

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Processos Preventivos e Corretivos no
Tratamento da Umidade em Construções**

Zuleica de Sá Resende

**Campinas, SP
2000**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Processos Preventivos e Corretivos no Tratamento da
Umidade em Construções**

Zuleica de Sá Resende

Orientador: Mauro Augusto Demarzo

Dissertação de Mestrado apresentada à
Comissão de pós-graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil, na área de concentração de Edificações

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.	
	21/11/2000
Prof. Dr.	
Matrícula:	4318-4

Campinas, 28 de julho de 2000

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	TI UNICAMP
	R3AA-7
V.	Ex.
TOMBO BC/	44187
PROC.	16-392107
C	☐ D ☒
PREC	R \$ 11,00
DATA	26/04/03
N.º CPD	

CM-00155010-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R311p Resende, Zuleica de Sá
 Processos preventivos e corretivos no tratamento da
 umidade em construções / Zuleica de Sá Resende.--
 Campinas, SP: [s.n.], 2000.

 Orientador: Mauro Augusto Demarzo
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

 1. Umidade em edifícios. 2. Controle de umidade. 3.
 Patologia de construção. I. Demarzo, Mauro Augusto.
 II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

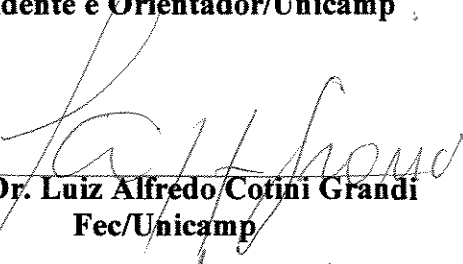
Processos Preventivos e Corretivos no Tratamento da Umidade em Construções

Zuleica de Sá Resende

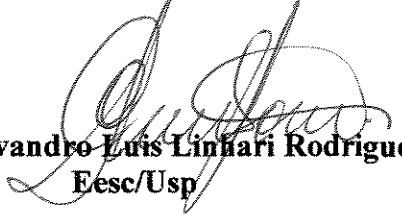
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Mauro Augusto Demarzo
Presidente e Orientador/Unicamp



Prof. Dr. Luiz Alfredo Cotini Grandi
Fec/Unicamp



Prof. Dr. Evandro Luis Linhari Rodrigues
Eesc/Usp

Campinas, 28 de julho de 2000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Deus é a minha fortaleza e a minha força, e ele
perfeitamente desembaraça o meu caminho.
(Samuel 22:33)

Dedicatória

Dedico esta obra à:

À minha irmã Cris e ao meu cunhado Gonza, pelo carinho, apoio e incentivo.

Aos meus pais por estarem sempre presentes e por me apoiarem em todas as minhas decisões.

Agradecimentos

A Deus porque não nos deu o espírito de temor , mas sim de fortaleza, e de amor, e de moderação.

Ao Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção do Instituto Militar de Engenharia

Ao Cel Paulo Roberto Dias Morales, Ten Cel Amir Elias Abdalla Kurban, Cel R/1 Alvaro Vieira, Ten Cel Édio Pereira de Oliveira

Ao Senhor Aimar G. da Cunha e ao Arqtº Jeferson Villela, da Texsa Brasileira, pela dedicação e atenção ao tirar minhas dúvidas sobre o assunto.

Ao orientador e amigo Profº Mauro Augusto Demarzo pelo apoio e incentivo.

À Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, pela cessão de suas dependências e seus equipamentos.

A todos aqueles que de alguma forma nos auxiliaram e nos incentivaram no desenvolvimento desse trabalho.

Sumário

	Página
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Símbolos.....	xv
Resumo.....	xvii
1 - Introdução.....	01
2 - Objetivo.....	04
3 - Conceitos Físicos.....	05
3.1-A Natureza dos Problemas de Umidade.....	05
3.1.1-Umidade de Obra.....	06
3.1.2-Umidade do Solo ou por Capilaridade.....	06
3.1.3-Umidade Acidental.....	10
3.1.4-Umidade de Condensação.....	11
3.1.5-Umidade de Infiltração.....	16
3.2 – Formas de penetração da umidade na construção.....	18
3.3-Mecanismos de Fixação de Umidade em Meios Porosos.....	23

3.4-Mecanismos de Transferência de Umidade.....	24
3.4.1-Transporte de Vapor por Difusão.....	24
3.4.2-Transporte de Vapor por Convecção.....	25
3.4.3-Transporte de Água por Capilaridade.....	26
3.4.4-Transporte de Água por Gravidade e sob Influência de Pressões Externas.....	27
3.5 – Efeitos da umidade na construção.....	27
3.6 – Efeitos da umidade e da temperatura no concreto.....	29
3.6.1 – Movimento devido à umidade.....	30
3.6.2 – Movimento devido à temperatura	30
3.7 – Tipos de tratamento contra a umidade.....	31
4 - Secagem Natural.....	34
4.1-Secagem por Ventilação.....	35
4.2-Secagem por com utilização de sifões atmosféricos.....	38
5 - Secagem Artificial.....	41
5.1-Secagem por eletrosmose.....	41
5.1.1 – Potencial eletrocinético.....	43
5.1.2 – Fenômenos eletrocinéticos.....	45
5.1.2.1 – Eletrosmose.....	46
5.1.2.2 – Eletroforese.....	46
5.1.2.3 – Potencial de corrente.....	47

5.1.2.4 – Migração ou potencial de sedimentação.....	47
5.1.3 – Aplicação da eletroosmose.....	49
6 - Forma de prevenção contra a umidade.....	55
6.1 – Barreira de vapor.....	55
6.2 – Efeitos do vapor d'água.....	56
6.3 – Princípios básicos.....	58
6.4 – Barreira de vapor no isolamento térmico.....	60
7 - Resultados.....	62
8 – Conclusões.....	70
9 – Bibliografia.....	72
Abstract.....	75

Lista de Tabelas

	Página
3.1 – Velocidade do vento.....	18
3.2 – Diagnóstico para cada tipo de material utilizado em uma construção.....	32
4.1 – Constantes de secagem.....	35
5.1 – Estudo comparativo do comportamento de diversos materiais perante a reação eletrosmótica.....	45
6.1 – Valores comparativos do peso e da pressão do vapor d'água.....	57
6.2 – Fator μ para materiais em estado seco.....	59
7.1 – Valores para m_3 em gramas.....	66
7.2 – Valores para m_2 em gramas.....	67
7.3 – Valores para m_1 em gramas.....	67
7.4 – Valores médios para teor de umidade.....	67
7.5 – Valores médios para o teor de absorção.....	69

Lista de Figuras

	Página
3.1 – Esquema de distribuição da umidade no solo.....	07
3.2 – Umidade por capilaridade.....	08
3.3 – Material de qualidade inferior ao restante da parede.....	09
3.3b – Detalhe das bolhas formadas pela umidade de capilaridade.....	09
3.4 – Umidade acidental provocada por vazamento na tubulação de água.....	10
3.5 – Formação da umidade de condensação.....	12
3.6 – Umidade de condensação.....	13
3.7 – Umidade de condensação.....	14
3.8 – Umidade de condensação no teto da pista de gelo.....	15
3.9 – Umidade de condensação no limite da pista de gelo.....	15
3.10 – Perda da proteção da estrutura metálica, devido à umidade de condensação.....	16
3.11 – Descolamento do revestimento devido às águas projetadas pelas chuvas.....	17

3.12a – Cobertura plana facilitando a penetração de umidade.....	19
3.12b – Mancha negra provocada no teto devido à cobertura plana.....	20
3.13 – Trinca facilitando a penetração de água.....	21
3.14 – Envelhecimento precoce.....	28
3.15 – Surgimento de arbustos na fachada.....	28
4.1 – Colchão de ar entre o terreno e a base da parede.....	36
4.2 – Colchão de ar entre o terreno e a base da parede, com utilização de meias calhas.....	36
4.3 – Barreira anticapilar.....	37
4.4 – Colchão de ar entre o forro e a laje de cobertura.....	37
4.5 – Circulação de ar como solução para umidade de condensação.....	38
4.6 – Colocação dos sifões atmosféricos.....	39
4.7 – Antes do tratamento.....	40
4.8 – Depois do tratamento.....	40
5.1 – Voltímetro de medição de corrente.....	42
5.2 – Projeto para estabilização da Torre de Pisa, com utilização de eletroosmose.....	43
5.3a – Eletroosmose.....	47
5.3b – Eletroforese.....	48

5.3c – Potencial de Corrente.....	48
5.3d – Migração ou potencial de Sedimentação.....	49
5.4 – Dispositivo de contato na construção ligado a tomada de terra.....	50
5.5 – Mapa das isopotenciais de um edifício.....	52
5.6 – Instalação eletroosmótica passiva.....	53
5.7 – Instalação eletroosmótica ativa.....	54
6.1 – Parede de câmara frigorífica.....	61
7.1 – Pesagem da amostra.....	63
7.2 – Secagem das amostras à temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$	63
7.3 – Imersão das amostras em água à $23\pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.....	64
7.4 – Drenagem da amostra.....	65
7.5 – Representação esquemática da relação água-sólido.....	66
7.6 – Gráfico do teor de umidade para as 5 Olarias.....	68
7.7 – Gráfico do teor de absorção para as 5 Olarias.....	69

Lista de Símbolos

Página

$\frac{m}{t}$ = massa (kg) difundida por segundo.....	24
A = área da seção de difusão (m ²).....	24
$\Delta\rho$ = diferença de densidades (Kg m ⁻³).....	25
ℓ = comprimento considerado onde ocorre difusão (m).....	25
$q_{m,a}^{\rightarrow}$ = densidade de fluxo molar de qualquer um dos gases (massa por segundo).....	25
∇_M = gradiente de concentração dos gases.....	25
D = constante para a substância considerada, também chamado de coeficiente de difusão molecular (m ² s ⁻¹).....	25
q_m = densidade do fluxo de água.....	26
δW = coeficiente de condução de água (s).....	26
Pc = pressão capilar (N/m ²).....	26
e = espessura em centímetros.....	34
T = duração da secagem em dias.....	34
s = coeficiente característico do material da parede.....	34
m ₃ = massa inicial do corpo-de-prova ao ser recebido no laboratório.....	65

m_1 = massa final do corpo-de-prova após seco em estufa.....	65
m_2 = massa final do corpo-de-prova saturado.....	65

Resumo

Resende, Zuleica de Sá. Processos Preventivos e Corretivos no Tratamento da Umidade em Construções. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 93 páginas. Dissertação de Mestrado.

O trabalho mostra os problemas de umidade nas construções, segundo uma classificação internacionalmente aceita, mostrando seus efeitos, formas de correção e forma de prevenção.

O estudo dos problemas de umidade como sua origem, colabora de fato para prevenção de possíveis aparecimentos de novas fontes de umidade, que irá degradar com a construção, pois, conhecendo-se a fonte de umidade, poderá se pensar no projeto de impermeabilização ainda na fase de projeto, e, desta forma executar de maneira correta, aumentando assim o tempo de vida do edifício.

Sendo o material utilizado nas construções convencionais porosos e geralmente de origem orgânica, que, com o tempo, apresentam um certo teor de umidade, que, com o tempo irá degradar a construção, e, devem ser tratados ainda na fase de execução.

Palavras chaves: umidade nas construções, prevenção, patologias das construções

1 - Introdução

As forças naturais, água, atmosfera, frio, calor, junto com os elementos químicos, são os agentes responsáveis pela transformação de nossa crosta terrestre, superfície rochosa, onde aparece a vida orgânica, vegetal e animal. Da mesma forma, os materiais de construção, criados pelo homem, sofrem os mesmos efeitos de destruição. As forças destrutivas por intervenção do homem são mais agressivas e numerosas. A diferença é que o processo de decomposição das rochas, por exemplo, leva milhares de anos; já os danos em nossas obras podem ser percebidos em poucos anos.

O principal agente de destruição dos materiais de construção é a água por erosão, dissolução, desagregação e dilatação. Por outro lado, os efeitos do frio e do calor, originam contrações e dilatações, o que produz tensões nos materiais, que ultrapassam os limites de resistência dando lugar a formação de gretas, que permitem a penetração da água, fazendo com que o material a absorva e aumente de volume, provocando assim o descolamento de placas dos materiais.

A força de destruição mais intensa da água é a capacidade de dissolução, intensificada por adição de outros componentes presentes no ar (como dióxido de carbono ou óxidos de nitrogênio) e que lhe conferem um caráter ácido.

Ao tratar-se de metais, tem que se levar em conta os fenômenos eletroquímicos que sucedem em presença da água e o oxigênio atmosférico. No caso da madeira, tem que se evitar o contato com a água, meio que necessitam os microorganismos para seu desenvolvimento, quando estão presentes também o calor e oxigênio.

A umidade vem sendo um problema para o homem desde a origem das edificações. A necessidade de se refugiar em locais secos e protegidos da neve, do frio, do vento e outros fatores, principalmente da umidade, levou o homem a desenvolver e aperfeiçoar suas moradias. Uma vez livre das intempéries da natureza, o homem teve a necessidade de levar para o interior de sua moradia a água, que é uma das suas fontes de sobrevivência, fazendo-se assim surgir novas fontes de umidade.

As construções mais antigas apresentavam características construtivas adotadas para afastar as águas da chuva. Os telhados por exemplo eram projetados de forma a criar um beiral suspenso para proteger o edifício. Com as novas tendências, a arquitetura acabou por retirar essas soluções, tornando-se assim o edifício mais vulnerável às águas das chuvas.

A luta contra a umidade continua até os dias de hoje. Uma vez úmida a edificação, terá início a degradação e desenvolvimento de fungos e bactérias, que são microorganismos que se desenvolvem quando há presença de elevados teores de umidade (ABERG, 1989), causando desconforto, danos à saúde, e degradação da construção..

Os problemas de umidade representam 60% dos problemas patológicos das construções, sendo um dos mais difíceis de serem resolvidos dentro das ciências da construção civil. As dificuldades se devem à complexidade dos fenômenos envolvidos e à falta de estudos e pesquisas, pois somente nos últimos 30 anos é que o homem começou a se preocupar e a estudar sistematicamente o assunto.

Os problemas de umidade classificam-se em umidade de obra, umidade de solo e capilaridade, umidade de infiltração, umidade de condensação e umidade accidental. Dentre os tipos de umidade, o mais problemático é a umidade de infiltração proveniente de águas pluviais, que chega a representar 60% dos problemas de umidade. A seguir aparecem os problemas devido à umidade de solo ou de capilaridade e a umidade de condensação, representando respectivamente 15% e 10% dos problemas de umidade. Os outros tipos de umidade, obra e accidental, no conjunto representam aproximadamente 15% do total. Geralmente os elementos da edificação que normalmente estão mais expostos à ação da água pelo envoltório da construção

estão associados, entre outros fatores, à chuva incidente, ao nível do lençol freático, à coleta e condução das águas pluviais, etc.

A penetração de águas pluviais projetadas através das fachadas do edifício está associada a dois fatores climáticos, intensidade da chuva e vento atuante, além de outros fatores como a forma e a constituição dos materiais empregados. Esses fatores devem determinar a intensidade dos fenômenos de capilaridade, de difusão e absorção de água e de ação das forças gravitacionais quando há penetração de água em frestas. Para que a penetração de água seja possível, é preciso reunir três condições: água sobre a superfície, aberturas permitindo à água penetrar, forças empurrando a água pelas aberturas, sendo estas forças resultantes da energia cinética das gotas, das forças capilares de sucção, das forças de gravidade e da pressão do vento.

Esses problemas de umidade podem ser evitados, se na fase de projeto, for feita a previsão para execução de sistemas de impermeabilização, ou, tratados utilizando-se processos de secagem artificial, pois a secagem natural é muito demorada, podendo levar até anos devido ao fato que esses materiais tradicionais de construção contém água. Essa secagem artificial pode ser feita por vários métodos, entre os quais, aqueles que serão abordados neste trabalho.

2 - Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo analisar as principais fontes de umidade em uma edificação, que muitas vezes surgem devido a erros na fase de projeto, cálculos, e execução, bem como sua variabilidade, e, a partir disso, estudar algumas soluções através de formas de prevenção ou posteriormente à instalação do problema.

