



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MÁDSON TAVARES PINTO

**ESTUDO DOS FATORES QUE CAUSAM EFLORESCÊNCIA NAS
RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARAÚBAS/RN**

CARAÚBAS – RN

2016

MÁDSON TAVARES PINTO

**ESTUDO DOS FATORES QUE CAUSAM EFLORESCÊNCIA NAS
RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARAÚBAS/RN**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para
obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Marcelo Batista de Queiroz.

CARAÚBAS – RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P659e Pinto, Mádson Tavares.
Estudo dos fatores que causam eflorescência
nas residências da cidade de Caraúbas/RN / Mádson
Tavares Pinto. - 2016.
49 f. : il.

Orientador: Profº Dr. Marcelo Batista de
Queiroz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Eflorescência. 2. Condutividade elétrica.
3. Salinidade. I. Queiroz, Profº Dr. Marcelo
Batista de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MÁDSON TAVARES PINTO

**ESTUDO DOS FATORES QUE CAUSAM EFLORESCÊNCIA NAS
RESIDÊNCIAS DA CIDADE DE CARAÚBAS/RN**

AVALIADO EM 10/11/2016.

BANCA EXAMINADORA

[REDACTED]

Prof. Dr. Marcelo Batista de Queiroz
(Orientador)

[REDACTED]

Prof. Dr. Guymman Clay da Silva

[REDACTED]

Prof. Dr. Pollyanna Freire Montenegro Agra

CARAÚBAS – RN

2016

À existência como um todo, por me dar a
oportunidade de viver e agradecer cada
dia que se passa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter a oportunidade de viver, lutar e agradecer por tudo em minha vida.

Agradeço aos meus pais Edileuza e Osiel, por todo o incentivo e toda a confiança que depositaram em mim, me mostrando que é preciso continuar e me pondo acima de tudo. Com vocês aprendi o que é amor de verdade. Bem como a todos os meus familiares que de alguma maneira me ajudaram a continuar, em especial a tia Deia, minha ‘co-mãe’, conselheira, amiga e exemplo de profissional e pessoa que é.

Agradeço a minhas avós, Maria e Zenilda, por me ensinarem com seus exemplos de vida o real significado das palavras resistência e persistência. Saibam que meu amor por vocês é imensurável.

Agradeço ao meu orientador, professor Marcelo, por me dar a oportunidade de realizar este trabalho junto a ele.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram e correram junto comigo neste caminho árduo, mas recompensador.

Agradeço a dona Socorro, pelo almoço e pela espontaneidade de seu sorriso de cada dia. Sua comida com certeza fica melhor por causa disso.

Agradeço ao rapaz que mesmo sem me conhecer, me emprestou sua ferramenta para que eu pudesse realizar meu trabalho. Sua ajuda foi imprescindível.

E, novamente, afirmo que sou grato por tudo que existe e pela oportunidade de viver cada dia de minha vida com a alegria que me habita. Que essa alegria possa fazer morada em todos.

“Não tente, consiga.”

(BK)

RESUMO

Devido à grande expansão construtiva e a mudança drástica do clima nos últimos anos, o surgimento de patologias nas construções tem aumentado consideravelmente. Na cidade de Caraúbas/RN, bem como em várias outras cidades do Brasil, em especial as que estão submetidas a climas secos, o surgimento da eflorescência vem acontecendo cada vez mais regularmente em construções locais. Entende-se por eflorescência a deposição de sais na superfície do revestimento, que são carregados do interior do substrato através da água, que percola os caminhos deixados pelos vazios do substrato. Logo, quanto mais sais, mais provável é o surgimento da anomalia. E quanto mais sais ionizados, mais eletricidade o material conduz. Então, o material que apresentar maior condutividade elétrica, será também o principal causador da eflorescência. Visto a necessidade do entendimento e prevenção deste fenômeno, foi realizado um estudo de casos sobre o mesmo, a fim de identificar a principal causa do surgimento da anomalia. Para que se descubra qual o material tem mais capacidade de contribuir com o surgimento da eflorescência, foram analisadas amostras de solo da cidade, bem como amostras de areia, silte, blocos cerâmicos e a água de abastecimento da cidade. Depois de obtidos os resultados, pôde-se constatar que o principal fator que causa a eflorescência na cidade é o bloco cerâmico, sendo este o principal contribuinte em doze das quinze localidades de onde foram coletadas as amostras de solo. A água de abastecimento da cidade também contribui efetivamente com o surgimento da eflorescência, visto sua alta condutividade em relação às demais amostras.

Palavras-Chave: eflorescência, condutividade elétrica, salinidade.

ABSTRACT

Due to expansion and the drastic change of the constructive climate in recent years, the emergence of the buildings has increased considerably. In the city of Caraúbas/RN, as well as in several other cities of Brazil, particularly those that are subjected to dry climates, the emergence of the efflorescence has been happening increasingly regularly in local buildings. The term efflorescence the deposition of salts on the surface of the coating, which are given from inside the substrate through the water that percolates left by the empty paths of the substrate. Soon, the more you get out, the more likely it is the emergence of the anomaly. And the more ionized salts, more electricity the material leads. So, the material that present higher electrical conductivity, is also the main cause of efflorescence. Seen the need of understanding and prevention of this phenomenon, we conducted a case study about it, in order to identify the main cause of the emergence of the anomaly. In order to find out what material has more ability to contribute to the emergence of efflorescence, soil samples were analysed of the village, as well as samples of sand, silt, ceramic blocks and the water supply of the city. After obtained the results, it might be noted that the main factor causing the efflorescence in the city is the ceramic block, this being the main contributor in twelve of the fifteen locations where soil samples were collected. The water supply of the city also contributes effectively to the emergence of efflorescence, seen its high conductivity compared to other samples.

Keywords: efflorescence, electrical conductivity, salinity.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

°C – graus célsius

ASTM – American Society for Testing and Materials

cm – centímetro

dS.m⁻¹ – deciSiemens por metro

g – grama

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K₂O – Óxido de potássio

km – quilômetro

m² – Metro quadrado

ml - mililitro

M_s – Massa de sólidos

M_w – Massa da água

Na₂O – Óxido de sódio

ppm – 1 grama/litro

ppM – 1 miligrama/litro

RN – Rio Grande do Norte

TSD – Total de Sólidos Dissolvidos

W – Umidade

μS/cm – microSiemens por centímetro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parede degradada por eflorescência	15
Figura 2 – ‘Véus’ ou crostas de sais.....	17
Figura 3 – Depósitos salinos sobre o revestimento	23
Figura 4 – Ciclo hidrológico	26
Figura 5 – Degradação causada pela eflorescência	28
Figura 6 – Criptoflorescência	29
Figura 7 – Mapa de Caraúbas / RN	32
Figura 8 – Mapa das ruas da cidade de Caraúbas / RN	34
Figura 9a – Areia utilizada em construções	35
Figura 9b – Amostra de silte	35
Figura 9c – Bloco cerâmico	35
Figura 10 – Amostras de solo peneiradas	37
Figura 11a – Preparação e pesagem das amostras	38
Figura 11b – Preparação e pesagem das amostras	38
Figura 12 – Amostras ao banho maria	39
Figura 13 – Verificação da temperatura	39
Figura 14a – Condutividade elétrica da amostra de água de abastecimento	40
Figura 14b – Condutividade elétrica da amostra 10	40
Figura 15 – Condutividade das amostras dos solos e materiais construtivos.....	42
Figura 16 – Deposição de lixo no solo	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 O QUE É A EFLORESCÊNCIA.....	15
2.2 CAUSAS DA EFLORESCÊNCIA.....	18
2.3 SALINIZAÇÃO DO SOLO	21
2.4 SAIS QUE OCASIONAM A EFLORESCÊNCIA	22
2.5 A ÁGUA NO PROCESSO DA EFLORESCÊNCIA E A UMIDADE COMO VETOR.....	25
2.6 DANOS CAUSADOS PELA EFLORESCÊNCIA.....	28
2.7 A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ANÁLISE DOS SAIS.....	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 LOCAL DA PESQUISA	31
3.2 IDENTIFICAÇÃO DA EFLORESCÊNCIA.....	32
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS	35
3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	36
3.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 CONDUTIVIDADE DAS AMOSTRAS	41
4.2 PREVENÇÃO	45
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS	47

1 - INTRODUÇÃO

Com a criação do Projeto assistencialista ‘Minha casa, minha vida’ e também com o aquecimento da economia brasileira, entre o final da década de 2000 e início da década de 2010, o crescimento habitacional no país expandiu-se de forma exponencial. Muitas residências e conjuntos habitacionais foram construídos e decorrente disto, várias anomalias nas construções podem ser notadas.

As anomalias mais comuns apresentadas nas construções são as fissuras, as infiltrações e a eflorescência, popularmente conhecido como ‘salitre’. A causa da aparição de tais anomalias se deve, segundo BAUER (2013), devido aos 5 *Ms*: MÁQUINA, MATERIAL, MÉTODO, MÃO-DE-OBRA e MEIO AMBIENTE.

A eflorescência é uma das patologias mais abordadas em estudos publicados na área da construção civil. Ela ocorre frequentemente em alvenarias estruturais feitas com blocos de concreto ou de cerâmica. Para BAUER (2013): “A eflorescência é decorrente de depósitos salinos, principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) na superfície da alvenaria”.

