



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

NILBERTO CARLOS TEODOSIO FILHO

**ANÁLISE DA QUALIDADE QUÍMICA DO CHORUME PRODUZIDO PELO ATERRO
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS DO JANGURUSSU AO
FINAL DO PERÍODO CHUVOSO E DO SECO NO ANO DE 2015 – FORTALEZA, CE**

Fortaleza

2016

NILBERTO CARLOS TEODOSIO FILHO

**ANÁLISE DA QUALIDADE QUÍMICA DO CHORUME PRODUZIDO PELO
ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS DO
JANGURUSSU AO FINAL DO PERÍODO CHUVOSO E DO SECO NO ANO DE
2015 – FORTALEZA, CE**

Monografia submetida a coordenação do curso de Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia
Coorientadora: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte

Fortaleza
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T289a Teodosio Filho, Nilberto Carlos.
Análise da qualidade química do chorume produzido pelo aterro de resíduos sólidos urbanos e industriais do Jangurussu ao final do período chuvoso e do seco no ano de 2015 — Fortaleza, CE / Nilberto Carlos Teodosio Filho. – 2016.
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2016.
Orientação: Profa. Dra. José Antonio Beltrão Sabadia.
Coorientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.
1. Lixiviado. 2. Metais. 3. Pluviosidade. I. Título.

CDD 551

NILBERTO CARLOS TEODOSIO FILHO

ANÁLISE DA QUALIDADE QUÍMICA DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E INDUSTRIAIS DO JANGURUSSU AO
FINAL DO PERÍODO CHUVOSO E SECO DO ANO DE 2015 – FORTALEZA, CE

Monografia submetida a coordenação
do curso de Graduação em Geologia,
da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do
título de Geólogo.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Pâmella Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*À minha querida família, que tanto se
esforçou comigo no decorrer desta
jornada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer o apoio e os esforços que minha família fez por mim no decorrer de minha existência, eles foram de uma natureza incondicional e a base para que eu pudesse enfrentar e conseguir vencer os desafios a mim propostos.

Gostaria também de agradecer os meus orientadores, Prof. Beltrão Sabadia e Profa. Cynthia Romariz, que acreditaram na minha capacidade e me ajudaram para que a realização deste trabalho fosse concretizada.

Agradeço também ao Prof. George Satander, que tanto me ensinou e auxiliou nos meus primeiros 3 anos de graduação, me incentivou a ir além possibilitando um dos períodos de maior importância na minha graduação, o intercâmbio na França.

Agradeço aos meus amigos do curso de Geologia da UFC, Jamille, André, Melina, Lola, Juan, Rodrigo, Flora, Mateus, Viktor, Milagros, Tomaz, Laura, Weber, Camila, Isabelly, Inácio, Daniel, Joel, Narelle, Rachel, Carlos, Débora, Marco, que caminharam comigo e me auxiliaram quando tive necessidade.

À Viviane e Maiara, amigas que sempre pude contar.

Às equipes dos laboratórios GEOCE e LGMA, que fizeram parte da minha formação científica engrandecendo o profissional que estou me tornando.

Je voudrais aussi remercier ma famille en France, qui depuis 2013 me soutien et rend ma vie plus heureuse.

Aos meus amigos que fiz durante o intercâmbio, Emilson, Filipe, Kamilla, Cecilia, Tziu, Juliana, Thayla, Priscila, Mila, Augusto, Jéssica, Camila, Barbara, Paulo, Natalia, Domingos e Cris, que fizeram do meu sonho um evento ainda mais feliz.

Je remercie aussi mes deux copines, Sarah et Lauriane, qui m'ont beaucoup aidé quand j'ai eu besoin en France, je suis très reconnaissant et ravi de les avoir connu.

A CAPES, CNPq, FUNCAP e PIBIC-UFC que me deram a oportunidade, através do incentivo de bolsas de IC e intercâmbio, de me aprimorar ainda mais na minha profissão.

Agradeço ao corpo docente do curso de Geologia – UFC, que com disposição e empenho repassam seus conhecimentos para formar os profissionais de hoje e de amanhã.

À Marcia e Mara, Valmi, Samya e equipe do Sanfa's Lanche, Cantina do Alfa e Ômega, Bioxerox e os funcionários da universidade, que permitiram o bom desenvolvimento, preservação dos espaços comuns, além de momentos de descontração no âmbito da universidade.

Ao Governo Federal e ao Programa Ciência Sem Fronteiras, que me proporcionaram um ensino e experiências de qualidade.

Aos amigos que fiz na Guiana Francesa e Wizard Treze de Maio, me mostrando o prazer que a dedicação ao ensino pode nos proporcionar.

Ao "Povo de Humanas", grupo que me acolheu que faz meus dias mais animados.

Por fim, gostaria de agradecer à todos que de alguma forma influíram para que o meu trajeto no seio deste mundo seja tão bom quanto é, e agradeço a Deus.

*"Fais de ta vie un rêve,
et d'un rêve, une réalité."*

Saint-Exupéry

RESUMO

Localizado na região centro-sul de Fortaleza/CE e à margem esquerda do Rio Cocó, o Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu esteve em funcionamento de 1978 a 1998. Mesmo após sua desativação ele continua a produzir chorume, caracterizado como um líquido consequência da percolação de água provinda da decomposição do RSU e das chuvas que se apresenta em cor escura e turva, com odor desagradável e elevada carga contaminante. O chorume interfere na qualidade química de águas superficiais e subterrâneas locais. Este trabalho tem por objetivo caracterizar a concentração de metais no chorume produzido pelo "lixão" em função do aporte pluviométrico no período chuvoso e seco no ano de 2015. Para a realização do estudo foi-se identificado um ponto de surgência do lixiviado onde fosse possível fazer a amostragem nos dois períodos estudados, em maio/2015 e em novembro/2015. Após a coleta foi-se mensurado o pH, CE e temperatura da amostra e feito o armazenamento em frascos com ácido nítrico, para evitar a precipitação dos metais. Posteriormente foi feita a análise dos metais pelo método ICP-OES e CV-AAS e também obtenção dos dados pluviométricos do ano de 2015. As médias pluviométricas de Fortaleza em 2015 se mantiveram 11,4% inferiores às médias normais (baseada no período de 1981-2010), tendo em maio registrado uma média 59% inferior a normal, causada pelo mau posicionamento da Zona de Convergência Intertropical, no entanto no mês de julho houve um aumento de 158,2% graças ao fenômeno Distúrbios Ondulatórios de Leste. No segundo semestre a estiagem prevaleceu, onde as médias pluviométricas não superaram 20 mm. A temperatura mensurada nas amostras foi 35,3°C, com CE inferior a estas descritas por Sabadia (2001), e pH alcalino, indicando que a maior parte da matéria orgânica do sistema está biologicamente estabilizada. Dos 24 metais analisados 66,67% sofreram atenuação de suas concentrações no período seco, 20,83% tiveram incremento (Ba, Cr, Fe, P, Mn), e 12,5% dos metais não foram detectados pelos métodos empregados, concluindo-se que os processos de atenuação foram dominantes.

Palavras-chave: 1. Lixiviado 2. Metais 3. Pluviosidade.

RESUME

Localisée dans la région centre-sud de Fortaleza/Ce et au bord gauche de la rivière Cocó, la déchetterie des résidus solides urbains et industriels du Jangurussu a été en plein fonctionnement de 1978 à 1998. Même après sa clôture il continue à produire du lixiviat, caractérisé comme un liquide conséquence de la percolation de l'eau de décomposition des résidus solides urbains et des pluies qui se présente dans une couleur sombre et turbide, avec des mauvaises odeurs et élevée charge de contaminants. Le lixiviat interfère dans la qualité chimique des eaux superficielles et souterraines locales. L'objectif de cette recherche est de caractériser la concentration des métaux dans le lixiviat produit par la déchetterie en fonction de la quantité de pluie dans la saison de pluies et la saison sèche de l'année 2015. Pour que cet étude soit possible, nous avons trouvé un point de source de lixiviat, suivant nous avons fait échantillonnage en mai/2015 et novembre/2015, où nous avons acquis le pH, CE, température et le stockage dans des bouteilles avec du acide nitrique, pour éviter que les métaux se précipitent. Postérieurement a été faite l'analyse des métaux par la méthode ICP-OES et CV-AAS, et aussi obtention des données des précipitations de pluie de l'année 2015. Les moyennes des précipitations à Fortaleza en 2015 se sont 11,4% inférieures aux moyennes normales (basée dans la période de 1981-2010), ayant au mois de mai enregistré une moyenne 59% inférieure à la normale, causé par le mal placement de la ZCIT, cependant au mois de juillet il a eu une augmentation de 158,2% grâce au phénomène Troubles d'Ondes d'Est. Dans le deuxième semestre la sécheresse est dominante, les moyennes des précipitations ne dépassent pas 20 mm. La température mesurée est de 35,3°C dans les échantillons, la CE est inférieur à celles décrites par Sabadia, 2001, et le pH est alcalin, montrant que la plupart de la matière organique du système est ce moment biologiquement stabilisée. Des 24 métaux analysés, 66,67% ont souffert une baisse de ses concentrations dans la période de sécheresse, 20,83% ont eu des augmentations (Ba, Cr, Fe, P, Mn), et 17,5% des métaux n'ont pas été détectés par la méthode employé, en concluant que le processus de baisse des concentration on été dominants.

Mots-clés: 1. Lixiviat 2. Métaux 3. Précipitations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo, destacando a localização do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu pelo ponto vermelho.....	20
Figura 2 – Vista do lado sudoeste do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu.....	21
Figura 3 – Mapa de localização do ponto de coleta da amostra de lixiviado.....	21
Figura 4 – (A) Ponto de surgência do chorume; (B) Amostra coletada e armazenada no balde para análise com a sonda multiparamétrica.....	23
Figura 5 – (A) Exemplo de frasco, devidamente identificado, utilizado para armazenar a amostra até sua chegada ao laboratório CEIMIC; (B) Utilização da sonda multiparamétrica para medição do pH, CE e T(°C).....	24
Figura 6 – Esquema de funcionamento do ICP-OES.....	25
Figura 7 – Índice de Desenvolvimento Humano por Bairro de Fortaleza/CE.....	29
Figura 8 – IDH dos bairros componentes da Regional VI de Fortaleza/CE. Pode ser observada, na sua porção mais sudoeste, a região onde foi realizada a amostragem para este estudo, os menores índices de IDH.....	30
Figura 9 – Urbanização imprópria do terreno entre o Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu e o rio Cocó, reflexo do baixo IDH dos habitantes.....	30
Figura 10 – Mapa Geomorfológico de Fortaleza.....	42
Figura 11 – Mata ciliar ao bordo do rio Cocó.....	46
Figura 12 – Mapa de domínio das bacias hidrográficas em Fortaleza/CE.....	48
Figura 13 – Mapa Geológico de Fortaleza/CE.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação entre os anos de 1931 a 1990 em Fortaleza.....	34
Gráfico 2 – Evaporação para o período de 1931 a 1990 em Fortaleza.....	34
Gráfico 3 – Temperatura no período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.....	35
Gráfico 4 – Umidade do ar no período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.....	36
Gráfico 5 – Insolação do período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.....	36
Gráfico 6 – Direção dos ventos em Fortaleza de 10/2002 a 12/2014.....	37
Gráfico 7 – Pluviosidade em Fortaleza no ano de 2015 e médias normais mensais.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Limites de Quantificação utilizados para as análises de metais totais.....	26
Tabela 2 – Registros meteorológicos da Estação Climatológica de Fortaleza de 1974 a 1994.....	32
Tabela 3 – Velocidade dos ventos (m/s) da Estação de dados de Fortaleza de 1974 a 1995.....	37
Tabela 4 – Nebulosidade no município de Fortaleza.....	39
Tabela 5 – Dados de Pluviosidade na cidade de Fortaleza no ano de 2015.....	55
Tabela 6 – Valores obtidos através da sonda multiparamétrica de pH, Condutividade Elétrica e Temperatura.....	58
Tabela 7 – Resultado das análises de concentração de metais na amostra de maio/2015 e na de novembro/2015. Padrões da Resolução CONAMA n°430/2011. Análise comparativa identificando e calculando a porcentagem de atenuação (↓) ou incremento (↑).....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro de correspondência entre as classes de solos e feições morfológicas encontradas em Fortaleza/CE.....	44
--	----

SUMÁRIO

1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.1	Justificativa.....	18
1.2	Objetivos.....	19
	1.2.1 <i> Gerais</i>	19
	1.2.2 <i> Específicos</i>	19
1.3	Localização e Vias de Acesso.....	20
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.1	Materiais.....	22
2.2	Métodos.....	22
	2.2.1 <i> Pré-campo</i>	22
	2.2.2 <i> Campo</i>	23
	2.2.3 <i> Pós-Campo</i>	24
3.	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	28
4.	ASPECTOS FISOGRAFICOS.....	31
4.1	Clima.....	31
	4.1.1 <i> Atmosfera</i>	31
	4.1.2 <i> Regime de Chuvas</i>	33
	4.1.3 <i> Evaporação</i>	34
	4.1.4 <i> Temperatura</i>	35
	4.1.5 <i> Umidade do ar</i>	35
	4.1.6 <i> Insolação</i>	36
	4.1.7 <i> Ventos</i>	37
	4.1.8 <i> Nebulosidade</i>	39
4.2	Geomorfologia.....	39
	4.2.1 <i> Depressão Sertaneja</i>	40
	4.2.2 <i> Tabuleiros Costeiros</i>	40
	4.2.3 <i> Relevos Vulcânicos</i>	40
	4.2.4 <i> Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas</i>	40
	4.2.5 <i> Paleodunas</i>	41
	4.2.6 <i> Dunas</i>	41
	4.2.7 <i> Praias Atuais</i>	41
4.3	Pedologia.....	42
	4.3.1 <i> Nossolos Quartozorênicos</i>	42
	4.3.2 <i> Argissolos Vermelhos-Amarelo</i>	43
	4.3.3 <i> Neossolos Fluvicos</i>	43
	4.3.4 <i> Gleissolos</i>	44
4.4	Vegetação.....	45

4.4.1	Caatinga.....	45
4.4.2	Mata Ciliar e Fluvial.....	45
4.4.3	Complexo vegetacional da zona litorânea.....	46
4.5	Hidrografia.....	47
4.5.1	Águas Superficiais.....	47
4.5.2	Águas subterrâneas.....	48
5.	CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL.....	50
5.1	Embasamento Cristalino.....	50
5.2.	Formação Barreiras.....	51
5.3.	Depósitos litorâneos.....	52
5.4.	Depósitos flúvio-aluvionares.....	53
5.5.	Vulcanismo Messejana.....	54
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
6.1	Pluviosidades em Fortaleza no ano de 2015.....	55
6.2	Análises física e química das amostras de chorume coletadas.....	57
7.	CONCLUSÕES.....	61
8.	BIBLIOGRAFIA.....	62

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio da Norma Brasileira Registrada – NBR 10.004 de 2004, os resíduos sólidos podem ser entendidos como os restos de materiais em estado sólido e semissólido provenientes do resultado das atividades da sociedade, sejam elas de origem comercial, industrial, agrícola, doméstica, de serviços e de varrição. Estão inseridos nesse conceito os lodos produto dos sistemas de tratamento d'água e os líquidos de propriedades particulares que não possam ser rejeitados no sistema público de esgotos ou recursos hídricos, ou que necessitem de tratamento técnico e economicamente irrealizável frente à melhor tecnologia disponível.