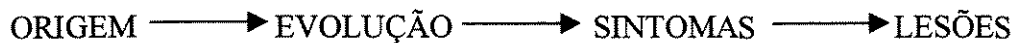
Neste último caso se enquadra a eletroosmose, cuja teoria e aplicação serão estudados.

A parte prática do trabalho será desenvolvida no sentido de se determinar a absorção de água e teor de umidade em blocos cerâmicos maciços para alvenaria. Para tanto, os ensaios tomarão por base o que está estabelecido na norma técnica NBR12118, que trata de blocos vazados de concreto simples para alvenaria, fazendo-se as adaptações necessárias para o caso em questão. Em seguida, será analisado o comportamento dos parâmetros que interferem no processo da umidificação dos tijolos, através dos dados obtidos no laboratório.

3 - Conceitos físicos

3.1 - A natureza dos problemas de umidade

A umidade do edifício tem origem em infiltrações como consequência dos defeitos de projeto, de cálculo ou de execução, que permite que a água penetre ou se forme no interior da construção. Surge então um processo patológico que se manifesta inicialmente através de sintomas determinados e que se não forem corrigidos a tempo, podem acabar provocando lesões. O processo patológico está exemplificado abaixo:



Os problemas de umidade podem manifestar-se nas edificações em todos os seus componentes construtivos, e nem sempre a forma de manifestação das patologias na construção está associada a uma única causa. Os problemas de umidade estão divididos segundo uma classificação internacionalmente aceita:

- Umidade de obra
- Umidade de solo ou de capilaridade
- Umidade accidental

- Umidade de condensação
- Umidade de infiltração

A classificação acima procura conciliar a origem do fenômeno e a forma como o problema de umidade se manifesta na construção.

3.1.1 - Umidade de obra

Hoje em dia já existem métodos de construção que, tanto na preparação como na sua execução, não permite que entre uma só gota de água (FREDERICO ULSAMER, 1975).

Porém, ainda existe a construção tradicional cuja umidade de obra é originada dos materiais usados e onde o tempo todo é necessário a utilização de água. A umidade mantém-se durante um certo período após o término da obra, diminuindo gradualmente até desaparecer (ARY PEREZ, 1986). Calcula-se, por exemplo, que a construção de um metro cúbico de alvenaria de tijolo contenha aproximadamente de 130 l a 230 l de água quando recém-assentada (FREDERICO ULSAMER, 1975).

3.1.2 - Umidade de solo ou por capilaridade

Nem sempre é possível evitar que o solo esteja úmido ou saturado. Na realidade, sempre existirá água no solo, que devido a existência de forças capilares subirá até as paredes e pisos,

pois quanto mais finos forem os poros, mais facilmente a umidade atingirá a edificação (FREDERICO ULSAMER, 1975).

A figura 3.1 mostra um esquema de distribuição da umidade no solo.

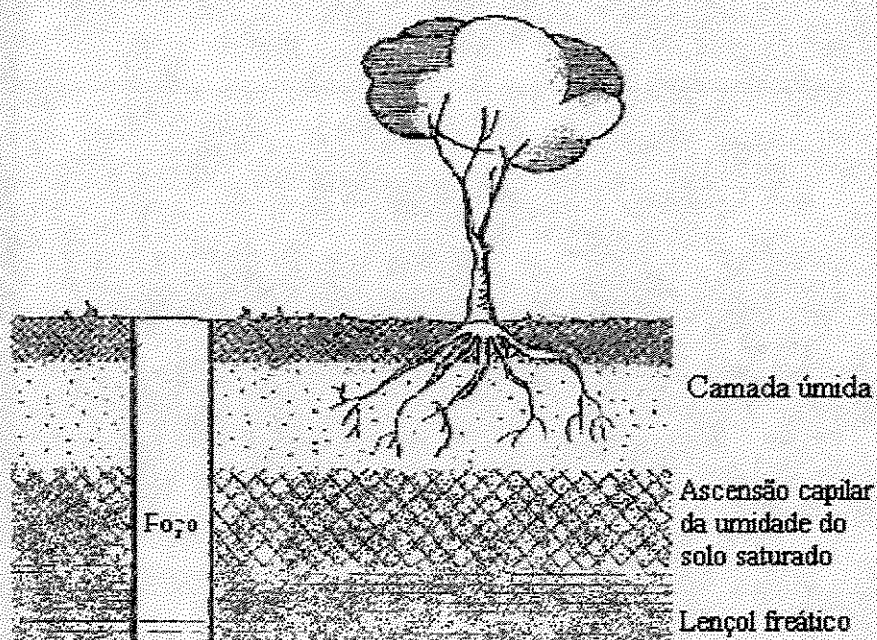


Figura 3.1 – Esquema de distribuição da umidade no solo

Portanto, a umidade de capilaridade ou de solo penetra na construção por absorção ou capilaridade, através das fundações das paredes e pavimentos, que são constituídas de materiais porosos, facilitando assim a penetração de umidade e fazendo com que migre para as fachadas e pisos (ARY PEREZ, 1986).

Sua ocorrência devido à ascensão da umidade do solo, através dos interstícios moleculares dos materiais provoca o aparecimento de tensões, que podem chegar às vezes até três atmosferas, obrigando a umidade a subir até equilibrar-se com a pressão atmosférica, parando no

chamado “Ponto de Equilíbrio”, que se situa tanto mais alto quanto mais porosos forem os materiais, a fonte de umidade mais abundante e os muros mais grossos.

Essa umidade também é conhecida por “ câncer dos edifícios”, pois provoca envelhecimento precoce e é uma das causas principais da ruína de uma construção.

As fundações das antigas residências eram feitas de pedras, não existindo assim os canais capilares que conduzem a umidade existente no solo até os pavimentos superiores.

A figura 3.2 mostra um exemplo de umidade por capilaridade.



Figura 3.2 – Umidade por Capilaridade

A figura 3.3 mostra um outro exemplo de umidade por capilaridade. Percebe-se que, após a colocação de um interfone na residência usando um material de fechamento com qualidade inferior, muito mais higroscópico e muito mais poroso, houve a criação de um canal de penetração de umidade por capilaridade muito mais rápido que o restante da parede.

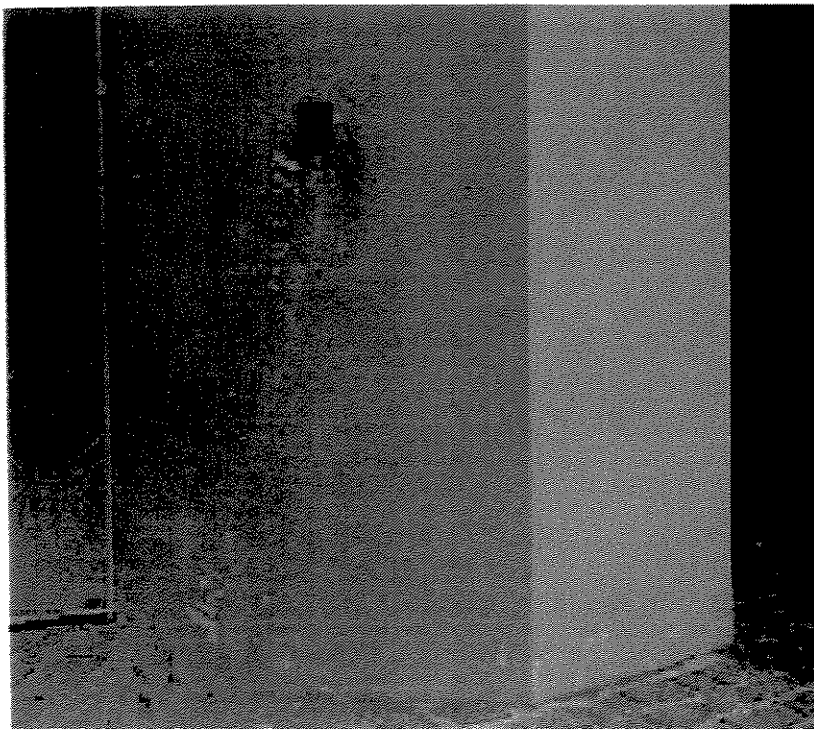


Figura 3.3 – Material de qualidade inferior ao restante da parede

A umidade não só se manifestou mais cedo como também criou bolhas na superfície da parede provocando o descolamento da pintura., O detalhe pode ser visto na Figura 3.3b.Figura.



3.3b – Detalhe das bolhas formadas pela umidade de capilaridade

3.1.3 - Umidade accidental

A umidade accidental é proveniente de vazamentos do sistema de distribuição e/ou coleta de água da edificação, como também, por descuidos dos construtores, em banheiros, cozinhas e lavanderias, ou seja, das áreas de piso frio.

A Figura 3.4 mostra um caso de umidade accidental no segundo andar de um edifício de doze andares, provocado por um vazamento no quarto andar. Neste caso a água desceu através do encanamento do aquecedor, atingindo todos os andares abaixo dele.



Figura 3.4 – Umidade accidental provocada por vazamento na tubulação de água

3.1.4 - Umidade de condensação

A umidade de condensação provém do vapor de água existente na atmosfera, que se condensa nas superfícies. A umidade procedente da atmosfera no interior de um determinado cômodo pode condensar-se nas faces internas das paredes externas, ou nos tetos (FREDERICO ULSAMER, 1975). Às vezes torna-se difícil identificar a umidade de condensação. Este tipo de umidade costuma aparecer antes de chover ou depois de chuvas muito fracas, sobretudo nas mudanças de temperatura.

Pode-se entender que a condensação é um processo patológico devido à falta de ventilação e, na maioria dos casos, tem origem nos pontos térmicos dos componentes estruturais.

A umidade de condensação se forma, por exemplo, se uma temperatura T_i no interior de uma construção é superior a existente no exterior T_e , criando um fluxo de calor desde o primeiro ambiente até o segundo. Como consequência, aparece um gradiente de temperaturas $T_i-t_i-T_1-t_e-T_e$ sobre os fechamentos como mostra a Figura 3.5(a).

Paralelamente ao fluxo citado acima, existe outro de vapor d'água produzido no edifício quando a pressão P_i existente no interior é superior a P_e do exterior. Aparece então o gradiente de pressão $P_i-P_1-P_2-P_e$, como mostra a Figura 3.5(b).

Sabemos por Termodinâmica que os conteúdos máximos de vapor d'água são variáveis com a temperatura. Por conseguinte, ao gradiente de pressão anterior corresponderia outro de temperatura para aqueles que são máximos. Será $T_{ri}-T_{r1}-T_{r2}-T_{re}$ representado na Figura 3.5(c).

Enquanto estas temperaturas se mantenham inferiores às do primeiro gradiente não se produzirá a liquefação do vapor d'água, e por conseguinte não aparecerão condensações nas paredes, como mostra a Figura 3.5(d).

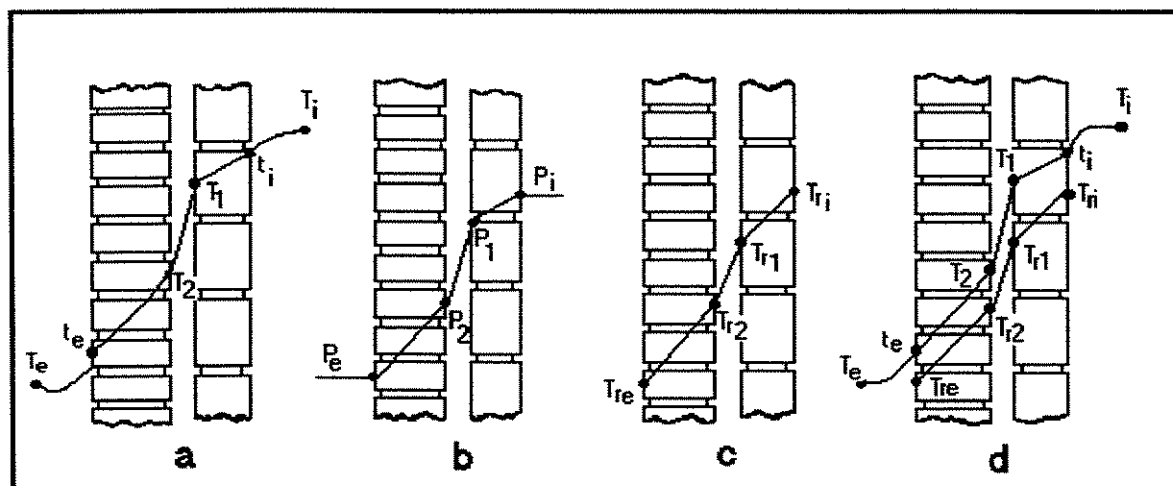


Figura 3.5 – Formação da unidade de condensação

As condensações podem se manifestar de imediato nas seguintes formas:

- Gotas, quando se depositam sobre o acristalamento das cavidades ou sobre os espelhos ;
- Umidade visível, se se trata de superfícies polidas e brilhantes como as envernizadas ou envidraçadas;
- Ressaltos apreciáveis ao tato, no caso dos rebocos;
- E, a longo prazo, em forma da seguintes lesões:
 1. Erosões sobre os rebocos, localizadas principalmente nas partes baixas dos paramentos e sobre os rodapés;
 2. Manchas negras devido a colônias de fungos que se concentram nas partes menos ventiladas; como é o caso dos alicerces dos muros, dos vigamentos de coberturas, das uniões destes com as fachadas; e o interior dos armários.

3. Mesmo sem manifestação aparente, as condensações se localizam também no interior dos fechamentos exteriores, reduzindo o rendimento do isolamento térmico, assim como sua vida útil.

Entre as fachadas externas, existe quase sempre uma diferença de pressão, bastando uma pequena diferença de temperatura para que o ar tenha tendência a transladar de uma fachada para outra em busca de equilíbrio. Nesse processo, a umidade acaba por deslocar-se de um lado para outro, condensando-se nas faces internas e provocando surgimento de manchas escuras nas paredes e no teto, como pode ser visto nas Figura 3.6. e 3.7.



Figura 3.6 – Umidade de Condensação

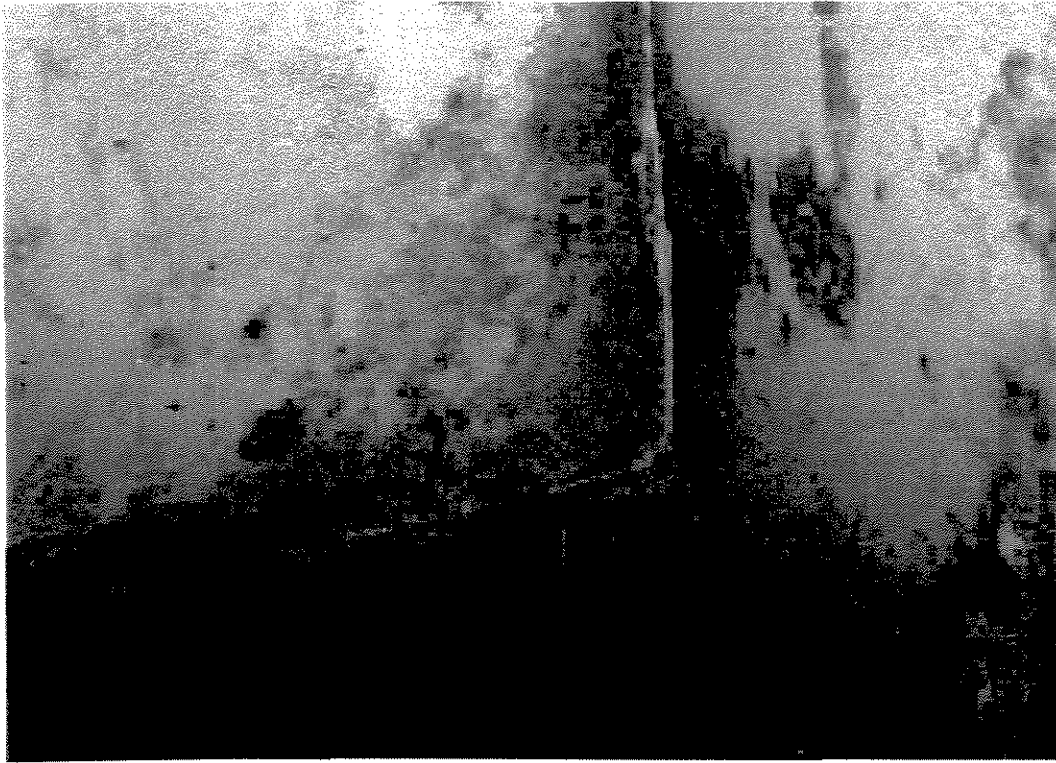


Figura 3.7 – Umidade de condensação

Um outro caso de umidade de condensação ocorre quando se constróem pistas de patinação no gelo, e o projeto de impermeabilização é deixado de lado. O que ocorre neste caso é que umidade se condensa no teto da pista, como mostra a Figura 3.8, ou ultrapassa o piso e se condensa no teto do andar inferior, Figura 3.9. Nota-se que no caso da Figura 3.9 é evidente a umidade de condensação apenas no limite da pista de gelo. Nos dois casos haverá o surgimento de manchas negras e de gostas que com o tempo irão se cristalizar e facilitar ainda mais o surgimento de colônias de fungos e bactérias, que causam danos a saúde e destruição da estrutura. No caso da Figura 3.10, que também mostra o teto do piso abaixo da pista de patinação, pode-se notar bem que a proteção da estrutura metálica, já está em processo de descolamento, deixando-a desprotegida.

