

**DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO UTILIZANDO
MICROONDAS**

Romário Aurélio Pereira da Silva

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**"DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO UTILIZANDO
MICROONDAS"**

Romário Aurélio Pereira da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Maria Teresa Paulino Aguilár
DEMC - UFMG - (Orientador)

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
DEMC - UFMG

Prof. Dr. Max de Castro Magalhães
DEMC - UFMG

Dra. Maria da Glória Braz
SPEC Engenharia

Belo Horizonte, 24 de outubro de 2005

Aos meus saudosos pais, Izabel e Manoel,
que tudo fizeram para o meu crescimento,
aos meus filhos Bruno, Marina e Rafael que
são a minha maior força para vencer, a
minha mulher Rita pela dedicação diuturna,
incentivo e apoio incondicional, ao meu
irmão Ricardo que nos momentos mais
difíceis aparecia com o remédio milagroso.
Obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força impedindo para que nenhuma dificuldade desviasse-me do objetivo.

A Professora Maria Teresa Paulino de Aquilar, minha orientadora, pelos ensinamentos, atenção e dedicação na condução deste trabalho.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Estrutura e do Departamento de Materiais pela presteza e gentileza no trato com os mestrandos.

Ao discente Felipe Augusto Campos Canesso pela ajuda na execução dos ensaios e elaboração da apresentação deste trabalho, a sua participação foi dedicada e muito responsável.

SUMÁRIO

1. Materiais e Procedimentos
2. Revisão Bibliográfica
3. Resultados
4. Conclusão
5. Pesquisas Futuras

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
3.1 Composição do cimento CP-II E 32	32
3.2 Composição do cimento CP-III 32	32
3.3 Composição do cimento CP-V ARI	33
4.1 Evolução da energia em função do peso da amostra	49
1- Cimento CP-II - tempo de cura 0 minuto	57
2- Água - tempo de cura 0 minuto	58
3- Cimento CP-II e Água - tempo de cura 0 minuto	59 e 60
4- Cimento CP-II, Água e Areia - tempo de cura 0 minuto	61
5- Cimento CP-II, Água, Areia e Brita - tempo de cura 0 minuto	62 e 63
6- Cimento CP-II e Água - tempo de cura 30 minutos	64
7- Cimento CP-II, Água e Areia - tempo de cura 30 minutos	65
8- Cimento CP-II, Água, Areia e Brita - tempo de cura 30 minutos	66
9- Cimento CP-II e Água - tempo de cura 60 minutos	67
10- Cimento CP-II, Água, Areia e Brita - tempo de cura 60 minutos	68
11- Cimento CP-III e Água - tempo de cura zero minuto	69
12- Cimento CP-III, Água e Areia - tempo de cura zero minuto	70
13- Cimento CP-III, Água, Areia e Brita - tempo de cura zero minuto	71
14- Cimento CP-III e Água - tempo de cura 30 minutos	72
15- Cimento CP-III, Água e Areia - tempo de cura 30 minutos	73

16- Cimento CP-III, Água, Areia e Brita - tempo de cura 30 minutos	74
17- Cimento CP-III e Água - tempo de cura 60 minutos	75
18- Cimento CP-III, Água e Areia - tempo de cura 60 minutos	76
19- Cimento CP-III, Água, Areia e Brita - tempo de cura 60 minutos	77
20- Cimento CP-V, Água e Areia - tempo de cura zero minuto	78
21- Cimento CP-V, Água, Areia e Brita - tempo de cura zero minuto	79
22- Cimento CP-V e Água - tempo de cura 30 minutos	80
23- Cimento CP-V, Água e Areia - tempo de cura 30 minutos	81
24- Cimento CP-V, Água, Areia e Brita - tempo de cura 30 minutos	82
25- Cimento CP-V e Água - tempo de cura 60 minutos	83
26- Cimento CP-V, Água e Areia - tempo de cura 60 minutos	84
27- Cimento CP-V, Água, Areia e Brita - tempo de cura 60 minutos	85

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 Micrografia eletrônica de varredura de um concreto	05
2.2 Divisão do espectro eletromagnético	25
4.1 Variação da energia de uma pasta de cimento CP II	36
4.2 Variação de energia de uma argamassa com cimento CP V	37
4.3 Variação de energia de um concreto com cimento CP V	38
4.4 Variação de energia de uma pasta de cimento CP III	38
4.5 Variação de energia de uma argamassa de cimento CP III	39
4.6 Variação de energia de um concreto com cimento CP III	39
4.7 Variação de energia com tempo de incubação de 0s e cimento CP III	41
4.8 Variação de energia com tempo de incubação de 1800s e cimento CP III	41
4.9 Variação de energia com tempo de incubação de 3600s e cimento CP III	42
4.10 Variação da energia com tempo de incubação de 0s e cimento CP V	43
4.11 Variação da energia com tempo de incubação 1800s e cimento CP V	43
4.12 Variação da energia com tempo de incubação de 3600s e cimento CP V	44
4.13 Variação da energia de uma pasta de cimento CP II e CP III e tempo de incubação 0s	45
4.14 Variação da energia de uma argamassa de cimento CP III e CP V e tempo de incubação 0s	45
4.15 Variação da energia de um concreto de cimento CP III e CP V e tempo de incubação 0s	46
4.16 Variação da energia de uma pasta de cimento CP II e CP III, com tempo de incubação de 1800s	46

4.17 Variação da energia de uma argamassa de cimento CP III e CP V, com tempo de incubação de 1800s	47
4.18 Variação da energia de um concreto de cimento CP III e CP V, com tempo de incubação de 1800s	47
4.19 Variação da energia de uma pasta de cimento CP II e CP III, com tempo de incubação de 3600s	48
4.20 Variação da energia de uma argamassa de cimento CP III e CP V, com tempo de incubação de 3600s	48
4.21 Variação da energia de um concreto CP III e CP V, com tempo de incubação de 3600s	49

Resumo

A relação entre a água e o cimento presente no concreto fresco é determinante para que o concreto atinja os requisitos de desempenho almejados: um concreto que mantenha suas características, em especial as mecânicas, durante sua vida útil. Algumas pesquisas indicam que um método adequado para determinação dessa relação é através do aquecimento produzido pela penetração de ondas eletromagnéticas de alta frequência, as microondas. Associa-se a isto, a fonte de energia utilizada e o menor consumo equivalente de energia que contribuem para o desenvolvimento auto-sustentável. Visualizando as possibilidades de se ter um método rápido e barato para controle tecnológico do concreto, este trabalho avalia a possibilidade de determinar a relação água/cimento do concreto no estado fresco, através da variação do peso da amostra antes e após a cura do concreto no forno de microondas. Utilizou-se um microondas doméstico, tempos de incubação de 0, 1800 e 3600 segundos, e fatores água/cimento com variação de 0,4 a 0,9. Foram estudadas a influência dos agregados e do tipo de cimento. Os estudos indicaram ser possível determinar, de forma adequada, a relação água/cimento do concreto utilizando-se o aquecimento produzido pela penetração de ondas eletromagnéticas de alta frequência.