É possível citar alguns fatores que implicam na origem e formação do lixo em uma determinada comunidade, tais como: a população, a sazonalidade ambiental, poder aquisitivo, as áreas de produção, o nível educacional, o tipo de coleta empregada, o controle dos principais focos de produção, a legislação ambiental local, além das variações na economia, os períodos festivos e de férias, e os hábitos e costumes da comunidade.

Segundo Lima (2004) a origem e o aumento da produção de lixo em zonas urbanas, assim como o entendimento de sua inexauribilidade revelam a problemática deste em relação ao meio ambiente, e é demonstrada através da poluição dos recursos hídricos, dos solos e do ar. Como fatores apontados para este aumento têm se o crescimento populacional e a impulsão industrial, que fazem com que haja uma maior exploração de matérias-primas, produção de alimentos e produtos, deste modo crescendo a produção de resíduos, que se armazenados de forma inadequada podem vir a prejudicar o meio ambiente.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE em 2014 os brasileiros produziram em média 387,53 Kg/ano de resíduos sólidos urbanos (RSU) e aproximadamente 351,49 Kg destes foram coletados. Vale lembrar que a edição aponta que cerca de 41,6% do RSU

coletado no Brasil, equivalente a 29.659.170 t/ano, é depositado em locais inadequados. Atualmente os RSU produzidos pela cidade de Fortaleza, Ceará são depositados no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia, localizado na cidade de Caucaia, região metropolitana, e recebe em média 5.876,69 toneladas/dia, porém, antes do início de seu funcionamento o Aterro de Resíduos Sólidos e Industriais do Jangurussu era o receptor deste material.

O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu esteve em funcionamento do ano de 1978 a 1998, apesar de ter sido projetado para ser usufruído durante 10 anos. Instalado na Regional VI, região centro-sul da cidade de Fortaleza, no bairro Passaré, ele recebia em média 3.300 toneladas/dia em uma área correspondente a 30 hectares. Localizado a margem esquerda do rio Cocó, que é integrante da sub-bacia B2 da bacia hidrográfica do rio Cocó, a instalação do aterro teve várias influências ambientais e demográficas para a região.

Na vertente ambiental, a alocação do aterro influenciou e ainda influencia por ter ocasionado a modificação da paisagem, contaminação e poluição do rio Cocó, e contaminação do lençol freático. Estes se deram pelo acúmulo de resíduos sólidos, que formou uma serra de aproximadamente 40 metros, e por meio da decomposição da matéria ali depositada que induziu à produção de chorume.

O chorume, aqui considerado como sinônimo de lixiviado, é um líquido formado pela percolação de água no RSU e que se apresenta em cor escura e turva, com odor desagradável e elevada carga contaminante. A água que produz o chorume provém da degradação do RSU e das chuvas, onde ela carrega os compostos, sejam estes de origem orgânica ou inorgânica.

Levando em consideração a obra de Serafim *et al* (2003), a composição físico-química do chorume varia de acordo com alguns fatores, tais como: condições ambientais locais, tempo de disposição, forma de operação do aterro e características do despejo, onde, a composição química pode conter metais pesados, compostos orgânicos derivados de proteínas, gorduras e carboidratos, e sólidos suspensos. Por apresentar uma solubilidade alta, ele contamina facilmente os corpos d'água adjacentes e as águas subterrâneas. No caso de sua utilização, a população local fica exposta a toxicidade destes elementos, também influenciando na saúde dos indivíduos.

Nas águas, alguns metais podem apresentar benefícios e outros malefícios, estes variando de acordo com o elemento e a quantidade apresentada. Eles podem ser introduzidos no sistema hídrico de forma natural, pelo intemperismo das rochas e solos, e por interferência antrópica, ou seja, inserido em virtude de atividades humanas (como no caso aqui apresentado). Assim, os metais são diferenciados em essenciais, onde eles se fazem importantes para o bom funcionamento dos sistemas bioquímicos complexos, pois participam dos mecanismos metabólicos facilitando as trocas iônicas relacionadas ao envio de sinais elétricos aos músculos e nervos; e em tóxicos, também ditos metais pesados, onde eles não são necessários aos organismos vivos, e sua presença pode afetar os órgãos, alterar membranas celulares e interferir nos processos bioquímicos, dependendo do teor assimilado.

Em função dos ciclos biogeoquímicos normais observamos a grande permuta de matéria e energia entre a hidrosfera, atmosfera, litosfera e biosfera. Inserido nesse sistema, o ciclo hidrológico tem grande importância na formação e qualidade do lixiviado produzido nas zonas de deposição de RSU.

De acordo com médias da base histórica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2015) a pluviosidade média anual na cidade de Fortaleza é da ordem de 1400 mm, sendo que o período de maior densidade chuvosa é no primeiro semestre do ano, e a temperatura média é da ordem de 26°C, abrindo então uma possibilidade de mudança da qualidade físico-química do chorume ao decorrer do ano.

1.1 Justificativa

Este trabalho busca, fomentado pelos dados obtidos, o melhor entendimento da dinâmica química do lixiviado produzido no Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu em função da pluviometria regional, assim servindo de base para a compreensão de dados correspondentes a contaminação dos recursos hídricos do entorno da região, sejam eles superficiais ou subterrâneos, além de poder ser usado como um incentivador a condutas ecologicamente corretas visto os maus impactos produzidos pela não aplicação delas.

1.2 Objetivos da pesquisa

1.2.1 Gerais

Este trabalho teve por objetivo geral fazer uma análise comparativa da qualidade química do chorume produzido em um mesmo ponto pelo Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu no final das duas estações do ano, inverno e verão. Visa obter detalhes dos elementos carreados da decomposição do material acumulado no local procurando entender a relação da presença, aumento e diminuição da concentração de elementos no chorume em função do aporte pluvial adicionado ao sistema nas diferentes épocas do ano.

1.2.2 Específicos

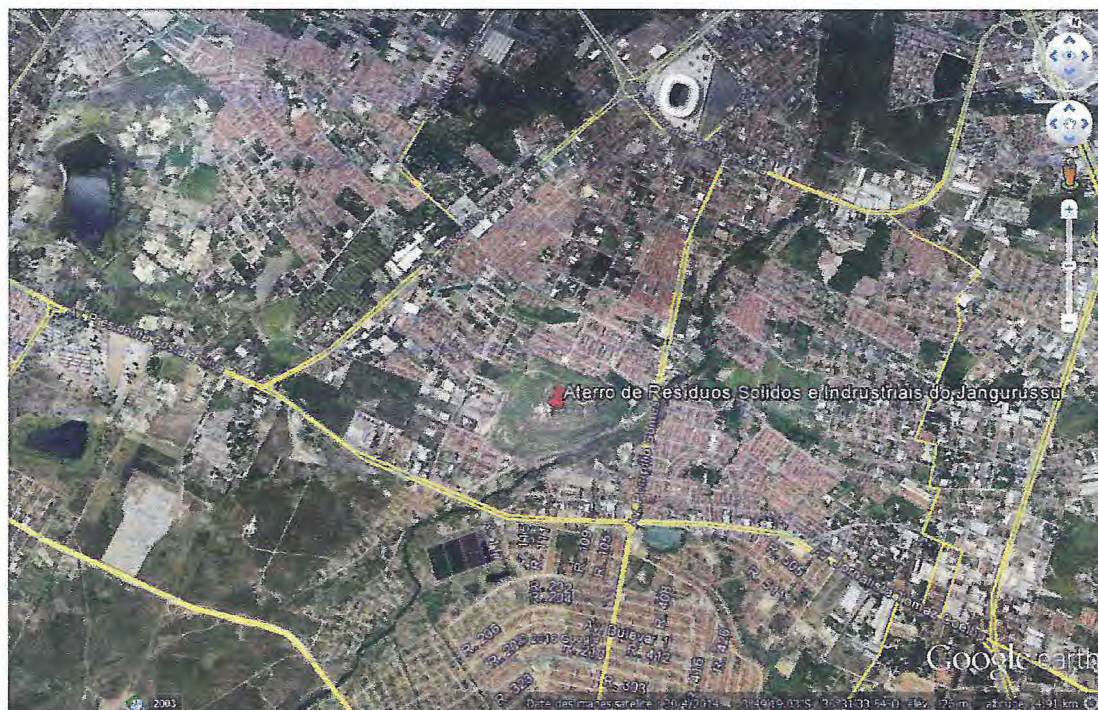
- i. Cobertura analítica em relação a metais pesados presentes no lixiviado; A cobertura analítica compreendeu análises para Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Ca^{++} , S^- , Fe, P, Al, B, Ba, Cr, Ni, Mn, Cu, Co, Cd, Zn, Pb, Sb, Ag, Mo, As, Se e Hg, além das medidas de campo de pH, Temperatura, CE (condutividade elétrica);
- ii. Análise da média pluvial na cidade de Fortaleza a partir de dados da FUNCEME;
- iii. Confecção de gráficos e tabelas evidenciando a influência do período de chuvas na qualidade química do lixiviado;
- iv. Avaliação preliminar dos impactos antrópicos gerados nesse ecossistema e contexto urbanos do ponto de vista da contaminação e poluição imposta pelo aterro e aporte pluvial;

1.3 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo está localizada no limite sudeste do bairro Passaré, na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, tendo como adjacências os bairros Barroso e Jangurussu. O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu (Figura 2) fica à margem esquerda do rio Cocó e nas proximidades do estádio de futebol Arena Castelão (visível na parte norte da Figura 1).

O ponto de surgência do lixiviado coletado nas duas campanhas tem por coordenadas geográficas X:552770, Y:9577110.

Figura 1 – Localização da área de estudo, destacando a localização do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu pelo ponto vermelho.



Fonte: Google Earth

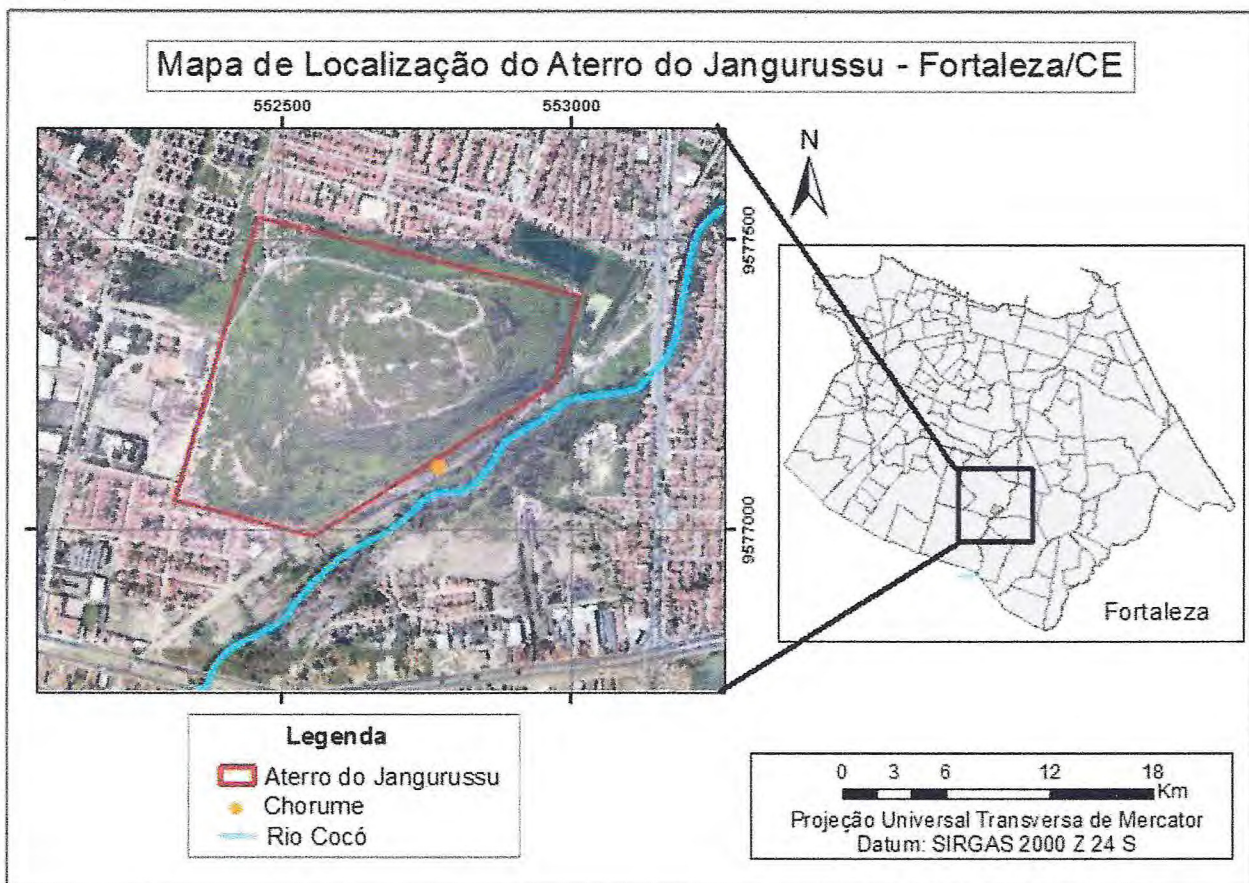
O acesso à área pesquisada pode ser feito, partindo da UFC Campus do Pici pela Avenida Presidente Costa e Silva, também conhecida como Avenida Perimetral, seguindo no sentido Messejana, assim chegando ao seu setor sul, ou ainda pela Avenida Pompílio Gomes chegando do lado leste do aterro, perfazendo ao todo aproximadamente 16 km de trajeto.

Figura 2 – Vista do lado sudoeste do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 3 – Mapa de localização do ponto de coleta da amostra de lixiviado.



