e P9, e correspondem aos parâmetros L.L. (limite de liquidez), L.P. (limite de plasticidade), P.F. (perda ao fogo ou matéria orgânica), fração argila do solo e os demais metais analisados. Isso significa que a fração mais fina no solo contém maior capacidade sorviva e conseguem, dessa forma adsorver mais os metais.

Do ponto de vista prático, essa observação oriunda da análise de componentes principais, viabilizou a composição de um modelo para observação das propriedades do solo da região de Suape, uma vez que existe a associação estatística das suas características com a cor analisada pelo sistema L*a*b*.

Assim, foi possível observar que para as amostras mais claras, ou seja, com o valor de L* mais elevado, também são as amostras com maior fração granulométrica e maior ação de adubação (P1, P6, P7, P10 e P11). Por outro lado, as amostras mais escuras, são aquelas com maior conteúdo de matéria orgânica, mais argilas, maior enriquecimento de metais e também com maiores limites de liquidez e plasticidade no solo.

Um quadro da dispersão geográfica dessas amostras em função dos parâmetros mais representativos foi elaborado como um primeiro passo da composição de um modelo para georreferenciamento por satélite ou até drones equipados com filtros específicos, que podem, através da imagem aérea, extrapolar as propriedades do solo em Suape de acordo com os resultados deste estudo.

Figura 7 – Quadro da dispersão geográfica. Fonte: Autor da pesquisa (2019).



Fonte: O autor.

Observa-se que existe uma semelhança no primeiro quadrante dos gráficos por uma cor característica que os separa das demais áreas destes gráficos. Essas

áreas são correspondentes do mesmo agrupamento definido pela Análise de Componentes Principais, e através dessa observação foi possível propor que o modelo de fotografia aérea corresponderia às áreas com maior L* e a* (mais claras e maior coordenada verde) estariam associadas aos solos com maior granulometria, e consequentemente, os solos mais escuros e com maior coordenada azul, seriam os solos com maior matéria orgânica, mais argilosos e com maior concentração de metais. Observa-se, também, que através deste modelo, existe uma área de maior concentração de cromo em direção ao primeiro quadrante, inclusive com indicações do limite estabelecido pelos órgãos ambientais para efeito de toxicidade (acima de 35 ppm). Isso corrobora que o modelo pode ser utilizado, também, como ferramenta de monitoramento

ambiental na área em estudo.

Pode-se concluir que existe notória relação entre as características físico-químicas e de textura do solo com o padrão de cor que foi utilizado, podendo, assim, ser possível mapear uma área e propor ações de uso e ocupação do solo pela cor descrita nas imagens obtidas. Mostrando que além do uso convencional, as análises utilizadas neste trabalho também puderam ser testadas de forma satisfatória e com custo reduzido para outras finalidades, de acordo com o uso de ferramentas de estatística multivariada. Tais resultados podem subsidiar os órgãos de gestão em Suape para elaborarem mapas digitais de áreas de interesse para novas indústrias e obras de construção civil, utilizando este modelo como primeiro passo para a elaboração de EIA e RIMA.

REFERÊNCIAS

ALBA, J. M. F., SOUZA FILHO, C. R., FIGUEIREDO, B. R. Análise da assinatura geoquímica de solos e de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira (SP) por meio de um sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Geociência** v. 38, n.1, p. 66-77, 2008. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7567> Acesso em: 30 de junho de 2019.

PERNAMBUCO. **Decreto nº 37.160, de 23 de setembro de 2011**. Institui o Plano Diretor - SUAPE 2030 e dispõe sobre o ordenamento do solo da Empresa SUAPE Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. Recife: Assembléia

Legislativa do Estado de Pernambuco, 2011. Disponível em: http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/decretos/Plano_Diretor_Empresa_Suape_-_DECRETO_-_37160-2011.pdf Acesso em: 30 de maio de 2019.

DIAS, Anibal Valentim Costa. **Portos e a gestão ambiental estudo de caso: companhia docas do Pará – CDP**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia e Gestão Portuária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/anibal-valentim-costa-dias-pdf> Acesso em: 28 de maio de 2019.

EPUSP, **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Geoprocessamento.** Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-09012008-175107/publico/MSC_00_Completo_V3.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2019.

LEAO, Alexandre Cruz. **Gerenciamento de cores para imagens digitais.** 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/JSSS-7XGFG3>. Acesso em: 25 junho 2019.

CARRERÁ, Medeiros Mércia; RAMALHO, Ana Maria; ALMEIDA, Fátima; CARVALHO, Gisele; SANTIAGO, Luciana. Os impactos do Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS nos municípios do Cabo e Ipojuca. **Architecton Revista de arquitetura e urbanismo.** v.4, n.7, 67-80, 2014. Disponível em: <<https://revistas.faculdedamas.edu.br>> Acesso em: 03 de junho de 2019.

MEHTA KUMAR, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MINOLTA. **Precise color communication:** color control from perception to Instrumentation. Japan: Minolta Co. Ltd., 2007. 59 p.

MINEROPAR. **Geoquímica de solo Horizonte B.** Curitiba: Mineropar, 2005. 2 v. Relatório final de projeto. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Geoquimica>>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

MORAES, Alex Sousa,

Comportamento geoquímico de elementos maiores e traço em solos e sedimentos no Complexo Industrial Portuário de Suape, Brasil - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013.

MORAES, Alex Souza *et al.* **Geoestatística aplicada à Geoquímica Ambiental no estudo da qualidade dos sedimentos do Rio Tatuoca, complexo industrial portuário de Suape.** 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6384>. Acesso em: 30 junho de 2019.

QUINTIERE, Marcelo. **Passivos Ambientais – o risco nosso de cada dia.** Rio de Janeiro: Publit, 2010. 403p.

RIBEIRO, K.D., SOUZA, L. K. Limites de atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** v. 12, n.2, p. 185-196, 2018. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/663/373> Acesso em: 30 de junho de 2019.