Esses depósitos salinos são provenientes do efeito capilar da água através da estrutura, que ao chegar na superfície do substrato evapora. A evaporação da água tem efeitos nocivos no substrato, visto que, ao sofrer esse processo, a água forma bolhas na parede, degradando o revestimento. Ao passo que a água é totalmente evaporada, os depósitos salinos se formam e um processo de desagregação profunda é iniciado na parede da alvenaria.

Portanto, segundo BAUER (2013), para que a eflorescência exista são necessários três fatores: existência de teor de sais solúveis nos materiais ou componentes, a presença de água e a pressão hidrostática para que a solução possa emergir à superfície do substrato.

Então, para eliminar a eflorescência, se faz necessário a inviabilização de um dos três fatores citados acima e para FERREIRA e BERGMANN (2011) a eliminação total de sais solúveis no corpo cerâmico é uma impossibilidade física, tornando-se uma barreira para a anulação dos danos causados pela eflorescência.

A eliminação da água também é inviável, visto que a mesma é parte indispensável no processo de construção da alvenaria e, conseqüentemente, a eliminação da pressão hidrostática é impossível já que a água é presente no substrato.

Visto que o presente estudo busca encontrar o vetor causador da patologia, recorre-se a parâmetros científicos que possam quantificá-lo. Então, quando as amostras forem devidamente coletadas, elas serão analisadas de acordo com sua condutividade, já que para IANNETTA e COLONNA (2011) “Como regra geral, quanto maior a concentração de sais numa solução, melhor é a sua capacidade, para conduzir eletricidade.”.

O objetivo desta pesquisa é identificar o vetor da eflorescência, através de um processo conhecido: a condutividade elétrica. Para MOLIN e RABELLO (2011) “A condutividade elétrica é a capacidade que um material possui de conduzir corrente elétrica”. Quanto mais elétrons disponíveis em sua composição, mais o material ou solução irá conduzir corrente elétrica.

Portanto, a amostra que apresentar a maior condutividade, será também a que apresenta maior concentração salina e, conseqüentemente, será o agente causador da eflorescência, não diminuindo o fato de outros meios também contribuírem para a formação da patologia, mas controlando o agente principal, deve-se ter uma remediação/prevenção substancial dos efeitos nocivos.

1.1 - JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A eflorescência é uma anomalia que causa enormes prejuízos às construções, tanto estruturais quanto estéticos, além de ser um problema ao qual seu reparo não é acessível nem de fácil execução. Portanto, além de identificar o agente causador da anomalia, poder-se-á prevenir futuras construções deste mal, sabendo-se qual parte ou material de sua construção é o principal contribuinte da aparição de sais e, conseqüentemente, da eflorescência.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Estudar os fatores que causam eflorescência nas residências da cidade de Caraúbas/RN, via condutividade elétrica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Coletar amostras de solo em vários pontos da cidade, bem como amostras dos principais materiais utilizados nas construções de Caraúbas/RN;
- Realizar as análises de condutivimetria para que se possa apontar qual material tem a maior condutividade e, conseqüentemente, maior concentração de sais solúveis em sua composição;
- Identificar qual material vem causando a eflorescência na cidade e as medidas de prevenção a serem tomadas.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

Para poder-se apontar qual o agente causador da anomalia, primeiro é necessário uma abordagem sobre o que é a salinidade, como surge a eflorescência, explanando seus meios de propagação, formas de prevenção, além de possíveis danos causados pela eflorescência.

2.1 – O QUE É A EFLORESCÊNCIA

A eflorescência, segundo BAUER (2013) são conglomerados de sais formados na superfície do revestimento. Esses sais são provenientes do próprio material ou até mesmo do solo em que se encontra a construção.



Figura 1 – Parede degradada por eflorescência

Como a matéria-prima utilizada na fabricação dos materiais que são fundamentais à construção é proveniente do solo, os sais que se encontram no solo estão suscetíveis a serem transportados ao produto final que será utilizado na construção. Portanto, o estudo do solo se faz primordial à uma área que apresente eflorescência, dado o processo de logística da

matéria-prima, que muitas vezes é extraída de locais da mesma região em que a construção encontra-se alocada, caracterizando o solo como potencial causador da anomalia.

A eflorescência é de fácil identificação (Figura 1), por ocorrer, geralmente entre o revestimento e o substrato. Ela ocorre, especificamente, no material cerâmico do substrato, devido, principalmente a sua alta quantidade de poros, proveniente da queima do material em seu processo de fabricação.

Para MENEZES *et al.* (2006) “Eflorescências são depósitos salinos que se formam na superfície de materiais cerâmicos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas.”

Para que a eflorescência ocorra, é necessário que os sais sejam carregados através dos canais de poros do material cerâmico, é necessário que haja um transporte. E esse transporte é a água. A migração da solução aquosa salinizada é devido ao gradiente de umidade entre o solo e a vedação. Também pode ocorrer devido aos canais capilares, que surgem no interior do substrato, facilitando a percolação.

Segundo GRANATO (2002) “A água, ao permear pelos revestimentos e/ou seus rejuntas e trincas, dissolve os hidróxidos do cimento, tornando-se alcalina. Ao encontrar condições de aflorar por percolação ou evaporação, ocorre a formação das eflorescências.”

A percolação que ocasiona a eflorescência surge quando há uma saturação do substrato devido ao aumento da umidade em seu interior, fazendo com que a água excedente percorra pelos capilares do substrato, levando os sais dissolvidos à superfície.

A temperatura também é um fator de extrema influência na formação da eflorescência, por facilitar a evaporação da água no interior do substrato, carregando os sais consigo até a superfície.

Ainda segundo MENEZES *et al.* (2006) “A formação de depósitos de sais em alvenarias e concretos ocorre pela cristalização dos sais da solução aquosa, cuja saturação foi atingida em consequência da evaporação do solvente.”

As eflorescências são, geralmente, de fácil constatação, podendo ser identificadas nos materiais de construção, segundo CORREIA (2003) como manchas que geralmente possuem a cor branca, porém nem todas as eflorescências são forçadamente da cor branca. Há casos de eflorescências da cor castanho, amarelo ou verde, dependendo da composição química do sal que a origina.

Manchas que se formam sob a superfície ou em seu interior, formadas a partir da evaporação do solvente e posterior deposição e cristalização dos sais. À estas manchas dá-se o nome de véu.

Com a cristalização dos sais solúveis, a formação de véus na superfície ou próximos à ela é possível de ser observada. Estes véus são descritos por MENEZES *et al.* (2006) como “depósitos salinos que se formam em argilas ou peças ‘cruas’, pela ação da água como agente mobilizador dos sais solúveis.”

A degradação do substrato ocorre quando os véus finalmente estão completando o processo de cristalização, antes de chegarem a superfície. Como estão sujeitos a pressões superiores à pressão atmosférica no interior do substrato, os sais cristalizados vão ser expulsos de forma muito contundente, causando “bolhas” no revestimento.

Os véus que surgem na eflorescência (Figura 2) são diferentes dos véus da criptoflorescência (ou subflorescência), por exemplo; patologia semelhante que ocorre sob a superfície da peça, já que a eflorescência age tanto sob a superfície da peça quanto na própria superfície. Eles podem ser classificados como véus de secagem, de secador e de forno. Para MENEZES *et al.* (2006) “os véus de secagem se formam durante a secagem ao ar livre de argilas ou peças cruas. A secagem, neste caso se produz pela ação do ar ‘limpo’, natural. Véus de secador se formam nas peças por ação de ar industrial – possivelmente contaminado (principalmente com gases sulfurosos). Os véus de secador, formados na superfície da peça, se consolidam no forno por ação de diversas reações e se transformam no que se chamam, véus de forno. Ressaltando que um mesmo véu de secador pode dá origem a distintos véus de forno, de acordo com a atmosfera e os ciclos térmicos utilizados na queima.”



Figura 2 – ‘véus’ ou crostas de sais

A porosidade intrínseca do material também será um fator determinante na formação da anomalia. Um material mais poroso facilitará a percolação da solução aquosa à superfície, levando consigo mais sais e causando danos cada vez maiores a superfície da alvenaria ou do concreto.

Segundo FERREIRA e BERGMANN (2011), “A contribuição dos poros finos é mais limitada para o transporte capilar, por outro lado, os poros mais grossos contribuem melhor para transferir água aos capilares. A presença de sais nos produtos cerâmicos não pode ser evitada; portanto, a aliar o de seu deslocamento em ambiente poroso pode ajudar na melhor compreensão do fenômeno da quantificação da eflorescência.”

O fato de um material cerâmico ser mais ou menos poroso está ligado, segundo BAUER (2013), à má execução no processo de queima do material, à qualidade da matéria-prima utilizada para a fabricação da peça cerâmica e a retirada de impurezas como restos de animais, galhos, pedras ou outros corpos que estejam misturados à argila.

Logo, um material mais poroso facilitará a percolação de água em grandes volumes e curtos prazos. Para poros mais finos, resultado de melhores processos de fabricação dos materiais, a percolação será em pequenos volumes, mas por muito mais tempo. Em ambos os casos a água será transportada, a diferença se dará no tempo de surgimento da anomalia.