Fonte: Acervo do autor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para realização do trabalho foram utilizadas imagens de satélites disponíveis no *Google Earth*. O *software* utilizado para realização do geoprocessamento foi ARCGIS 10.1 para o mapa de localização e o Pacote *Office* para redação e elaboração de gráficos e tabelas. Na etapa de campo foram empregados: GPS de mão, balde, água destilada, sonda multiparamétrica da marca OAKTN modelo: EW-35630-02, caderneta de campo, marcador permanente Pilot (1 mm) para CD (identificação das amostras), bolsas térmicas, um *cooler* (geladeira de plástico), fotografias aéreas, referências bibliográficas, ácido nítrico, garrafas de polietileno em cor translúcida e máquina fotográfica.

2.2. Métodos

A parte inicial do projeto se deu na etapa pré-campo, onde foi feito um levantamento bibliográfico. Para o restante do projeto foi-se realizado um estudo sistemático, consistindo em quatro etapas principais: campo, preparação das amostras, análise laboratorial e tratamento de dados. Com base nos resultados obtidos foram realizadas as discussões e conclusões.

2.2.1 Pré-campo

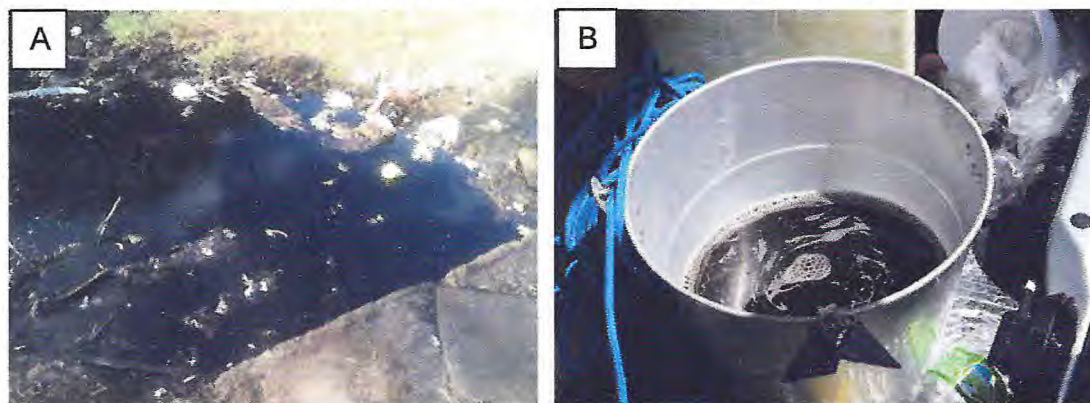
A etapa pré-campo consistiu na revisão bibliográfica sobre a área estudada e tema abordado. Foram utilizados para consulta: artigos em periódicos diversos, jornais locais, monografias de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros. Para obtenção de imagens e reconhecimento da área nesta etapa foi utilizada a ferramenta *Google Earth*, assim obtendo dados de localização e vias de acesso, obtendo-se também um panorama da morfologia atual do aterro. Nesta etapa também foi feita a seleção e obtenção do material necessário para uma boa identificação, acondicionamento e preservação da amostra.

2.2.2 Campo

A etapa de campo se deu pelo deslocamento até a área de estudo para identificação do ponto de surgência e obtenção do material a ser analisado, o chorume/lixiviado emanado pelo aterro. Esta etapa foi dividida em duas campanhas de amostragem, uma em maio/2015 e outra em novembro/2015, onde foram feitas as coletas das amostras, todas pela manhã, nos horários compreendidos entre 05:00 e 9:00 obedecendo o *holding time* (tempo de garantia) entre coleta e análise laboratorial. *In loco*, foi se analisado três parâmetros com a sonda multiparamétrica: pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura (T). Com auxílio do GPS foi-se obtido as coordenadas geográficas do local. O acondicionamento das amostras em frascos de polietileno em cor âmbar, de capacidade de 500ml, adicionados de ácido nítrico (HNO_3) ($\text{pH} < 2$), que funciona como conservante da amostra evitando a precipitação dos metais pesados.

As amostras foram rotuladas e identificadas, colocadas em bolsas térmicas e acondicionadas em *coolers* onde a temperatura estimada era de $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ até a entrega no laboratório de referência CEIMIC Análises Ambientais Ltda., situado na cidade de São Paulo, Brasil.

Figura 4 – (A) Ponto de surgência do chorume; (B) Amostra coletada e armazenada no balde para análise com a sonda multiparamétrica.



Fonte: Acervo do GEOCE.

Figura 5 – (A) Exemplo de frasco, devidamente identificado, utilizado para armazenar a amostra até sua chegada ao laboratório CEIMIC; (B) Utilização da sonda multiparamétrica para medição do pH, CE e $T(^{\circ}\text{C})$.



Fonte: Acervo do GEOCE.

2.2.3 Pós - campo

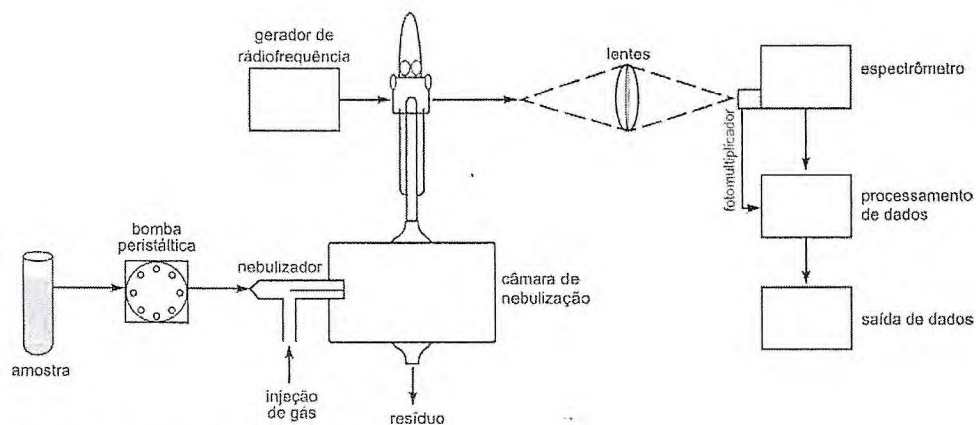
As análises em laboratório foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; Métodos de Referências do US-EPA (*United States Environmental Protection Agency*). O método da Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) SW846 – 3005/SW846- EPA 6010 foi empregado para a análise de metais totais (Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Ca^{++} , S^- , Fe, P, Al, B, Ba, Cr, Ni, Mn, Cu, Co, Cd, Zn, Pb, Sb, Ag, Mo, As, Se), e para a análise dos níveis de mercúrio (Hg) nas amostras foi usada a Espectrometria de Absorção Atômica com geração de Vapor Frio (CV-AAS) SW 846- EPA 7470.

i. *Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado*

Nos sistemas naturais, a maioria dos metais existe como espécies catiônicas, ou como cátions livres ou como cátions que são associados com ânions específicos. O princípio fundamental do ICP-OES consiste na ionização dos elementos a serem analisados pelo plasma indutivo de argônio. Um plasma pode ser definido como uma nuvem de gás parcialmente ionizado e com elevada temperatura. No plasma de argônio utilizado para espectroscopia atômica, os íons argônio e elétrons são as espécies condutoras principais, embora os cátions da amostra também possam conduzir. Os íons argônio, uma vez formados no plasma, são capazes de absorver potência suficiente de uma fonte externa para manter a temperatura em um dado nível, de forma que a ionização adicional sustenta o plasma indefinidamente. Desta forma, obtêm-se temperaturas que atingem até 10.000 K. Para a formação do plasma é necessário um fonte de potência. Das fontes existentes, a de radiofrequência ou ICP oferece as maiores vantagens em termos de sensibilidade e menor efeito de interferências (SKOOG *et al.*, 2006).

As amostras transportadas em forma de aerossol (plasma) sofrem uma sequência de processos físico-químicos: dissolvatação, fusão, vaporização, dissociação, ionização e excitação. Os componentes das amostras são convertidos em átomos e íons pelos atomizadores. Uma fração destas espécies é excitada para estados eletrônicos superiores. O plasma possui energia suficiente para promover a excitação da maioria dos elementos químicos, proporcionando alta sensibilidade com ampla faixa linear de trabalho. Após alguns nanossegundos, os átomos excitados voltam para o estado fundamental, fornecendo suas energias como fótons de radiação visível ou ultravioleta. A transição para (ou de) um estado fundamental é denominada transição de ressonância e a linha espectral resultante é chamada linha de ressonância (SKOOG *et al.*, 2006). A radiação de comprimento de onda de interesse é separada da radiação emitida remanescente e sua intensidade é medida. A medida de intensidade pode ser relacionada diretamente com a concentração do elemento de interesse, comparando-se a intensidade medida com uma curva de calibração (PARRON *et al.*, 2011).

Figura 6 – Esquema de funcionamento do ICP-OES. 1) sistema de introdução de amostras, geralmente formado por uma câmara de nebulização, tocha de quartzo (geração do plasma) e gerador de radiofrequência; 2) monocromador (ou sistema óptico), que permite a separação dos diferentes comprimentos de onda; 3) sistema de detecção, os mais usados são fotomultiplicadores e detectores de estado sólido; 4) unidade de processamento de dados. Entre as vantagens da técnica, se destaca a alta sensibilidade (o limite de detecção para a maioria dos elementos varia de 0,1 a 1.000 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e a capacidade de análise simultânea e sequencial de múltiplos elementos, o número de elementos mensuráveis, isto é, elementos que geralmente são difíceis de analisar, tais como Zr, Ta, terras raras, P e B podem ser facilmente analisados no ICP.



Fonte: Parron, 2011

O Limite de Quantificação é a menor quantidade de analito numa amostra que pode ser quantificada/mesurada com precisão e exatidão aceitáveis. Na Tabela 1 temos os limites assumidos para o método aqui empregado.

Tabela 1– Limites de Quantificação utilizados para as análises de metais totais.

Limite de Quantificação em $\mu\text{g/L}$		
Alumínio	Al	100
Enxofre	S	1000
Antimônio	Sb	5.00
Arsênio	As	10.0
Bário	Ba	10.0
Boro	B	200
Cádmio	Cd	5.00
Cálcio	Ca	50000
Chumbo	Pb	10.0
Cobalto	Co	5.00
Cobre	Cu	30.0
Cromo	Cr	10.0
Ferro	Fe	300
Fosforo	P	20.0
Magnésio	Mg	300

Manganês	Mn	10.0
Molibdênio	Mo	20.0
Níquel	Ni	10.0
Potássio	K	30000
Prata	Ag	10.0
Selênio	Se	10.0
Sódio	Na	500
Zinco	Zn	50.0

ii. *Espectrometria de Absorção Atômica com geração de Vapor Frio (CV-AAS)*

Os átomos para todos os elementos metálicos, com exceção do mercúrio, não podem existir no estado livre, fundamental, à temperatura ambiente. Aquecimento deve ser aplicado para quebrar as ligações dos átomos combinados, mas átomos livres de mercúrio podem existir à temperatura ambiente e, portanto, o mercúrio pode ser medido por absorção atômica, sem aquecimento da cela de atomização (Beaty et al 1993).

Na técnica de vapor frio, o mercúrio é quimicamente reduzido para o estado atômico livre através da reação da amostra com um forte agente redutor, como cloreto estanoso ou borohidreto de sódio, em um sistema de reação fechado. O mercúrio livre volátil é então retirado do frasco de reação pelo ar ou argônio. Os átomos de mercúrio são carregados no fluxo de gás através do tubo conectado a uma cela de absorção, a qual está localizada no caminho óptico do espectrômetro de absorção atômica. Às vezes a cela é levemente aquecida, para evitar a condensação da água (Beaty et al 1993).

iii. *Pós-análise*

Nas etapas posteriores foram tratados os dados obtidos com as análises laboratoriais assim como os dados da pluviosidade no ano de 2015 fornecidos pela FUNCEME, deste modo dando suporte e embasamento para as comparações e ressalvas necessárias que fosse elaborada a redação dos conhecimentos adquiridos com a pesquisa e confecção de tabelas e gráficos que evidenciem as diferenças observadas.

3. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

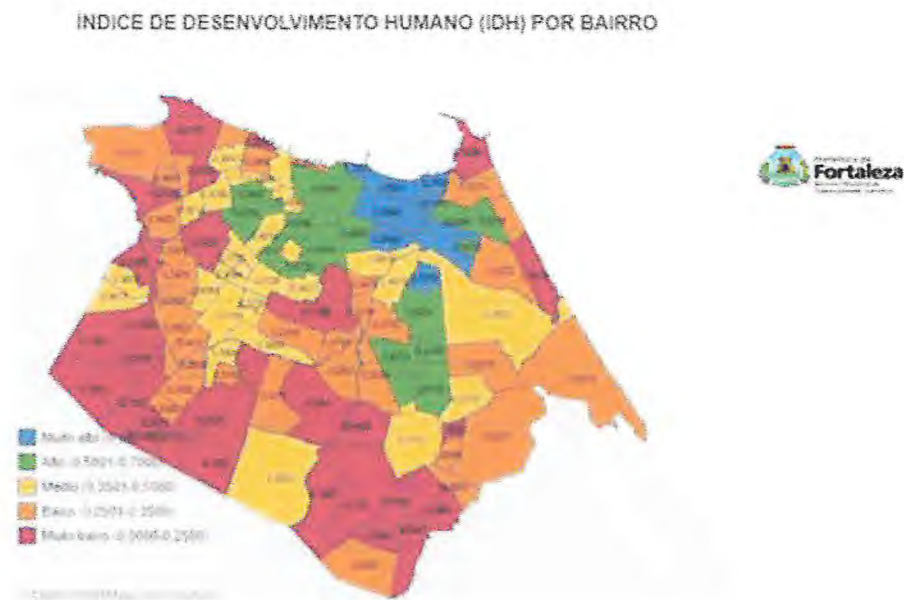
A cidade de Fortaleza é a capital do estado do Ceará e a quinta mais populosa do Brasil. A também conhecida como Capital Alencarina, fazendo menção ao escritor fortalezense José de Alencar, foi fundada em 1726, tem uma população estimada em 2015 de 2.591.288 habitantes, 314.930 Km² de área e uma densidade demográfica de 7.786,44 hab/Km².

O município de Fortaleza tem uma participação relativa importante no panorama social e econômico do Estado, uma vez que detém uma população de cerca de 2,5 milhões de habitantes, correspondendo a aproximadamente 30% do contingente populacional do Estado. Da mesma forma, o Produto Interno Bruto (PIB) da capital cearense, que constitui um indicador relevante para medir a importância econômica do município, representa, atualmente, quase a metade de toda a riqueza do Estado, alcançando, em 2009, R\$ 31,37 bilhões, ou 48% do PIB do Ceará no referido ano. (IPECE, 2012)

A economia Fortalezaense é centrada principalmente no setor terciário, de comércio e serviços, sendo este responsável por aproximadamente 68,8% da contribuição economia municipal. Logo em seguida temos o setor secundário, de complexos industriais, contribuindo com 15,8% e por fim o setor primário, de menor representatividade, responsável por 0,7% da economia do município.