PALAVRAS CHAVE: Concreto, relação água/cimento, microondas.

Abstract

The relation between water and cement present in the fresh concrete is determinant for the concrete to reach the desired requirements of development: a concrete that would uphold its characteristics, especially mechanical ones during its useful life.

Research work indicates that a suitable method for determining this relation is through the heating produced by the penetration of high frequency electromagnetic waves, the microwaves.

Added to this is the energy source utilized and the least equivalent amount of energy consumption that contributes for the self sustainable development.

Visualizing the possibilities of having a quick and cheap method for technological control of the concrete, this work evaluates the possibilities of determining the water/cement relation in the cool state through the variation in the weight of the sample before and after hardening of the concrete in the microwave oven.

A domestic microwave was used with incubation times of 0 to 1800 and 3600 seconds and factors of water/cement with a 0,4 to 0,9 variation.

The influence of aggregates and types of cement were studied. These indicated that it is possible to determine in a proper manner the water/cement relation of concrete using the heating produced by the penetration of high frequency electromagnetic waves.

KEYWORDS: concrete, water/cement relation, microwaves

1

INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Preliminares

Concreto de cimento Portland é um material muito utilizado na indústria da construção civil. O seu desempenho no estado endurecido é avaliado comumente pela tensão de ruptura sob cargas de compressão após determinado tempo de fabricação (resistência mecânica). Apesar da durabilidade das estruturas de concreto ser um índice de medida de desempenho do concreto, só recentemente tal variável passou a ser considerada relevante.

O desenvolvimento da resistência nos concretos ocorre ao longo dos tempos pelas reações de hidratação entre a água e os grãos de cimento. Estudos utilizando o aquecimento por microondas mostram que a cura do concreto por microondas (a curto e longo prazo), é comparável ao concreto que possui acelerador químico, bem como, ao concreto comercial de rápido endurecimento conforme LEUNG (1995). Associa-se a isto o fato de que a fonte de energia utilizada para produção de microondas e o menor consumo equivalente de energia contribuem para o desenvolvimento auto-sustentável. Existem também alguns trabalhos que citam a utilização das microondas para a determinação do fator água/cimento conforme DOWELL (2002), NAGI (1994), NAIK (1986) e NANTUNG (1998). A relação água-cimento é uma das importantes variáveis

do controle da qualidade do concreto. A medida da relação água-cimento do concreto fresco é um fator indicativo da qualidade do concreto a ser fornecido. Não se tem no Brasil nenhum método direto de determinação dessa relação. Nesse contexto, este trabalho propõe estabelecer um método para a determinação da relação água-cimento, utilizando o aquecimento produzido pela penetração de ondas eletromagnéticas de alta frequência, as microondas, de modo a se obter um controle de tal relação na hora do lançamento. Pretende-se com esse estudo que se explore no Brasil a possibilidade de utilização das microondas para obtenção de concretos de maior qualidade.

1.2 - Justificativa

Nos dias atuais o controle tecnológico da qualidade do concreto não deve ser feito apenas pela resistência mecânica à compressão e pelo *slump*. Em função dos avanços na química de materiais cimentícios é possível fabricar um concreto de resistência razoável que não seja durável. Isto ocorre pois nesses compósitos se utiliza uma alta relação água/material cimentício. Faz-se necessário então que além da resistência se controle tal fator, quando se deseja um concreto de alto desempenho.

Hoje no país não existe método direto para isso. O procedimento usual é aceitar o concreto baseado nas informações do fornecedor. Seria interessante que se conseguisse um método rápido, preciso e de baixo custo para a determinação da relação água/cimento.

1.3 - Objetivo

O objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um método, expedito, rápido, preciso e de baixo custo para a determinação da relação água/cimento, do concreto no estado fresco.

1.4 - Apresentação dos Capítulos

Este estudo é composto de quatro capítulos, além deste primeiro, no qual são apresentados as considerações preliminares, justificativas e objeto do estudo. O

Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a estrutura do concreto, propriedades do concreto, cura do concreto, microondas e relação água/cimento. No capítulo 3 são apresentados os materiais, sua caracterização e métodos utilizados. No capítulo 4 apresentam-se os resultados, discussão e análise da utilização das microondas. As conclusões do trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros, são descritas no capítulo 6.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em função do que se deseja estudar foram revisados os seguintes temas: Estrutura do concreto, relação água/cimento, concreto nas primeiras idades, cura do concreto, microondas e propriedades nas primeiras idades.

2.1 - Estrutura do Concreto

O concreto apresenta uma estrutura muito heterogênea e complexa, o que torna difícil estabelecer modelos a partir dos quais se possa relacionar a sua estrutura e suas propriedades, ou seja, prever o comportamento do material. Apesar das relações estrutura-propriedade no concreto ainda não estarem bem desenvolvidas, um conhecimento da estrutura permite certo controle sobre as propriedades do concreto.

Na análise macroestrutural de uma seção transversal do concreto observar-se que o concreto é um material bifásico, constituído de partículas de agregado, de diferentes formas e dimensões, dispersas em uma matriz de pasta endurecida.

A análise micrográfica (descrição dos objetos estudados com o auxílio da fotografia da imagem gerada no microscópio) do concreto nos mostra algumas complexidades da estrutura (figura 2.1):

- O concreto tem uma estrutura muito heterogênea;
- Em algumas regiões a pasta apresenta-se densa, em outras porosas;
- Micrografia do concreto mostra uma pasta endurecida constituída de diferentes fases sólidas, uma fase agregado, e vazios;
- A estrutura da pasta na vizinhança de partículas grandes de agregado é comumente diferente da estrutura da pasta restante, ou seja, existe uma terceira fase a nível micro estrutural chamada de zona de transição, que também possui muitos poros;
- A pasta, assim como a zona de transição, além da água quimicamente combinada é capaz de reter uma grande quantidade de água tanto nos seus poros como adsorvida na superfície dos sólidos;
- Cada uma das três fases sólidas do concreto é de natureza multifásica, ou seja, cada fase contém uma distribuição heterogênea de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e micro fissuras;
- Diferentemente de outros materiais de engenharia a estrutura do concreto não é uma propriedade intrínseca do material, isto é, não permanece estável (a pasta e a zona de transição estão sujeitas as modificações com o passar do tempo, umidade ambiente e temperatura).