2.2 – CAUSAS DA EFLORESCÊNCIA

Para se entender bem esta anomalia, deve-se, primeiramente, entender o que a ocasiona. Segundo BAUER (2013) a eflorescência é proveniente de depósitos salinos, alcalinos ou alcalinos terrosos no substrato, advindos da migração de sais solúveis nos materiais que compõem a alvenaria, ou do próprio solo em que se encontra a construção.

Essa anomalia pode e vai alterar a aparência do substrato, de forma a existirem meras modificações estéticas ou modificações mais agressivas. Para SOUZA (2008): “Ela (a eflorescência) pode trazer modificações apenas estéticas ou ser agressiva. No primeiro comportamento, ela altera a aparência do elemento onde está depositada e, no segundo, devido aos sais constituintes, pode até causar degradação profunda.”.

Diversas são as fontes que dão origem à eflorescência, fazendo com que apontar uma possível causa da anomalia seja, de fato, complicado. Como explanado anteriormente, sua causa pode estar tanto no solo em que a construção foi assentada, quanto nos próprios materiais utilizados na estrutura ou no revestimento do substrato, ou até em águas subsuperficiais presentes no local da construção ou na água utilizada nos processos

construtivos. O que CORREIA (2003) tem a falar sobre isso: “Nas causas destas eflorescências estarão os materiais cerâmicos ou pétreos que revestem os edifícios, as argamassas de colagem e de rejuntamento, ou ainda, as técnicas utilizadas para a colagem do material de revestimento.”.

Então sabendo o quão nociva pode ser essa anomalia, cuidados devem ser tomados a fim de minimizá-la ou, se possível, evitá-la e a melhor maneira de evitar ou contornar uma situação é minimizar ou extinguir seus meios de ocorrência. Segundo BAUER (2013): “Para a ocorrência da eflorescência devem existir, concomitantemente, três condições: existência de teor de sais solúveis nos materiais ou componentes, presença de água e pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície. Desse modo, para se evitar a ocorrência da eflorescência deve-se eliminar uma dessas três condições, sendo, portanto, necessário identificar a origem de cada uma delas.”

Portanto, para o surgimento da eflorescência é necessário que estes três fatores citados acima existam, simultaneamente, na parte intrínseca da estrutura. Caso ocorra a eliminação de um desses três fatores, a eflorescência deixa de existir.

Das três condições citadas acima, pode-se descartar a possibilidade da remoção dos sais solúveis na matéria, já que para FERREIRA e BERGMANN. (2011) tal tarefa é julgada impossível fisicamente. Então, para BAUER (2013): “Quanto à remoção das eflorescências sobre a superfície da alvenaria, esta só poderá ser realizada após a eliminação da causa da infiltração de água (umidade) e secagem do revestimento, sendo então procedida escovação da superfície e, se necessário, reparo de eventual região com pulverulência.”.

Os sais dissolvidos no interior do substrato podem ser provenientes dos materiais e/ou componentes da alvenaria ou do revestimento.

Várias podem ser as fontes desses sais, bem como o cimento. Para BAUER (2013) “Cimentos que contenham elevado teor de álcalis (Na_2O e K_2O) na sua hidratação podem transformar-se em carbonato de sódio e potássio, muito solúveis em água.” A água de amassamento e os agregados também podem contribuir para a aparição da anomalia. Casos estes sejam de regiões próximas ao mar, em suas composições existirá cloretos e sulfatos de metais alcalinos terrosos.

Blocos de concreto e materiais cerâmicos também podem ser a causa da eflorescência. Ambos por apresentarem matérias primas provenientes do solo, ou por a água que usam em seu processo de fabricação.

Segundo BAUER (2013) “Outra situação possível é a reação entre o cimento da argamassa que contem hidróxidos alcalinos e os tijolos (sulfato de cálcio), resultando em sulfatos de sódio e de potássio.”.

Portanto, a eflorescência é de fácil aparição em construções, isso se não forem tomados os cuidados necessários na escolha dos materiais à serem utilizados, ou não for feito um estudo adequado do solo. Para o segundo caso, a aparição de eflorescência seria o menor dos problemas, visto que, sem um estudo adequado do solo em que a construção é locada, a mesma será suscetível a ruir.

Caso a estrutura da construção esteja danificada com fissuras ou infiltrações, por exemplo, a facilidade da aparição da eflorescência aumentará consideravelmente, visto que a água (agente transportador) terá mais facilidade de percorrer os vazios da estrutura e carreando mais sais consigo. BAUER (2013) afirma que: “O transporte de água através dos materiais e a consequente cristalização dos sais solúveis na superfície ocorrem por capilaridade, infiltração em trincas e fissuras, percolação sob o efeito da gravidade, percolação sob pressão por vazamentos de tubulações de água ou de vapor, pela condensação de vapor de água dentro de paredes, ou pelo efeito combinado de duas ou mais dessas causas.”.

A cidade de Caraúbas fica localizada no semiárido brasileiro, fator condicional da aparição de eflorescências devido à alta salinidade de seus solos. MENEZES *et al.* (2006) afirma que: “Pesquisas evidenciam que a salinização dos solos ocorre devido às condições climáticas desfavoráveis, como elevada evaporação, baixa infiltração, ventos contínuos e baixa precipitação, o que explica a existência de maior concentração de sais nas regiões áridas e semiáridas.”.

MENEZES *et al.* (2006) afirma que “Além de fontes de sais e presença de água nas construções, para que ocorra a formação dos depósitos de sais, tal como já mencionado, são necessárias também condições ambientais que proporcionem a percolação da água no material e sua evaporação. Regiões áridas e semiáridas, como grande parte do Nordeste do Brasil, apresentam condições climáticas que favoreçam uma elevada salinização do solo.”.

Portanto, uma das possíveis causas do surgimento da eflorescência na cidade se deve fatores de localização, sendo o mais provável, visto que até as matérias-primas utilizadas na construção civil são retiradas de solos com características semelhantes, além de estarem sujeitos ao mesmo clima.

Os sais que ocasionam a eflorescência podem ter origem tanto no subsolo e migrarem para o substrato juntamente com a água, quanto no próprio substrato, advindos de materiais com alto teor de sais. MENEZES *et al.* (2006) afirma que “ A solução aquosa é formada no interior da peça cerâmica pelo contato entre a água e sais solúveis presentes no material, ou é oriunda de fontes externas e movimenta-se de uma parte para a outra da estrutura através da rede capilar do material.”.

Erros construtivos e de execução também estão ligados ao surgimento da patologia. Uma quantidade demasiada de água na produção da argamassa pode alterar a umidade e facilitar o surgimento da eflorescência. Assim como uma quantidade de água insuficiente pode fazer com que a argamassa segregue, facilitando a percolação da solução aquosa devido a maior quantidade de poros em seu interior.

2.3 – SALINIZAÇÃO DO SOLO

O estudo do solo onde a construção está assentada é imprescindível, visto a possibilidade do surgimento de anomalias estruturais, como recalque do solo, ou anomalias estéticas, como a eflorescência, todas elas evitáveis, se o cuidado e a análise necessária para com o solo forem tomados.

Segundo Pinto (2013) “Os solos são constituídos por um conjunto de partículas com água (ou outro líquido) e ar nos espaços intermediários. As partículas, geralmente encontram-se livres para deslocar-se entre si.” A movimentação das partículas sólidas é intrínseca de cada tipo de solo, atribuindo características específicas a cada um, como resistência mecânica e permeabilidade.

A formação do solo é proveniente da decomposição de rochas, que anteriormente constituíam a crosta terrestre. Segundo Ortigão (2007) o que provoca a degradação das rochas é o intemperismo, ou seja, a ação do tempo, que pode ser qualificado em dois tipos mais comuns: intemperismo químico e intemperismo mecânico. Para Pinto (2013) “O conjunto desses processos, que são muito mais atuantes em climas quentes do que em climas frios, leva à formação dos solos que, em consequência, são misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química.” Ainda segundo Ortigão (2007) o intemperismo químico que altera, solubiliza e deposita os minerais de rocha, transformando-os posteriormente em solos. Esse tipo de intemperismo é muito comum em climas quentes e úmidos, muito comuns no Brasil e na região Nordeste.

A salinização é o aumento da concentração de sais em um maciço de solo, causando a desertificação em casos extremos. Segundo Iannetta e Colonna (2011) “Em termos gerais, pode distinguir-se a salinização primária, devido às características naturais do solo, e a salinização secundária, onde as atividades humanas desempenham um papel central.”

O município está sujeito ao clima BSh (clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude) segundo a escala Köppen, clima que favorece a precipitação de sais solúveis à superfície ou no interior do solo, ou seja, favorecendo a salinidade do solo. IANNETTA e COLONNA (2011).

Caraúbas é uma cidade situada no Alto-Oeste Potiguar e contém duas faixas de solo principais, segundo o IDEMA (2008): Regossolo Eutrófico e Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, solos bem drenados e de relevos suaves ondulados, o que favorece a agricultura. Em Caraúbas, a agricultura é uma das principais fontes de renda da cidade, trazendo benefícios, mas também contribui significativamente na salinidade, devido ao elevado consumo e uso do solo e, também, a degradação química causada pela água.

Devido às condições climáticas e a agricultura, a salinização dos solos do município é favorecida, aumentando o risco do surgimento de patologias como a eflorescência, que surge aliando os fatores de salinidade com gradientes de umidade, degradando o revestimento das construções.