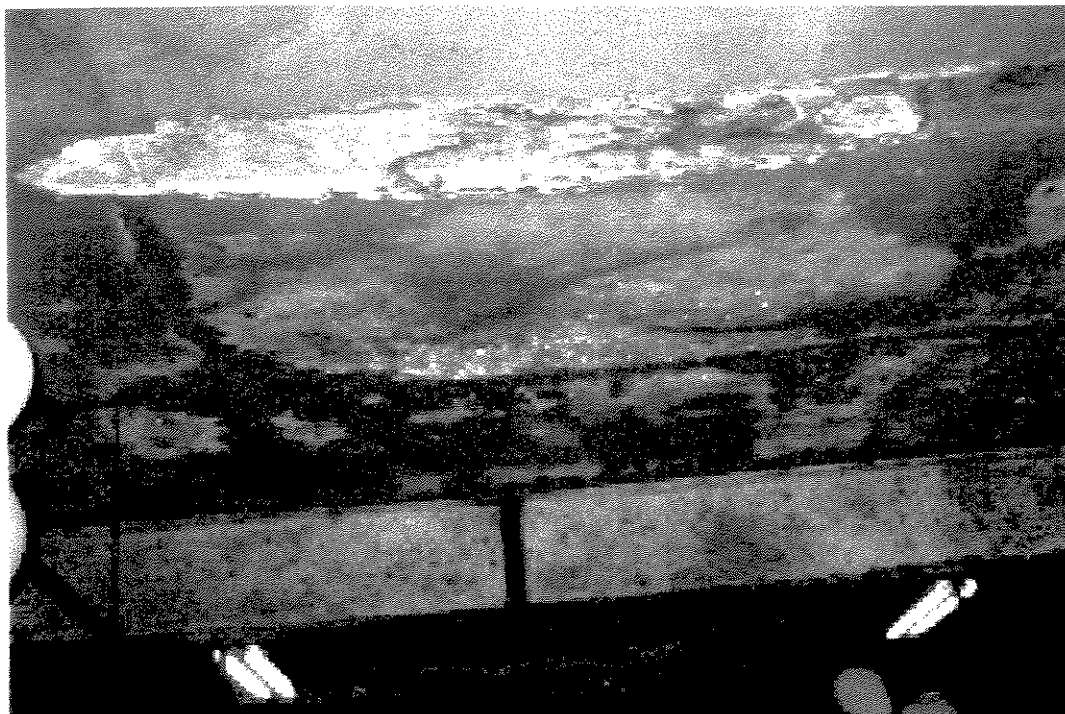


Figura 3.8 – Umidade de condensação no teto da pista de gelo



Figura 3.9 – Umidade de condensação no limite da pista de gelo

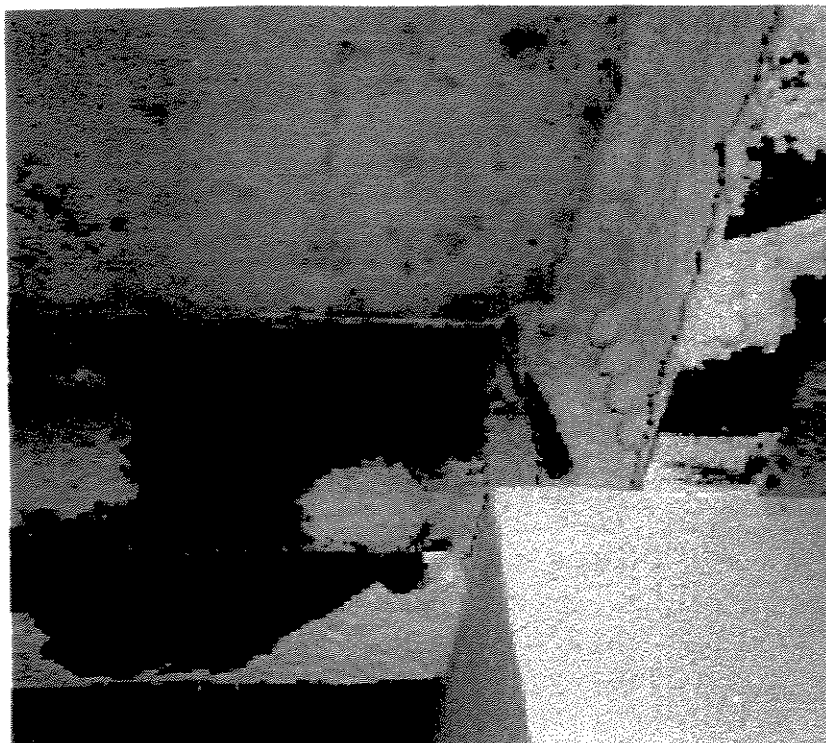


Figura 3.10 – Perda da proteção da estrutura metálica, devido a umidade de condensação

3.1.5 - Umidade de infiltração

A umidade de infiltração é a que ocorre em maior frequência e representa 60% a 70% dos problemas de umidade.

A penetração de água pelas fachadas está associada a dois fatores climáticos: chuva e vento. Sem o vento, a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as paredes de um edifício; e além disso, haveria pouca ou nenhuma diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício.

O material utilizado no revestimento das paredes de fechamento, como também em elementos estruturais, também são de extrema importância. Pois ao se aplicar um revestimento de qualidade inferior, estará submetendo a estrutura ao tempo. Como o material utilizado na maioria dos casos tem capacidade de absorver a umidade existente no ar, devido a chuvas, ventos, diferenças de temperatura e pressão, o material deve ser impermeável, o que dará um tempo de vida maior a construção. A Figura 3.11 exemplifica bem esta situação.



Figura 3.11 – Descolamento do revestimento devido às águas projetadas pelas chuvas

Entre os fatores climáticos que influenciam a penetração de água de chuva através das fachadas devido a fissuras, trincas ou aberturas executadas de forma incorreta, ou até mesmo através da cobertura, os mais importantes são:

- precipitação (chuva que cai no plano horizontal);
- vento, cuja orientação e velocidade contribuem para definir a incidência da chuva nas paredes dos edifícios, repercutindo numa maior ou menor possibilidade de penetração de água de chuva, ao mesmo tempo que influencia a secagem dos elementos de construção;

- a umidade relativa do ar, que condiciona o umidecimento ou a secagem dos materiais.

A força que acontece nos capilares, que é a força de sucção, causa aparecimento da água nas superfícies internas das paredes expostas aos ventos fortes que exercem força horizontal e de baixo para cima, trazendo, conseqüentemente, graves problemas nas paredes altas das edificações. Deve-se lembrar que a água penetra nos poros, nas fissuras, nas saliências e prossegue, por capilaridade o seu caminho.

A velocidade do vento corresponde às seguintes pressões hidrostáticas:

Tabela 3.1 – Velocidade do vento

Velocidade do vento em Km/h	Pressão horiz. exercida em g/cm ² no mesmo tempo	Velocidade do vento em Km/h	Pressão horiz. Exercida em g/cm ² no mesmo tempo
16	0,140	80	3,585
32	0,585	96	5,237
48	1,335	112	7,030
64	2,319	128	9,139

FONTE: Livro "DAMPNESS IN BUILDINGS" de R.T. GRATWICK
Publicado por CROSLEY LOCKWOOD & son Ltda. – Londres.

3.2 – Formas de penetração da umidade na construção

Existem várias formas de penetração da umidade em uma construção. Os pontos mais comuns geralmente são onde existem falhas de construção ou erros na execução do projeto por falta de acompanhamento dos profissionais e mão-de-obra não qualificada.

Os pontos por onde a umidade pode entrar são:

- Telhados e coberturas planas;
- Terraços e áreas descobertas (Figura 3.12)
- Calhas de escoamento das águas pluviais
- Caixas d'água, piscinas e tubulações hidráulicas;
- Pisos molhados, como banheiros e áreas de serviço;
- Paredes pelas quais a água escorre e recebem chuva e vento, jardineiras, e jardineiras de fachadas;
- Esquadrias e peitoris das janelas;
- Soleiras de portas que abrem para fora;
- Água contida no terreno, que sobe por capilaridade, ou se infiltra em subsolos, abaixo do nível freático, etc.



Figura 3.12a – Cobertura plana facilitando a penetração de umidade

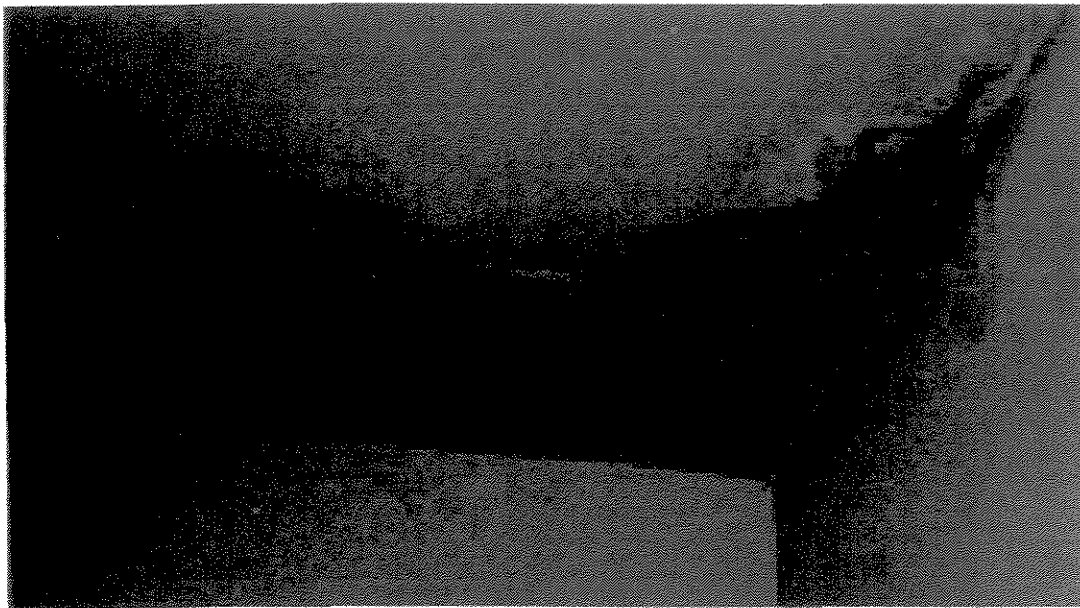


Figura 3.12b – Mancha negra provocada no teto devido à cobertura plana

Além das formas de penetração da umidade, tem-se também os caminhos essenciais por onde a água pode penetrar, que são:

- a) por trincas e rachaduras (Figura 3.13)
- b) pelos poros dos materiais;
- c) por falhas do material: brocas, ninhos no concreto e fendas junta às ferragens;
- d) por falta de arremate adequado acima do nível do perímetro da área plana;
- e) pelo lado externo do paramento que confina as áreas planas.

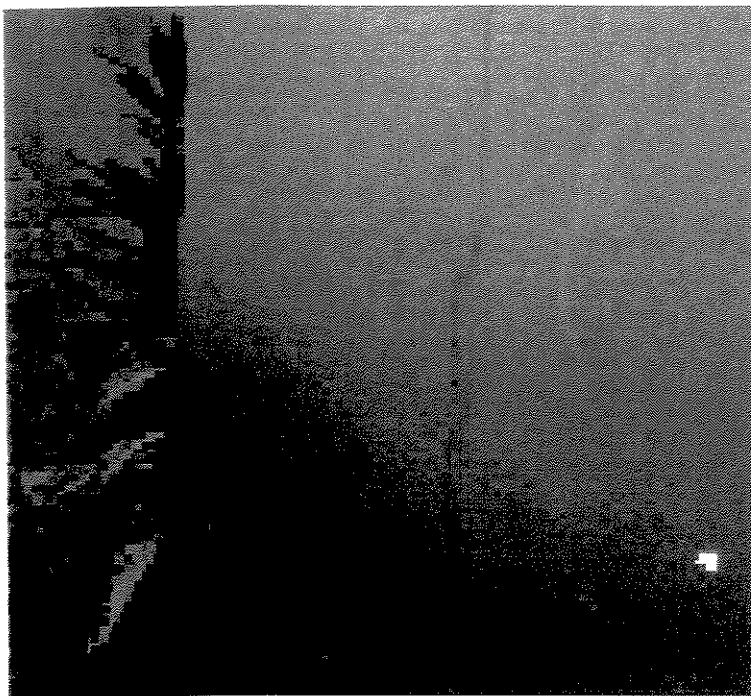


Figura 3.13 – Trinca facilitando a penetração de água

Não existe produto ou processo milagroso que vá corrigir omissões e erros de projetos e planejamento. Os problemas a serem resolvidos são, de modo geral, de bom senso, muito mais do que de engenharia.

Talvez o fenômeno físico mais importante a não perder de vista é o que diz respeito à movimentação das estruturas, pela influência da movimentação das estruturas, pela influência da variação da temperatura e da complexidade da interação dos materiais diversos de uma construção.

De fato, nada é rígido e imutável na construção (CUNHA, Aimar G., 1979).

Deve-se levar em consideração que todo projeto, sendo ele bem executado ou não, deve ter previsão para execução de projetos de impermeabilização, pois os materiais utilizados na construção civil não são totalmente estanques.

Existem dois fatores importantes que devem ser levados em consideração:

- A atuação da água sobre o elemento da construção;
- O comportamento físico do elemento da construção;

1- Classificação de acordo com a atuação da água sobre o elemento da construção:

- Água de percolação – é a que atua em terraços e coberturas, empenas e fachadas, onde existe livre escoamento, sem exercer pressão hidrostática sobre os elementos da construção;
- Água com pressão – é a que atua em subsolos, caixas d'água, piscinas, exercendo força hidrostática;
- Umidade por capilaridade – é a ação da água sobre os elementos da construção que estão em contato com bases alagadas ou solo úmido. A água é absorvida e transportada pela ação da capilaridade dos materiais porosos até acima do nível estático.

2 – Classificação quanto ao comportamento físico do elemento da construção:

- 1 - Elementos da construção onde normalmente se prevê a ocorrência de trincas – são as partes da obra sujeitas a alterações dimensionais provenientes do aquecimento e do esfriamento, ou a recalques e movimentos estruturais, como as lajes contínuas passando sobre vigas, marquises em balanços, etc;
- 2 Elementos da construção não sujeitos a fissuramentos e trincas – são as partes da obra com carga estabilizada, em condições de temperatura relativamente constante (como acontece geralmente em subsolos ou onde o concreto permaneça em compressão). Não obstante esta generalização, trincas e falhas no concreto podem ocorrer por contração durante o processo de cura, deficiências de execução devido a falhas no lançamento do concreto e granulometria dos agregados, acomodação do terreno, abalos causados por obras vizinhas, passagem de veículos pesados, e terremotos.

3.3 - Mecanismos de fixação da umidade em meios porosos

Os mecanismos de fixação da umidade estão ligados ao tipo de porosidade do material. Denomina-se porosidade a propriedade dos materiais apresentarem espaços vazios distribuídos de forma homogênea, ou não, pelo seu interior. A porosidade está classificada em: porosidade aberta e porosidade fechada. Na primeira delas, os poros existentes nos materiais permitem o acesso de moléculas de água, ou seja, os diâmetros dos canais no seio do material devem ser maiores do que $0,28 \times 10^{-9}$ m, e, para que haja deslocamento de umidade nos materiais. Neste caso é necessário que a geometria da rede de canais e espaços vazios existentes interligue os poros. Quanto à porosidade fechada, pode-se dizer que os canais capilares existentes nos materiais não são acessíveis as moléculas de água, pois seus diâmetros são inferiores a $0,28 \times 10^{-9}$ m e a rede de canais e espaços vazios não são interligados (ARY PEREZ, 1986).