Segundo a Prefeitura Municipal de Fortaleza o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio da cidade é de 0,754, no qual este parâmetro fala do desenvolvimento da população em função de três parâmetros: renda, educação e saúde (Figura 7).

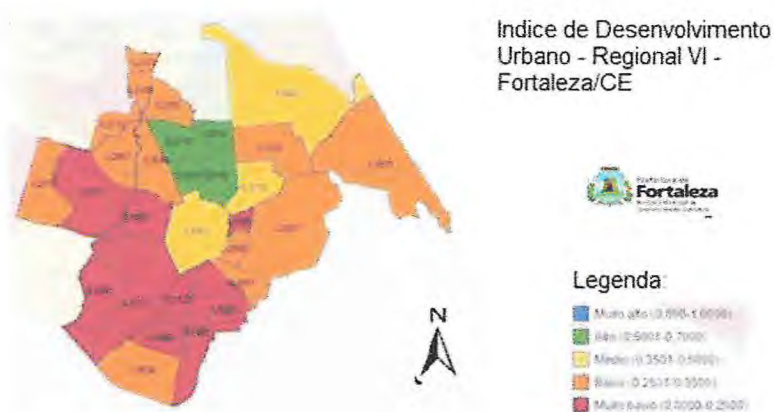
Figura 7 – Índice de Desenvolvimento Humano por Bairro de Fortaleza/CE.



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza

Levando-se em consideração a divisão regional de Fortaleza, os maiores IDH se encontram agrupados na Regional II e não reflete a situação da maior parte da cidade. Na Regional VI, onde foram feitas as coletas de amostras localiza-se o bairro de menor IDH da cidade, o Conjunto Palmeiras, de IDH 0,1067, considerado muito baixo. Os bairros Passaré, Jangurussu e Barroso, que estão no entorno do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu também apresentam IDH muito baixo (Figura 8).

Figura 8 – IDH dos bairros componentes da Regional VI de Fortaleza/CE. Pode ser observada, na sua porção mais sudoeste, a região onde foi realizada a amostragem para este estudo, os menores índices de IDH.



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza

Figura 9 – Urbanização imprópria do terreno entre o Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu e o rio Cocó, reflexo do baixo IDH dos habitantes.



Fonte : Acervo do autor.

4. ASPECTOS FISOGRÁFICOS

4.1 Clima

4.1.1 *Atmosfera*

Do ponto de vista climatológico, o Nordeste Brasileiro encontra-se em uma condição atmosférica anômala, principalmente por estar situado numa faixa tropical, onde as chuvas torrenciais e as maiores médias pluviométricas mundiais são registradas. Porém nesta região, as chuvas delimitam um clima semiárido, formado a partir da variabilidade climática, já que no planeta esta média pluviométrica anual não é baixa.

O clima no Nordeste é controlado por dois sistemas sinópticos, em grande escala: a Zona de Convergência Intertropical e os vórtices ciclônicos, em que ambos são geradores da pluviometria, elemento mais destacado no dimensionamento climático. Com estes, coexistem a convecção e perturbações locais, moldados comumente por acidentes morfológicos, modificando o clima de forma independente da precipitação, assim como interagindo com a mesma. Estas características se aplicam ao Nordeste brasileiro, notadamente nas baixas latitudes.

A Zona de Convergência Intertropical representa o sistema de tempo mais importante na época de máximo de chuvas e este sistema oscila meridionalmente, atingindo sua posição máxima ao sul do hemisfério sul nos meses de março e abril, exercendo influência até proximidades do paralelo 10° sul. A formação de chuvas pela zona de convergência intertropical se dá pela convergência dos ventos alísios do hemisfério sul e do hemisfério norte, ao longo do equador térmico da Terra. O deslocamento da zona de convergência está relacionado diretamente com a temperatura das águas do Oceano Atlântico e se posiciona onde as águas se encontram mais quentes.

Vórtices ciclônicos são deformações isobáricas que ocorrem no setor continental do anticiclone tropical. Este fator de instabilidade penetra no Nordeste do Brasil em geral entre os meses de setembro e abril, sendo mais atuantes na estação de verão (mais especificamente no mês de janeiro). O centro do vórtice é sempre acompanhado de céu claro e, portanto, ausência total de nebulosidade,

enquanto na sua periferia encontram-se associadas nuvens do tipo cirros e cumulonimbus.

Perturbações locais estão relacionadas às correntes dos ventos alísios, que são emanações periféricas dentro do anticiclone tropical e provocam precipitações de pequena ordem, por inversões térmicas entre as massas desses ventos, em suas partes superiores, quentes e secas, e as inferiores frescas e úmidas. Quando o fluxo em questão penetra no continente, pelo aquecimento diferencial, associado também a rugosidade morfológica dos terrenos, ocorrem às chuvas.

Para descrição dos aspectos climáticos neste trabalho foram utilizados dados referentes ao período de 1974 a 1994 dos registros da Estação Meteorológica de Fortaleza, operada pela FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Assim como a base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) e da empresa *Windfinder*.

A Tabela 2 apresenta os registros médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, evaporação, e insolação observadas.

Tabela 2 – Registros meteorológicos da Estação Climatológica de Fortaleza de 1974 a 1994.

<i>Meses</i>	<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Pressão Atm (hPa)</i>	<i>Temp. Média (°C)</i>	<i>Evaporação Total (mm)</i>	<i>Umidade Relativa (%)</i>	<i>Insolação Total (h)</i>
<i>Jan</i>	103,6	961,85	27,4	135,5	78,5	229,1
<i>Fev</i>	201,9	961,65	27,1	108,8	81,3	179,5
<i>Mar</i>	365,4	961,65	26,7	90,9	84,3	169,4
<i>Abr</i>	334,5	961,8	26,9	85,3	84,1	186,7

<i>Mai</i>	167,3	962,55	26,8	97,7	82,7	221,2
<i>Jun</i>	157,9	963,75	26,4	116,2	80,7	246,7
<i>Jul</i>	90,4	964,4	26,2	142,6	77,3	272,7
<i>Ago</i>	31,0	963,85	26,4	178,7	75,6	303,2
<i>Set</i>	18,5	963,65	26,8	179,2	74,7	286,6
<i>Out</i>	16,4	962,35	27,1	181,5	74,6	294,8
<i>Nov</i>	11,2	961,95	27,4	173,0	74,3	284,7
<i>Dez</i>	49,3	961,45	27,5	156,9	76,6	259,3
Média / Total	1547,4	962,6	26,9	1646,3	78,8	2926,9

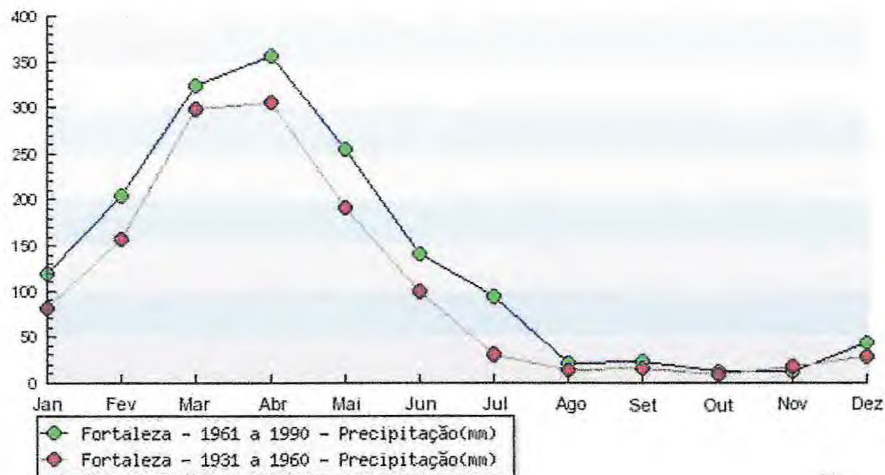
Fonte: modificado de FUNCEME

A área integra a região climática do tipo AW da classificação de *Koppen*. De acordo com a classificação o tipo climático corresponde ao macroclima da faixa costeira de clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas de verão e outono. Levando-se em consideração a classificação de *Gaussen*, que ressalta os parâmetros bioclimáticos, a região enquadra-se no tipo 4 bTh com clima tropical quente de seca média, seca de inverno, com índices xerotérmicos entre 100 a 150, apresentando 5 a 6 meses secos.

4.1.2 Regime de Chuvas

O período chuvoso no Ceará inicia-se no mês de dezembro, com as precipitações de maior expressão ocorrendo entre os meses de março e maio. O período entre os meses de setembro a novembro se destaca por ser o mais seco como podemos observar no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Precipitação entre os anos de 1931 a 1990 em Fortaleza

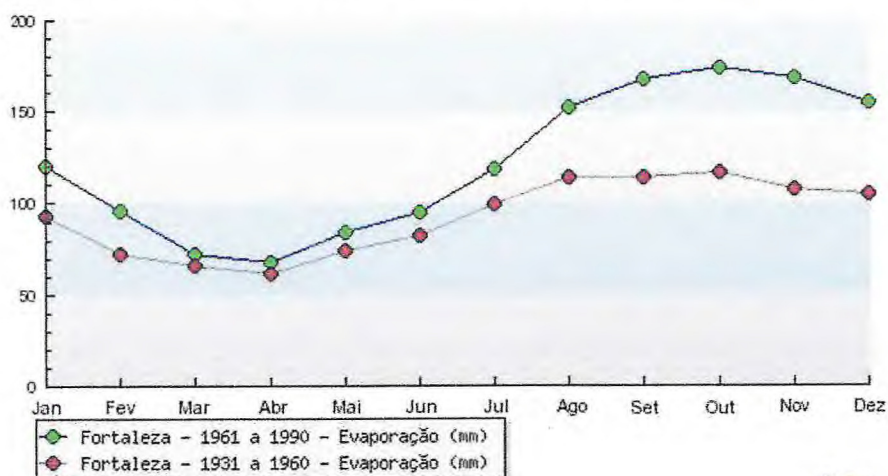


Fonte: INMET, 2016

4.1.3 Evaporação

As taxas de evaporação na cidade de Fortaleza são consideradas elevadas, havendo seus máximos no mês de outubro e mínimos no mês de abril, seguindo o regime sazonal.

Gráfico 2 – Evaporação para o período de 1931 a 1990 em Fortaleza.



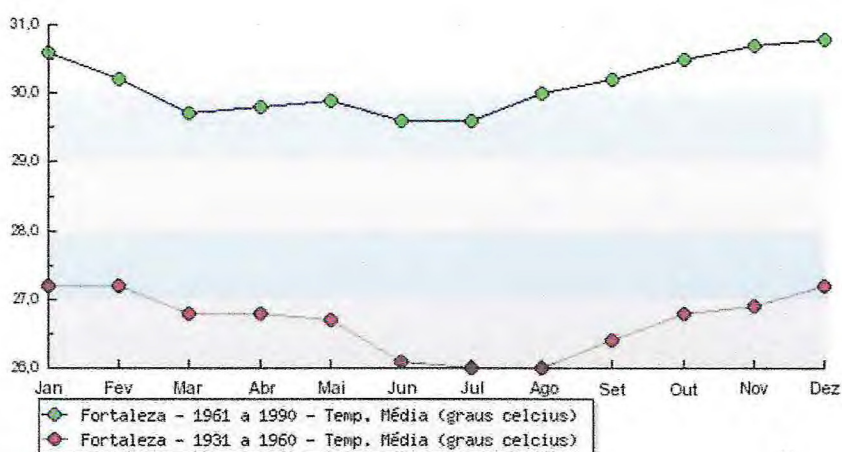
Fonte: INMET, 2016

4.1.4 Temperatura

A temperatura média anual situa-se por volta de 26,9°C, com um máximo de 27,5°C no mês de dezembro e um mínimo de 26,2°C no mês de julho. Os valores médios de temperatura máxima registrados variam de 31,0°C (julho e agosto) e 31,6°C (dezembro). As temperaturas mais amenas são frequentemente observadas nas primeiras horas da manhã, variando de 21,6°C (julho), a 23,3°C (novembro e dezembro).

Em registros de 1931 a 1990, a temperatura média registrada em Fortaleza oscilou entre 26°C e 30,5°C (Gráfico 3). É notável o aumento considerável das temperaturas médias ao longo destas décadas registradas.

Gráfico 3 – Temperatura no período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.

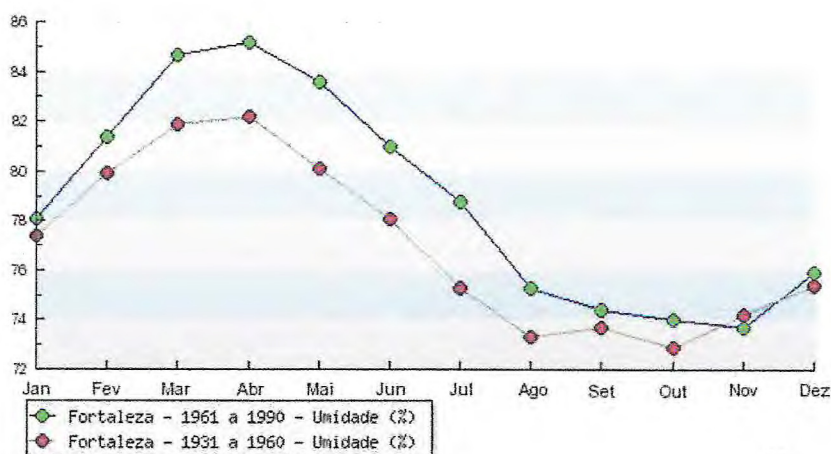


Fonte: INMET, 2016

4.1.5 Umidade do ar

A cidade de Fortaleza alcança uma média anual de 78,3% de umidade relativa do ar, com mínima mensal de 74,4% em setembro e novembro, e máxima de 83,8% em março e abril, apresentando oscilações segundo o regime pluvial, sendo a influência marinha e a alta taxa de evaporação grandes contribuintes. Os picos de umidade do ar em Fortaleza coincidem com os dados de precipitação, evidenciando a relação entre os dois.

Gráfico 4 – Umidade do ar no período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.