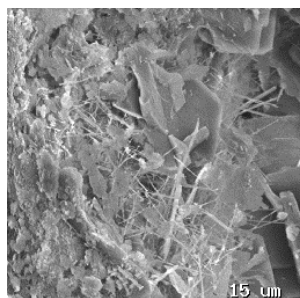


Figura 2.1: Micrografia eletrônica de varredura de um concreto.

Em resumo, a micrografia do concreto mostra uma pasta endurecida constituída de diferentes fases sólidas, uma fase agregado, uma zona de transição e vazios. Neste tipo de análise não se observa a água presente nos poros ou adsorvida na superfície dos sólidos, devido a técnica de preparo das amostras.

As complexidades descritas são as principais razões da pouca utilização de modelos teóricos de relação estrutura-propriedade para previsão das propriedades do concreto.

No entanto o conhecimento da microestrutura e das propriedades de cada constituinte do concreto e da relação entre eles é útil para que se tenha maior controle do processo. Nos tópicos a seguir são apresentadas características das fases baseadas nas referências MEHTA (1994), NEVILLE (1973) e POPOVICS (1992).

2.1.1 - Estrutura da Fase Agregado

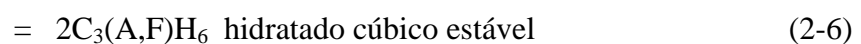
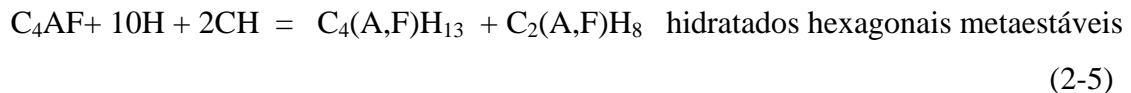
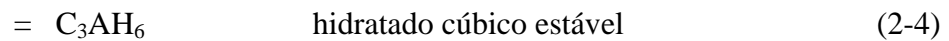
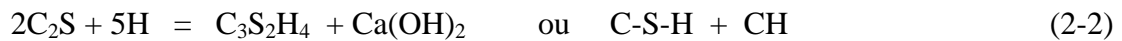
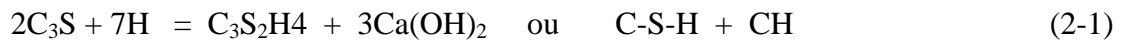
A fase agregado é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades dependem muito mais das características físicas do agregado (volume, tamanho, distribuição de poros) do que da composição mineralógica do agregado.

Sendo geralmente muito mais resistente do que as outras duas fases, o agregado exerce pouca influência sobre a resistência do concreto. No entanto, o tamanho e a forma do agregado podem afetar a resistência de modo indireto: quanto maior for o tamanho do agregado e mais elevada a proporção de partículas chatas e alongadas, maior é a tendência de acumular um filme de água próximo à superfície do agregado (fenômeno chamado de exsudação interna), enfraquecendo a zona de transição pasta-agregado.

2.1.2 - Estrutura da Pasta Endurecida

O cimento Portland é obtido a partir de uma mistura devidamente proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (sílica, alumina, óxidos de ferro) e, eventualmente, outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro reduzido a pó muito fino, que é submetida a temperaturas da ordem de 1450 °C. Nesta temperatura as matérias primas reagem entre si originando novos compostos. Este material possui, comumente, de 40 a 60% de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, comumente representado por C_3S) denominado de alita, de 15 a 30% de silicato bicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, ou C_2S) chamado de belita, de 6 a 12% de aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A) e de 6 a 8% de aluminoferrato tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF), a brownmillerita. Quando o cimento é misturado à água, os compostos de cálcio tendem a entrar em solução, e a fase líquida torna-se rapidamente saturada em várias espécies iônicas. Representando a água pela

letra H, podem-se escrever, de forma simplificada, as reações de hidratação em condições normais:



As composições destes silicatos de cálcio hidratados não são rígidas; na verdade constituem uma série de hidratados cuja composição varia continuamente, desde relações entre o óxido de cálcio e a sílica de 1,39 a 1,73 e mesmo até 2,0 em alguns casos.

A quantidade de água de cristalização também não é bem definida porque depende do modo como se fez a hidratação do silicato e da tensão do vapor da atmosfera na qual se forma o silicato de cálcio hidratado. A relação entre o número de moléculas de água e o número de moléculas de sílica pode variar de 1 a cerca de 2, embora o valor mais freqüente seja o de 1,5.

As fases do cimento apresentam reatividades distintas quando em contato com a água. Além de fatores como tamanho da partícula e temperatura de hidratação, a reatividade dos compostos de cimento Portland com a água é influenciada por suas estruturas cristalinas.

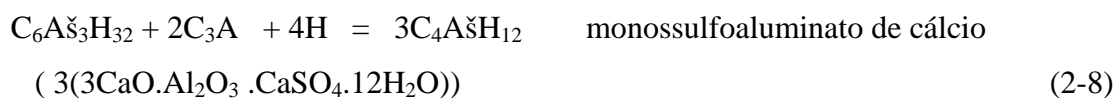
Deve ser lembrado que sob altas temperaturas e em condições de não equilíbrio nos fornos de cimento as estruturas cristalinas estão longe de serem perfeitas.

Os vazios presentes na estrutura são um dos responsáveis pela maior ou menor reatividade dos compostos. Os cristais de C_3A e de alita, tipicamente mais reativos, exercem papel preponderante no processo de pega e desenvolvimento da resistência nas primeiras idades.

Nas idades mais longas, todavia, a hidratação dos cristais de belita passa a ter importância crescente. Os produtos decorrentes da hidratação do C_2S e C_3S são similares e constituem-se de uma mistura de silicato cálcico, denominado C-S-H, e de

$\text{Ca}(\text{OH})_2$, (CH), composto denominado portlandita. Na ausência de outras fases, a hidratação do C_3A leva à formação de aluminatos cálcicos hexagonais (principalmente o C_4AH_{13} , os quais são termodinamicamente instáveis em relação ao hidratado cúbico C_3AH_6). A hidratação do C_4AF se processa com velocidade menor, é similar à do C_3A . No entanto os aluminatos cálcicos gerados neste caso são ricos em ferro $\text{C}_3(\text{A},\text{F})\text{H}_6$. Caso não se adotasse nenhuma substância reguladora, a alta reatividade do C_3A poderia limitar sensivelmente o tempo de manuseio do cimento Portland sob condições práticas. Após alguns minutos de hidratação, a hidratação dessa fase levaria a um rápido aumento da consistência da mistura, a qual a partir de um determinado momento não poderia ser mais trabalhada (“pega rápida”). Devido à rápida reação dos aluminatos com a água, que conduz a uma pega instantânea, é-se obrigado a juntar ao cimento um sulfato, o mais econômico dos quais é o gesso natural.