A maioria dos materiais de construção possuem porosidade do tipo aberta, que permite a fixação de umidade líquida e gasosa em seus poros. A fixação de umidade em meios porosos resulta da ação aproximadamente conjunta de três mecanismos físicos: adsorção, condensação e capilaridade.

- Adsorção é a forma pela qual um material poroso aumenta seu peso devido a uma variação de umidade relativa.
- Condensação ocorre devido a um esfriamento no ambiente adjacente à face impermeável, de modo a se criar um regime estacionário caracterizado por uma variação de temperatura.
- Capilaridade é a propriedade dos materiais porosos de absorverem e transportarem água através de sua rede de capilares.

3.4 - Mecanismos de transferência de umidade

A atuação de forças no interior de determinados materiais faz com que a umidade neles existente se desloque. Dentre essas forças tem-se o transporte de vapor de água que divide-se em difusão e convecção. E o transporte de água, dividido em capilaridade, gravidade e pressões externas.

3.4.1-Transporte de vapor por difusão

O transporte de vapor por difusão resulta da diferença de concentração de vapor que existe entre dois ambientes, fazendo com que as moléculas de vapor de água do ambiente que apresenta maior concentração se dispersem no ambiente de menor concentração até atingir o equilíbrio (ARY PEREZ, 1986). A Lei de Fick é que governa este fenômeno, tendo o mesmo significado que a Lei de Fourier para transporte de calor. A Lei de Newton para a transferência de quantidade de movimento é expressa da seguinte forma:

$$\frac{m}{t} = \frac{DA\Delta\rho}{\ell} \quad (\text{kg/s}) \quad (3.1)$$

onde:

$\frac{m}{t}$ = massa (kg) difundida por segundo

A = área da seção de difusão (m²)

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

$\Delta\rho$ =diferença de densidades (Kg m^{-3})

ℓ =comprimento considerado onde ocorre difusão (m)

ou

$$q_{m,a}^{\rightarrow} = -D\nabla_M \quad (\text{kg/s}) \quad (3.2)$$

onde:

$q_{m,a}^{\rightarrow}$ = densidade de fluxo molar de qualquer um dos gases (massa por segundo)

∇_M = gradiente de concentração dos gases

D =constante para a substância considerada, também chamado de coeficiente de difusão molecular (m^2s^{-1})

3.4.2 - Transporte de vapor por convecção

O transporte de vapor de água no processo de convecção ocorre devido à ação combinada do fenômeno de calor e do transporte mecânico do vapor. Esse transporte se deve às diferenças de temperatura dentro dos materiais ou dos elementos da construção.

3.4.3 - Transporte de água por capilaridade

O transporte de água por capilaridade é a consequência direta das forças de aspiração nos materiais hidrófilos (materiais cujas forças de atração que existem entre as moléculas de água e as paredes dos poros são grande). Essas forças são chamadas de pressões capilares (P_c), que resultam da ação combinada da tensão superficial da água e forças de adsorção das moléculas pelos poros, obedecendo a Lei de Kelvin:

$$P_c = \pm 4\sigma \cos \frac{\theta}{d} \quad (3.3)$$

No caso do transporte de água por capilaridade pode-se utilizar a equação que segue:

$$q_m = \delta W \text{ gradiente } (P_c) \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad (3.4)$$

onde:

q_m = densidade do fluxo de água

δW = coeficiente de condução de água (s)

P_c = pressão capilar (N/m^2)

3.4.4 - Transporte de água por gravidade e sob influência de pressões externas

Ocorre devido a ação da gravidade e de pressões externas, que podem transportar água do exterior para o interior do material. Isto se dá em materiais que possuem poros grandes, fendas ou juntas, cujo efeito da capilaridade é pequeno.

Quanto à permeabilidade, pode-se dizer que é a propriedade que um determinado material tem ao ser atravessado por um fluido sob ação de um gradiente de pressão.

3.5 – Efeitos da umidade na construção

Os efeitos da umidade na construção podem apresentar-se das seguintes formas:

- Proliferação de colônias de fungos e bactérias que causam danos a saúde;
- Degradação das fachadas, envelhecendo prematuramente a construção (Figura 3.14);
- Danos a estrutura, ocasionando corrosão das ferragens, que ao aumentar seu tamanho em até oito vezes, pressiona o concreto que protege a ferragem até descolar e a deixar aparente;
- Surgimento de arbustos nas fachadas, telhados, pilares, calhas, etc (Figura 3.15);
- Descolamento das argamassas de revestimento, deixando a alvenaria aparente que vai se deteriorar ainda mais com as águas projetadas pela chuva e pela ação dos ventos;



Figura 3.14- Envelhecimento precoce

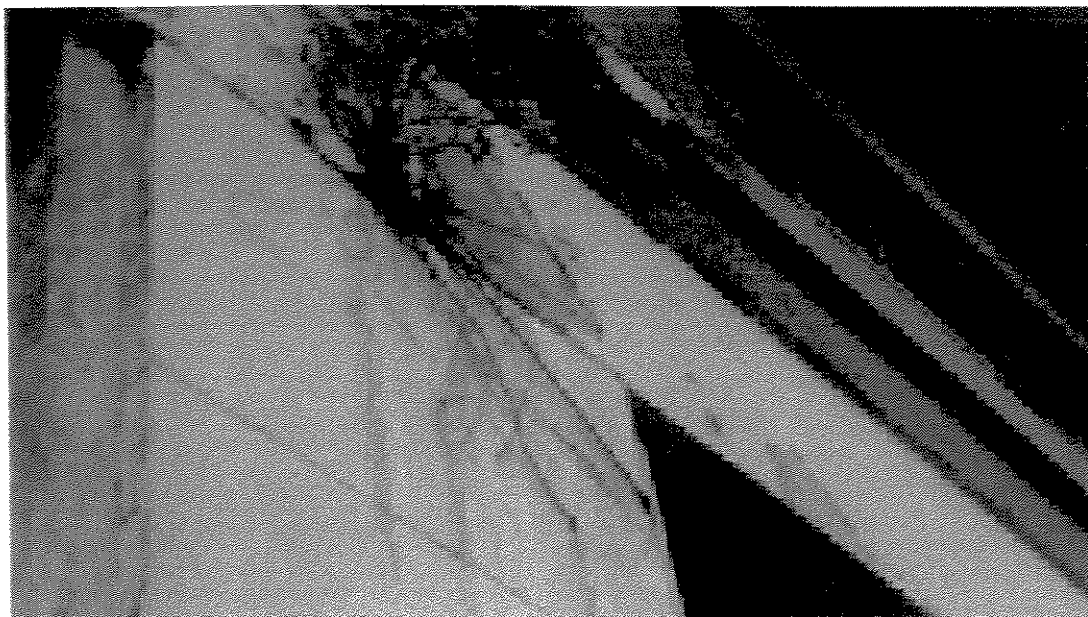


Figura 3.15 – Surgimento de arbustos na fachada

3.6 – Efeitos da umidade e da temperatura no concreto

Nos projetos para estruturas de concreto armado é preciso levar em consideração os efeitos da temperatura, da umidade e da água sobre a estrutura.

As variações de temperatura provocam dilatações e contrações amplamente conhecidas, mas muitas vezes esquecidas.

Menos conhecido ainda é o efeito da variação de umidade sobre a estabilidade dimensional de uma estrutura. Entretanto, não se deve esquecer das alterações dimensionais, que muitas vezes são oriundas das variações da umidade. As estruturas sofrem também danos causados pela água, com os quais os engenheiros estão bem familiarizados. Conforme a composição química da água e sua atuação, as estruturas podem ser agredidas e delapidadas, as ferragens podem enferrujar-se e levar a estrutura a uma erosão caótica ou ao colapso total.

Essas afirmações são verdadeiras e são comprovadas pela crescente atividade e desenvolvimento das empresas especializadas na recuperação de estruturas de concreto, principalmente pontes, viadutos, estádios e obras públicas em geral, que não receberam a atenção de uma conservação preventiva. Como é mais econômico prevenir do que consertar, recomenda-se que as diferentes partes de uma estruturas sejam estudadas com o objetivo de dotá-las da proteção necessária contra a agressão do meio ambiente e para que possam acomodar-se às dilatações e contrações a que serão submetidas.

Os efeitos da umidade e da temperatura sobre o concreto estão divididos da seguinte forma:

- Movimento devido à umidade;
- Movimento devido à temperatura;

3.6.1 – Movimento devido à umidade

- a) O concreto mudará sempre de volume, devido à variação da umidade contida nele;
- b) Haverá contração, devida à hidratação do cimento ao curar. Inicialmente o concreto é submetido a grandes esforços, que devem ser eliminados com a instalação de juntas. Uma vez ocorrida esta contração inicial, o concreto não recuperará sua posição inicial e pode-se assegurar que a contração continuará com intensidade decrescente, por um certo período depois da construção.
- c) Uma vez o concreto endurecido, suas variações são devidas à mudança de umidade, conforme as estações do ano. As variações podem alcançar até 3,80 mm em uma laje de 30 metros, exposta às condições atmosféricas. Porém, nos casos citados, o movimento varia conforme o conteúdo do cimento e a relação deste com a água.

3.6.2 – Movimento devido à temperatura

- a) O coeficiente médio de dilatação do concreto é de 14×10^{-6} Kgf/cm² por 1°C, porém este coeficiente varia conforme a quantidade do concreto, que também é influenciado pelo tipo e origem do agregado utilizado. Os compostos de sílicas dão valores elevados e os de pedra calcária, baixos. É sabido que o movimento térmico devido ao sol, nas estruturas expostas a ele, pode ser de até 10,16 mm, numa laje de 30 metros.
- b) O comprimento das lajes tem singular importância, devido às mudanças de temperatura e à diferente natureza das variações, e da diferença de temperatura entre

a parte superior e parte inferior das lajes, criando ou produzindo-se esforços de flexão nos extremos e, sobretudo, nos cantos. Os diferentes movimentos fazem com que as lajes se arqueiem. Os fenômenos de movimento devido à temperatura podem ser vistos facilmente nos extremos das peças de concreto, onde haja uma acentuada diferença de temperatura, como sucede nas lajes de cobertura de um grande edifício que estejam presas por meio de pilastras.

- c) Quando o concreto é submetido a uma carga forte e prolongada, podem ocorrer deformações plásticas, ao tratar de livrar-se do esforço a que foi submetido. A dilatação devida ao aumento da temperatura opõe-se, às vezes, à contração devida à perda de umidade, o que provoca grandes tensões na estrutura, e a deformação plástica do concreto.

3.7 - Tipos de tratamento contra a umidade

Na maioria das lesões que se produzem nos edifícios, não resta outra reparação senão eliminar a causa que as provoca, já que refazer a obra afetada e esperar que volte a danificar-se como antes é perder tempo.

Deve-se sempre procurar averiguar as causas da umidade caso por caso para, uma vez averiguadas, poder eliminar a origem do problema.

A Tabela 3.2 mostra um diagnóstico para cada tipo de material utilizado em uma construção.

Tabela 3.2 - Diagnóstico para cada tipo de material utilizado em uma construção.

SUPERFÍCIE	EFEITO OBSERVADO	CAUSAS	PRODUTOS PRESENTES NA ÁGUA
Todos os materiais poros impermeáveis	Mancha cristalina branca	Afloramentos	Sais solúveis
Tintas	Descoloração, manchas de óleo, superfície pegajosa. Manchas coloridas (frequentemente algo pro-Tuberante) Bolhas, escamas	Ataques básicos Mofos Tensão de vapor e cristalização de sais solúveis	Sais básicos e cal Matéria orgânica Sais solúveis (por vezes)
Gesso	Expansão de bolhas	Hidratação prolongada	Sais solúveis (aceleradores)
Argamassa	Expansão; manchas brancas. Fissuração	Ataque de sulfatos Expansão por umidade, e fissuração por retração	Sulfatos solúveis Nenhum
Revestimentos do Solo	Rotura da aderência dos revestimentos impermeáveis. Putrefação do linóleo ou produto análogo	Debilitação da cola Ataque de fungos	Nenhum Esporos
Madeiras e faces orgânicas	Torceduras ou enfolamentos Putrefação Separação das lâminas do contrapiso	Mudanças de umidade Ataque de fungos Debilitação da cola e mudanças de umidade	Nenhum Esporos Nenhum
Metais	Corrosão	Ataques químicos	Ar, sais (cloretos ácidos: cal (para chumbo e alumínio)
Metais impermeabilizantes	Bolhas	Pressão de vapores	Nenhum

Fonte: Building Research Station Digest, nº33

Os tipos de tratamento contra a umidade podem ser divididos em:

1. Secagem natural:

- Secagem com utilização de canais para ventilação natural
- Secagem com utilização de sifões atmosféricos (Sistema Knapen)

2. Secagem artificial:

- Secagem por eletrosmose

3 Forma de prevenção contra a umidade

- Barreira de vapor

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

4 – Secagem Natural

No caso do processo de secagem natural, não existe outro remédio senão deixar que a obra seque bem antes de executar os acabamentos. Mas para isso é preciso terminar a estrutura antes do verão, e assim deixar que a obra seque bem durante os meses mais quentes, para assim poder finalizar a obra.

Devemos levar em conta que a secagem de um material depende, em alto grau, das condições climáticas do local (temperatura, umidade, pressão, velocidade do vento) e da textura do material, particularmente dos seus poros, que conduzem a umidade até à superfície de evaporação.

Para uma parede homogênea com espessura e , pode admitir-se como duração de secagem o valor:

$$T = s.e^2 \quad (4.1)$$

onde:

e = espessura em centímetros

T = duração da secagem em dias

s = coeficiente característico do material da parede

A fórmula dada acima, só é válida em condições particulares (para umidade de 70% e velocidade do vento inferior a 0,1 m/s), pelo que representa valores exercidos que só devem ser tomados em sentido comparativo (FREDERICO ULSAMER, 1975)

A tabela (4.1) mostra as constantes de secagem para diferentes materiais.

Tabela (4.1) – Constantes de secagem

MATERIAIS	s
Concreto dosificado de 250 kg/m ³	1,60
Concreto celular	1,20
Tijolo	0,28
Pedra calcária	1,20
Cortiça	0,14
Argamassa de cal	0,25
Argamassa de cimento	2,50
Madeira de pinho	0,90

Fonte: A Humidade na Construção Civil (FREDERICO ULSAMER, 1975)

4.1.1 – Secagem por ventilação

Neste processo procura-se expor a superfície úmida ao ar e ao vento, fazendo-se assim evaporar a água. Este processo é ideal para remover umidade de condensação. Pode ser feito de diversas formas.

Na Figura 4.1 cria-se um colchão de ar entre o terreno e a base de uma parede, impedindo assim que a água chegue aos tijolos. Na Figura 4.2 temos o mesmo colchão de ar com o emprego de meias manilhas. Na Figura 4.3 temos uma barreira anticapilar, onde, ao encontrar uma camada com grandes pedras, a umidade não tem mais os canais capilares para passar e então

acaba por evaporar-se. Na Figura 4.4 o colchão de ar fica entre o forro e a laje de cobertura; a secagem é feita pela renovação constante do ar do colchão (ENIO J. VERÇOSA, 1985).