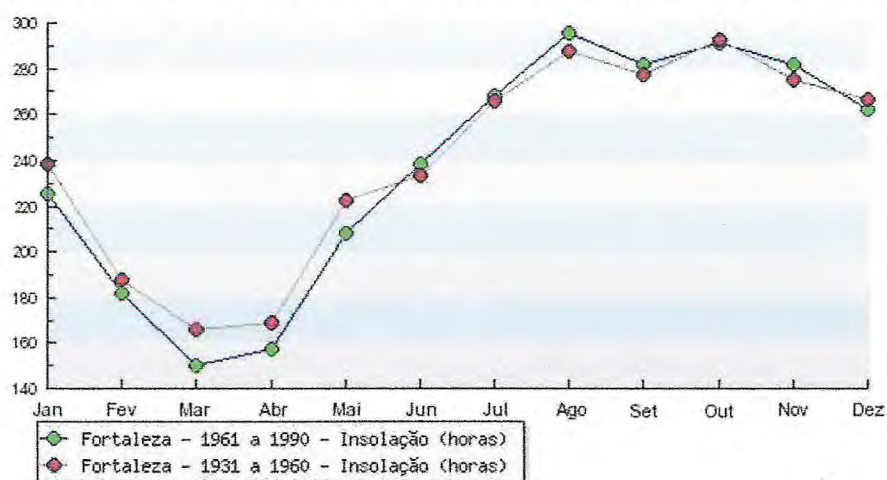


Fonte: INMET, 2016

4.1.6 Insolação

A insolação total média anual fica em torno de 2.870 horas de sol na cidade de Fortaleza, com uma média mensal de 239,2 horas. O mês de março apresenta a menor taxa de insolação, apresentando valores de 150 a 170 horas, e o mês de agosto com os maiores períodos, em torno de 290 horas. Levando-se em consideração o gráfico de umidade média em Fortaleza, a insolação apresenta uma configuração inversa em relação a este. (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Insolação do período compreendido entre 1931 e 1990 em Fortaleza.

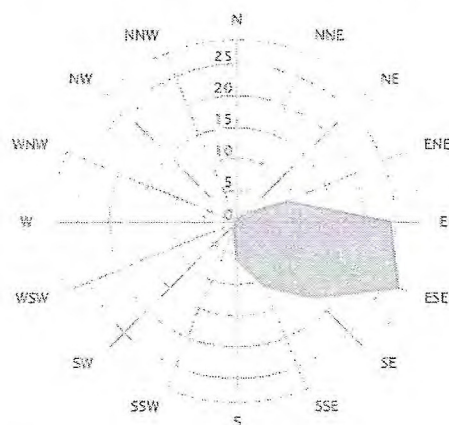


Fonte: INMET, 2016

4.1.7 Ventos

Fortaleza sofre uma influência significativa dos ventos alísios durante quase todo o ano, incidentes de leste, com direção preferencial de lés-sudeste (ESE) (Gráfico 6). A variação entre estas duas direções se dá da seguinte maneira: Entre dezembro e março, os ventos são de E; entre maio e novembro os ventos têm seu máximo para ESE. Além de um maior período em ESE, estes ventos também têm maiores velocidades.

Gráfico 6 – Direção dos ventos em Fortaleza de 10/2002 a 12/2014.



Fonte: WINDFINDER, 2016

Os ventos têm velocidade mínima em domínio das precipitações ao longo do primeiro semestre do ano, notadamente entre janeiro e maio, quando atingem valores mínimos; evoluindo daí até setembro, outubro e novembro, quando em ausência da pluvimetria e também da nebulosidade, atingem seus valores máximos. É certo que entre tantos anos ocorrem comportamentos discrepantes, contudo a variabilidade média fica em torno de 3 m/s ao ano.

De fevereiro a abril os ventos de são mais brandos, com velocidades médias entre 3,0 a 2,5 m/s. A partir de maio há uma intensificação gradativa dos ventos, que atingem médias máximas de 4,5 m/s durante o mês de setembro (Tabela 3).

O mecanismo de circulação atmosférica é comandado pelos ventos alísios do quadrante NE-SE. Durante o inverno-primavera com enfraquecimento do sistema de correntes de oeste, o território fica sob domínio dos ventos anticiclônicos de NE e E da alta tropical do Atlântico Sul. Nesse período se estabelece a estiagem (SEMACE/LABOMAR, 2005).

Tabela 3 – Velocidade dos ventos (m/s) da Estação de dados de Fortaleza de 1974 a 1995

<i>Anos</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
1974	2,0	1,5	1,3	1,8	1,8	3,3	4,0	4,5	5,0	4,9	5,4	4,2
1975	4,3	3,2	2,5	2,7	2,2	3,7	4,1	5,9	6,1	5,0	5,4	4,7
1976	4,7	3,3	2,9	3,5	3,6	4,9	4,8	6,0	5,5	5,0	5,2	5,1
1977	4,0	3,9	3,3	2,7	3,2	3,2	4,0	4,8	5,7	5,4	5,4	4,9
1978	4,4	4,3	3,2	2,5	2,4	3,0	3,8	4,5	5,3	5,5	5,2	4,5
1979	3,8	3,5	3,4	3,7	3,0	4,2	4,6	5,0	5,3	5,2	4,6	4,0
1980	3,3	2,5	3,1	4,0	3,9	3,7	4,2	5,0	4,7	5,3	4,6	4,5
1981	3,9	4,5	2,7	3,2	3,0	3,7	4,3	4,8	5,1	4,7	5,0	4,6
1982	3,4	3,5	2,6	2,5	3,2	3,8	3,8	4,2	4,6	4,2	4,8	4,4
1983	3,9	4,0	3,7	4,0	4,2	3,8	4,4	4,8	4,8	4,6	4,2	4,0
1984	3,1	3,3	1,8	1,8	1,8	2,7	3,6	4,2	4,0	4,3	4,2	3,8
1985	2,6	1,6	2,0	1,6	2,0	2,5	2,7	4,1	4,2	3,9	3,8	3,0
1986	2,9	1,9	1,5	1,7	2,7	2,8	3,0	3,3	4,0	3,7	4,2	3,5
1987	3,4	3,2	2,0	3,0	3,0	3,0	3,3	4,1	4,3	3,8	3,9	3,8
1988	3,0	2,8	2,1	1,9	2,4	2,7	3,1	3,6	4,0	4,2	4,0	3,0
1989	3,1	2,7	2,0	1,5	2,0	2,3	2,5	3,4	3,7	3,9	3,8	3,2
1990	3,3	2,7	2,9	2,6	2,6	3,2	3,0	4,1	3,8	4,0	4,0	3,4
1991	3,3	2,5	2,1	2,1	2,2	2,9	3,5	3,7	4,0	3,9	3,6	3,6
1992	3,0	3,0	2,6	2,8	3,0	3,2	3,6	3,9	4,2	4,1	3,9	3,7
1993	3,6	3,4	2,6	3,0	3,1	3,4	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	3,4
1994	2,7	2,0	2,0	1,7	2,3	2,0	2,5	3,4	4,0	3,8	3,9	3,4
1995	2,5	2,4	2,0	1,6	1,7	2,3	2,8	3,2	3,2	-	-	-
<i>Média</i>	3,4	3,0	2,5	2,5	2,7	3,2	3,6	4,3	4,5	4,4	4,4	3,9

Fonte: FUNCEME, 2015

4.1.8 Nebulosidade

A Nebulosidade pode ser definida como a água condensada em forma de vapor que fica suspensa na atmosfera, sendo suas medidas expressas numa escala de 0 a 10. Suas formas visíveis, usuais, se dão como nevoeiros e nuvens, e sua função como parâmetro meteorológico está ligada à diminuição da insolação, conseqüentemente diminuindo também a Evaporação e a Evapotranspiração. Na tabela 4 observamos que a incidência de nebulosidade em Fortaleza se mantém estável no decorrer dos anos (Tabela 4).

Tabela 4 – Nebulosidade no município de Fortaleza

<i>Anos</i>	<i>Nebulosidade (0 - 10) (%)</i>
<i>2004</i>	6.0
<i>2005</i>	5.0
<i>2006</i>	6.0

Fonte: INMET

4.2 Geomorfologia

Segundo Moura Fé (2008), a geomorfologia da cidade de Fortaleza pode ser compartimentada em sete domínios geomorfológicos, que são: Depressão sertaneja, Tabuleiros Costeiros, Relevos Vulcânicos, Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas, Dunas, Paleodunas, e as Praias Atuais.

4.2.1 Depressão Sertaneja

Identificada na parte mais sul – sudoeste do município, esta feição geomorfológica é também descrita a nível estadual. A principal característica deste domínio geomorfológico vem do aplainamento de litologias, sejam elas cristalinas ou sedimentares, no caso da capital, da litologia cristalina.

No município de Fortaleza a Depressão Sertaneja é representada por vastas rampas sedimentadas que debutam no sopé dos maciços residuais e tende à se inclinar em direção aos vales e litoral.

4.2.2 Tabuleiros Costeiros

Nos setores mais centrais do sitio natural de Fortaleza temos a forma de relevo correlata à Formação Barreiras, são os tabuleiros costeiros. Estes relevos afloram também em diversos setores mais internos do continente como manchas dispersas, comprovando que a cobertura já chegou a ter uma maior abrangência espacial (SOUZA,1989).

Segundo a obra de Souza (1988) a altimetria média dos tabuleiros pode variar de 80 a 100 metros nas porções mais interiores do continente indo até o nível do mar. O declive é brando, sendo normalmente inferior a 5°.

4.2.3 Relevos Vulcânicos

De acordo com Moura-Fé (2008) na região de Fortaleza temos dois exemplos de relevos vulcânicos: o morro do Caruaru e o serrote do Ancuri.

O morro Caruaru esta localizado na porção sudeste da cidade, entre os tabuleiros costeiros e as paleodunas. Ele apresenta cerca de 60 metros de altura e atualmente está sendo utilizado para exploração mineral, o que tem resultado em uma mudança do relevo.

O serrote do Ancuri, com 115 metros de altitude, esta situado na parte sul da cidade. Nele encontra-se uma estação de tratamento d'água da CAGECE, empresa responsável pela distribuição de agua encanada pra cidade de Fortaleza.

4.2.4 Planícies Fluviais e Flúvio-Marinhas

As planícies são zonas relativamente planas e correspondem a regiões onde ha o predomínio da deposição de sedimentos maior que o processo de erosão local.

Em Fortaleza podemos identificar as planícies fluviais dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, que tiveram por origem a ação dos leitos fluviais, que se desenharam em meio de terrenos cristalinos da depressão sertaneja e formaram os depósitos aluvionares estreitos. Quanto mais próximo aos sedimentos da Formação Barreira, notamos o maior alargamento das zonas de acumulação de sedimentos.

As planícies flúvio-marinhas começam nas zonas onde ha influência do regime fluvial/continental e marinho no sedimento depositado. Os sedimentos nesse contexto geomorfológico tendem a serem finos, argilosos, e com grande quantidade de matéria orgânica. Com a evolução dos processos de deposição e instalação da vegetação é dada origem as zonas de manguezais. Na capital, as regiões de manguê são ligadas aos regimes dos rios Coco, Ceará e Pacoti.

4.2.5 Paleodunas

As Paleodunas correspondem a sedimentos costeiros eólicos mais antigos do que as dunas móveis, posicionados sempre em linha com a costa, e encontram-se repousando em discordância sobre os sedimentos da Formação Barreiras. É notável a presença da vegetação, que auxilia o processos podogenéticos e instalação das dunas.

4.2.6 Dunas

São constituídas por sedimentos inconsolidados que formam um cordão litorâneo com 2 a 3 km de largura e, no máximo, 30 metros de altura, dispostos paralelamente a linha de costa. Diferem-se das paleodunas pela ausência de vegetação e pela ocorrência mais próxima à praia, onde há maior incidência das ações do vento.

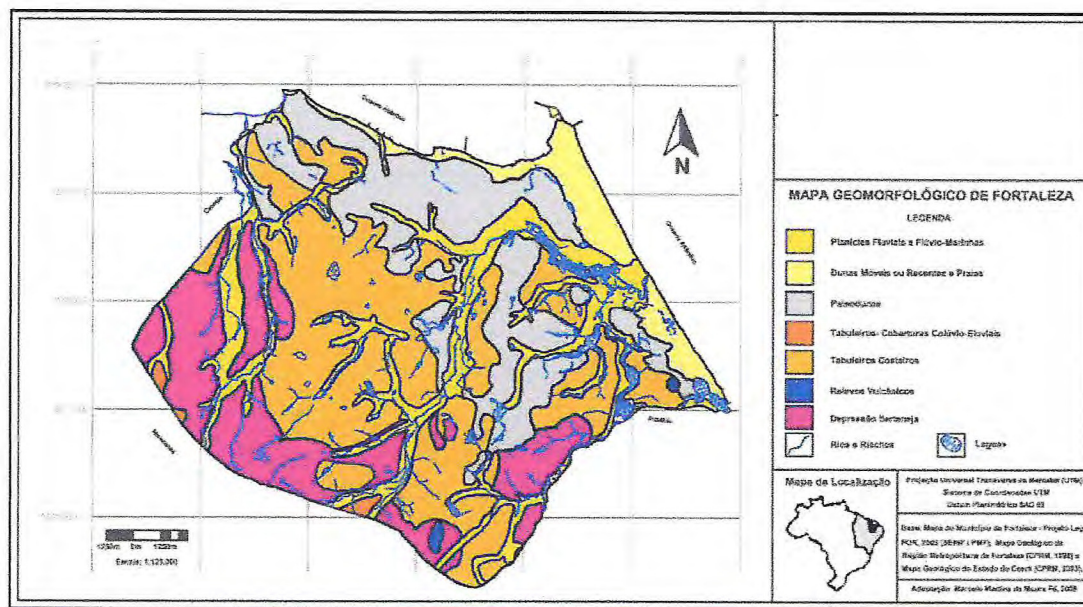
Muitas vezes a formação ou continuidade das feições geomorfológicas são interrompidas por fatores naturais e antrópicos, como: a presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, litologias mais resistentes, edificações e construções de estradas.

4.2.7 Praias Atuais

A zonas de praias equivalem ao espaço que vai desde a zona de maré mais baixa até o início da zona de dunas móveis. Nesta região predomina longas faixas de areias com presença de *beachrocks*, termo em inglês que designa as rochas contituidas por areias consolidadas, arenitos.

Esta faixa é alimentada pelos sedimentos do quaternário, e é cortada pelas zonas de desembocaduras de rios no mar. Na parte mais a norte da cidade temos uma faixa estreita de praia, entretanto, na porção leste, apresentam-se zonas de praia de até 1,5 km.

Figura 10 – Mapa Geomorfológico de Fortaleza



Fonte: Modificado de Moura-Fé, 2008.

4.3 Pedologia

Diversos fatores influem na formação e amadurecimento de um solo, dentre eles temos a litologia, relevo, clima e tempo.

De acordo com as definições do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), Souza (2009) descreve as principais classes de solo ocorrentes em Fortaleza são: Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos.