Na presença de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, comumente representada por $\text{C}\check{\text{S}}\text{H}_2$) ou de outras formas de sulfato de cálcio utilizadas como reguladores do tempo de pega, o C_3A altera substancialmente o seu processo de hidratação, dando lugar a cristais de um sulfoaluminato de cálcio hidratado. Dependendo da concentração do aluminato e dos íons sulfato na solução, o produto cristalino é o trissulfatoaluminato de cálcio hidratado, chamado etringita, ou o monossulfato de cálcio hidratado. As reações a seguir exemplificam essas transformações:



Geralmente, a etringita é o primeiro composto a se cristalizar, devido à elevada relação sulfato/aluminato na fase aquosa nas primeiras horas de hidratação. Mais tarde, depois do sulfato da solução ter sido consumido, e devido ao fato da concentração de aluminatos se elevar novamente devido à renovação da hidratação do C_3A e C_4AF , a etringita torna-se instável e é gradativamente convertida em monossulfato, que tem a forma de placas hexagonais. Embora os íons sulfatos atuem como retardadores de hidratação dos aluminatos, os mesmos exercem um efeito contrário sobre os silicatos, acelerando as suas reações de hidratação.

Deve-se assim identificar o teor mais adequado de sulfatos para se obter o desempenho ótimo do cimento.

As fases da pasta endurecida não se encontram uniformemente distribuídas, nem apresentam o mesmo tamanho e morfologia. Essas heterogeneidades micro estruturais são consequência das propriedades reológicas da pasta fresca de cimento, que podem, por exemplo, levar a variação na relação água-cimento, em pontos diferentes do concreto. Dessa forma essas heterogeneidades podem levar a efeitos negativos no comportamento do material.

Após a hidratação coexistem no concreto fases sólidas, os vazios e água.

Sabendo-se que nem todos os grãos de clínquer são hidratados, pode-se dizer que são quatro as principais fases sólidas presentes na pasta:

1- Silicatos de cálcio hidratado: as composições desses compostos não são bem definidas, na verdade constituem uma série de hidratados cuja composição varia desde relações entre o óxido de cálcio e a sílica de 1,5 a 2,0, e o teor de água estrutural varia mais ainda, de 1 a 2, sendo mais comum o valor 1,5. É usual a utilização da abreviação C-S-H para representá-lo. O C-S-H constitui de 50 a 60% do volume de sólidos da pasta, sendo, assim a mais importante na determinação de suas propriedades. A sua morfologia varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino sendo sua estrutura cristalina semelhante à do mineral tobermorita. Os cristais de C-S-H tendem a se aglomerar. Os silicatos hidratados menos ricos em cálcio, denominados do tipo I, possuem célula unitária ortorrômbica, cujos eixos AB valem respectivamente 0,365 e 0,562 nm; o espaçamento na direção “c” é irregular, mas na ordem de 1,1 a 1,4 nm. A estrutura desse silicato é, portanto constituída por pilhas de uma dezena de lamelas no plano AB cuja distância “c” é variável, dependendo do número de moléculas de água que se encontrarem entre as lamelas. As pilhas podem atingir comprimentos entre 5 e 20 nm. Os silicatos de cálcio hidratados mais ricos em cálcio, denominados do tipo II e que se formam exclusivamente pela hidratação do silicato tricálcico, apresentam uma estrutura fibrosa com repetição das células fibrosas a cada 0,73 nm. A estrutura também é em camadas ou feixes com distância variável em função do teor de água. O material apresenta área específica elevada, o que faz com que contribua muito para a resistência. Este composto é o principal responsável pela resistência da pasta hidratada.

2- Hidróxido de cálcio (portlandita): é um composto com estequiometria definida: $\text{Ca}(\text{OH})_2$. É resultante da hidratação dos silicatos tricálcico e bicálcico, e de alguma cal livre. Ele tende a se apresentar sob a forma de cristais grandes na forma de prismas hexagonais distintos, também lamelares. Representa de 20 a 25% da pasta hidratada. Ele contribui pouca para a resistência devido a sua área específica ser consideravelmente menor que a do C-S-H. Do ponto de vista químico desempenha papel fundamental na corrosão, pois é muito vulnerável, combinando-se facilmente com substâncias que chegam ao contato com ele, o que promove o abaixamento do pH da solução de equilíbrio com os componentes hidratados. Desse abaixamento resulta a decomposição dos componentes e diminui a proteção da armadura. Além disso, a sua presença em quantidade considerável tem efeito desfavorável sobre a resistência química a soluções ácidas, por ser a solubilidade do hidróxido de cálcio maior do que a do C-S-H.

3- Sulfoaluminatos de cálcio: ocupam de 15 a 20% do volume da pasta, desempenhando um papel menor nas propriedades da pasta. Inicialmente forma-se a etringita, um trissulfoaluminato de cálcio hidratado, $\text{C}_6\text{A}\check{\text{S}}_3\text{H}_{32}$, na forma de cristais aciculares. Dependendo da concentração do aluminato e dos íons sulfato na solução, a etringita transforma-se eventualmente em monossulfato hidratado, $\text{C}_4\text{A}\check{\text{S}}\text{H}_{18}$, que se cristaliza em placas hexagonais delgadas. A presença desse monossulfato torna o concreto vulnerável ao ataque por sulfato.

4- Grãos de clínquer não hidratado: dependendo da distribuição granulométrica do cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não hidratado podem ser encontrados na microestrutura de pastas de cimento hidratado, mesmo após longo período de hidratação.

2.1.3 - Zona de Transição

A zona de transição representa a região interfacial entre as partículas de agregado graúdo e a pasta. É uma camada fina, de 10 a 50 μm , mais fraca que os outros dois constituintes, tendo por isso uma influência muito maior sobre as propriedades mecânicas do concreto. Ela é constituída dos mesmos elementos da pasta, mas tem estrutura e propriedades diferentes. Acredita-se que isso ocorra, pois logo após a compactação, um filme de água forma-se ao redor das partículas de inerte. Isto significa

que a relação água-cimento junto à superfície do inerte é muito mais elevada e diminui rapidamente para o interior da pasta de cimento. De forma análoga à matriz, ocorre a dissolução dos compostos de sulfato de cálcio, aluminato de cálcio e hidróxido de cálcio. Os íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato resultantes combinam-se para formar etringita e hidróxido de cálcio. Como o crescimento destes cristais se dá em um meio com elevada relação água-cimento, há poucos núcleos de cristalização, e, como há pouca oposição ao seu crescimento, esses produtos cristalinos vizinhos ao agregado gráudo são cristais relativamente grandes, e formam uma estrutura mais porosa que a matriz. Com o progresso da hidratação, o C-S-H pouco cristalizado e uma segunda geração de cristais menores de etringita e de hidróxido de cálcio começam a preencher os espaços vazios entre o reticulado criado pelos cristais grandes de etringita e hidróxido de cálcio.