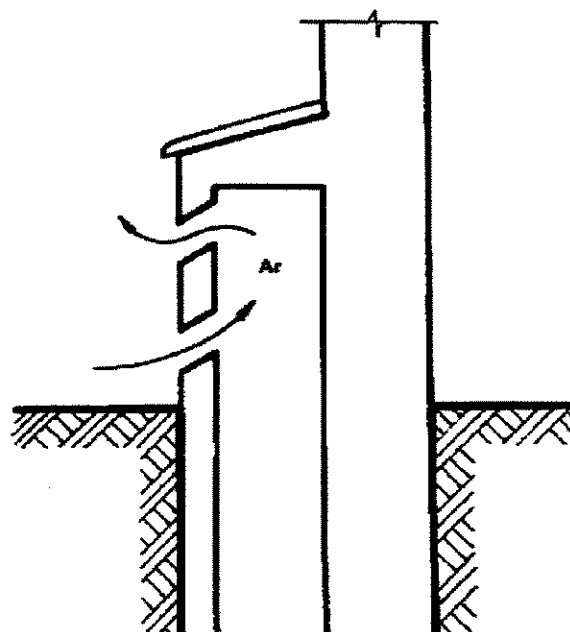


Figura 4.1 – Colchão de ar entre o terreno e a base da parede

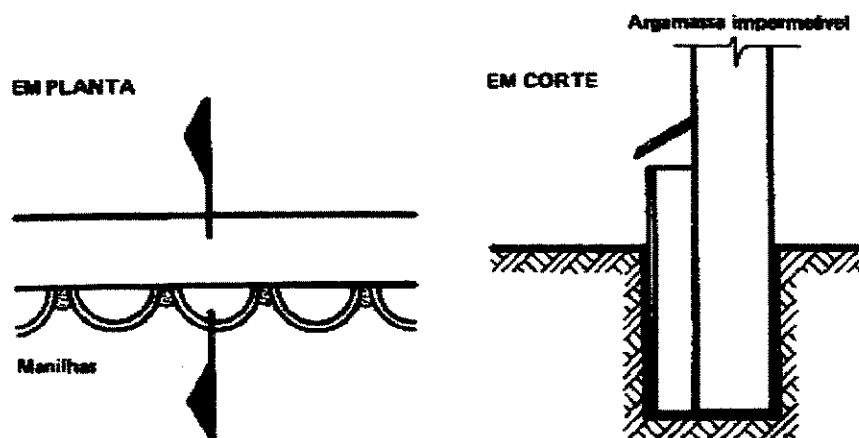


Figura 4.2 – Colchão de ar entre o terreno e a base da parede, com a utilização de meias manilhas

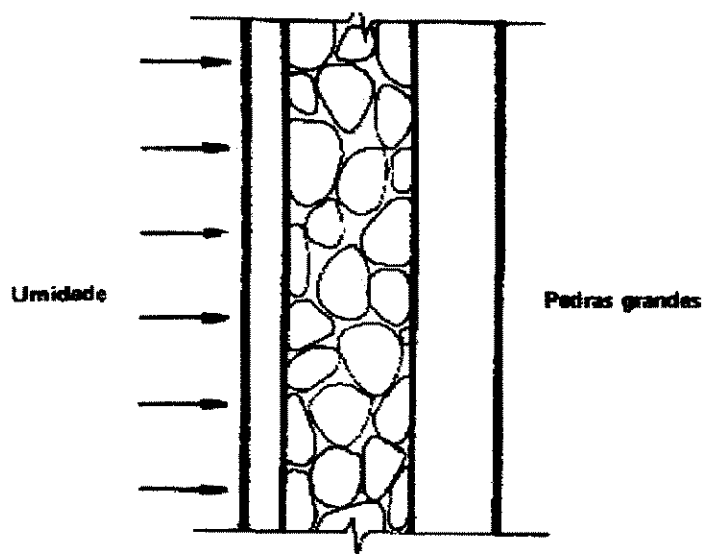


Figura 4.3 – Barreira anticapilar

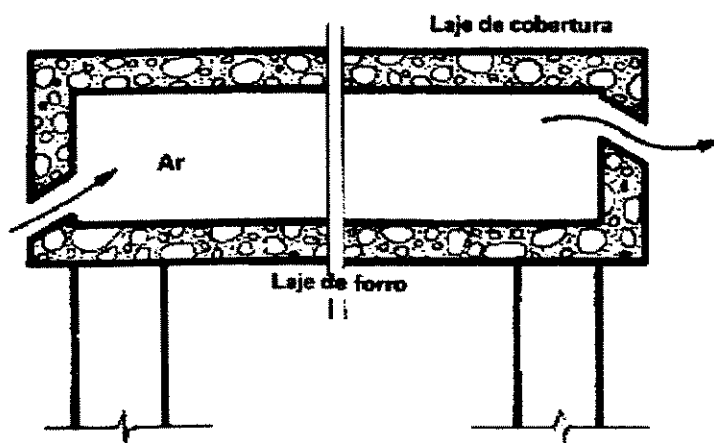


Figura 4.4 – Colchão de ar entre o forro e a laje de cobertura

Uma outra solução para resolver problemas de umidade de condensação é fazer com que o ar circule dentro do ambiente. Como os gases estáticos existentes dentro de um determinado ambiente se superpõem, para se obter uma aeração racional se aproveita a tensão dos gases leves sobre o teto e a pressão dos pesados sobre o solo, com o fim de move-los horizontalmente para assim dar saída à altura de sua densidade, e descer, os leves na parte alta e os pesados na parte baixa, renovando-os para a zona de pressão intermediária. A Figura 4.5 mostra a circulação do ar dentro de um ambiente.

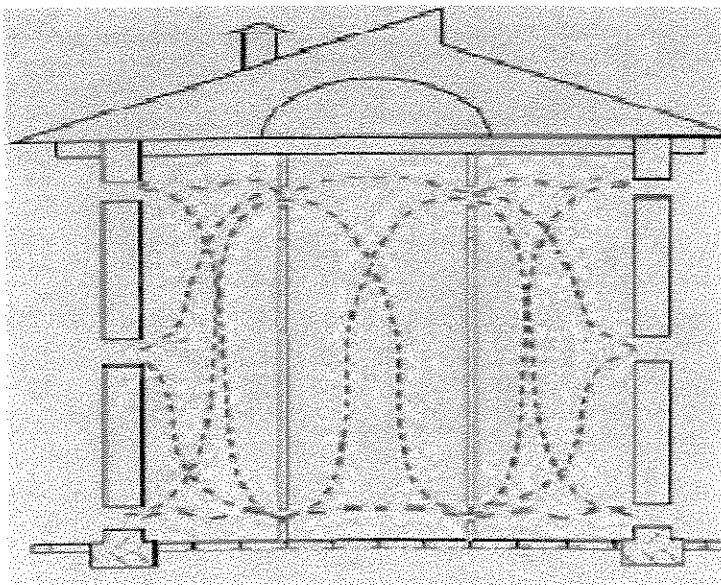


Figura 4.5 – Circulação de ar como solução para umidade de condensação

Normalmente, quanto maior o número de ocupantes, mais abundante será a decomposição dos gases, maior resultará a tensão dos gases leves sobre o teto e a pressão dos gases pesados sobre o solo.

4.1.2 – Secagem com utilização de sifões atmosféricos (sistema Knapen)

Os sifões atmosféricos são tubos cerâmicos de forma especial, com um canal exterior estriado longitudinalmente de uns 30 mm de diâmetro. São colocados em furos feitos nos muros, em sentido perpendicular aos paramentos, utilizando uma argamassa especial porosa. Os sifões nunca devem ultrapassar a espessura dos paramentos, como mostra a figura 4.6.

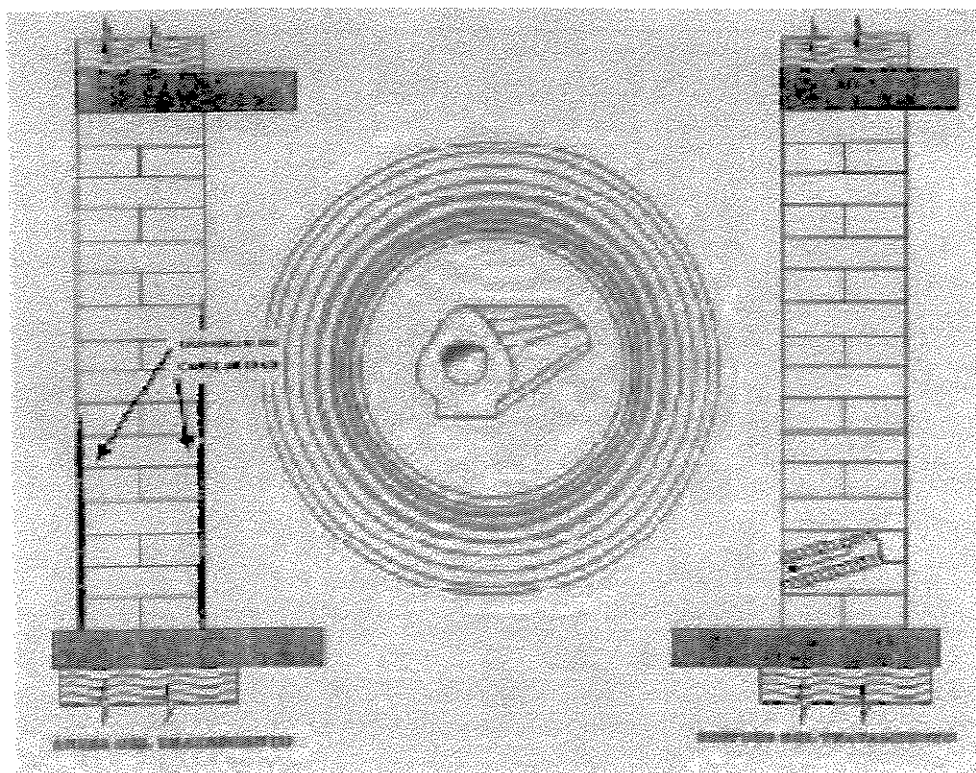


Figura 4.6 – Colocação dos sifões atmosféricos

Os sifões, por sua forma, atraindo a umidade do muro, que se condensa na superfície interior do canal. A umidade líquida busca evaporação, e para obtê-la necessita de calor, absorvendo o ar contido no canal, e ao esfriar-se este ar, sua densidade é aumentada, “desliza” sobre a parede e cai para o exterior, levando consigo a umidade gasosa, produto da evaporação. Se produz assim um movimento de ar contínuo, cuja força motriz reside na própria umidade.

Cada sifão estende sua ação a uma zona cuja amplitude depende de vários fatores, sendo o diâmetro médio de 30 cm aproximadamente. Basta, pois, que a zona de influência de sucessivos sifões, resultem entre si para obter uma barreira contínua de evaporação. Os sifões são colocados o mais próxima possível do solo.

As figuras 4.7 e 4.8 mostram um exemplo de tratamento com sifões atmosféricos, que após a secagem, os muros retomam sua densidade, textura e elasticidade primitiva. Os paramentos admitem então rebocos e pinturas ou qualquer restauração.



Figura 4.7 – Antes do tratamento



Figura 4.8 – Depois do tratamento

5 – Secagem artificial

5.1 – Secagem por eletroosmose

O tratamento eletroosmótico teve início na Suíça em 1937, após experiências na Escola Superior Politécnica de Zurique.

Trata-se de propriedades elétricas do solo e da tensão que se produz espontaneamente entre a construção úmida de tijolo, e o solo também úmido. A tensão gerada entre a construção e o solo úmido, pode chegar a medir 600 a 700 milivolts, medidos entre dois bornes metálicos, um introduzido na construção de tijolo úmido e o outro no solo, como mostra a Figura 5.1. O campo elétrico natural que é gerado devido a diferença de potencial entre os bornes, soma-se às forças de capilaridade e à bombagem devido à evaporação superficial, que favorecem a subida da umidade no interior da construção (FREDERICO ULSAMER, 1975).

Uma corrente é originada devido a diferença de potencial entre a zona úmida e a zona seca de uma parede. É justamente a umidade da parede que serve de condutor interno; assim, uma vez seca esta parede, a corrente deixará de existir. A este fenômeno se dá o nome de eletroosmose (ENIO J. VERÇOSA, 1986).

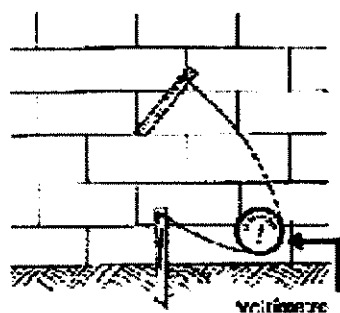


Figura 5.1 – Voltímetro de medição de corrente

A eletroosmose, na área de geotecnia, tem grande importância, devido a possibilidade de sua aplicação prática no transporte de água subterrânea, consolidação e secagem de solos (ROSANE MOTTA, 1994).

Um dos pioneiros na aplicação da eletroosmose, em geotecnia foi CASAGRANDE em 1941, que utilizou o processo eletroosmótico para estabilização de solo em Salzgitter, Alemanha, durante a construção de uma ferrovia, onde através da utilização de poços-eletrodos com 7,5 m de profundidade e com espaçamentos de 10m, passaram a ser retirados 60 m³/dia por poço após a aplicação de potencial elétrico de 180 volts e corrente de 19 ampéres/poço, cuja vazão correspondeu a 150 vezes à vazão de água original dos poços (ROSANE MOTTA, 1994).

Um outro exemplo mais recente é a proposta de utilização da eletroosmose como meio para consolidação do solo sob a Torre de Pisa, Itália, cuja inclinação já atinge 5,5° (MITCHELL, 1991). A Figura 5.2 mostra um croqui do projeto.

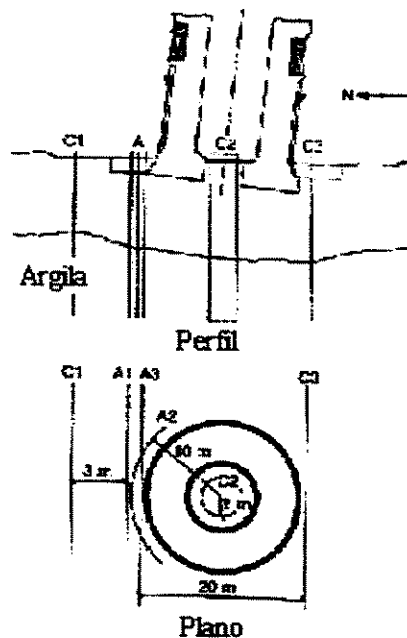


Figura 5.2 - Projeto para estabilização da Torre de Pisa, com utilização de eletroosmose

5.1.1 – Potencial Eletrocinético

O Professor REYSSE, da Universidade de Moscosvo, União Soviética, ao realizar experiências de eletrólise de Volta, observou que ao emergir dois eletrodos, ligados a uma pilha, em um recipiente com água, e ao interpor um diafragma poroso entre eles, a água começou a circular imediatamente, de um lado para o outro. O sentido e a intensidade da corrente de água, depende de:

1. material do diafragma;

2. composição química dos sais dissolvidos na água;
3. potencial que se der aos eletrodos;
4. temperatura e, por consequência, da viscosidade da água;
5. característica dielétrica da água (dependente também do ponto 2).

A explicação para este fenômeno, pode ser esquematizada criando-se um potencial na superfície ativa do diafragma poroso, que se for negativa faz com que , a camada de água em contato imediato adquira um potencial que permite que a carga da camada laminar “adira” de algum modo ao suporte sólido do diafragma enquanto que, alguns microns mais adiante deste último, permanecendo com carga de mesmo sinal, possa deslocar-se, arrastando o líquido para o cátodo.

Durante este microscópico movimento, a camada de difusão se renova sem cessar e se estabelece uma corrente polarizada, a uma velocidade constante.

A este potencial da camada de difusão que circula, se dá o nome de potencial eletrocinético.

Desde que os diafragmas sejam de construção argilosa, sílico-calcária ou cerâmica cozida, com exceção do gesso, quando entram em contato com água, adquirem um potencial espontâneo negativo e, em consequência disto, a camada de difusão que transporta uma carga positiva, movimenta-se em direção ao cátodo.

Conforme os estudos do Professor CHUCOV, membro da Academia de Ciências da União Soviética, tentou codificar de forma prática as propriedades eletrocinéticas dos sistemas capilares, tornando-se assim, a possibilidade de quase todos os materiais utilizados em construção, estarem contidos nesta codificação. Os materiais utilizados nestes ensaios, foram basicamente: tijolos sílicos-calcários e de escória, com concreto corrente, entre outros.

Para tornar possível a comparação dos resultados com tão diversos materiais, estes foram triturados e reaglomerados à base de grãos homogêneos. Deste modo, obtiveram-se capilaridades comparáveis entre os diversos materiais, que permitiu estabelecer a seguinte tabela:

Tabela 5.1 – Estudo comparativo do comportamento de diversos materiais perante a reação eletrosmótica.