4.3.1 Neossolos Quartzarênicos

Anteriormente classificados como Areias Quartzozas e Areias Quartzozas Marinhas, este tipo de solo tem por características a alta permeabilidade, baixa fertilidade natural (distróficos), granulação arenosa, escassez de grãos do tamanho argila (inferior a 15%), coloração esbranquiçada ou amarelada.

Estão relacionados às zonas de deposição eólica, sendo correlacionados as planícies litorâneas, assim estendendo-se ao longo das praias, dunas e paleodunas.

Quando encontrados em faixas muito próximas ao mar, este tipo de solo tende a apresentar maior quantidade de sais.

4.3.2 Argissolos Vermelhos-Amarelos

Os Argissolos Vermelhos Amarelos Distróficos têm distribuição espacial bastante variada, ocorrendo nos tabuleiros pré-litorâneos, nos relevos planos e suavemente ondulados da faixa de transição com a depressão sertaneja e na base dos morros residuais (SOUZA, 2009). São solos provenientes de desagregação direta da rocha sem envolvimento de transporte para sua acumulação, geralmente bem drenados, ácidos, porosos e de textura variando de média a argilosa. A coloração varia de tonalidades vermelho-amareladas até bruno-acinzentadas. Inseridos nesta unidade, destacam-se os tipos abruptico, cascalhamento, concrecionario, e fase pedregosa. Possui baixa fertilidade natural e forte acidez, recomendando-se o uso de fertilizantes e a correção do pH (MOURA-FÉ, 2008).

Os Argissolos Vermelho Amarelos eutróficos têm sua distribuição espacial bastante variada, ocupando diferentes unidades geoambientais, cobrindo desde relevos planos até montanhosos. Sua origem está relacionada a diferentes tipos de materiais. São solos bem desenvolvidos e de modo geral apresentam boas condições de fertilidade natural, a depender da disponibilidade hídrica e das condições de relevo. É ocupado por diferentes tipos vegetacionais, desde caatingas nas Depressões Sertanejas até Mata Seca nas vertentes do maciço residual da Aratanha (SANTOS, 2006).

É o solo de maior representatividade no município, estando em quase todas as regiões.

4.3.3 Neossolos Flúvicos

Os Neossolos Flúvicos são solos formados a partir da deposição de sedimentos fluviais recentes, tendo assim sido instalados em zonas de atuação

predominante dos rios e riachos. Por características temos a sua média de alta fertilidade, granulometria variando de arenosa a argilo-siltosa, e a capacidade de armazenar água gerando corpos hídricos.

Segundo Moura-Fé (2008), em Fortaleza pode ser encontrado junto às planícies fluviais dos rios Coco, Maranguapinho, Ceara e Coaçu, os bordejando e às margens das lagoas da Messejana, Precabura e Maraponga.

4.3.4 Gleissolos

Agrupam solos hidromórficos e salinos (halomórficos), pouco diferenciados, com elevados teores de sódio (MOURA-FÉ, 2008), sendo constatado em zonas de planícies flúvio-marinhas, associado com os neossolos flúvicos. É neste tipo de solo em que se dá origem os manguezais.

É importante relevar a sua importância econômica, pois dele normalmente é retirada as carnaúbas e pode servir para a pecuária extensiva.

Como dito anteriormente, eles estão associados às planícies flúvio-marinhas, identificado nos baixos cursos do rio Coco, Ceara e Pacoti.

Quadro 1 – Quadro de correspondência entre as classes de solos e feições morfológicas encontradas em Fortaleza/CE.

CLASSES DE SOLOS	FEIÇÕES MORFOLÓGICAS
Neossolos Quartzarênicos	Faixa de praia e campo de dunas
	Tabuleiros Pré-litorâneos
Argissolos Vermelho Amarelos distróficos	Tabuleiros Pré-litorâneos
Argissolos Vermelho Amarelos eutróficos	Maciço Residual
	Depressão Sertaneja
Neossolos Flúvicos	Planície fluvial do rio Cocó e Coaçu, Planícies lacustre, flúvio-lacustre e áreas de acumulação sazonal.
Gleissolos Sálcos	Planície Flúvio-marinha

Fonte: Adaptado de Souza (2000), Nascimento (2003) e Santos (2006).

4.4 Vegetação

Segundo o Inventário Ambiental de Fortaleza nos anos de 1968 e 2003, a cidade perdeu cerca de 90% da sua cobertura natural. Isso coloca o fortalezense em contexto de baixa qualidade de vida, pois existe menos de 4 m² de área verde por habitante na cidade. Em 1968 a cidade tinha 68% de áreas verdes. Em 2003, o município contava com 7% de vegetação (Jornal Diário do Nordeste, 2011).

Uma das principais causas desta diminuição drástica foi a migração interna e expansão urbana.

Atualmente, a cidade de Fortaleza apresenta as seguintes unidades fitogeográficas: Caatinga, Mata Ciliar e Lacustre, e Complexo Vegetacional da Planície Litorânea (manguezais, mata de tabuleiros e vegetação pioneira do campo de dunas e faixa praial).

4.4.1 Caatinga

Uma das principais propriedades atribuídas a este tipo de vegetação é resistência aos períodos de seca, sendo esta chamada de caducifólia de elevado xerofitismo. Elas são encontradas nos terrenos cristalinos da depressão sertaneja e seu domínio se estende até a base da Serra do Aratanha, onde não tem um grande aporte hídrico disponível. Sua tipologia é frequentemente arbustiva, porém também apresenta espécies arbóreas.

4.4.2 Mata Ciliar e Fluvial

O artigo 3º, II da Lei 12651/2012 do Novo Código Florestal afirma que as zonas de matas ciliares são zonas a serem protegidas, pois esta tem como função ambiental preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Esta vegetação está localizada na região de planícies fluviais, lacustres e áreas de acumulação sazonal, que apresentam melhores aportes hídricos e fertilidade dos solos. Dentre as espécies mais comuns neste domínio, temo: carnaúba (*Copernicia cerifera*), mulungu (*Erythrina velutina*), juazeiro (*Zizyphus*

joazeiro), oiticica (*Licania rígida*), ingá-bravo (*Lonchocarpus sericeus*) e espécies arbustivas e trepadeiras.

Figura 11 – Mata ciliar ao bordo do rio Cocó



Fonte: Acervo do autor

4.4.3 Complexo vegetacional da zona litorânea

Esta unidade compreende inúmeras espécies distintas distribuídas nas planícies flúvio-marinhas, dunas e tabuleiros pré-litorâneos.

As espécies instaladas nos tabuleiros se desenvolvem de acordo com as características do solo, sendo as florestas densas típicas das zonas de fácies mais argilosas, e na parte mais arenosa temos uma transição entre caatinga e cerrado.

As zonas de manguezais estão situadas nas planícies flúvio-marinhas, onde a alta salinidade é predominante, o aporte arbórico é bastante considerável, apesar de ser um ambiente muito susceptível à interferência antrópica.

Nas zonas dunares encontramos tanto espécies gramíneas tanto como espécies herbáceas, estas protegem as dunas dos efeitos da ação dos ventos e promovem a fixação das mesmas. Na linha praial notamos uma ausência de vegetação, com pequenas ocorrências de gramíneas, como as que se tem nas zonas dunares.

A vegetação de cerrado aparece no bairro Cidade dos Funcionários, cobrindo uma área de aproximadamente 28 ha.

4.5 Hidrografia

A cidade de Fortaleza apresenta uma relativa diversidade de elementos que, conjuntamente, formam um sistema hidrográfico susceptível aos atuais padrões de uso e ocupação. (MOURA-FE, 2008). O conjunto dos elementos desse sistema, incluindo rios, lagos, açudes, riachos e águas subterrâneas além de abastecer e atuar na manutenção do ecossistema proporciona ao cidadão fortalezense belas paisagens e fonte de renda e alimentação.

4.5.1 Águas Superficiais

Bacia hidrográfica é uma porção territorial onde ocorrem as interações entre os elementos ecológicos e socioeconômicos e sua dimensão espacial é definida pelas terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, que transportam água e sedimentos ao longo de seus canais sendo delimitada espacialmente pelos divisores de águas. (Suguio e Bigarela, 1990).

A rede hidrográfica do Ceará é composta por 7 grandes bacias, onde Fortaleza está contida na Bacia Metropolitana. Por sua vez, a Bacia Metropolitana é formada pelo conjunto de 16 sub-bacias, onde somente as bacias hidrográficas do Rio Coco, do Maranguapinho, do rio Pacoti e a bacia de vertente marítima estão dentro dos limites da capital.

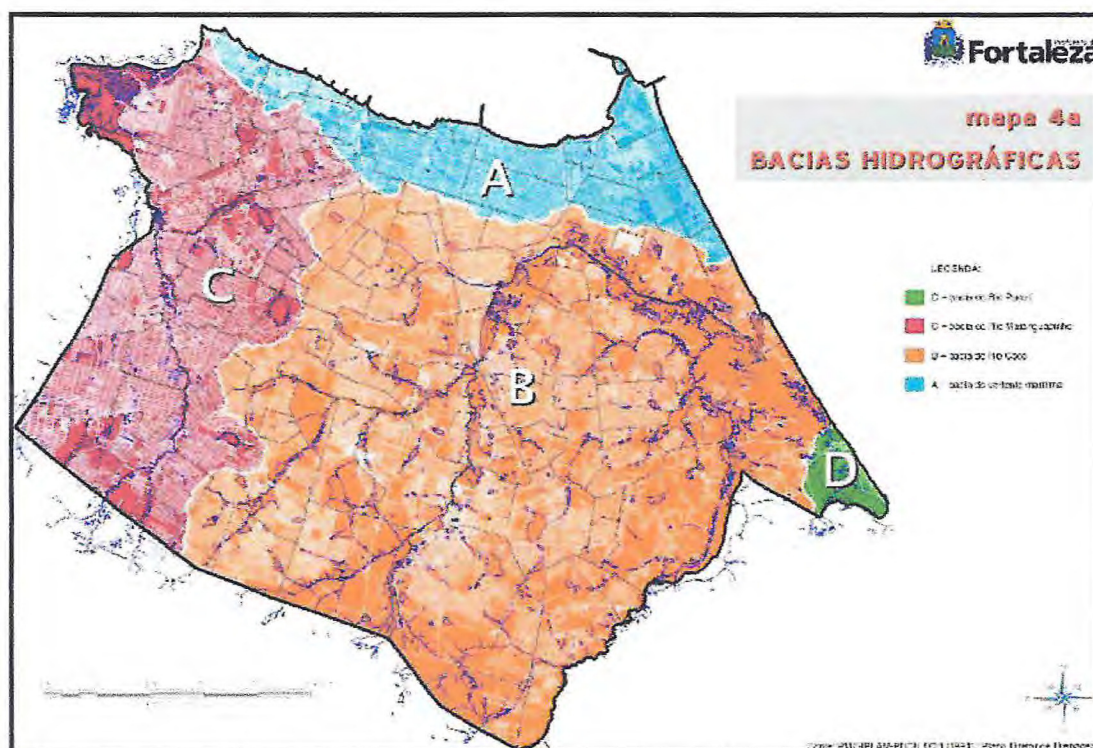
Imperando em cerca de 70% da cidade, na região centro-sul de Fortaleza, a bacia do rio Coco é a mais expressiva. Tendo sua nascente na Serra de Aratanha, o rio Coco passa pelas cidades de Pacatuba, Aquiraz e Fortaleza, desembocando próximo à Praia do Futuro.

No setor oeste de Fortaleza, a bacia do Rio Maranguapinho é dominante. Ela abrange as lagoas da Parangaba, Mondubim, do Sítio Urubu e o Açude Santo Anastácio (Campus do Pici), e na sua porção mais a norte temos a planície flúvio-

marinha do rio Ceará. No setor norte do município o domínio é da bacia de vertente marítima que enquadra os riachos Papicu, Maceio, Jacarecanga e Pajeu.

De menor expressão e maior conservação, do ponto de vista ambiental, a bacia do rio Pacoti aparece no setor mais a sudeste de Fortaleza fazendo a divisão com o município de Aquiraz.

Figura 12 – Mapa de domínio das bacias hidrográficas em Fortaleza/CE.



Fonte: Modificado de Prefeitura Municipal de Fortaleza.

4.5.2 Águas subterrâneas

As características das águas subterrâneas, no que se refere a volume e qualidade, refletem o comportamento integrado dos fatores ambientais que interferem na trajetória da água através do seu ciclo hidrológico, destacando-se entre estes fatores a litologia, a estratigrafia, o solo, a vegetação, a taxa de infiltração, a taxa de escoamento superficial, a pluviometria e o excedente hídrico.

Segundo Moura-Fé (2008), as dunas e paleodunas são as unidades geológicas de maior potencial aquífero de Fortaleza, porém, este sistema é afetado pela malha viária atual, que impede e/ou dificulta a percolação das águas.

Considera-se que estas duas unidades, apesar de diferenciadas pela presença de camadas siltosas até silto-argilosas e outras somente arenosas, apresentam comportamento hidrodinâmico similar e são englobadas em um só aquífero.

O sistema aquífero relacionado ao Barreiras possui espessuras médias de 40 a 50 metros e, quando não aflorante, encontra-se diretamente soterrado pelos sistemas de dunas ou truncado pelos depósitos aluvionares nas áreas proximais aos rios. Em virtude de sua heterogeneidade litológica, o aquífero Barreiras possui características hidrodinâmicas que variam ponto a ponto, assim, as possibilidades hidrogeológicas estão restritas aos níveis arenosos, inseridos na sequência argilosa cuja espessura média da camada saturada é de 15 metros, sendo a água captada por poços com profundidades predominando entre 40 e 60 metros (COGERH, 2005).

Em terrenos cristalinos a porosidade primária de suas rochas é praticamente nula, refletindo assim na sua permeabilidade, que é considerada baixíssima. No entanto, a presença de zonas fraturadas favorece a infiltração de água possibilitando o armazenamento de água.

5. CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL

O território de Fortaleza possui quatro litologias distintas aflorantes, o Granitóide Santa Quitéria representando o embasamento cristalino, a Formação Barreiras representando as coberturas sedimentares cenozóicas, os depósitos litorâneos sendo as coberturas sedimentares quaternárias, estas podendo ser subdivididas em sedimentos eólicos e sedimentos de praia, podendo ser relacionados ainda aos sedimentos aluvionares, e de modo restrito e não-aflorante, os corpos do vulcanismo Messejana.

5.1. Embasamento Cristalino

Ocorre na subsuperfície do extremo oeste de Fortaleza o Granitóide Santa Quitéria, subunidade do Complexo granítico-migmatítico Tamboril-Santa Quitéria. Esta unidade é datada em 630 milhões de anos (CPRM, 2003).