O papel desempenhado pela zona de transição não é ainda muito conhecido, mas constitui um fator importante nas propriedades do concreto.

Como acontece em qualquer fenômeno de contato pode-se considerar vários tipos de ligação entre as duas fases sólidas, o agregado e pasta endurecida:

- 1- aderência devido à ligação física: os cristais dos produtos de hidratação interpenetram as partículas de inerte devido às protuberâncias e as asperezas da superfície do agregado, ou devido à atração, sem continuidade da estrutura, entre a pasta de cimento e a superfície do agregado, por forças de van der Waals;
- 2- ligação química: devida a reações entre a superfície do inerte e os produtos de hidratação do cimento. Neste tipo de aderência estabelece-se uma passagem contínua entre os cristais do agregado e da pasta endurecida;
- 3- ligação físico-química: ligação mecanicamente fraca, na qual se observa uma continuidade entre os cristais da pasta e os do inerte.

A baixa resistência da zona de transição é devida, basicamente, a três fatores:

- grande volume de vazios gerados durante o processo de hidratação;
- cristais grandes de hidróxido de sódio que possuem menor capacidade de adesão (área específica menor e forças de van der Waals mais fracas) e apresentam estrutura orientada (que servem de pontos de clivagem preferencial);
- micro fissuras na zona de transição antes mesmo de ser carregado. Essas fissuras ocorrem devido às tensões de tração induzidas por movimentos diferenciais (devido à

secagem e resfriamento do concreto) entre a pasta e o agregado. A quantidade de fissuras depende de vários fatores: distribuição granulométrica e tamanho do agregado, teor de cimento, relação água-cimento, grau de adensamento, história térmica do concreto, condições de cura umidade ambiente, etc.

A zona de transição é a fase de resistência limite do concreto. É devido à presença zona de transição que o concreto rompe a um nível de tensão mais baixo que a resistência dos outros constituintes principais. A estrutura da zona de transição, especialmente o volume de vazios e micro fissuras presentes, tem grande importância sobre o módulo de elasticidade do concreto: mesmo que o agregado e a pasta tenham rigidez elevada, a rigidez do composto pode ser baixa devido aos vazios e micro fissuras que estão presentes na interface e não permitem a transferência de energia.

2.1.4 – Defeitos da Estrutura

O endurecimento da pasta resulta de um fenômeno de cristalização a partir de soluções supersaturadas, obtendo-se então, cristais que crescem e se emaranham, colando-se uns aos outros e às partículas do inerte. Com este processo são gerados defeitos na pasta de cimento e no concreto.

Em primeiro lugar, devem ser considerados os defeitos inerentes à própria estrutura cristalina dos compostos do cimento hidratado: lacunas, átomos substitucionais, átomos intersticiais, contornos de grãos, deslocamentos, etc. Cabe ressaltar a importância das forças de ligação que se estabelecem quando cristais da mesma espécie com orientações relativas diferentes se encontram: dependendo da desorientação relativa podem se estabelecer entre grãos vizinhos forças de ligações que variam desde as natureza química, isto é, covalentes, até às de natureza física (van der Waals).

Em segundo lugar, é importante que se considere que os cristais de hábito acicular crescem a partir da superfície das partículas de cimento, em todas as direções, emaranhando-se uns nos outros, formando-se entre eles vazios de forma irregular. Além disso, deve-se considerar que o crescimento dos cristais de encontro ao inerte pode levar: 1) a não ligação pasta-inerte quando, antes da ligação, se forma uma película de água, que foi segregada, isolando o inerte da pasta, ou quando houver um vazio, de ar, que impeça o contato; 2) a aderência devido a causas físicas, ou 3) a aderência de

origem química e físico-química. É evidente que esses aspectos da ligação pasta-inerte produzem uma multiplicidade de defeitos, destacando-se entre eles os vazios. Existem ainda os poros formados pela presença de ar na mistura.

Pode-se resumir em três os tipos de vazios encontrados em uma pasta de cimento:

1- Espaço Interlamelar no C-S-H: o espaço entre as lamelas de C-S-H é da ordem de 5 a 25 Å. Este tamanho de vazio é muito pequeno para ter efeito desfavorável sobre a resistência mecânica e permeabilidade da pasta.

No entanto a água pode ficar retida nesses vazios por pontes de hidrogênio e a sua remoção pode contribuir para a retração por secagem e para fluência.

2- Vazios Capilares: representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta. Tem forma irregular. A densidade média dos produtos de hidratação é consideravelmente menor que a densidade do cimento anidro: 1 cm³ de cimento, após a hidratação completa, requer ao redor 2 cm³ de espaço para acomodar os produtos. Desse modo, com a hidratação do cimento, o espaço inicialmente ocupado pelo cimento e a água vai sendo gradativamente substituído pelos produtos da hidratação. Os espaços não ocupados, pelo cimento ou produtos de hidratação, são os vazios capilares. O tamanho dos vazios capilares é determinado pela relação água-cimento (que determina a distância entre as partículas de cimento anidro na pasta recém misturada) e o grau de hidratação do cimento.

3- Vazios de ar incorporado: são vazios de forma esférica, que estão presentes na pasta como resultado do uso de aditivos (vazios da ordem de 50 a 200 µm) ou aprisionados durante a operação de mistura (da ordem de 3 nm). São vazios muito maiores que os capilares, sendo capazes de afetar negativamente a resistência e impermeabilidade.

Os vazios produzidos durante o processo de crescimento dos cristais (capilares) e os de ar incorporado são os principais defeitos que estão na origem da formação e propagação das fissuras.

Observa-se que não é a porosidade total, mas a distribuição de poros que controla efetivamente a resistência, a permeabilidade, as variações de volume em uma pasta endurecida. Os poros grandes influenciam principalmente a resistência a compressão e a permeabilidade. Os poros pequenos influenciam mais a retração por secagem e a fluência. Os macros poros, vazios maiores que 50 nm, de uma pasta são admitidos como

prejudiciais à resistência e permeabilidade, enquanto vazios menores do que 50 nm, chamados de micro poros, são importantes para retração por secagem e a fluência.