2.4 – SAIS QUE OCASIONAM A EFLORESCÊNCIA

Como já explanado anteriormente, a eflorescência é uma anomalia que ocorre em materiais cerâmicos e de concreto. Essa anomalia consiste em depósitos salinos na superfície do substrato, advindos do interior do material, pelo efeito capilar.

Trocando em miúdos, uma solução salina é originada no interior do material por processos coloidais. Então toda a água dessa solução evapora para a atmosfera. Como os sais são mais densos, eles não conseguem evaporar com a água e se depositam na parede. Essa deposição gera uma espécie de corrosão na superfície do substrato.

Então para entendermos a eflorescência, devemos saber qual sal é o vetor da aparição da mesma. E o tipo de sal que ocasiona a eflorescência pode nos dizer o que está ocasionando a aparição da mesma, como por exemplo o bloco cerâmico, ou o cimento, ou até mesmo o solo.

Como disse BAUER (2013), as eflorescências são depósitos de sais (conforme apresentado na Figura 3), geralmente alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio).



Figura 3: Depósitos salinos sobre o revestimento.

As soluções são analisadas segundo sua salinidade, que é a quantidade de sais presentes nos solos utilizados tanto diretamente na construção civil; como o próprio solo onde a construção está assentada, ou em algum tipo de solo usado em aterramentos e argamassas, quanto na confecção dos materiais utilizados na construção civil, sendo usado como matéria-prima, como por exemplo, a argila utilizada na fabricação dos blocos cerâmicos.

Para IANNETTA e COLONNA (2011) “O termo salinização é utilizado para os processos de acumulação de sais no solo. Ocorre especialmente, em áreas áridas e semi-áridas, onde os sais solúveis se precipitam à superfície ou no interior do solo.”.

O surgimento de sais no solo pode acontecer de duas maneiras, a salinização primária, onde os sais presentes no solo são devido as suas características naturais; e a salinização secundária, onde o surgimento de sais é devido à interferência humana.

Caraúbas é uma cidade situada no interior do Rio Grande do Norte, sujeita ao clima de acordo com a escala de Köppen, classificado como BSh (clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude), e consequentes à altas temperaturas e baixas precipitações, além de não ter controle sobre os resíduos depositados diretamente no solo, o que facilita a aparição de sais em seu solo.

Pontos de poluição difusos e pontuais podem ser localizados em toda a cidade, como por exemplo, o Matadouro Público, onde as carcaças e o sangue dos animais abatidos são depositados diretamente no solo, contribuindo muito para a salinidade do solo.

A grande seca também contribui para o aumento da salinidade do solo. Com a elevação das temperaturas e o rebaixamento dos níveis d'água dos reservatórios, aumenta a concentração de sais no solo.

Segundo IANNETTA e COLONNA (2011) “Basicamente, a salinização acontece onde, dependendo das características do solo e do nível freático, o equilíbrio entre a precipitação ou irrigação e evaporação é deslocado para cima no sentido da evaporação.”.

Na Tabela 1 são apresentados os principais sais que ocasionam a eflorescência e suas prováveis fontes.

Tabela 1 – Sais solúveis e suas principais fontes.

Composição química	Fonte provável	Solubilidade em água
Carbonato de Cálcio	Carbonatação da cal lixiviada da argamas: concreto.	Pouco solúvel
Carbonato de Magnésio	Carbonatação da cal lixiviada de argamas: cal não-carbonatada.	Pouco solúvel
Carbonato de Potássio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos cimentos com elevado teor de álcalis.	Muito solúvel
Carbonato de Sódio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos cimentos com elevado teor de álcalis.	Muito solúvel
Hidróxido de Cálcio	Cal liberada na hidratação do cimento	Solúvel
Sulfato de Magnésio	Água de amassamento.	Solúvel
Sulfato de Cálcio	Água de amassamento.	Parcialmente solúvel
Sulfato de Potássio	Agregados, água de amassamento.	Muito solúvel
Sulfato de Sódio	Agregados, água de amassamento.	Muito solúvel
Cloreto de Cálcio	Água de amassamento, limpeza com ácido muriático	Muito solúvel
Cloreto de Magnésio	Água de amassamento.	Muito solúvel
Cloreto de Alumínio	Limpeza com ácido muriático.	Solúvel

Cloreto de Ferro	Limpeza com ácido muriático.	Solúvel
------------------	------------------------------	---------

Fonte: BAUER (2013).

Pode-se notar uma certa regularidade da aparição de sais de sódio, já que além de ser um sal bastante comum nos solos, causa um problema específico ligado diretamente à salinidade; a sodicidade, que é o elevado teor de sódio no solo e pode causar o inchamento do solo e, conseqüentemente, elevada taxa de permeabilidade, facilitando a percolação da água e o carreamento de sais adsorvidos junto a ela.

2.5 – A ÁGUA NO PROCESSO DA EFLORESCÊNCIA E A UMIDADE COMO VETOR

Vários são os problemas causados pela umidade em construções, visto que a água é o principal meio de propagação das mais diversas patologias, como fissuras, bolores, manchas devido a umidade e a eflorescência.

Segundo BAUER (2013) eflorescências são formas de manifestações da umidade nas edificações e essa água está diretamente ligada ao transporte de sais através do substrato.

Em consonância com o autor acima VERÇOZA (1991) afirma que: “A umidade não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construção ocorra. Ela é o fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, de rebocos e até causas de acidentes estruturais.”.

Logo, a presença de umidade em construções causa danos dos mais diversos tipos, dentre eles a eflorescência, onde a presença de água (umidade) é fator essencial no surgimento da mesma, visto que a umidade presente dissolve os sais e produz o movimento de percolação no interior do substrato.

A umidade presente em uma massa de solo pode ser quantificada pela Equação 1:

$$W = \frac{M_w}{M_s} \quad (1)$$

onde M_w equivale à massa de água, que é representada como a diferença entre massa úmida e massa seca do sólido e M_s a massa de sólidos no solo avaliado.

Portanto, a umidade faz com que a água percole os canais capilares, se movimentando através do substrato e carreando os sais consigo até a superfície do substrato.

VERÇOZA (1991) e KLEIN (1999) afirmam que a umidade oriunda pela execução da construção é aquela necessária para a obra, mas que desaparece com o tempo (cerca de seis meses). Elas se encontram dentro dos poros dos materiais, como as águas utilizadas para concretos e argamassas, pinturas, etc.

Para que a água que da origem à eflorescência chegue até o solo, ela precisa percorrer seu ciclo, o ciclo hidrológico, mostrado na Figura 4.

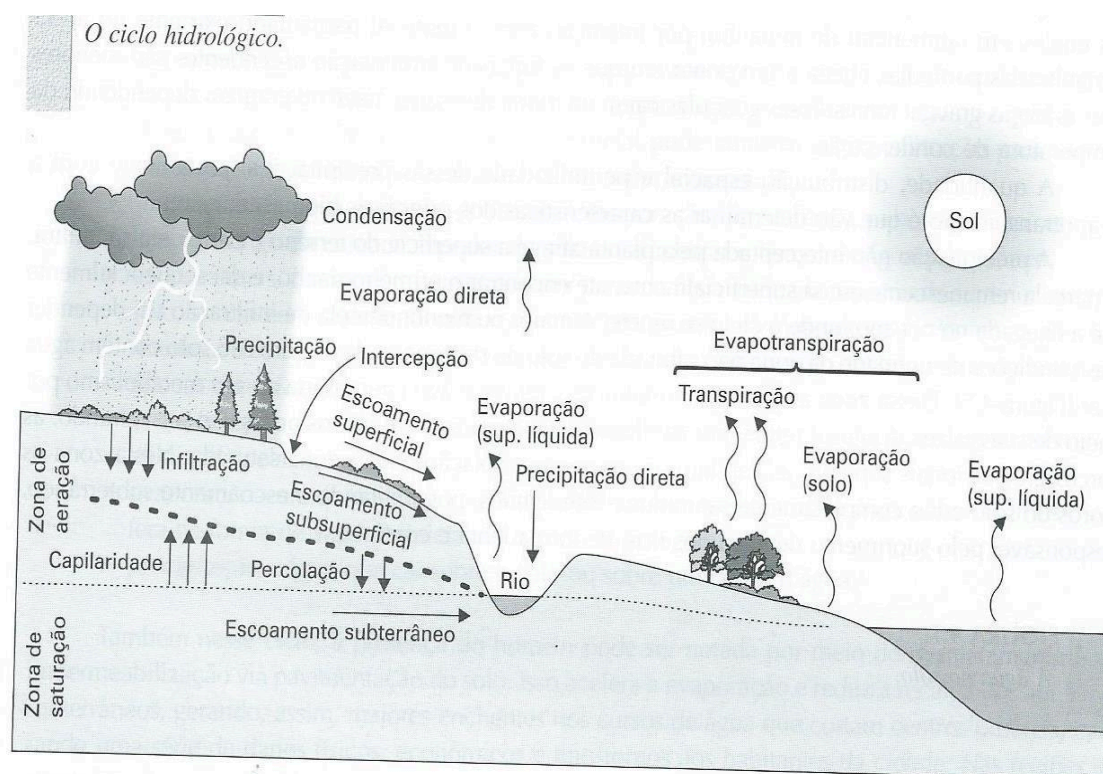


Figura 4 – Ciclo hidrológico.