Sua litologia é descrita como granitos e granitóides ricos em K, foliados ou não, de coloração rósea a cinza, granulação bastante variada, predominando os tipos porfiríticos. Exibem fenocristais de feldspato, de dimensões centimétricas, e, como mineral máfico dominante, a hornblenda. Ocorrem diques máficos sin-plutônicos e enclaves máficos magmáticos.

Este núcleo granítico está bordejado por migmatitos fortemente bandados e metatexíticos, localmente diatexíticos, de tonalidade cinzenta e protólitos orto e paraderivados, e mais externamente por rochas metamórficas de médio grau com baixo nível de migmatização, já conferindo as características do Complexo Ceará. Esta variação de litotipos abrange-se ainda ao longo dos municípios de Maranguape, Maracanaú e Pacatuba.

Fortaleza apresenta ocorrências de morros residuais como o do Caruru e Ancuri. O Caruru apresenta-se em forma típica de *neck* vulcânico, situado entre as desembocaduras dos Rios Cocó e Pacoti. O Ancuri localiza-se na porção sul do município, no limite geográfico com Itaitinga, tratando-se de um relevo residual de forma elipsoidal (PDPFor, 2009).

5.2 Formação Barreiras

Também conhecida como Grupo Barreiras, esta unidade é uma cobertura sedimentar costeira que possui correlatos de deposição desde o Pará até o Espírito Santo, bordejando grande parte da costa brasileira. Esta unidade é aflorante em outras localidades praias do Ceará, conferindo as feições de falésia. O Barreiras no Ceará está datado em 22 a 18 milhões de anos (SOUSA et al., 2008). Esta unidade sobrepõe-se discordantemente sobre a superfície de erosão do embasamento cristalino.

Corresponde a camadas horizontais de arenito conglomerático com matriz argílica, geralmente ferruginoso, contendo lentes e lençóis de conglomerado e brecha, ricos em seixos e grânulos de quartzo e/ou feldspato, e intercalações de argilito caolínico silto-arenoso, siltito, arenito caolínico e arenito argiloso friável. Podem apresentar horizontes e/ou colunas de oxirredução e/ou canga em que assumem cores brancas, laranjas, vermelhas e roxas (CPRM, 2001).

O paleoambiente da formação desta unidade é geralmente tida como continental de sistema fluvial entrelaçado, entretanto estudos mais recentes (ARAI, 2006) correlacionam sua origem a uma grande elevação do nível do mar entre 20 e 12 milhões de anos. Esta associação deu origem a largos depósitos deltáicos semelhantes aos existentes atualmente na região Norte, o que explicaria a ocorrência desta unidade algumas dezenas de quilômetros continente a dentro.

A Formação Barreiras apresenta uma ligeira inclinação em direção ao mar, reflexo, talvez em parte, do paleorelevo das rochas do substrato. Localmente, esta unidade pode apresentar leves deformações tectônicas como arqueamentos e falhamentos normais e de transcorrência, caracterizando fenômenos netectônicos, mas em geral, são horizontalizadas com pouca ou nenhuma perturbação.

O contato da Formação Barreiras com os sedimentos que lhe sotopõem, se faz por discordância erosiva.

5.3. Depósitos litorâneos

São depósitos de planície mista correspondendo a sedimentos eólicos e praias e suas ocorrências mais pretéritas – as paleodunas, arenitos de praia e *beachrocks*. Em geral, os sedimentos litorâneos de Fortaleza são areias quartzosas finas e médias, com presença de silte e argila, sob ação de sistemas eólicos, praias e de maré. Ocorrem com frequência variações avermelhadas e alaranjadas, produto de retrabalhamento costeiro do Barreiras.

Os campos de dunas abrangiam-se por grande parte do território leste e norte de Fortaleza antes de sua antropização, hoje encontrando-se restritas às porções a leste da cidade em lotes urbanos nas proximidades do Papicu, Vicente Pinzon, Praia do Futuro, e ainda naturais – móveis ou fixas – no extremo leste. Desde o fim da década de 60 até meados de 70, a única intervenção antrópica sobre o campo de dunas era a atual Avenida Alberto Sá. Nos dias atuais, mais de 80% do que era inabitado pelo homem, hoje é composto por diversos núcleos urbanos com residências e estabelecimentos comerciais.

A classificação de dunas divide-as em dunas móveis e dunas estabilizadas ou fixas.

As dunas móveis são constituídas pelo mesmo material da faixa praias, com sedimentos areno-quartzosos holocênicos, selecionados pelo transporte eólico, sobrepostos à Formação Barreiras. Os sedimentos eólicos que formam as dunas móveis têm preponderância de areias quartzosas bem selecionadas, com granulometria que varia de fina a média, formas homogêneas e colorações amarelo-esbranquiçadas. Em sua maioria, as areias quartzosas são de origem continental e foram transportadas pelos rios até a zona litorânea. Posteriormente, são retrabalhadas pelo mar e depositadas na praia por ações da deriva litorânea. Durante as marés baixas, os sedimentos ressecam e, assim, são transportados, para o interior, pelos ventos, acumulando-se em formações dunares (SILVA, 1998 in PDPFor, 2009).

A ausência de cobertura vegetal justifica a constante mobilização dos sedimentos. Os efeitos dessa mobilidade podem ser sentidos, tanto nos sistemas

naturais, quanto nas áreas transformadas pelo homem. No primeiro caso, a migração ocasiona assoreamento de rios, aterramento de mangues, soterramento de paleodunas e desvio dos cursos d'água. As dunas móveis encontram-se associadas às dunas fixas e semifixas, que juntas constituem o campo de dunas da planície litorânea de Fortaleza.

As dunas estabilizam-se quando são barradas por leitos ou por uma vegetação pré-existente. Nesta circunstância, vegetações cercanas desenvolvem-se sobre a duna interferindo na interação da mesma com o vento, possibilitando ações pedogenéticas e edafização da duna, conseqüentemente, sua fixação permanente e perca gradual de estruturas eólicas. Estas se preservam em condições em que há presença de carbonatos no sedimento, promovendo cimentação e litificação da duna, ainda que se trate de um litotipo frágil.

As praias formam um cordão contínuo, alongado por extensão da costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. São acumulações de areias de granulação média com abundantes restos de conchas, matéria orgânica, minerais pesados e seixos. Sua origem está relacionada com processos regressivos, disponibilidade de sedimentos em deriva litorânea e conformação morfológica da zona costeira de Fortaleza.

Estão localizados em diversos pontos entre as desembocaduras dos rios Cocó e Ceará, mas a maior área de abrangência ocorre na Praia do Futuro. Sobre estes terraços estão dispostas as ruas e avenidas, entre as dunas e a faixa de praia. Estes depósitos contornam a ponta do Mucuripe e prolongam-se por toda a faixa litorânea.

5.4. Depósitos flúvio-aluvionares

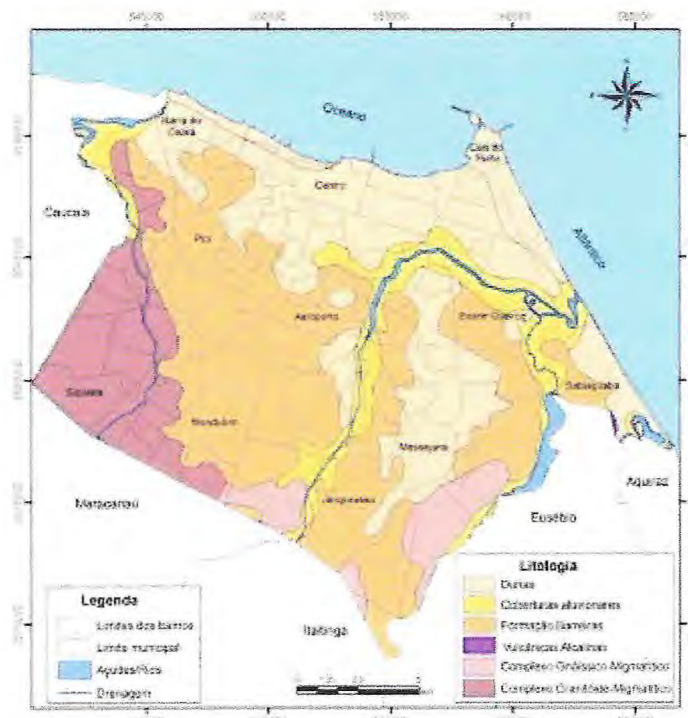
São depósitos detríticos resultantes da sedimentação através dos rios atuais, incluindo o canal fluvial, planície de inundação, leque aluvial e lagos. Compreende em sua constituição argilas, areias argilosas, cascalhos, quartzosos ou quartzofeldspáticos, e argilas orgânicas ou não. Ocorrem nos entornos dos rios e lagos atuais. Mas é válido salientar que grande parte destas coberturas e depósitos encontram-se afetados pela antropização.

5.5. Vulcanismo Messejana

Também chamado de Província Alcalina Messejana. Ocorre em forma de *necks* vulcânicos regularmente arredondados, podendo ter de uma dezena a uma centena de metros, e diques de direção leste-oeste. Estas feições existem em pontos restritos por toda a Região Metropolitana de Fortaleza. Esta unidade correlata-se aos mesmos vulcanismos que deram origem ao arquipélago de Fernando de Noronha. São rochas de natureza fonolítica e traquítica, ou seja, rochas deficientes em quartzo, e ricas em K-feldspato e feldspatóides.

Datadas em 30 milhões de anos (CORDANI, 1970), estas feições já existiam antes da deposição da Formação Barreiras, tendo sido “soterradas” neste evento. Supõe-se que na subsuperfície de Fortaleza hajam centenas de ocorrências do Messejana, imersos nos sedimentos do Barreiras. Como exceção, na divisa do município do Eusébio com Fortaleza aflora um destes *necks* do vulcanismo Messejana mesmo com a Formação Barreiras posterior, do ponto de vista estratigráfico.

Figura 13 – Mapa Geológico de Fortaleza/Ce



Fonte: Modificado de Gomes, 2013.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo estão apresentados os resultados dos índices de pluviosidade mensais na cidade Fortaleza – CE no ano de 2015, dos parâmetros físicos das amostras coletadas nas duas épocas do ano (abril e maio), assim como os dados da análise de metais totais por ICP – OES e mercúrio pela técnica do CV AAS.

Examinando e comparando os resultados obtidos pode-se inferir se o aporte pluvial tem real influência na composição química do chorume emanado pelo Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu e se a tendência de variação das concentrações dos metais ocorre de modo uniforme, desta maneira buscando entender a dinâmica da dispersão de poluentes que possam vir a interferir no contexto ambiental local.

6.1 Pluviosidades em Fortaleza no ano de 2015

Já se é sabido pelas médias apresentadas no tópico 4.2.1 que o período chuvoso no Ceará começa em meados do mês de dezembro, atinge os maiores índices entre os meses de março e maio e diminui sua intensidade entre os meses de junho e julho, depois se inicia o período seco, onde a normal pluviométrica não supera 20 mm.

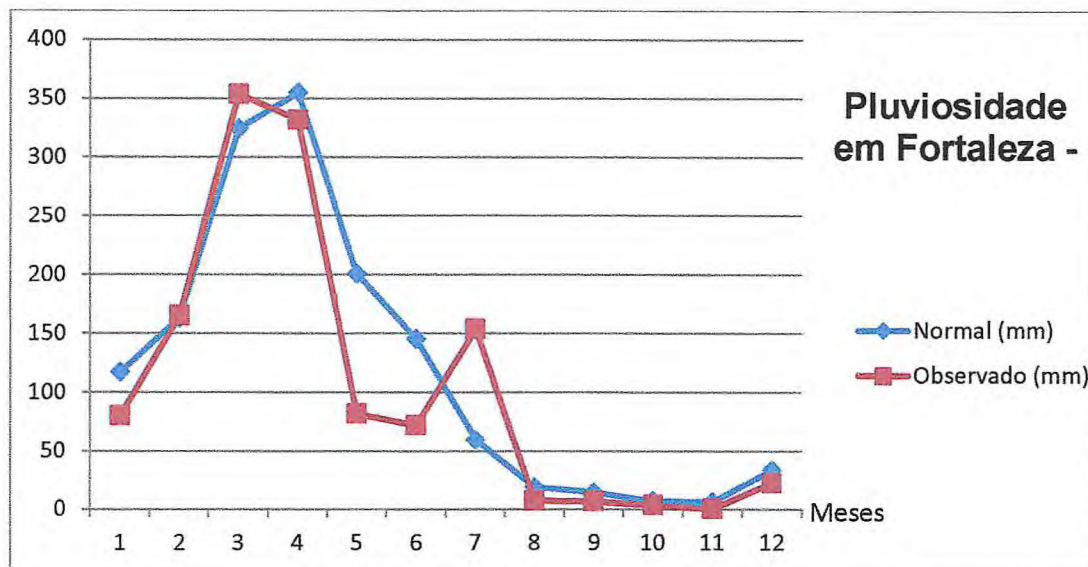
Para a representação da pluviosidade em Fortaleza no ano de 2015 podemos utilizar o a Tabela 5 e o Gráfico 7, que mostra a variação entre a média mensal observada pelas estações da FUNCEME e as normais mensais pluviométricas (considera o período de 1981 à 2010).

Tabela 5: Dados de Pluviosidade na cidade de Fortaleza no ano de 2015

Pluviosidade - Fortaleza - 2015			
	Normal (mm)	Observado (mm)	Desvio(%)
Janeiro	117,1	80,3	-31,4
Fevereiro	163,2	165,1	1,2
Março	324,1	353,8	9,2
Abril	355,2	331,8	-6,6
Maio	200,8	82,3	-59
Junho	145,4	72,3	-50,3
Julho	59,7	154,2	158,2
Agosto	18,9	7,5	-60,4
Setembro	14,2	6,6	-53,9
Outubro	6,9	3,4	-50,6
Novembro	6	0,5	-91,6
Dezembro	33,5	22,4	-33

Fonte: FUNCEME (2015)

Gráfico 7 – Pluviosidade em Fortaleza no ano de 2015 e médias normais mensais.



Fonte: FUNCEME (2015)

Examinando as linhas do gráfico acima podemos notar um declínio brusco da média de pluviosidade observada no mês de maio, superando o declínio normal do parâmetro, tendo desvio calculado de -59%, com relação à média normal fornecida pela FUNCEME. Este evento pode ser explicado pelo posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma das responsáveis pelo regime de chuvas no nordeste do país, e no primeiro semestre do ano teve sua mobilidade afetada pela neutralidade no campo de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico tropical. O fenômeno do *El Niño* também contribuiu para diminuição dos índices pluviométricos no nordeste brasileiro, porém neste caso as águas do Oceano Pacífico equatorial tiveram aumento na sua TDM.