	1	2	3	4	5	6	7
Tijolo Vermelho	40 a 190	260	34,0	20	15	Uniformemente	0,77
Tijolo Sílico-calcário			23,5	30	20		0,66
Pilares de concreto de escória			34,6	15	12		0,80
Arg. bastarda para const. em tijolo			53,0	12	20	até ao	1,60
Concreto comum			30,0	30	21		0,70
Arg. bastarda para rebocar			46,0	15	20		1,33
Estuque			43,0	16	18	catodo	1,10

FONTE: A Humidade na Construção Civil (FRDERICO ULSAMER, 1975)

Legenda:

1 – Dimensões do grão em microns

3 – Intensidade da corrente em miliampéres

5 – Comprimento do caminho (l) percorrido pelo menisco (em cm)

7 – Valor da reação eletrosmótica $J=1\text{ cm/lseg}$

2 – Tensão nos eletrodos (em volts)

4 – Tempo de deslocação (T) do menisco (em segundos)

6 – Sentido da deslocação do menisco líquido

Dentre os materiais citados acima na Tabela 5.1, a argamassa para construção de tijolo foi a que apareceu mais suscetível às funções eletrosmótica, porque será o caminho preferencial para o deslocamento molecular úmido (FREDERICO ULSAMER, 1975).

5.1.2 – Fenômenos Eletrocinéticos

Os efeitos eletrocinéticos são aqueles que envolvem campos elétricos e deslocamentos de fases. Sendo a eletrosmose uma espécie de fenômeno eletrocinético, estão relacionados abaixo os quatro tipos de fenômenos eletrocinéticos:

- Eletrosmose

- Eletroforese
- Potencial de Corrente
- Migração ou Potencial de Sedimentação

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

5.1.2.1 - Eletroosmose

Quando um potencial elétrico é aplicado em uma massa de solo úmida, cátions são atraídos para o cátodo e ânions para o ânodo, Figura 5.3a. Quando os íons migram, eles levam sua água de hidratação, exercendo assim, um arraste viscoso. Como existem mais cátions do que ânions em um solo contendo partículas carregadas negativamente, ocorre então um fluxo em direção ao cátodo. Este fluxo é chamado de eletroosmose, e sua magnitude depende do K_e , que é o coeficiente de condutividade hidráulica eletroosmótica e o gradiente de voltagem.

5.1.2.2 – Eletroforese

Se um determinado campo elétrico é colocado no outro lado de uma suspensão coloidal, partículas carregadas são atraídas eletrostaticamente para um dos eletrodos e repelidas do outro. As partículas carregadas negativamente movem-se em direção ao ânodo, conforme a Figura 5.3.b. Isto se chama Eletroforese. A Eletroforese envolve transporte separado de partículas através da água; a Eletroosmose envolve transporte de água através de uma cadeia contínua de partículas do solo.

5.1.2.3 – Potencial de Corrente

Quando o fluxo de água através do solo é produzido sob um gradiente hidráulico, Figura (5.3.c), as cargas existentes são deslocadas na direção do fluxo. O resultado é uma diferença de potencial elétrico, proporcional à taxa de fluxo hidráulico, chamado de Potencial de Corrente, entre as extremidades opostas da massa do solo.

5.1.2.4 – Migração ou Potencial de Sedimentação

O movimento de partículas carregadas, tal como argila dispersa em uma solução, durante sedimentação gravitacional, por exemplo, gera uma diferença de potencial, conforme mostra a Figura 5.3.d. Isto ocorre devido ao arraste viscoso da água que retarda o movimento da difusão da camada de cátions relativa às partículas.

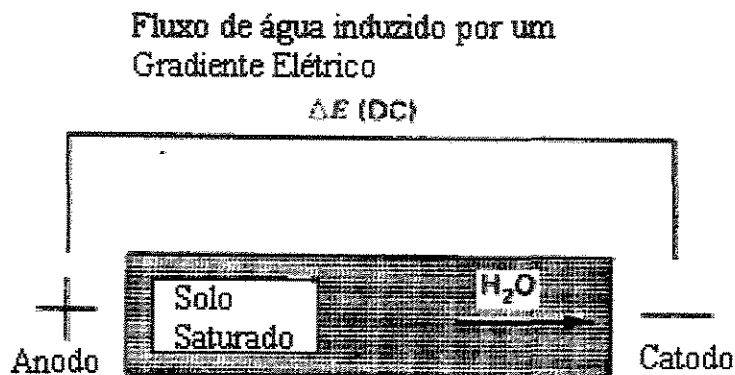


Figura 5.3a - Eletroosmose

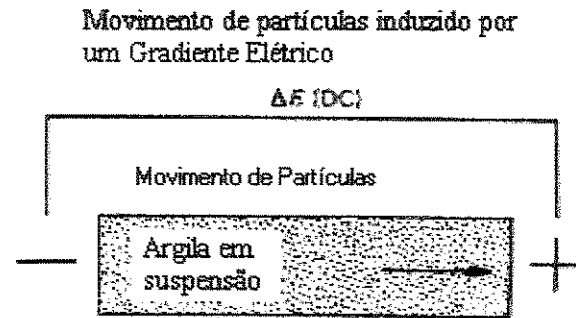


Figura 5.3b – Eletroforese

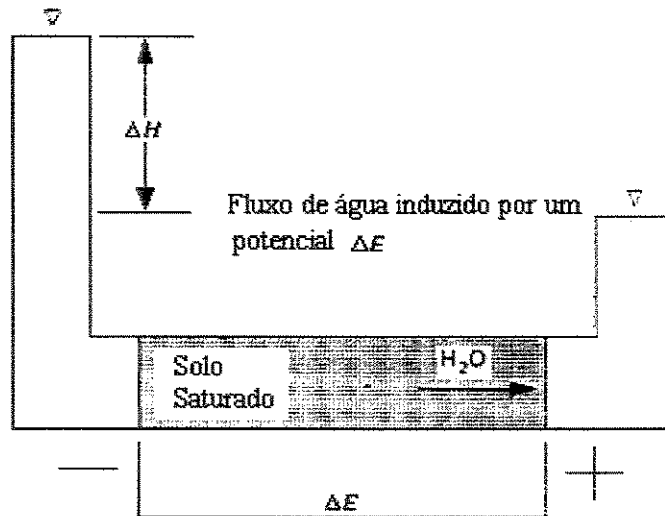


Figura 5.3c – Potencial de Corrente

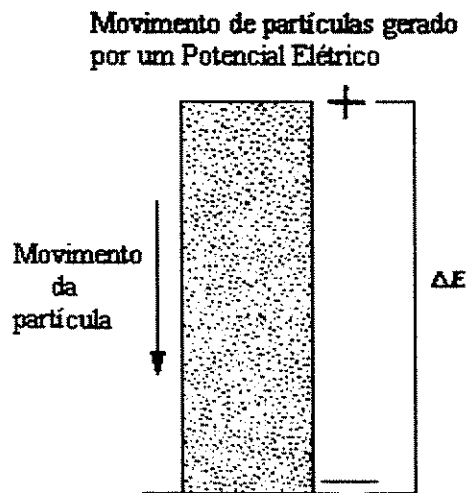


Figura 5.3d – Migração ou Potencial de Sedimentação

5.1.3 – Aplicação da eletroosmose

O processo eletroosmótico, consiste basicamente, na criação de uma diferença de potencial, obtida entre a parte seca e a úmida da construção. Esta diferença de potencial pode variar de 0,1 a 0,5 Volts.

Cravam-se os dispositivos de contato na construção, que são ligados entre si, através de condutores isolados, a tomadas de terra metálicas, como pode ser visto na Figura 5.4. A natureza dos eletrodos, a umidade e a alcalinidade da construção, a umidade do terreno e, se for o caso, a sua acidez, originam uma corrente elétrica, que no condutor vai no sentido construção-terra. Sob este efeito a água é repelida para a terra.



Figura 5.4 – Dispositivo de contato na construção ligado a tomada de terra

O material ideal para a aplicação do processo eletroosmótico são:

1. Dispositivos de contato para serem cravados na parede e ligados entre si através de um condutor também cravado na construção de tijolo;
2. Tomadas de terra compostas de cobre ou zinco utilizado nos dispositivos de contato, que são introduzidos na alvenaria, e no solo úmido, próximo do edifício a secar e ligados ao circuito geral.

Para cada edifício tratado, devemos considerar como um caso particular. Para tanto, devemos determinar para cada caso:

1. Altura, colocação e quantidade de dispositivos de contato;
2. Separação entre os bornes e profundidade da cravação na parede;
3. Número e colocação dos condutores que unem o conjunto de dispositivos de contato ao conjunto de tomadas de terra;
4. Distância da linha de tomadas de terra à parede e sua colocação no interior ou no exterior da construção;
5. Separação entre os bornes e profundidade das tomadas de terra.

Todo o funcionamento da instalação está condicionado à eleição dos valores mencionados, escolha muito delicada se considerar-se as tensões favoráveis que se medem em milivolts e que se tem de contrariar um sistema muito complexo de forças que elevam a água através da alvenaria. Cada projeto introduz elementos próprios do caso a tratar, e que se referem ao seguinte:

1. No solo: natureza, topografia, grau de umidade;
2. No edifício: natureza dos materiais, configuração, orientação, características elétricas;
3. Nos defeitos a corrigir e depois evitar: intensidade do prejuízo causado, importância e localização das zonas alcançadas, etc.

O controle do funcionamento do processo de secagem eletroosmótica deve ser feito com aparelhos que permitam avaliar, por um lado, a diferença de potencial entre o condutor geral colocado no interior da parede e nas tomadas de terra e, por outro lado, seja possível medir a condutibilidade elétrica da parede, que é feita com a passagem de uma determinada corrente entre dois pontos, sempre os mesmos, da parede. A variação da intensidade da corrente entre duas medições fornece a correspondente variação da resistência e, portanto, da umidade.

Estes controles demonstram que a intensidade da corrente varia com o grau de umidade das construções. Uma vez seca a parede, esta corrente cessa, e caso a umidade retorne, esta corrente volta a agir novamente.

Tirando-se proveito dessa diferença de potencial, podemos obter um mapa de isopotenciais, medindo essa diferença de potencial em vários pontos da parede.

A técnica de medição, consiste em colocar corretamente os eletrodos. Para isso devem ser feitas perfurações cilíndricas tão profundas quanto possível e com diâmetros de 15 mm a 16 mm. O comprimento desses eletrodos devem corresponder a $\frac{4}{5}$ ou $\frac{5}{6}$ da espessura da parede, deste modo não a ultrapassando. O preenchimento ao redor desses eletrodos deve ser feito com duas partes de cimento, três partes de argila, três partes de areia fina. A Figura 5.5 mostra um

mapa de isopotenciais, onde estão expressos os números em milivolts. Nota-se que os potenciais decrescem de baixo para cima.

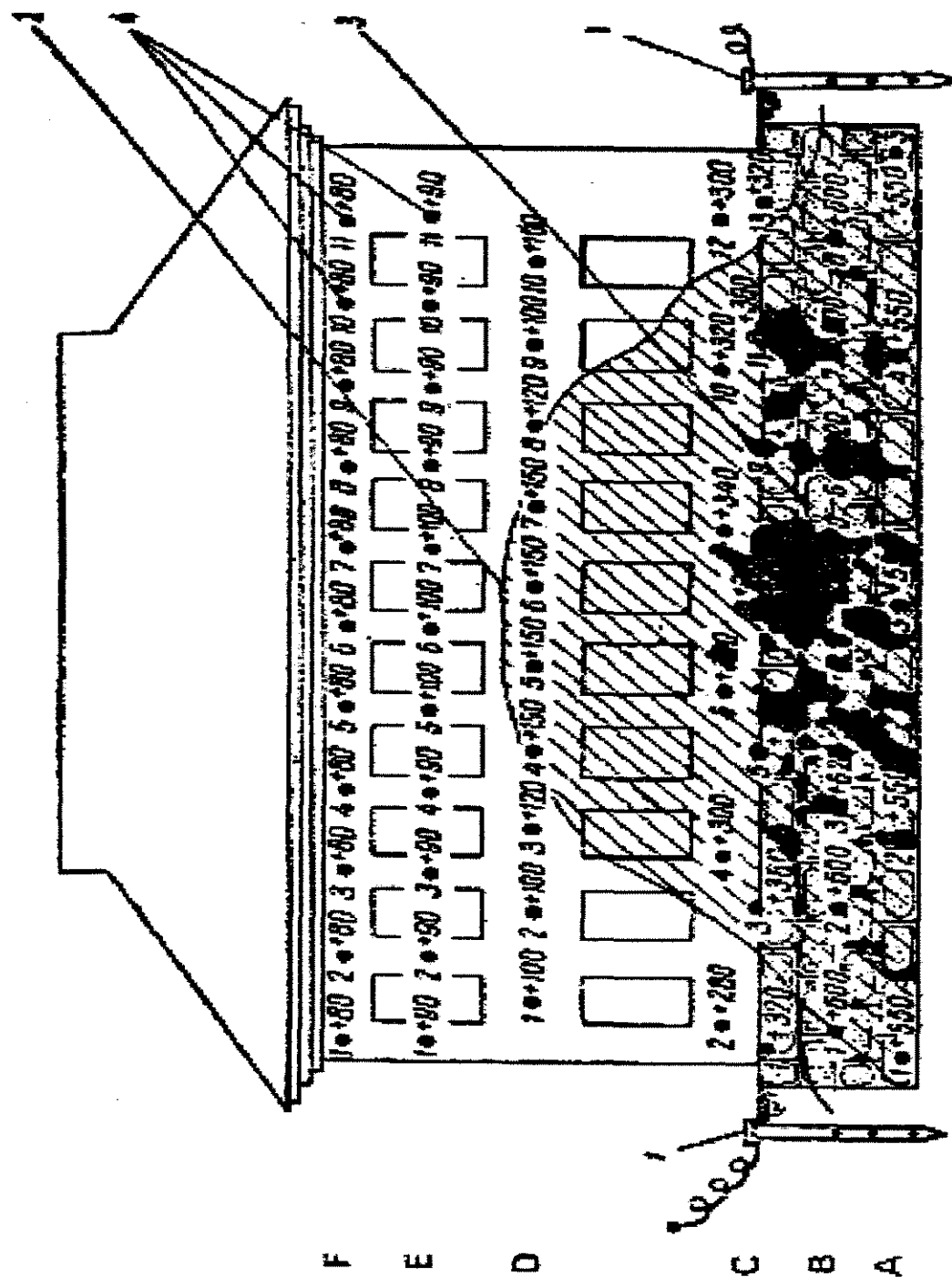


Figura 5.5 – Mapa de isopotenciais

Na figura anterior temos um amperivoltímetro, ligado a um eletrodo de cobre (4) cravado na fachada e com uma ligação à terra (1), permite medir o potencial elétrico e exprimi-lo em milivolts. As medições efetuadas nas zonas limítrofes assinaladas *A* e *F* revelam os limites alcançados pela umidade (2) e a zona mais úmida (3) que representa a zona de circulação ascendente mais ativa, pelo que a secagem se iniciará aos níveis *C* e *D*.

A Figura 5.6 mostra um modelo concreto de proteção passiva, isto é, sem a utilização de fonte exterior de corrente. Neste caso são feitos orifícios de cravamento a 15 cm ou 20 cm acima do limite visível da umidade ascendente, espaçados 40 cm a 50 cm; estes orifícios atingem 8 cm a 10 cm da face interior das paredes; se a zona úmida for superior a 1m, fazem-se duas filas de orifícios, em vez de uma só.

Fazem-se igualmente outros orifícios na parte inferior, a 15 cm ou 20 cm da base dos alicerces; umas espigas-eletrodos de cobre, com 12 mm de diâmetro, são cravadas e ligadas entre si, duas a duas, com fios de cobre isolados (de 2 cm² a 4 cm²).