Fonte: docplayer.com.br

Conforme mostra a figura, a água dos oceanos, rios, lagos, etc., sofrem evaporação, já o solo e as plantas passam por processo similar, a evapotranspiração, processo que ocorre devido à energia vinda do sol. Quando toda a água evaporada chega a atmosfera em forma de gás, ela é condensada. Descargas elétricas como raios agem sobre a nuvem fazendo com que toda a água condensada precipite-se.

Quando a água advinda de precipitação chega ao solo, ela infiltra-se sobre o mesmo. A água que não consegue se infiltrar no solo escoa superficialmente e infiltra-se posteriormente,

provocando um escoamento subsuperficial até um curso d'água ou reservatório mais próximo. Já a água que conseguiu se infiltrar no solo, ao atingir a zona de saturação, devido a percolação, submeter-se-á a um escoamento subterrâneo até um reservatório ou o curso d'água mais próximo. A água presente na zona de saturação consegue chegar a um corpo d'água por capilaridade, fechando o ciclo.

Dentro do ciclo natural da água, a parte do mesmo que poderá ocasionar a eflorescência é a que ocorre no subterrâneo. Segundo PINTO (2013) “a água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios do solo. Submetida a diferenças de potenciais, a água desloca-se no seu interior.” Em concordância com tal fato BAUER (2013) afirma que os sais que ocasionam a eflorescência são carregados através dos vazios do solo juntamente com a água devido a diferenças de potenciais.

Como a água subterrânea é um dos três fatores que ocasionam eflorescência e a presença da mesma em um corpo sólido trata-se da umidade, pode-se relacionar o surgimento da patologia com a umidade presente no solo.

A água proveniente da umidade é um fator necessário para que ocorra a eflorescência, tenho em vista seu papel como solvente dos sais e também seu transportador. Pode-se observar também que a água da umidade possui um efeito degradativo na estrutura, reduzindo assim sua vida útil. Sua origem segundo BAUER (2013) vem: “da umidade do solo; da água da chuva, acumulada antes da cobertura da obra ou infiltrada através das alvenarias, aberturas ou fissuras; de vazamentos de tubulações de água, esgoto, águas pluviais; da água utilizada na limpeza e de uso constante em determinados locais.”.

Vários são os mecanismos que originam a umidade nos materiais de construção, sendo os mais importantes, segundo BAUER (2013):

- absorção capilar de água;
- absorção de água de infiltração ou de fluxo superficial de água;
- absorção higroscópica de água;
- absorção de água por condensação capilar;
- absorção de água por condensação.

A absorção de água capilar se deve ao movimento capilar da água, inicialmente no lençol freático e que chega até a construção. Já a absorção de água de infiltração ou fluxo superficial de água tem origem nos lançamentos de ‘águas cinzas’ diretamente no solo, devido à precipitação, devido a própria infiltração de águas de galerias e redes de esgoto e também a água proveniente das chuvas que são absorvidas pelo solo. As identificações do local do

vazamento e de sua correção são de difícil manejo, devido aos pontos de poluição geralmente estarem assentados sobre a construção.

Portanto, a umidade está diretamente relacionada a dois fatores que ocasionam a eflorescência, a água e a percolação da solução aquosa salinizada. Logo, é necessário que se tenha um controle da umidade em construções, para que a água não surja e mais ainda, para que não se crie o gradiente de umidade, fazendo com que a solução aquosa seja carregada.

2.6 – DANOS CAUSADOS PELA EFLORESCÊNCIA

Como patologia estrutural e de revestimento de difícil tratamento, os danos causados pela eflorescência, se não cuidados rapidamente, podem ser extremamente nocivos à construção. Segundo MENEZES *et al.* (2006) “as eflorescências causam degradação microestrutural apenas nas regiões próximas à superfície, bem como a degradação estética no produto cerâmico. Os danos na aparência das construções intensificam-se quando há um contraste de cor entre os depósitos de sais e a alvenaria.”. Tal afirmação pode ser melhor visualizada na Figura 5.



Figura 5 – degradação causada pela eflorescência

Já que a eflorescência age degradando a estrutura e também o revestimento, é possível que esta venha a ruir, causando danos irreparáveis e estéticos. CORREIA (2003) afirma que “Os principais problemas relacionados com as eflorescências em fachadas são os efeitos inestéticos. Ainda assim, o processo de cristalização de sais à superfície de materiais porosos, tais como a cerâmica porosa e placas pétreas, podem originar tensões que conduzem à degradação e envelhecimento dos materiais de revestimento, por alteração das suas propriedades físico-químicas e mecânicas.”

Mas, diferentemente da criptoflorescência (mostrada na Figura 6), que degrada os canais de poros do substrato, a eflorescência age principalmente entre o revestimento e a camada de tinta, causando, um inchamento e posterior degradação do substrato. Segundo GRANATO (2002) as eflorescências geralmente não causam problemas de solução difícil, a não ser pelo efeito estético. A ocorrência da eflorescência entre a pintura e o substrato atacará os componentes da camada de tinta, provocando seu deslocamento



Figura 6 - Criptoflorescência.

A deformidade no revestimento ocorre devido à cristalização dos sais posterior à evaporação da água. Como a eflorescência pode surgir tanto na superfície do substrato, quanto sob ela, podem ocorrer, segundo MENEZES *et al.* (2006) sem esforços mecânicos consideráveis na superfície. Mas quando a cristalização se dá no interior do material, ou seja, nos poros e na rede capilar, podem ser produzidos esforços mecânicos consideráveis. BAUER (2013) diz que “As eflorescências podem alterar a aparência da superfície sobre a qual se

depositam e, em determinados casos, seus sais constituintes podem ser agressivos, causando degradação profunda, como no caso dos compostos expansivos.”

2.7 – A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA ANÁLISE DOS SAIS

Para apontar qual material pode ser o potencial causador da eflorescência, recorrer-se-á ao método da análise da salinidade através da condutividade elétrica de cada solução, já que segundo IANNETTA e COLONNA (2011) a condutividade elétrica de uma solução salina será determinada pela quantidade de sais presentes na solução, visto que se tem como regra geral que quanto mais sais existirem em uma solução, mais elétrons ela irá conduzir.

Este fenômeno se deve ao fato da quantidade de íons presentes em soluções salinizadas e sua facilidade em conduzir corrente elétrica. Como a eflorescência se dá pela deposição de sais sob e sobre a superfície do substrato, a análise a partir da condutivimetria se faz usual para o trabalho. Segundo RABELLO (2009) “A condutividade elétrica serve como um meio de definir padrões espaciais que se mostram devido à variação da condutância elétrica, influenciadas pela salinidade, umidade, textura e resistividade.”.

Vários são os fatores que influenciam na condutividade elétrica do material, não só a condutividade. Para MOLIN e RABELLO (2011 apud RHOADES, 1993) a condutividade elétrica não é só influenciada pela salinidade, mas também por outras propriedades químicas e físicas, o teor de água e a temperatura do material/solução.

A condutivimetria é uma forma de medir a condutividade de certo material. Condutividade é uma propriedade intrínseca de cada material e, conseqüentemente, cada material terá uma condutividade diferente. Ela diz respeito à capacidade de determinado material conduzir eletricidade, ou seja, diz respeito a movimentação dos elétrons no material (no caso do presente estudo, as soluções).

Segundo RABELLO (2009) “A condutividade elétrica serve como um meio de definir padrões espaciais que se mostram devido à variação da condutância elétrica, influenciadas pela salinidade, umidade, textura e resistividade.”.

LOWRIE (1997 apud CARDOZO FILHO, 2007) diz que a condutividade de um material é a sua capacidade de conduzir corrente elétrica e ainda é definida, segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 1125-95) como o inverso da resistência em ohms medidas entre as faces opostas de um cubículo de 1 cm de aresta de uma solução aquosa em temperatura especificada.

Conforme Santos (2003 apud CARDOZO FILHO, 2007), é possível perceber que a condução elétrica é ocasionada pela migração de elétrons (como no caso dos metais) ou íons (como no caso dos líquidos). Vale salientar que há predominância na condução por um ou outro carregador, muito embora, em alguns materiais inorgânicos observa-se a condução elétrica e iônica simultaneamente.

A unidade utilizada para mensurar a condutividade de determinado material é o $dS.m^{-1}$ (deciSiemens por metro), sendo uma mensuração de quanto uma solução iônica conduz eletricidade por entre duas faces opostas de eletrodos, mas também há outras formas de analisar a salinidade de um material, a TSD (*Total de Sólidos Dissolvidos*), que é a concentração de uma solução como o total dos sólidos dissolvidos. Ela é medida em *ppM* que equivale a 1 miligrama/litro ou *ppm*, que equivale a 1 grama/litro.

Logo, com as informações obtidas nas análises por condutivimetria, ter-se-á o conhecimento de qual solução tem maior condutividade e, conseqüentemente, maior concentração de sais em sua composição, sendo este material o maior contribuinte para o surgimento da anomalia.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão citados os materiais que foram analisados, bem como o método utilizado para a análise das amostras.

3.1 – LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na cidade de Caraúbas, que está localizada no interior do estado do Rio Grande do Norte, na microrregião da chapada do Apodi e na mesorregião Oeste Potiguar, no nordeste brasileiro. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2010 sua população era estimada em 19.576 habitantes, sua área territorial é de 1.095,06 km^2 , localizando-se a uma distância de 296 km da capital do estado, Natal. Seu período chuvoso é de fevereiro a maio e as temperaturas médias anuais são: máxima 32 °C; média 27 °C e mínima 22 °C. A média anual da umidade relativa do ar, de acordo com o IDEMA é de 70%.