Em resumo, a pasta endurecida contém as fases sólidas e diferentes tipos de vazios (poros).

2.1.5 - Água na Pasta Endurecida

A água pode estar presente na pasta de diversas formas. Além do vapor de água nos poros vazios ou parcialmente preenchidos, a água existe na pasta em diferentes formas.

Água capilar: água presente nos vazios maiores do que 50 Å.

Quando presente em vazios grandes, diâmetro > 50 nm, é chamada água livre, uma vez que a sua remoção não causa qualquer variação de volume. A água retida por tensão capilar em capilares pequenos, de diâmetro de 5 a 50 nm, pode causar retração do sistema.

A superfície dos produtos de hidratação do cimento é muito grande, quando comparada às pequenas dimensões dos cristais. A grande quantidade de átomos na superfície de tais cristais, cujas forças não estão totalmente saturadas pelos átomos vizinhos, cria as chamadas forças de van der Waals, que atraem as moléculas dos fluidos vizinhos. As moléculas de água são fortemente atraídas pela superfície dos cristais dos componentes hidratados do cimento. É a chamada água adsorvida. A perda da água adsorvida por secagem é a principal responsável pela retração da pasta na secagem.

A água interlamelar é a água associada à estrutura do C-S-H, é a água presente entre as camadas de C-S-H, e é perdida por secagem, levando a uma grande retração do C-S-H.

Água quimicamente combinada: é a água que é parte integrante da constituição de vários produtos hidratados do cimento. Não é perdida na secagem, mas é liberada quando os produtos hidratados são decompostos por aquecimento.

Às vezes é difícil classificar a água em uma das categorias acima, pois as diferentes categorias muitas vezes não se excluem. Por isso, é mais prático quando se estuda o fenômeno de secagem em distinguir apenas duas espécies de água: a evaporável e não evaporável. Como na classificação é utilizado o conceito de evaporação, classificar a água vai depender das condições de pressão de vapor e temperatura.

2.2 – Relação Água/Cimento

Para se obter, a partir do cimento, um sólido com a resistência necessária é preciso misturá-lo com água. De fato, os sais minerais que compõem o cimento reagem com a água dando origem a um novo sistema de compostos hidratados estáveis que cristalizam com hábito acicular, emaranhando-se e colando-se uns aos outros, o que confere ao conjunto uma determinada resistência.

O silicato tricálcico ao reagir com a água, liberta hidróxido de cálcio, uma parte do qual fica em solução, outra cristaliza e o silicato, perdendo cálcio, dá origem ao silicato tricálcico hidratado. Este silicato hidratado somente é estável quando em contato com soluções saturadas de hidróxido de cálcio, que a 20° C contenham de 1585 mg a 1450 mg deste hidróxido por litro de água, o que corresponde a um pH de 12,34 a 12,20.

O silicato bicálcico, ao reagir com a água também liberta hidróxido de cálcio (cerca de 1/3 do liberado pelo silicato tricálcico) e transforma-se num outro silicato de cálcio hidratado, no qual a relação entre o óxido de cálcio e a sílica é maior (1,65) do que no primeiro (1,50). O intervalo de estabilidade deste composto é muito maior do que o correspondente ao da hidratação do silicato tricálcico, pois vai até soluções com 130 mg de hidróxido de cálcio por litro de água, com pH=11,00.

A reação do aluminato tricálcico em aluminato tricálcico hidratado ocorre em soluções muito concentradas de hidróxido de cálcio, desde 1585 mg a 1430 mg por litro de água, ou seja, em soluções com pH entre 12,34 e 12,18.

O aluminoferrato tetra cálcio reagindo com a água liberta aluminato tricálcico e ferrato monocálcico. Este, reagindo com o hidróxido de cálcio libertado nas reações anteriores, transforma-se em ferrato tricálcico, que forma soluções sólidas com o aluminato tricálcico hidratado. Desta maneira o aluminato tricálcico fica protegido da ação do íon sulfato.

As reações com a água descritas só são atingidas em condições de hidratação perfeita, total, dos componentes. Ora estes não aparecem isolados numa só partícula de cimento com dimensões tão reduzidas que permitam a reação total, mas associados em partículas com dimensões da ordem de dezenas de micrômetros e somente estão em condições de se hidratar os componentes que se encontram na periferia; as reações levam também certo tempo a realizar-se, pelo que muitas vezes ficam em meio, e o produto final não se

obtem completamente. Deve-se ainda observar que os produtos das reações com a água também se influenciam uns aos outros, reagindo entre si. Tudo isto torna a hidratação do cimento um fenômeno extremamente complexo.

Na passagem ao estado sólido da mistura de cimento com água (pasta de cimento) distinguem-se dois períodos: a pega e o endurecimento.

A pega consiste na perda progressiva da consistência pastosa da mistura de cimento com água. O instante em que a massa começa a perder a sua consistência pastosa é o início da pega, e quando deixa de ser deformável, transforma-se numa massa rígida, é o fim da pega e o início do endurecimento.

O tempo para o início da pega informa sobre o tempo durante o qual a mistura permanece trabalhável.

A pasta de cimento, depois de se tornar rígida vai endurecer cada vez mais ao longo do tempo. O endurecimento refere-se ao desenvolvimento de todas as características que são necessárias para que o material desempenhe o seu papel na construção.

Le Chatelier, conforme COUTINHO (1997) baseado na teoria de Lavoisier para a pega do gesso, lista três fases durante a pega do cimento:

- a) fenômeno químico da hidratação;
- b) fenômeno físico da cristalização;
- c) fenômeno físico-químico da passagem ao estado sólido por meio da criação de ligações entre os diferentes cristais que conferem coesão ao sólido.

A resistência mecânica das pastas e argamassas de cimento depende, portanto, de dois fatores: da própria coesão dos componentes hidratados e da sua aderência, não só entre si, mas também ao inerte.

A coesão é uma propriedade fundamental da matéria com origem em forças elétricas, variando, como se sabe, de material para material. A maior parte dos constituintes hidratados tem uma grande coesão dos cristais.

A aderência é um fenômeno muito mais complexo e variável. Depende da natureza química dos corpos em contato e da natureza física das suas superfícies.

A relação água/cimento afeta diretamente essas forças de união e a porosidade da mistura. No entanto, na maioria das especificações para o concreto tanto a relação água/cimento quanto à queda são incluídas para se assegurar à resistência e funcionalidade do concreto. Na prática, somente o teste de queda é feito.