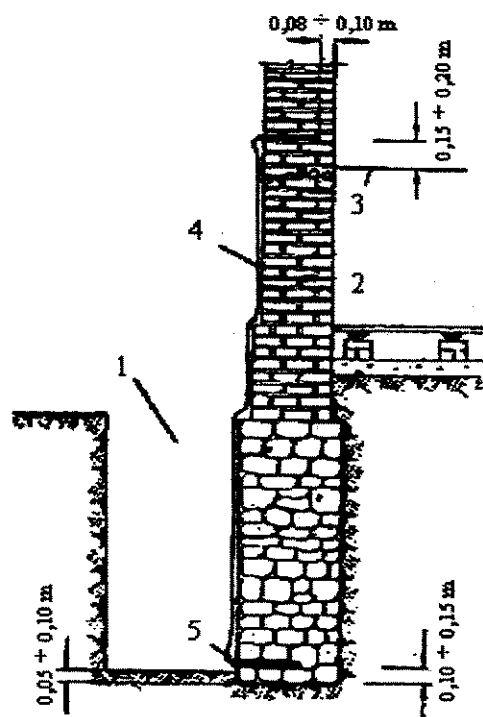


Figura 5.6 – Instalação eletrosmótica passiva

6 – Forma de prevenção contra a umidade

6.1 – Barreira de vapor

Para melhor compreensão do texto, é preciso antes recordar alguns conceitos:

a) Barreira de vapor

Membrana que impede a migração do vapor d'água.

b) Vapor d'água

Gás presente na atmosfera em quantidade variável, resultante da evaporação da água.

c) Umidade Relativa (UR)

Valor, expresso em percentual, da relação entre o peso verdadeiro do vapor d'água contido em 1m^3 de ar e o peso do vapor d'água contido em 1m^3 de ar saturado, nas mesmas condições de temperatura, ou seja: Peso verdadeiro do vapor d'água por m^3 de ar x 100, a dividir pelo peso do vapor d'água por m^3 de ar saturado.

d) Pressão do vapor d'água

Fração da pressão atmosférica, proporcional ao teor de vapor d'água (umidade relativa) expresso em kgf/cm^2 ou em coluna d'água ou em mercúrio.

e) Ponto de orvalho

Quando a temperatura de uma massa de ar começa a diminuir, aumenta a umidade relativa (UR), porque diminui a capacidade do ar de reter vapor d'água. Atingida e ultrapassada a temperatura que corresponde à saturação, o excesso de vapor condensa-se e precipita-se em forma de água (condensação). A umidade precipitada durante a noite, ao baixar a temperatura do ar, é chamada orvalho. A temperatura do ar na qual a umidade atinge a saturação é o ponto de orvalho.

6.2 – Efeitos do vapor d'água

O vapor d'água, por se encontrar em forma de gás, possui a característica de penetrar através de materiais porosos (permeáveis), como são quase todos os materiais empregados na construção.

A migração do vapor d'água através de uma parede está relacionada com a diferença entre a pressão de um lado da parede e a pressão do outro lado, e com a porosidade da parede. O teor efetivo do vapor d'água contido na atmosfera está relacionado com a temperatura.

Os valores da tabela seguinte dão uma idéia das variações que existem, tanto no peso como na pressão do vapor d'água:

Tabela 6.1 – Valores comparativos do Peso e da Pressão do vapor d'água

Temperatura °C	UR %	Vapor d'água (gramas) em 1 (hum)	Peso da água kg de ar seco	Pressão do Vapor 'água kgf/m ²
0	60	2		28
12	60	5		84
32	100	30,5		492
38	80	33		534

FONTE: Manual de Impermeabilização e Isolamento Térmico (CUNHA, 1979)

Comparando-se as condições 0°C, 60% UR com 38°C, 80% UR, verificamos que o peso da água da segunda condição é de 16,5 vezes maior do que o peso da água da primeira condição e a diferença de pressão é da ordem de $534 - 28 = 506 \text{ kgf/m}$.

Esta diferença de pressão impulsiona o gás (vapor d'água) através dos materiais porosos, no esforço de estabelecer o equilíbrio.

Na prática, o que provoca o desequilíbrio de temperatura e a conseqüente pressão do vapor d'água é, em nosso país, em um ambiente é a refrigeração dos ambientes. Tratando-se de simples ar condicionado, a diferença de temperatura não atinge valores significativos para merecer maiores cuidados, porém, nas instalações frigoríficas, é indispensável levar em conta esse fenômeno.

Sem a prevenção contra a migração do vapor d'água, surgem os seguintes problemas:

- a) em câmaras acima de 0°C, a umidade migra através das paredes e pode condensar-se no interior do material isolante térmico provocando a diminuição do efeito isolante.
- b) em câmaras abaixo de 0°C, o efeito acima descrito é agravado pela possibilidade da água condensada congelar-se no interior da parede ou material isolante. A água quando se congela, expande-se e com isso, acaba por arrebentar as paredes. Portanto, ao se construir um frigorífico ou ao se isolar termicamente vasos ou tubos refrigerados, é preciso evitar a migração do vapor d'água.

6.3 – Princípios básicos

A barreira de vapor é uma membrana que se intercala no caminho do vapor d'água para impedir sua passagem, devendo ser uma membrana estanque.

A migração do vapor através de um material é expressa nos seguintes termos:

a) Fator de resistência à difusão:

- Valor que expressa quantas vezes a resistência de um material é maior em comparação com uma camada de ar, de igual espessura, na mesma temperatura. Assim, um fator $u = 5$ significa que o material é 5 vezes mais resistente à difusão do que uma camada de ar parado, com igual espessura e temperatura.

b) A quantidade de água que passa por um material é medida nos seguintes valores:

- sistema métrico: g/mh mmHg
- unidades inglesa: $\text{grains in/sq. Ft. in Hg. h.}$

A determinação da transmissão de vapor d'água é feita conforme o método ASTM E 96-66, denominado "Water Vapour Transmission of Materials in Sheet Form" (Transmissão de vapor d'água de materiais em forma de mantas).

Distinguem-se três valores:

1. Transmissão de vapor d'água, expressa em g/24 hm^2
2. Permeância do vapor d'água, expressa em $\text{g/24 hm}^2 \text{ mm Hg}$ (metric perm) (espessura não definida).

3. Permeabilidade ao vapor d'água, expressa em $\text{g/cm}/24 \text{ hm}^2 \text{ mm Hg}$ (metric perm centimeter) (espessura das mantas definida em cm).

A Tabela 6.2 compara as densidade e os valores de μ para vários materiais.

Tabela 6.2 – Fator μ para materiais em estado seco

MATERIAL	Densidade kg/m ²	Fator μ
Materiais de construção	1.360	6,8
Tijolos (lajotas)	1.530-1.860	9,3-10
Telhas	1.880	37-43
Concreto	2.100	23
	2.300	30
Telha de fibra-cimento	1.920	51
Materiais isolantes		
Espuma de poliuretano (sem pele)	50	5,3
Espuma de poliuretano (styropor)	20	40-100
Fibra de madeira prensada	460	6,8
Cortiça expandida	149	infinito
Lã de vidro	100-300	1,17-1,27
Barreira de vapor		
Emulsão betuminosa com aplicação de asfalta quente		54.900-138.300
Feltro asfáltico		3.600-18.280
Papelão betuminado		11.620
Filme plástico 25g/m ² (0,25 mm)		32.600-65.000
Lâmina de alumínio 40g/m ²		infinito
Pintura de borracha clorada 0,1 mm		24.000-77.000
Mastique asfáltico-base solvente		98.000
Mastique asfáltico-base emulsão		4.434

FONTE: Manual de Impermeabilização e Isolamento térmico (CUNHA, 1979)

Para converter permeabilidade em fator de resistência multiplica-se:

$$\frac{1}{\mu} = g / cm / 24hm^2mmHg \times 0,1176 \quad (6.1)$$

Uma análise da Tabela 6.2 revela que somente uma lâmina metálica é completamente estanque. Depois vêm as camadas de produtos betuminosos (asfaltos) e os plásticos, porém já com relativa permeabilidade.

Na vida cotidiana é fácil reconhecer o fenômeno, observando-se o que acontece com alimentos colocados em invólucros de plásticos. Por exemplo: carne e queijo em sacos plásticos grossos, empacotados a vácuo, demoram muito para desidratar. Por outro lado, biscoitos mantidos em sacos plásticos finos absorvem a umidade do ar em pouco tempo, ficando murchos. Isto demonstra que a umidade migra através de um filme plástico fino. O filme grosso e a natureza do plástico do invólucro de carne ou de queijo oferecem mais resistência, atrasando a migração e conservando a umidade do produto por bastante tempo. Um material pode ser impermeável à água em estado líquido, porém não atuar como barreira de vapor.

Onde a água não passa, o vapor d'água pode passar. Na construção, as tintas vinílicas e algumas de silicone impedem a passagem da água e são laváveis, entretanto deixam a parede respirar, o que não acontece com o esmalte sintético ou a tinta à óleo.

6.4 – Barreira de vapor no isolamento térmico

A barreira de vapor no isolamento térmico é muito importante, se for levado em consideração o fato de que é feita para separar dois ambiente com temperaturas diferentes, com o intuito de diminuir a transmissão de calor.

Partindo da temperatura ambiente, temos as condições de isolamento contra calor, para temperaturas mais altas, e isolamento contra frio, para temperaturas mais baixas. O fenômeno é o mesmo, mas a mudança das condições altera os materiais e a técnica. O vapor d'água sempre migra do lado mais quente para o lado mais frio.

Para casos como câmara frigorífica construídas como mostra a Figura 6.1, analisando a parede, pode-se notar que em primeiro lugar, está a barreira de vapor em relação aos demais componentes. A barreira de vapor está ao lado do material isolante, para impedir a passagem ou diminuir a migração do vapor d'água para o material isolante.

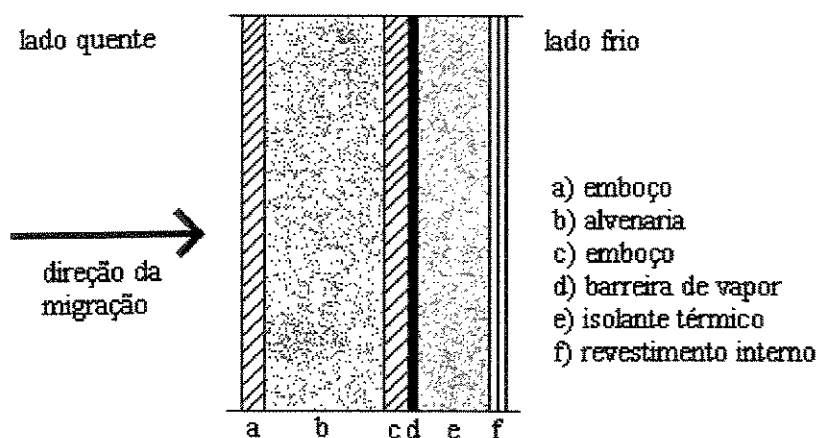


Figura 6.1 – Parede de câmara frigorífica

A barreira de vapor precisa ter absoluta continuidade em volta da câmara, não podendo sofrer interrupção em nenhum ponto.

Não se deve esquecer que a qualidade da barreira de vapor depende da natureza do revestimento interno (f), pois se o revestimento tiver permeabilidade, igual ou maior do que a do material isolante, é suficiente retardar a migração do vapor, uma vez que, quando este entrar no material isolante, encontrará vazão para dentro da câmara. É necessário, porém, que a umidade do ar no interior do isolante não venha a atingir o ponto de orvalho. Outro fator que deve ser levado em consideração é a temperatura interna, pois quanto mais baixa for a temperatura interna, maior será a pressão, e portanto mais estanque precisa ser a barreira de vapor (CUNHA, 1979).

7 – RESULTADOS

A execução do ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais do Instituto Militar de Engenharia, localizado no Rio de Janeiro.

Foram ensaiados 30 tijolos provenientes de 5 olarias da região de Campinas.

O ensaio proposto foi desenvolvido com base na norma técnica NBR-12118 (MB – 3459), que determina a absorção de água e teor de umidade de blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

A finalidade deste ensaio é determinar a absorção de água e teor de umidade de blocos cerâmicos maciços para alvenaria.

Conforme a norma utilizada, os amostras (tijolos cerâmicos maciços), foram pesados (Figura 7.1) ao serem recebidos no laboratório, sendo a massa anotada como m_3 (Tabela 7.1). Após a primeira pesagem foram tomadas as seguintes providências:

- a) levar as amostras a estufa à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas contados a partir do momento de início de elevação da temperatura (Figura 7.2);
- b) pesar cada amostra, anotar o valor encontrado e colocá-lo na estufa por 2 horas, tolerando-se, na operação de pesagem, que a amostra permaneça no máximo 10 min fora da estufa;

- c) repetir a operação descrita em (b) até que em duas pesagens sucessivas não se registre para a amostra diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa seca m_1 (Tabela 7.2).

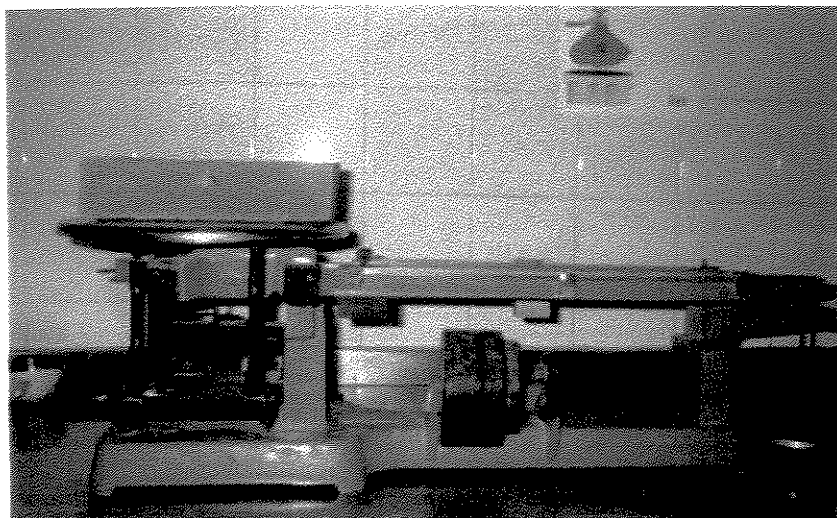


Figura 7.1 – Pesagem da amostra



Figura 7.2 – Secagem dos amostra à temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$

Após a secagem e anotação dos valores das pesagens, as amostras foram mergulhadas em um recipiente para se obter a saturação conforme as seguintes providências:

- a) após resfriados naturalmente (em contato com o ar) à temperatura ambiente, imergir as amostras em água à temperatura de $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, por 24 horas (Figura 7.3);
- b) pesar cada amostras na condição de saturado com a superfície seca, que é obtida drenando a amostra sobre uma tela por 60 segundos (Figura 7.4); remover, então a água superficial visível com um pano seco. Anotar o valor encontrado e mergulhar a amostra novamente em água;
- c) repetir a operação descrita em (b) a cada 2 horas, até que em duas pesagem sucessivas não se registre para a amostra diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa saturada m_2 (Tabela 7.3).

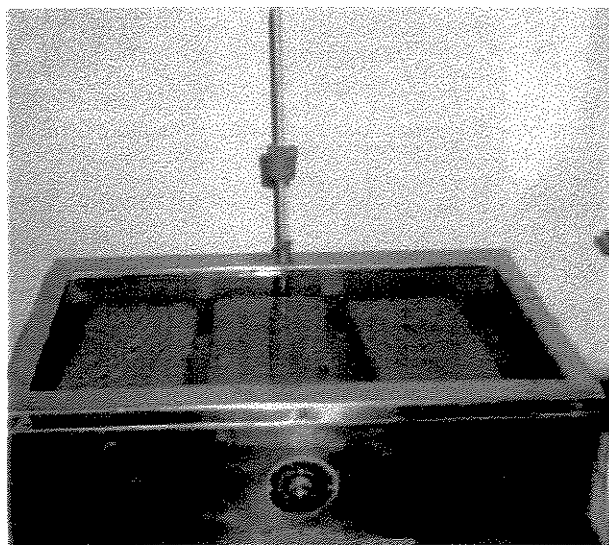


Figura 7.3 – Imersão das amostras em água à $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas (item (a)).

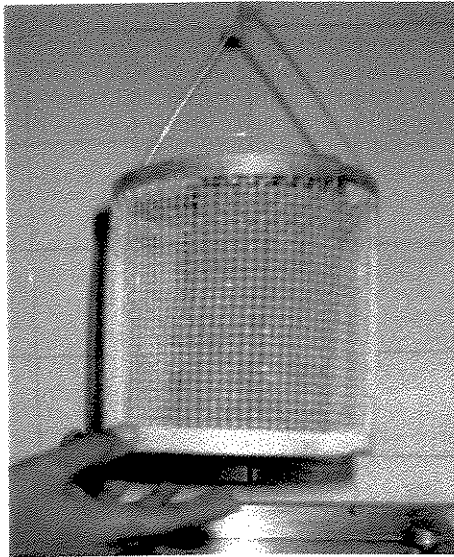


Figura 7.4 – Drenagem da amostra (item (b)).