A Figura 7 mostra uma visão aérea da cidade e a locação de seus bairros.



Figura 7: Mapa da cidade de Caraúbas / RN.

Fonte: Google Maps

3.2 – IDENTIFICAÇÃO DA EFLORESCÊNCIA

Para ter-se um real apontamento da eflorescência na cidade de Caraúbas, uma abordagem mais generalizada foi realizada, coletando-se várias amostras de solos na cidade,

retirados de tal forma à abranger todo o território, coletando-as de maneira aleatória por toda a zona urbana do município e obtendo-se valores concretos da salinização na cidade.

A coleta de dados foi feita de modo a alcançar o máximo possível de fontes do problema, avaliando tanto amostras de solo, coletadas de maneira aleatória, como de materiais utilizados em construções, visto que a anomalia afeta várias construções da cidade, causando tanto prejuízos estéticos quanto estruturais, em casos mais extremos e para sua aparição basta apenas um teor de umidade no interior do substrato em excesso, já que os estudos feitos apresentaram teor de sais solúveis em todos os materiais analisados.

Amostras de areia e ‘arisco’, além de amostras da água de abastecimento da cidade, foram coletadas. Amostras de ‘tijolos’ vendidos pela cidade também foram coletadas, bem como amostras da argila com que o bloco cerâmico é feito, visto a formação de novos produtos durante o processo de cozimento, em que a argila utilizada sofre transformação em sua estrutura molecular.

Além de apontar a salinidade do solo como um possível causador da eflorescência, o estudo será de extrema importância para estudos futuros de caracterização dos solos da cidade quanto aos seus sais constituintes. Pontos estratégicos onde a eflorescência está sujeita a surgir foram usados na coleta das amostras como proximidades de reservatórios e casas onde a identificação visual da eflorescência é possível.

A Figura 8 mostra os locais de onde foram coletadas as amostras de solo utilizadas na análise.



Figura 8: Mapa das ruas da cidade de Caraúbas / RN

Fonte: Google Maps

De acordo com IANNETTA E COLONNA (2011) regiões áridas e semiáridas possuem solos salinos, devido a baixa precipitação a qual a cidade está submetida que de acordo com o IDEMA é de 658,5 milímetros por ano, características do clima da cidade, que de acordo com a escala de Köppen, é classificado como BSh (clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude). Portanto a análise do solo de toda a extensão da cidade é de extrema necessidade, afim de uma resposta concreta sobre a salinidade do solo de Caraúbas.

3.3 – MATERIAIS UTILIZADOS

Afim de se obter uma resposta mais concreta sobre qual material causa a eflorescência na cidade, foram recolhidas amostras de 15 (quinze) diferentes localidades da cidade de forma aleatória, visando uma resposta concreta quanto a salinidade do solo da cidade, além de amostras do bloco cerâmico de furos, amostras de areia e um agregado de granulometria fina utilizado em revestimentos popularmente conhecido como ‘arisco’, comercializados (Figuras 9), bem como a água disponibilizada no abastecimento da cidade, visando um apanhado geral sobre a origem dos sais nas construções locais afetadas por essa patologia



Figura 9a – Areia utilizada em construções

Fonte: areiasantaclara.com.br



Figura 9b – amostra de ‘arisco’

Fonte: equipedeobra.pini.com.br



Figura 9c – Bloco cerâmico

Fonte: leroymerlin.com.br

As amostras de solo usadas na análise foram coletadas de 15 pontos diferentes da cidade de Caraúbas, visando uma melhor representatividade da salinidade presente no solo da cidade.

A profundidade à qual as amostras foram coletadas foi de 20 cm, de acordo com a metodologia da ASTM, através de escavação e armazenados em recipientes plásticos, contendo informações do local da coleta e da amostragem coletada.

Então, além de ter o conhecimento da salinidade do solo da cidade, pode-se apontar se a eflorescência de pontos específicos da cidade é ocasionada pelo solo em que a construção está assentada.

Amostras do tijolo cozido foram analisadas, a fim de conhecer a salinidade do mesmo e podendo tomar conclusões quanto a importância do material no surgimento da eflorescência.

Também se fez necessária a coleta de amostras de silte e areia da cidade, já que estes são constituintes necessários à fabricação de argamassas. O mesmo vale para a água de abastecimento da cidade.

3.4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram: peneira, pilão, recipientes plásticos, um condutivímetro de bancada da marca MS TECNOPON, banho maria, bécher de 100 ml, proveta de 50 ml, termômetro digital modelo WT-1, água destilada, balança de precisão marca MARTE modelo AW220 e amostras de materiais utilizados na construção civil da cidade de Caraúbas.

3.5 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a coleta e armazenagem das amostras, o próximo passo é o preparo, que consiste em duas etapas: pulverização e peneiramento. A pulverização se faz necessária apenas na amostra de bloco cerâmico, a fim de garantir uma melhor solubilidade do material, aumentando sua superfície de contato. O peneiramento também aumenta a superfície de contato, diminuindo a granulometria das amostras e garantindo uma melhor homogeneização da solução e consequentemente, uma melhor diluição.

A Figura 10 mostra as amostras pulverizadas e peneiradas.



Figura 10 – Amostras de solo peneiradas e pulverizadas

Preparadas as amostras, foram pesadas 50 g de cada material, conforme mostra as Figuras 11, para preparar a solução. Logo após este processo, as amostras são diluídas em água destilada, para que não haja contribuições dos sais presentes na água. A proporção utilizada do ensaio é de 1 (grama de solo): 1 (mililitros de água). Após a homogeneização do solo em água, foi levado ao banho maria, mostrado na Figura 12, para atingir a temperatura de 60 °C, visando uma melhor solubilidade dos sais presentes nas amostras de materiais.

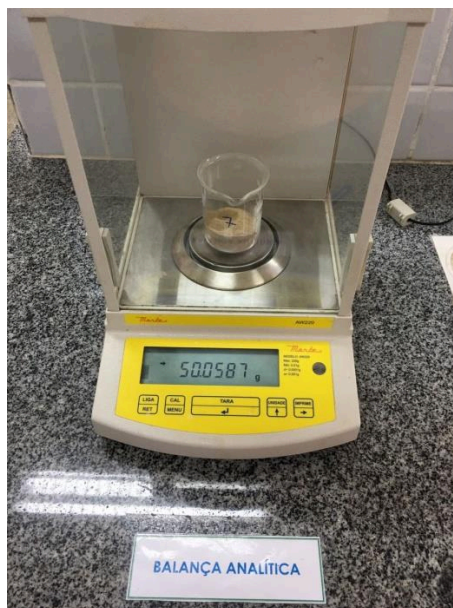


Figura 11a – Preparação e pesagem das amostras



Figura 11b – Preparação e pesagem das amostras.



Figura 12 – Amostras em banho Maria.

Usa-se um termômetro para verificar a temperatura e prosseguir com a análise, assim como feito na Figura 13.



Figura 13 - Verificação da temperatura.

Quando a temperatura da solução atinge a marca de 60 °C, a solução encontra-se devidamente diluída, pode-se realizar as medições, utilizando o condutivímetro de bancada.

Ajustes de temperatura não são necessários, pois o equipamento ajusta a curva de condutividade conforme a temperatura da amostra. Após medida a condutividade de todas as amostras, pode-se identificar o principal contribuinte da anomalia, visto que o teor de sais em uma solução ionizada é proporcional a condutividade elétrica desta solução.

As Figuras 14 mostram os valores de condutividade de Figura 14a – água de abastecimento da cidade e Figura 14b – amostra 10 de solo

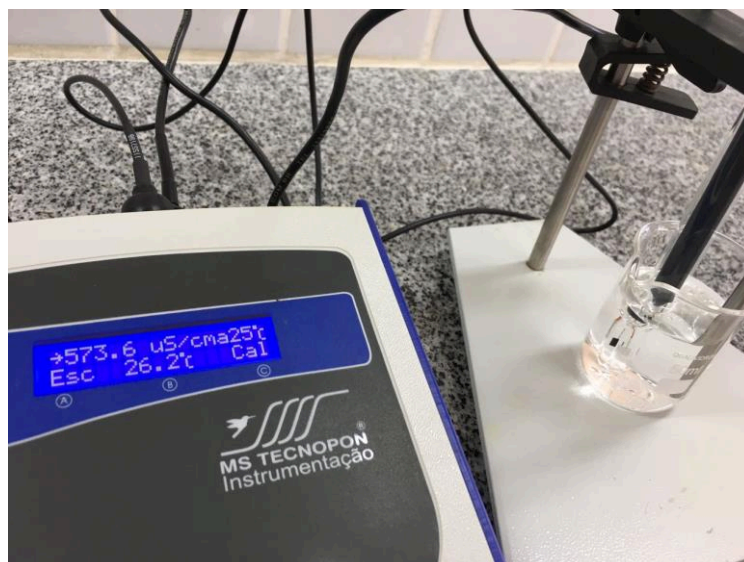


Figura 14a – Condutividade elétrica da amostra da água de abastecimento.



Figura 14b – Condutividade elétrica da amostra 10 de solo.