Procedimentos de teste que permitam a determinação dessa relação podem ser usados como uma ferramenta de controle de qualidade do concreto.

2.3 - Concreto nas Primeiras Idades

2.3.1 – Operações nas Primeiras Idades

A utilização de materiais apropriados e a dosagem são etapas importantes para a produção de um concreto que atenda as especificações de resistência e durabilidade. No entanto, isso não pode ser atingido se não se tomar o cuidado necessário nas operações que o concreto é submetido nas primeiras idades. Estas operações, como mistura, lançamento, adensamento, acabamento e cura, tem importante efeito nas propriedades do concreto.

O termo primeiras idades abrange apenas um período muito curto se comparado a expectativa de vida do concreto. A definição desse termo não é universal, pois o tempo que o concreto leva para atingir determinada maturidade depende de vários fatores (tipo de cimento, temperatura, aditivos, etc.). Pode-se adotar o conceito de que é o tempo necessário para que a determinada propriedade seja atingida, ou seja, o termo primeiras idades depende da forma como se usa o concreto. A definição de primeiras idades inclui de um lado a mistura de consistência plástica (que em condições normais leva de 6 a 8 horas), e de outro, o concreto endurecido com resistência suficiente que não exija maiores cuidados a não ser a cura úmida (em condições normais de 1 a 2 dias).

Apesar de ser um período pequeno, nele são realizadas inúmeras operações, tais como mistura, transporte até o local de aplicação, lançamento nas formas, adensamento, cura e desmoldagem. Estas operações são influenciadas pelas propriedades do concreto fresco (trabalhabilidade e tempo de pega). Essas propriedades por sua vez dependem do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento e acabamento, sendo por isso consideradas propriedades não intrínsecas do concreto. É importante o controle simultâneo das operações nas primeiras idades e das propriedades do concreto fresco para assegurar que o concreto seja adequado à finalidade a que se destina.

2.3.2 – Cura do Concreto

Os objetivos da cura são impedir a perda precoce de umidade e controlar a temperatura do concreto durante o período suficiente para que ele atinja a resistência desejada.

A desmoldagem é a última operação feita com o concreto no período das primeiras idades. As formas devem ser removidas quando o concreto for resistente o suficiente para suportar as cargas impostas e para que a superfície não seja danificada (CPV adquire nível adequado de resistência, 3,5 a 7,0 MPa de resistência de compressão, em cerca de 12 horas). Como a resistência da pasta de cimento fresca é função da temperatura e da umidade ambiente, deve-se determinar o tempo de desforma na medição direta da resistência e não em um tempo arbitrário.

O termo de cura do concreto trata dos procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, constituindo do controle do tempo, temperatura e condições de umidade imediatamente após a colocação do concreto nas formas.

Em condições normais de temperatura, alguns dos constituintes do cimento Portland começa a se hidratar a medida que é acondicionada água, mas as reações de hidratação são retardadas consideravelmente quando os produtos de hidratação cobrem os grãos de cimento anidro. Esta é a razão porque a hidratação somente pode proceder satisfatoriamente em condições de saturação, quando a pressão de vapor de água nos capilares cai para menos de 80% da umidade de saturação. Tempo e umidade são, portanto, fatores importantes nos processos de hidratação controlados pela difusão da água. Além do mais, como todas as reações químicas, a temperatura tem um efeito acelerador sobre as reações de hidratação.

Deve ser lembrado que as relações tempo-resistência em Tecnologia do Concreto geralmente supõem condições de cura úmida e temperatura normal. Para um dado fator água/concreto, quanto maior o período de cura úmida, maior a resistência, admitindo-se que a hidratação das partículas de cimento anidro continua ocorrendo.

A influência da umidade de cura sobre a resistência do concreto é evidente a: para um dado fator água/cimento, a resistência do concreto curado sob condições continuamente úmidas é maior do que a resistência do concreto curado continuamente ao ar.

Além disso, provavelmente como resultado da micro fissuração na zona de transição causada pela retração de secagem, um pequeno retrocesso da resistência ocorre em peças esbeltas de concreto curadas sob condições úmidas quando estas são submetidas à

secagem ao ar. A velocidade de perda de água do concreto, logo depois do seu lançamento não depende unicamente do fator superfície/volume do elemento de concreto, mas também da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar circulante.

Um período mínimo de 7 dias de cura úmida é geralmente recomendado para o concreto contendo cimento Portland comum; evidentemente, para concretos contendo cimento Portland composto ou adição mineral, será desejável a cura por um período mais longo a fim de garantir a contribuição na resistência das reações pozolânicas. A cura úmida é obtida através da aspersão ou molhagem, ou ainda pela cobertura da superfície com concreto com areia úmida, pó de serra ou sacos de aniagem. Dado que a quantidade de água de amassamento usada na mistura do concreto é normalmente maior do que a necessária para a hidratação do cimento Portland (estimada em 30% em massa de cimento), a aplicação de uma membrana impermeável logo após o lançamento do concreto proporciona um meio aceitável de manter o processo de hidratação do cimento e garantir uma velocidade satisfatória de desenvolvimento da resistência do concreto.

Temperatura. Para concreto curado em condições úmidas, a influência da temperatura sobre a resistência depende da história de tempo-temperatura do lançamento e da cura. Isto pode ser ilustrado com o auxílio de três casos: concreto moldado (lançado) e curado na mesma temperatura; concreto lançado em temperaturas diferentes, mas curado à temperatura normal; concreto lançado à temperatura normal, mas curado a diferentes temperaturas.

Na faixa de temperatura de 4 a 46°C, quando o concreto é lançado numa temperatura específica e constante, é geralmente observado que, até os 28 dias, quanto maior a temperatura, mais rápida é a hidratação do cimento e o ganho de resistência resultante. As idades maiores, quando se reduzem as diferenças no grau de hidratação do cimento, tais diferenças na resistência do concreto não são mantidas. Tem sido observado que quanto maior a temperatura de lançamento e cura, menor será a resistência final.

A partir dos estudos microscópicos, muitos pesquisadores concluíram que, para cura a baixas temperaturas, uma microestrutura relativamente mais uniforme da pasta de cimento hidratada (principalmente quanto à distribuição do tamanho dos poros) explicaria a maior resistência.

Como as reações de hidratação dos compostos do cimento Portland são lentas, entende-se que níveis adequados de temperatura devem ser mantidos por tempo suficiente para

proporcionar a energia de ativação necessária para as reações. Isto permite que o processo de desenvolvimento da resistência, que é associado com o progressivo preenchimento dos vazios com os produtos da hidratação, prossiga livremente.