A análise dos resultados para o ensaio de umidade foi realizado segundo:

- a) a porcentagem de umidade de cada bloco, no momento da entrega do laboratório, expressa como porcentagem da absorção total, dada pela fórmula:

$$u\% = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (7.1)$$

onde:

m_3 – massa inicial da amostra ao ser recebido no laboratório (Tabela 7.1)

m_1 – massa final da amostra após seco em estufa (Tabela 7.2)

m_2 – massa final da amostra saturada (Tabela 7.3)

Observando-se a Figura 7.5, é possível interpretar a expressão (7.1), ou seja, as diferenças no numerador e no denominador levam a obtenção da quantidade (em massa) de água

no tijolo, tanto quando chegou no laboratório, quanto quando estava totalmente saturado. Em outras palavras, a expressão é a relação entre as massas de líquido nas duas situações.

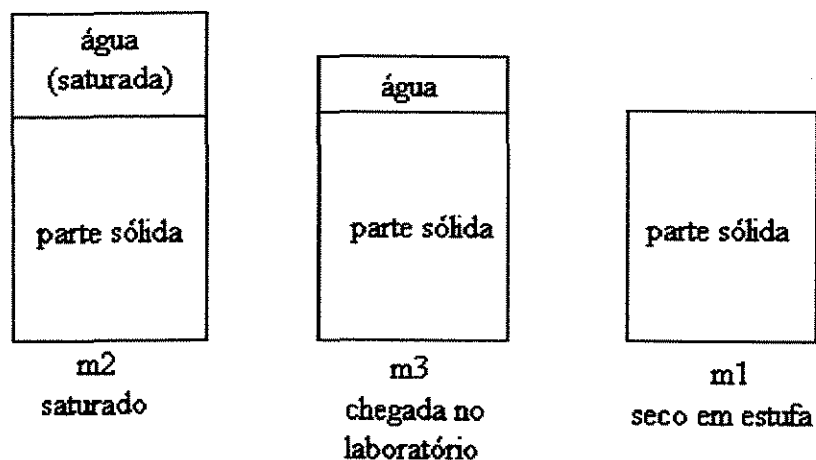


Figura 7.5 – Representação esquemática da relação água-sólido no tijolo e sua respectiva massa.

- b) a média dos resultados individuais;
- c) a massa total de cada amostra, no momento da sua chegada ao laboratório.

Para as 5 olarias, designadas aqui por A, B, C, D e E, obteve-se:

Tabela 7.1 – Valores para m_3 em gramas (chegada no laboratório)

	A	B	C	D	E
	2341	2506	2054	1849	2070
	2420	2482	2049	1849	1945
	2360	2525	2015	1875	1799
	2359	2492	1985	1857	1999
	2326	2517	2086	1848	2000
	2390	2429	1999	1835	2000
média	2366	2491,8	2031,3	1852,2	1968,8
d.p.	34,06	34,58	38,14	13,24	92,19

Tabela 7.2 – Valores para m_2 em gramas (saturado)

	A	B	C	D	E
	2737	2741	2435	2217	2400
	2800	2735	2423	2220	2280
	2750	2772	2414	2240	2156
	2744	2760	2378	2210	2332
	2718	2842	2452	2215	2335
	2764	2750	2384	2210	2346
média	2752,2	2766,7	2414,3	2218,7	2308,2
d.p.	27,92	39,21	28,85	11,17	83,79

Tabela 7.3 – Valores para m_1 em gramas (seco em estufa à 110°C)

	A	B	C	D	E
	2332	2365	2000	1837	2037
	2406	2356	1994	1837	1908
	2344	2342	1972	1863	1772
	2341	2358	1935	1846	1967
	2315	2422	2017	1838	1967
	2374	2345	1944	1823	1977
média	2352,0	2364,7	1977,0	1840,7	1938,0
d.p.	32,72	29,35	32,55	13,22	91,06

Tabela 7.4 – Valores médios para teor de umidade expresso em porcentagem

	A	B	C	D	E	média	d.p
m_3	2366,0	2491,8	2031,3	1852,2	1968,8	2142,02	273,30
m_2	2752,2	2766,7	2414,3	2218,7	2308,2	2492,02	253,81
m_1	2352,0	2364,7	1977,0	1840,7	1938,0	2094,48	245,98
teor de umidade %	3,498	31,617	12,417	3,042	8,32	11,96%	

O gráfico abaixo mostra os valores para o teor de umidade obtido pela média das amostras para cada olaria expresso em %.

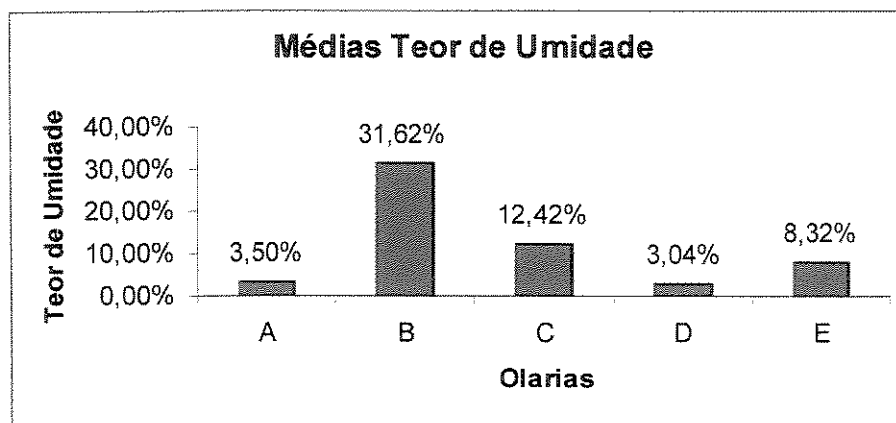


Figura 7.6 – Gráfico do teor de umidade para as 5 olarias

A análise do ensaio de absorção foi feito segundo a:

- a) o valor da absorção, expresso em porcentagem, de cada corpo-de-prova, calculado pela fórmula:

$$a\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (7.2)$$

Tendo em vista a Figura 7.5, a expressão (7.2) representa a relação entre a máxima quantidade de água que pode ser absorvida pelo tijolo e a massa seca do tijolo.

- b) a média dos resultado individuais;

Os valores da Tabela 7.5 mostra os valores finais de absorção de água

Tabela 7.5 – Valores médios para o teor de absorção de água expresso em porcentagem.

	A	B	C	D	E	média	d.p
m_2	2752,2	2766,7	2414,3	2218,7	2308,2	2492,02	253,81
m_1	2352	2364,7	1977	1840,7	1938	2094,48	245,98
absorção %	17,02%	17,00%	22,12%	20,54%	19,10%	18,98%	

O gráfico abaixo mostra o valor da absorção de água obtido pela média das amostras de cada olaria em %.

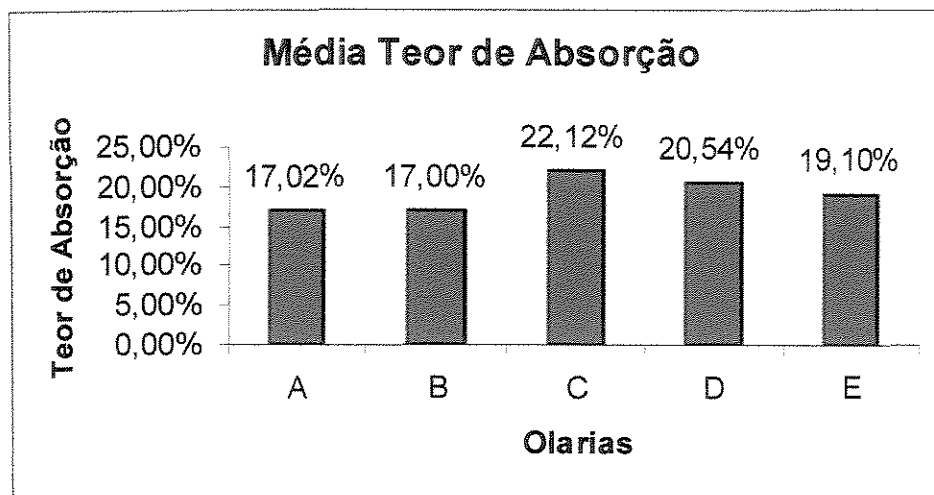


Figura 7.7 – Gráfico do teor de absorção para as 5 olarias

CONCLUSÕES:

Analisando a Tabela 7.4, pode-se observar que o teor de umidade médio obtido foi de 11,96%, valor que se pode considerar normal para os materiais porosos. Comparando-se com a madeira, por exemplo, a atual norma NBR-7190/97, adota o valor de umidade de 12% para a classe de umidade (1), ou seja, aquela classe em que a temperatura ambiente fica em torno de 25°C e a umidade ambiente está igual ou abaixo de 65%, condições idênticas aquelas de nosso ensaio.

A partir da Tabela 7.5, obteve-se um índice de absorção médio de 18,98%.

8 – CONCLUSÕES

O problema da umidade em construções tem merecido ao longo do tempo estudos sistemáticos, mas, infelizmente ainda não se chegou a um controle definitivo do mesmo.

Ao longo deste trabalho, procurou-se mostrar os fatores mais importantes que afetam o fenômeno, e que contribuem para o seu aparecimento.

Estudou-se também algumas formas de solucionar o problema de maneira preventiva, bem como maneiras de atacá-lo após instalado na na edificação.

O conhecimento das origens do aparecimento da umidade nas construções colabora sobre-maneira para um projeto adequado que permita a prevenção de seu aparecimento durante a vida útil da edificação. Mesmo assim, caso ele se instale, algumas medidas corretivas sempre são possíveis para a eliminação, pelo menos parcial, de sua presença, e, conseqüentemente, dos problemas oriundos da mesma.

Uma das medidas corretivas vistas neste trabalho foi a aplicação da eletroosmose, pouco divulgado por requerer conhecimentos que envolvem a criação de uma diferença de potencial entre a parte seca e a parte úmida da construção, originando uma corrente elétrica no sentido construção-terra, e que, sob este efeito, faz com que a água acabe por ser repelida para a terra.

Ao longo do texto foram estudados também algumas formas de prevenção contra a umidade.

De uma maneira geral, muitos fatores afetam o fenômeno, entre os quais o verdadeiro conhecimento como a água é absorvida e retida pelas paredes da edificação. Neste intuito, estudou-se estes fatores no caso de tijolos cerâmicos, os quais são os mais utilizados em residências, alvo deste trabalho. Neste sentido, adaptou-se os procedimentos contidos na norma técnica brasileira NBR – 12118, escrita originalmente para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, para aplicá-los na experimentação desenvolvida, e cujos resultados foram apresentados no corpo do trabalho.

9-Bibliografia

- 1 - **BANERJEE, S.**, and **MITCHELL, J. K.** 1980. *In-situ volume change properties by electro-osmosis-theory*; Journal of Geotechnical Engineering, A.S.C.E., Vol. 106, No. GT 4, pp. 347-365
- 2 - **BIELZA O.**, José M^a. *Revestimientos en la Edificación*.
- 3 - **BOMBERG, M.** *Usage of the suction concept in calculation of moisture flow through porous material*. In: International CIB/RILEM SYMPOSIUM ON MOISTURE IN BUILDINGS, 2, Rotterdam, pp. 10-12, 1974.
- 4 - **CAMMEROS, Walter F.** *The capillary motion of moisture in building materials*. CIB/RILEM Symposium on Moisture in buildings. Rotterdam, 1974.
- 5 - **CASAGRANDE, L.** *Electro-osmotic Stabilization of Soils*, Journal of Stabilization of Soils, Harvard Soil Mechanics Series, no. 45, Harvard University, Cambridge, Massachssets, 1959.
- 6 - **CASAGRANDE, L.** 1959. *A review of past and current work on electro-osmotic stabilization of soils*, Harvard Soil Mechanics Series. No. 45, Harvard University.
- 7 - **CUNHA, A.G.**; **NEWMAM, W.** *Manual de impermeabilização e isolamento térmico*. Rio de Janeiro, Editorial Nórdica, 1979.
- 8 - **DWELL, J.**; **LAWSON, F.** *Damp proof course detailing*. London, The Architectural Press, 1983.
- 9 - **FERRERES G.**, **TOMAS.** *Humedadaes de Condensación Superficial: Controlar los Puentes Térmicos*. Telicce, 1999.
- 10 - **GRAY, D. H.**, and **MITCHELL, J. K.** 1967. *Fundamental aspects of electro-osmosis in soils*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E., Vol. 93, No. SM 6, pp. 209-236, Closure Discussion: Vol. 95, No. SM 3, pp. 875-879, 1969.

- 11 - **HALL, C.** *Water movement in porous building material. Part 1: Unsaturated flow theory and its application.* Building and Environment, 12(2), pp. 117-125, 1977.
- 12 - **IPT.** *Programa de coleta de Informações; patologia nas construções.* São Paulo, 1981.
- 13 - **LICHTENSTEIN, N.B.** *Patologia das construções.* São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985.
- 14 - **LOCKHART, N.C.** *Electroosmotic Dewatering of Clays II. Influence of Clay Type, Exchangeable Cations and Electrode Materials,* Colloids and Surfaces, 6, pp. 253-269, 1983.
- 15 - **LOCKHART, N.C.** *Electroosmotic Dewatering of Clays.I; Influence of Voltage,* Colloids and Surfaces, 6, pp. 229-238, 1983.
- 16 - **LOCKHART, N.C.** *Electroosmotic Dewatering of Clays.II; Influence of Salt, Acid and Flocculants,* Colloids and Surfaces, 6, pp. 239-251, 1983.
- 17 - **LOZANO A., Gerónimo.** *Patología, Diagnóstico y Tratamiento de las Condensaciones.* Telicce, 1999.
- 18 - **MITCHELL, J.K.** *Conduction phenomena: from theory to geotechnical practice.* Geotechnique, 41, no. 3, pp. 229-340, 1991.
- 19 - **MITCHELL, James K.** *Fundamentals of Soil Behavior.* 2ed. Berkley: Wiley, 1976.
- 20 - **MOTA, Rosane Oliveira.** *Efeitos da corrente elétrica contínua na recuperação de petróleo.* Campinas: Universidade de Campinas, 1994. No. P. 102.
- 21 - **NBR 12118**
- 22 - **PAIVA, J.A.V.** *Humidade nas edificações.* Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1969.
- 23 - **PEREZ, Ary Rodrigo.** *Umidade nas Edificações.* São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986.
- 24 - **PEREZ, Ary Rodrigo.** *Umidade nas edificações; recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas.* Tecnologia das Edificações, PINI, 1985.
- 25 - **SABBATINI, F.H.** *Umidade por infiltração em paredes de alvenaria.* Anais EPUSP, sér. A. Pt. 5, São Paulo, pp. 1; 95-104, 1988.

26 - **SATO**, Neide M.N.; **VITTORINO**, Fúlvio; **AGOPYAN**, Vahan; et al. *Penetração de umidade e crescimento de fungos em fachadas*. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, 1995, São Paulo. Qualidade de tecnologia na habitação: Anais ENTAC 95, 1995.

27 - **ULSAMER**, Frederico. *A humidade na construção civil*. 2ed. Barcelona: Ediciones CEAC, SA. Pp. 267, 1975.

28 - **VERÇOZA**, Enio José. *Impermeabilização na construção*. 2ed. Porto Alegre: SAGRA, 1983.

29 - **WONG**, Po-zen; **PENGRA**, David B. *Pore size, permeability and electrokinetic phenomena*. University of Massachussts. New York, Pinnavaia, 1995.

Abstract

This work presents the humidity problems in the constructions, according to a classification internationally accept, showing its effects, correction forms and prevention form.

The study of the humidity problems as its origin, collaborates in fact for prevention of possible appearing of new humidity sources, that will degrade with the construction, because, being known the humidity source, it can still be thought of the process of makng impermeable project in the project phase, and, this way to execute in a correct way, increasing like this the time of life of the building.

Being the material used in the porous conventional constructions and generally of organic origin, that, with the time, they present a certain humidity text, that, with the time it will degrade the construction, and they should still be treated in the execution phase.