O procedimento descrito foi realizado para medir a condutividade de cada amostra de material utilizado na construção civil, bem como amostras da água de abastecimento da

cidade na temperatura ambiente (28 °C), baseado no trabalho desenvolvido por SILVA (2011) na UFERSA – Angicos/RN

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo abordaremos os resultados obtidos através das análises de condutividade, apontando qual material apresenta maior condutividade e, conseqüentemente, maior concentração de sais, discutindo qual tem o maior potencial para causar a eflorescência nas construções locais.

4.1 CONDUTIVIDADE DAS AMOSTRAS

As análises feitas em laboratório para o estudo de fatores que causam eflorescência na cidade de Caraúbas/RN forneceram valores de condutividade do solo de vários pontos da cidade e dos materiais utilizados na construção civil da cidade. Estes resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Condutividade elétrica das amostras

50 g de cada amostra (60 °C)	Condutividade (μS/cm)
1	1088,0
2	524,7
3	82,4
4	168,4
5	858,8
6	118,4
7	116,9
8	507,0
9	446,1
10	465,3
11	57,5
12	122,5
13	272,2

14	928,2
15	267,2
Água de abastecimento (28 °C)	573,6
Areia	130,0
Silte	412,6
Bloco cerâmico	693,4

Os resultados de condutividade elétrica das amostras foram apresentados em um gráfico de barras (Figura 15) para melhor visualização e comparação dos dados obtidos.

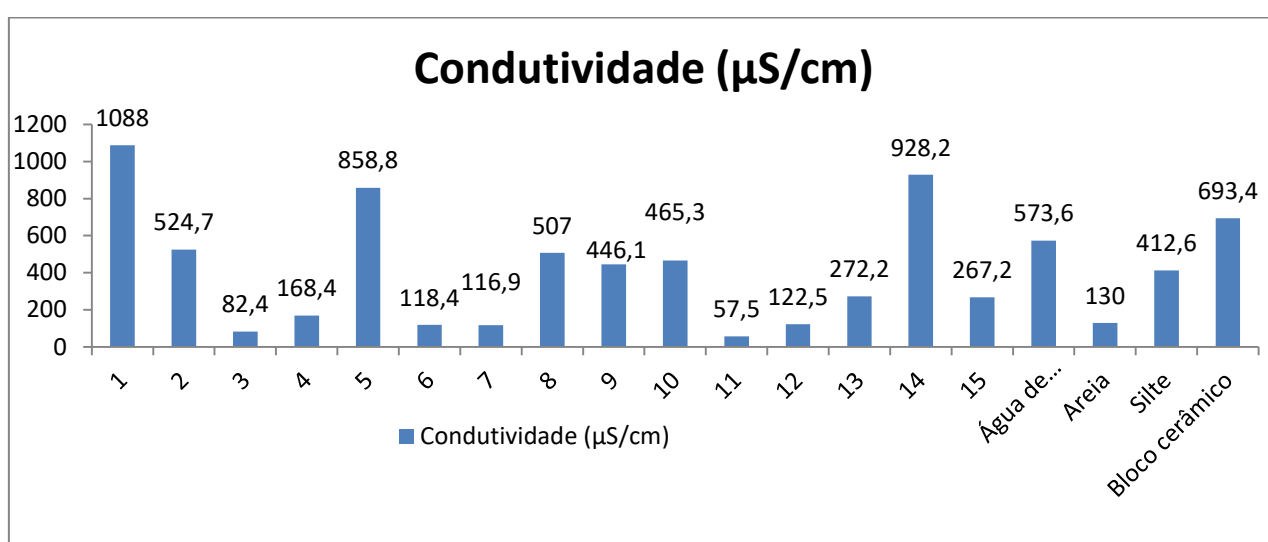


Figura 15 – Condutividade das amostras dos solos e materiais construtivos

As amostras de solo coletadas foram divididas conforme sua localidade. Para uma melhor classificação, a cidade foi dividida em quatro regiões, como mostrado anteriormente na Figura 7. A Região 1, apresentou os seguintes valores de condutividade para suas amostras de solo: 116,9 μS/cm; 122,5 μS/cm; 524,7 μS/cm. O alto valor da última amostra de solo se deve ao fato de o local da coleta ser próximo a reservatórios de água onde a precipitação dos sais para o fundo do reservatório e posterior percolação através do próprio solo aumenta o teor de sais que contribuem para o surgimento da anomalia.

Os valores de condutividade das amostras coletadas na Região 2 são apresentados a seguir: 928,2 μS/cm; 465,3 μS/cm; 168,4 μS/cm. A Região 3 compreende os bairros Leandro Bezerra e Maria Bandeira. As amostras coletadas nesta região apresentaram os seguintes valores de condutividade: 1088,0 μS/cm; 82,4 μS/cm; 118,4 μS/cm; 57,5 μS/cm; 446,1 μS/cm.

E por ultimo a região 4. Esta obteve valores de condutividade de: 858,6 $\mu\text{S/cm}$; 507,0 $\mu\text{S/cm}$; 272,2 $\mu\text{S/cm}$; 276,2 $\mu\text{S/cm}$. Também foram analisadas amostras de silte, areia e tijolos comercializados na cidade, bem como a água de abastecimento que chega em Caraúbas. A água de abastecimento apresentou uma condutividade de 573,6 $\mu\text{S/cm}$, um valor que condiz com uma alta quantidade de sais dissolvidos. As amostras de argila e silte apresentaram condutividades de 130,0 $\mu\text{S/cm}$ e 412,6 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente. Já o tijolo triturado apresentou condutividade elétrica de 693,4 $\mu\text{S/cm}$, a maior de todos os materiais analisados, sem levar em consideração as amostras de solo.

De todas as amostras de solo coletadas, as que apresentaram uma condutividade superior a do tijolo de furos foram as amostras 1, 5 e 14. A principal característica em comum desses locais é a deposição de lixo inadequada, diretamente no solo, caracterizando uma fonte de poluição difusa do solo e contribuindo para o aumento da salinidade dos solos da cidade, conforme mostrado na Figura 16.

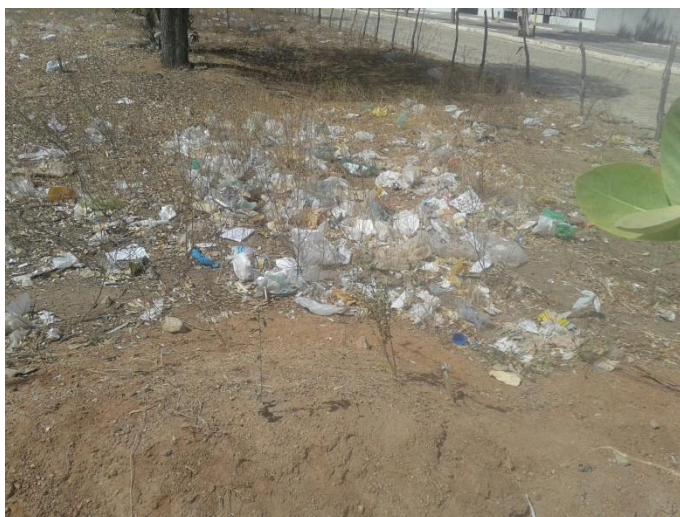


Figura 16 – Deposição de lixo no solo.

Portanto, nas localidades próximas de onde foram coletadas as amostras anteriormente citadas, todo o processo de surgimento da eflorescência se dará no solo, desde a solubilização dos sais até a percolação que carrega os sais à superfície do substrato, ocasionando a eflorescência, mas contam também com a contribuição do bloco cerâmico de furos e da água de abastecimento na cidade, que também contam com elevado teor de sais solúveis em sua composição, entretanto a principal parcela contribuinte ao processo de surgimento da eflorescência, nestes três casos particulares, é o próprio solo onde a construção está assentada.

Uma atenção especial também merece ser dada à condutividade elétrica apresentada pela água de abastecimento da cidade, proveniente em sua grande maioria de poços artesanais locais, que com uma condutividade medida de 573,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, torna-se também um contribuinte em potencial para o surgimento da anomalia. O alto teor de sais solúveis na água de abastecimento se deve a mesma ser proveniente de poços localizados na zona rural da cidade. Como os poços são subterrâneos, toda e qualquer alteração na salinidade do solo afetará diretamente o lençol freático, alterando também a quantidade de sais solúveis na água (SEGALA e RUAS, 2005).

Vários são os fatores que contribuem para a salinização exacerbada do solo, atentando em especial para o déficit hídrico climático acentuado, a destruição da vegetação local, a compactação do solo, ao clima semiárido e a drenagem do solo local que, como explanado, anteriormente, vai de imperfeitamente a mal drenado, em sua grande maioria.

Já no caso do bloco cerâmico, a principal causa do surgimento de sais solúveis em sua composição se dá no processo de fabricação, onde a queima da argila utilizada na fabricação produz sais que se dissolvem no corpo cerâmico. Estes sais podem surgir de inúmeras formas, tanto na combinação com outros elementos, quando são solubilizados através do processo de queima, quanto quando ocorre o contrário, quando são insolubilizados devido às altas temperaturas do processo de queima. Uma má queima do bloco cerâmico, também resulta no surgimento de poros no interior da peça, fazendo com que a percolação da água seja facilitada e carreando mais sais consigo.