No mês de março de 2015, por exemplo, a média de precipitação em Fortaleza foi mais significativa, pois o padrão oceânico apresentado se mostrou mais conveniente à ação da ZCIT no campo mais a norte do nordeste brasileiro.

O gráfico ainda apresenta um pico chuvoso no mês de julho, em que temos como média normal climática 59,7 mm, e a média mesurada em 2015 foi de 154,2

mm, em outras palavras, um aumento de 158,2% no volume observado. Neste caso a influência se deu pelo fenômeno de escala sinótica chamado Distúrbios Ondulatórios de Leste ou Ondas de Leste, que se mostra normalmente no final do período chuvoso, e traz nuvens carregadas formadas em alto mar, que se deslocam de leste para o oeste, atravessam a África e precipitam na região do nordeste Brasileiro e Caribe.

Para os meses de agosto à novembro a pluviosidade conferida ficou abaixo da média normal climática, não superando 8 mm. No mês de dezembro, apesar da média observada ter superado os 22 mm, ainda foi-se calculado o valor de -33% de desvio com relação a média normal.

Em geral, a média da pluviosidade no primeiro semestre de 2015 para a cidade de Fortaleza foi equivalente a 1.085,6 mm, e no segundo semestre de 194,6 mm. O desvio médio anual foi de -11,4%, apresentando-se menor que nos anos de 2014, 2013 e 2012, onde se foram calculados -28,4%, -55,5% e -34% respectivamente.

6.2 Análises física e química das amostras de chorume coletadas

A composição físico-química do chorume é extremamente variável, dependendo de fatores que vão desde as condições pluviométricas locais até tempo de disposição e características do próprio lixo. Esse líquido pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras. Por apresentar substâncias altamente solúveis, pode escorrer e alcançar as coleções hídricas superficiais ou até mesmo infiltrar-se no solo e atingir as águas subterrâneas, comprometendo sua qualidade e potenciais usos (BERTAZOLLI, 2002).

Na etapa de campo foram obtido dados com auxílio da sonda multiparamétrica, que mediu dados de pH, Condutividade Elétrica (CE) e Temperatura (T), obtendo os valores da Tabela 6.

Tabela 6 – Valores obtidos através da sonda multiparamétrica de pH, Condutividade Elétrica e Temperatura.

	Maio/2015	Novembro/2015
pH	8,44	7,8
CE (mS/cm)	10039	8970
T (°C)	35,3	35,3

Fonte : Elaborada pelo autor.

Os registros de pH obtidos nas análises revelam um caráter alcalino as amostras, assim indicando que a atividade biológica no conteúdo dos resíduos dispostos lá encontram-se na sua fase final de amadurecimento, dando idéia que a maior parte de matéria orgânica no sistema esta biologicamente estabilizada.

A Condutividade Elétrica do lixiviado produzido atualmente, levando em consideração o trabalho de Sabadia, 2011 que apresenta valores acima de 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, é considerada média-baixa. Esta diminuição deve ter se dado pelo carreamento e saída de elementos da massa dos resíduos, assim diminuindo a quantidade de íons livres à serem transportados.

A temperatura se manteve constante nas amostras dos dois períodos, 35,3°C, notando-se assim influências do período da seca no estado do Ceará, que começou no ano de 2012. A coloração negra do lixiviado induz à uma maior absorção do espectro solar, deste modo levando a ocorrer uma maior taxa de evaporação que possivelmente pode vir à volatilizar elementos carreados pela formação do lixiviado.

Na Tabela 7 são apresentados os valores das concentrações de metais das amostras de chorume coletadas no Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais (maio e novembro/2015), os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n°430/2011 para os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem e que são lançados em corpos d'água receptores, indicações coloridas de atenuação (\downarrow no quadrado verde), incremento (\uparrow no quadrado vermelho) e não detecção (ND) dos valores das concentrações dos metais e também estas taxas em forma de porcentagem.

Tabela 7 – Resultado das análises de concentração de metais na amostra de maio/2015 e na de novembro/2015. Padrões da Resolução CONAMA nº430/2011. Análise comparativa identificando e calculando a porcentagem de atenuação (↓) ou incremento (↑).

		Resultado em ppm		Resolução CONAMA nº 430/2011	Análise Comparativa: atenuação ou incremento	Porcentagem de incremento ou atenuação (%)
		Maio/2015	Novembro/2015			
Alumínio	Al	0,803	0,668	/	↓	-16,81
Enxofre	S	120	12,3	/	↓	-89,75
Antimônio	Sb	0,0697	0,00674	/	↓	-90,32
Arsênio	As	0,0137	ND	0,5 mg/L	↓	≥ -27,00
Bário	Ba	0,131	0,159	5,0 mg/L	↑	21,37
Boro	B	2,92	2,34	5,0 mg/L	↓	-19,86
Cádmio	Cd	ND	ND	0,2 mg/L	ND	ND
Cálcio	Ca	96	83	/	↓	-13,54
Chumbo	Pb	0,0402	0,0127	0,5 mg/L	↓	-68,4
Cobalto	Co	0,0772	0,044	/	↓	-43
Cobre	Cu	5,49	0,107	1,0 mg/L	↓	-98,05
Cromo	Cr	0,0562	0,0893	/	↑	58,89
Ferro	Fe	0,861	3,33	15,0 mg/L	↑	286,75
Fosforo	P	2,11	11,1	/	↑	426,06
Magnésio	Mg	243	110	/	↓	-54,73
Manganês	Mn	0,0649	0,14	1,0 mg/L	↑	115,71
Mercurio	Hg	ND	ND	0,01 mg/L	ND	ND
Molibdênio	Mo	0,0298	ND	/	↓	≥ -32,88
Níquel	Ni	0,232	0,0918	2,0 mg/L	↓	-60,43
Potássio	K	1500	837	/	↓	-44,2
Prata	Ag	ND	ND	0,1 mg/L	ND	ND
Selênio	Se	0,0119	ND	0,30 mg/L	↓	≥ -15,96
Sódio	Na	1330	ND	/	↓	≥ -62,4
Zinco	Zn	0,113	0,0947	5,0 mg/L	↓	-16,19

Fonte : Elaborada pelo autor.

Para a caracterização comparativa da qualidade química das amostras de chorume provenientes do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu com o aporte pluvial recebido pela cidade de Fortaleza no ano de 2015 primeiramente assumimos que as amostras colhidas representam o lixiviado produto do semestre, então a amostra de maio/2015 representa a quadra chuvosa do primeiro semestre do ano e a amostra de novembro/2015 a quadra seca, segundo semestre do ano. Fazendo parte de um sistema aberto e de caráter heterogêneo (visto as diversas fontes de resíduos depositados no local), inúmeros fatores, além da carga d'água recebida, influem na qualidade química do chorume produzido no local, como: o tempo de deposição, os materiais recebidos, as condições climáticas, entre outros.

Pelo que se pôde averiguar com os dados do quadro apresentado, dos 24 metais analisados 66,67% sofreram atenuação de suas concentrações, 20,83% tiveram incremento, e 12,5% dos metais não foram detectados pelos métodos empregados, concluindo-se que os processos de atenuação foram dominantes.

O elemento sódio (Na), na primeira campanha de amostragem, maio/2015, aparece com a concentração de 1330 ppm e na segunda campanha, novembro de 2015, não foi detectado pelo aparelho mesmo o limite de quantificação tendo sido diminuído de 500 à 0,5 ppm.

As concentrações dos metais Bário, Cromo, Ferro, Fósforo e Manganês no chorume coletado em novembro/2015 sofreram incremento no período seco, apresentando os respectivos aumentos 21,37%, 58,89%, 286,75%, 426,06%, 115,71%.

Seguindo os padrões fixados pela Resolução CONAMA nº430/2011, para os elementos aqui investigados, somente a concentração do Cobre (Cu) na amostra de maio/2015 não atende às suas especificações, porém se faz necessário a avaliação de outros parâmetros do efluente produzido, no qual este trabalho não contempla, e dos efeitos já causados ao corpo d'água durante todos esses anos de produção e escoamento do lixiviado.

7. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do município, o plano ambiental por muito tempo não englobou medidas para controle da poluição causada pela sua produção e estocagem de lixo. O Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu, situado na região centro-sul da cidade de Fortaleza e às margens do rio Coco, desde sua implantação, em 1978, começou a alterar a paisagem e cooperou com a quebra do equilíbrio ambiental local.

A partir da decomposição do material depositado no lixão do Jangurussu aliada da adição do aporte pluvial e outros fatores, o aterro começou a produzir chorume, que se apresenta como um líquido escuro, de odor fétido e alta carga de contaminantes.

Abraçando os objetivos desta pesquisa, a análise das médias pluviométricas no ano de 2015 se mostraram 11, 4% mais inferiores que a média normal para a cidade de Fortaleza, que é baseada no histórico pluviométrico do período de 1981 à 2010. Modificações no posicionamento da ZCIT e o fenômeno *El Niño*, influenciaram para uma brusca baixa da média de pluviosidade no mês de maio, que normalmente é um dos meses de maiores índices pluviométricos. Ainda no ano de 2015 foi constatado um aumento anormal da média das chuvas no mês de julho que foi motivado pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste. Contudo, a tendência normal da quadra chuvosa no município foi confirmada, onde, no primeiro semestre apresenta grande aporte plúvico e estiagem no segundo semestre.

A partir das análises dos metais nas amostras, foi verificada uma tendência de diminuição da concentração desses elementos na amostra de novembro/2015, que representa o período de menor índice pluviométrico. Apesar da constatação feita, foi percebido o aumento nas concentrações de Fe, Ba, Cr, Mn e P, também na mesma amostra, subtendendo-se que o menor aporte pluvial influi para um menor carreamento de elementos porém não para todos os elementos abordados neste estudo.

Mesmo que o Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu tenha sido fechado ha quase 20 anos, e não receber maiores cargas de resíduos sólidos, ele ainda se trata de um sistema aberto, que ainda permite interações e troca de matéria, estando exposto a ações naturais e humanas, o que pode vir a prejudicar a fiabilidade dos resultados do estudo, desta forma, exigindo um monitoramento regular.

A colocação de uma geomembrana sobre o aterro, como a instalada no Aterro de Sinshem, Alemanha, poderia impedir/diminuir a taxa de infiltração de água nos resíduos, deste modo diminuindo a quantidade de elementos carreados e presentes no chorume, retardando a contaminação, até que outra proposta possa ser colocada prática.

8. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014** 1ª Edição, São Paulo, SP. Editora Grappa Editora e Comunicação, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004. **Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 71 pág.

BEATY, D. ; KERBER J.D. ; **Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrometry**, Editora Perkin Elmer Corporation, 1993

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>> Acessado em: 23 de janeiro de 2016.

COGERH. (2005), Relatório Interno. Fortaleza-CE.

Cordani, U. G. **Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul**. São Paulo: Instituto de Geociências e Astronomia, Boletim IGA, 1970.

CPRM. Fortaleza, **Atlas digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Mapas na Escala 1:500.000, 2003.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas>>. Acessado em: 13 de dezembro de 2015.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE; **PERFIL SOCIOECONÔMICO DE FORTALEZA**. Volume 2 - Fortaleza – CE, 2012

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em: 13 de janeiro de 2016.

Jornal Diário do Nordeste. Reportagem: **Fortaleza perdeu 90% de cobertura vegetal em 35 anos**. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/fortaleza-perdeu-90-de-cobertura-vegetal-em-35-anos-1.224131>> Acessado em: 15 de fevereiro de 2016. 2011.

Lei 12651/2012 do Novo Código Florestal Brasileiro - Artigo 3º.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3ª Edição, São Paulo SP: Editora HEMUS, 2004.

MOURA-FÉ, M.M. **Evolução geomorfológica do sitio natural de Fortaleza, Ceará**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Ceará, Depto. De Geografia, Fortaleza, 2008.

NASCIMENTO, F.R.; **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável: Manejo Geoambiental na Sub-Bacia do baixo Rio Pacoti – Ceará**. Dissertação de Mestrado em Geografia. UECE, Fortaleza, 2003.

RICE, Eugene W. *Et al*. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22ª Edição, EUA, Editora AMER PUBLIC HEALTH ASSN, 2012.

SABADIA, J.A.B (2001). **Impacto del Vertedero de Jangurussu en los Recursos Hídricos de la Ciudad de Fortaleza (Estado de Ceará, Brasil)**. Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Memoria de tesis doctoral.

SANTOS, J.O.; SOUZA, M.J.N. **Compartimentação Geoambiental e riscos ambientais associados na bacia hidrográfica do rio Cocó, Ceará**. In: PINHEIRO, D.R.C. (org). **Desenvolvimento sustentável: desafios e discussões**. ABC Editora, Fortaleza, 2006.

SEMACE/LABOMAR(a). **Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará. (Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral e Ecossistemas Associados do Estado do Ceará – ZEE, 2005)**. Coordenador Prof. Dr. Luís Parente Maia. Fortaleza – CE, 2005.

SERAFIM A. C., GUSSAKOV KC, SILVA F, CONEGLIAN CMR, BRITO NN, SOBRINHO G. D. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento**. In: III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica, p.6-7. 2003

SILVA, E.V. da; **Geoecologia da Paisagem do Litoral Cearense: uma abordagem ao nível da escala regional e tipológica.** Fortaleza: Tese (Professor Titular), Departamento de Geografia – UFC, Fortaleza, 2006.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M. ; HOLLER, F. J. ; CROUCH, S. R. **Fundamentos da química analítica.** 8ª Edição, São Paulo, SP. Editora: Pioneira Thomson Learning, 2006.

SOUZA, M. J. N. **Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará.** Editora FUNECE, 2000.

SOUZA, M. J. N. **A sub-compartimentação regional do relevo.** In: Atlas do Ceará. Fortaleza: Fundação Iplance, Governo do estado do Ceará, 1989.

SOUZA, M. J. N. **Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-estruturais do estado do Ceará.** Revista da Geologia UFC 1:73-91, 1988.

SUGUIO, K.; BIGARELA, J.J. **Ambientes Fluviais.** 2ª Edição, Florianópolis. Editora UFSC, Editora UFP, 1990.

PARRON, L. A.; MUNIZ, D. H. F. ; PEREIRA, C. M.; **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.**(Recurso Eletrônico) 2011: Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43042/1/Doc219.pdf>
Acessado em 13 de dezembro de 2015.

PDPFor. **Diagnostico Geoambiental do Município de Fortaleza: Subsídios ao Macrozoneamento Ambiental e à Revisão do Plano Diretor Participativo.** 1ª Edição, Fortaleza. Prefeitura de Fortaleza, 2009.

WINDFINDER. Disponível em: <https://www.windfinder.com/> Acessado em 23 de janeiro de 2016.