Após a obtenção de todos os dados, foi constatado que o principal causador da eflorescência em 12 dos 15 locais analisados da cidade é o tijolo cerâmico utilizado nas construções locais, que apresentou condutividade elétrica superior aos demais materiais analisados, tendo a água de abastecimento como uma forte ‘aliada’ para o surgimento da eflorescência. Resultado comparável ao obtido por SILVA (2011), em estudo realizado na Universidade Federal Rural do Semiárido, sobre os materiais que mais contribuíam nos casos de eflorescência da cidade de Angicos/RN.

Logo, pode-se observar que, tanto o processo de fabricação dos tijolos cerâmicos é falho e arcaico, quanto a estocagem do produto é feita de modo inadequado, visto que o processo de queima das peças cerâmicas, na grande maioria das cerâmicas, ocorre em fornos à lenha que não distribuem o calor uniformemente através da peça, provocando uma queima inadequada. Além de que, a armazenagem da matéria-prima ocorre depositando-a em contato direto com o solo, facilitando a troca e posterior solubilização de sais.

4.2 – PREVENÇÃO

Para que se possa tomar medidas preventivas quanto a eflorescência, deve-se primeiro conhecer as possíveis origens dos sais e da umidade, afim de entender o mecanismo que causa essa anomalia construtiva.

Visto que FERREIRA *et al.* (2011) afirma que a remoção de sais solúveis é praticamente impossível e BAUER (2013) afirma que a única possibilidade de remediação da eflorescência é a eliminação da causa da infiltração, barrando assim o contato dos sais com a água e posterior secagem do revestimento, a saída plausível para o fim desta anomalia é a prevenção, no sentido de uma completa impermeabilização das partes inferiores da construção, visando uma diminuição ou inibição do carregamento dos sais por parte da água.

Segundo BRICK INDUSTRY ASSOCIATION (1985) antes de efetivada a construção, várias medidas podem ser tomadas, como um correto armazenamento dos materiais construtivos, para que não haja absorção dos sais e da umidade presentes no solo; um assentamento correto da alvenaria, para que não apareçam fissuras que facilitem a percolação da água; proteção das paredes e pisos com uma membrana impermeável, para que não seja absorvida umidade.

Medidas mais efetivas também podem ser tomadas, como a criação de um espaço entre o solo e o contrapiso, preenchendo este espaço com brita, para que a umidade do solo não consiga percolar até o piso, visto que a umidade não passa pelas pedras. Mas a atitude mais eficiente para se evitar a eflorescência é a impermeabilização da base da construção.

A impermeabilização impede a passagem da umidade ate o piso e as paredes da construção, já que os materiais utilizados são, como o nome explica, impermeáveis. Este processo pode ser feito utilizando membranas asfálticas, mantas asfálticas, polímeros sintéticos ou cimentos impermeabilizantes, que são cimentos ricos, ou seja, com alto teor de aglomerante em sua composição, tornando-o mais denso e, conseqüentemente, menos poroso.

Caso estas medidas não sejam tomadas, as eflorescências surgirão mais facilmente, então o que se tem a fazer é quebrar a base das paredes ate a fundação e realizar a impermeabilização completa da base. A escovação da superfície também é um procedimento recomendado para a retirada de sais. Esta deve ser realizada com escovas de aço e lavada, de

preferência em locais onde o clima seja quente e seco, para que a umidade não consiga se infiltrar na parede com facilidade.

Portanto, pode-se observar que a total remoção de sais e de umidade da estrutura é ainda impossível, mas medidas de fácil execução e grande eficácia podem ser tomadas a fim de minimizar os efeitos nocivos da patologia ou até evita-los.

5 - CONCLUSÃO

Após a análise e discussão dos resultados do presente trabalho, pode-se concluir que:

- Ao se observar a totalidade dos casos de eflorescência na cidade, o tijolo cerâmico de furos é o que mais contribui para o surgimento da eflorescência na cidade. Porém três amostras de solo (1, 5 e 14) apontaram valores de condutividade elétrica maiores que a medida pelo bloco cerâmico.
- Os materiais em forma de matéria-prima como o silte, areia e a água de abastecimento da cidade também apresentaram sais solúveis em sua constituição, contribuindo, mesmo que em menores quantidades, para o surgimento da eflorescência.
- A água utilizada no abastecimento da cidade também obteve valores altos de condutividade, levando em consideração as amostras analisadas, caracterizando-a, também, como um potencial vetor da eflorescência.
- As amostras de menor condutividade (3 e 11) foram retiradas de localidades próximas, no Bairro Leandro Bezerra. Logo, uma possível aparição de eflorescência será ocasionada principalmente pelo bloco cerâmico, com parcelas significativas de sais advindas da água de abastecimento.
- O cuidado na escolha dos materiais que serão utilizados na construção, além de uma boa impermeabilização das partes inferiores da casa se fazem necessárias para evitar o surgimento da anomalia e evitar prejuízos futuros, tanto estéticos quanto estruturais.

6 - REFERÊNCIAS

- AREIA SANTA CLARA. **Produtos.** 2016. In: <<http://www.areiasantaclara.com.br/files/DSCN1491.JPG>> acesso: 15, Setembro, 2016
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, **Notas Técnicas para a Construção em Tijolo.** 1985. In: <<http://docplayer.com.br/21893234-Notas-tecnicas-para-a-construcao-em-tijolo.html>> acesso: 02, Outubro, 2016.
- CARDOSO FILHO, Agnaldo. **Avaliação de Propriedades de Correntes Oleosas da Indústria de Petróleo Via Condutivimetria.** 2007. In: <http://www.firp.ula.ve/archivos/tesis/07_MS_Cardozo.pdf> acesso: 30, Março, 2016.
- CORREIA, Cesar. **Caracterização de Eflorescências, sua Natureza e Mecanismos de Formação em Fachadas Revestidas com Cerâmica e Pedra Natural.** 2003. In: <<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2039.pdf>> acesso: 25, Setembro, 2016.
- EQUIPE DE OBRA. **Planejamento.** 2013. In: < <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/60/imagens/i382106.jpg>> acesso: 15, Setembro, 2016
- FERREIRA, C. C.; BERGMANN, C. P. **Formação da Eflorescência em Cerâmica Vermelha: Fatores de Influência no Transporte dos Íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} .** 2011. In: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v57n343/16.pdf>> acesso: 31, Março, 2016.
- GOOGLE MAPS. **Mapa da cidade de Caraúbas.** 2016. In: <<https://www.google.com.br/maps/@-5.7893743,-37.5522664,15z>> acesso: 15/10/2016.

GRANATO, Jose Eduardo. **Patologia das Construções**. 2002. In: <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>> acesso: 31, Setembro, 2016.

IANETTA, Massimo; COLONNA, Nicola. **Salinização**. 2011. In: <http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B3_Leaflet_PT.pdf> acesso: 30, Março, 2016.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. **Perfil do seu município: Caraúbas/RN**. 2008. In: <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=PASTAC&TARG=875&ACT=null&PAGE=3&PARM=null&LBL=null>> acesso: 15, Abril, 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010. In: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=240230>> acesso: 17, Setembro, 2016.

KLEIN, D. L. **Apostila do Curso de Patologia das Construções**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. Porto Alegre, 1999.

LEROY MERLIN. **Produtos**. 2013. In: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/leroy-production/uploads/img/products/bloco_ceramico_vedacao_9x19x19cm_nova_conquista_89_247186_0001_600x600.jpg> acesso: 14, Setembro, 2016.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C. **Sais Solúveis e Eflorescência em Blocos Cerâmicos e Outros Materiais de Construção – revisão**. 2006. In: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n321/05.pdf>> acesso: 31, Março, 2016.

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M.. **Estudo sobre a Mensuração da Condutividade Elétrica do Solo**. 2011. In: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a09>> acesso: 30, Março, 2016.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editores, 2007. In: <<http://www.terratek.com.br>> acesso: 15, Abril, 2016.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

RABELLO, Ladislau Marcelino. **Condutividade elétrica, tópicos e equipamentos**. 2009. In: <<http://docslide.com.br/documents/doc432009.html>> acesso: 15, setembro, 2016.

RHOADES, J. D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.49, p.232-242, 1993.

SANTOS, Pedro Henrique Coelho; SILVA FILHO, Antônio Freitas. **Eflorescência: causas e consequências**. Salvador: [s.n.], 2003.

SEGALA, Maximiliano. RUAS, Antônio. **Saneamento Básico e Saúde Pública**. 2005. In: <<http://docplayer.com.br/13036583-Ciclos-biogeoquimicos-prof-maximiliano-segala-prof-antonio-ruas-saneamento-basico-e-saude-publica.html>> acesso: 30, setembro, 2016.

SILVA, Isabelly Tatiane dos Santos. **Identificação dos Fatores que Provocam Eflorescência nas Construções em Angicos/RN**. 2011. 52 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Angicos, RN, 2011. In: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/arquivos/Identifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Fatores%20que%20provocam%20Efloresc%C3%Aancia%20nas%20Constru%C3%A7%C3%B5es%20em%20Angicos-RN.pdf>> acesso: 15, Junho, 2016.

SOUZA, Marcos Ferreira. **PATOLOGIAS OCASIONADAS PELA UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES**. 2008. 64 f. Monografia (Curso de especialização em construção civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008. In: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Patologias%20Ocasionaladas%20Pela%20Umidade%20Nas.pdf>> acesso: 15, Setembro, 2016.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. p. 172.