A influência da história de tempo-temperatura sobre a resistência do concreto tem várias aplicações importantes na prática de construção em concreto. Dado que a temperatura de cura é muito mais importante para a resistência do que a temperatura de lançamento, o concreto comum lançado em clima frio deve ser mantido a uma certa temperatura mínima por tempo suficiente. De um concreto curado no verão ou em clima tropical pode se esperar que tenha uma resistência inicial maior, porém, uma menor resistência final do que o mesmo concreto curado no inverno ou em clima frio.

Na indústria de pré-moldados de concreto, a cura a vapor é usada para acelerar o desenvolvimento da resistência e fazer a desforma mais rapidamente. Nos elementos maciços, quando não são tomadas medidas de controle de temperatura, durante um período longo de tempo, a temperatura permanecerá em níveis altos do que a temperatura ambiente. Portanto, comparada a resistência de corpos-de-prova curados à temperatura normal em laboratório, a resistência de corpos-de-prova curados à temperatura normal em laboratório, a resistência do concreto *in loco* será maior a baixas idades e a menor a idades maiores.

2.4 – Propriedades nas Primeiras Idades

2.4.1 - Segregação e Exsudação

Segregação é a separação dos componentes do concreto fresco de tal forma que a sua distribuição não é mais uniforme. Existem dois tipos de segregação: segregação dos agregados da argamassa do concreto e a exsudação.

A exsudação é a tendência da água, o componente mais leve, de separar-se dos outros. A manifestação desse fenômeno é o aparecimento de água, na forma de nata, na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém, antes de ocorrer a sua pega. Também pode observar-se a saída de água através de fendas ou locais mal vedados dos moldes. Ela escorre, pois os sólidos mais pesados em suspensão tendem a se sedimentar sob a ação da força da gravidade e os outros materiais constituintes não

conseguem reter toda a água da mistura em estado disperso. A água tende a percolar nos capilares internos do concreto, carregando partículas finas de concreto, areia e argila e deposita-se sob a forma de lama na superfície do concreto. Essa nata possui elevada relação água/cimento, sendo, portanto porosa e fraca, levando a superfície apresentar tendência e pulverulenta. Além disso, os produtos dessa pasta porosa são facilmente carbonatados ao ar. Se essa carbonatação ocorrer junto a uma junta de concretagem ou camada intermediária, ocorrerá uma ligação mais fraca com a próxima camada. Comumente, somente parte da água de exsudação sobe a superfície, uma grande parte fica retida embaixo dos agregados e nas barras das armaduras, quando existem, promovendo a formação de cavidades grandes junto ao elemento estrutural, ficando a região mais fraca. Se a perda da água fosse uniforme em toda a mistura, e se quando aparecesse na superfície do concreto fosse retirada, a qualidade do concreto seria bem melhor como resultado da redução da relação água/cimento. Os principais fatores que influenciam na exsudação são o fator água/cimento e o teor de elementos finos: a exsudação ocorre em concretos com alta relação água/cimento e com poucas partículas finas que retenham a água. Um aumento na quantidade de cimento e o uso de adições minerais e de ar incorporado são medidas comumente empregadas para combater a tendência à exsudação. Cimentos, com grandes quantidades de cálcio e álcalis, que apresentam grande perda de abatimento, tendem a reduzir a exsudação.

A segregação em misturas secas pode ser reduzida por um pequeno acréscimo de água, por uma diminuição da dimensão máxima do agregado graúdo e o uso de uma areia mais fina. Quando o concreto deve ser lançado de grandes alturas ou contra um obstáculo a mistura deve ser bem coesa para que não ocorra segregação.

2.4.2 - Trabalhabilidade

É a propriedade do concreto que determina o esforço necessário para manipular (lançar, adensar e acabar) uma quantidade de concreto fresco com a perda mínima de homogeneidade. A noção de trabalhabilidade é, portanto, bastante vaga e imprecisa. No seu conceito estão envolvidas em uma série de propriedades físicas. O esforço necessário para lançar o concreto depende do esforço para início e manutenção do fluxo, que, por sua vez, depende das propriedades reológicas da pasta, do atrito interno das

partículas dos agregados, do atrito interno das partículas dos agregados e do atrito do concreto com a superfície da forma. O esforço para adensar o concreto depende das características de fluxo e da facilidade de eliminação dos vazios sem abalar a capacidade de reter a água e agregado graúdo na massa, ou seja, sem ocorrer exsudação ou segregação. Dessa forma, a trabalhabilidade é função da mobilidade ou fluidez do concreto fresco (consistência) e da resistência à exsudação e à segregação da mistura (coesão). Não existe nenhum método de ensaio para medir trabalhabilidade devido à sua natureza composta e ao fato dela não ser uma propriedade intrínseca (está relacionada ao tipo de construção e métodos de lançamento e adensamento). É comum à medida do índice de mobilidade ou fluidez, ou seja, da consistência do concreto fresco.

A trabalhabilidade das misturas de concreto depende da relação água-cimento e do uso de aditivos. Concretos que possuem proporção elevada de cimento ou de cimento muito fino tendem a ser mais coesos, mas são menos fluidos.

Agregados graúdos menores, ou areias muito finas ou angulosas necessitam de mais água para uma mesma consistência. Aditivos pozolânicos tendem a aumentar a coesão do concreto. Aditivos incorporadores de ar aumentam o volume de pasta e melhoram a consistência e aumentam a coesão.

2.4.3 – Perda do Abatimento

Pode ser definida como perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo, resultante da pega da pasta de cimento Portland hidratada, que está associada à formação dos produtos de hidratação. A perda de abatimento ocorre quando a água livre da mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação, por absorção e absorção na superfície dos produtos de hidratação, e por evaporação. Sob condições normais durante a primeira hora a perda de abatimento é insignificante, pois o volume dos produtos de hidratação é pequeno. Depois desse período, a taxa é função da temperatura, dos aditivos e da natureza do cimento. Deve-se controlar a perda por abatimento para que as operações de lançamento, adensamento e acabamento, não fiquem prejudicados. A perda precoce do abatimento pode ser devido a um longo tempo de mistura, transporte, lançamento, adensamento ou acabamento, ao emprego de um

cimento de pega normal, alta temperatura do concreto devido a um calor de hidratação excessivamente alto ao uso de materiais estocados em temperatura ambiente alta.

2.4.4 – Mudanças Iniciais de Volume

Após algumas semanas da moldagem observa-se o assentamento do concreto, uma redução de volume do concreto fresco, chamada de retração. Como resultado da retração, desenvolve-se fissuras acima dos elementos estruturais e grandes partículas de agregados do concreto. Essas fissuras ocorrem devido ao concreto não fluir e não possuir resistência suficiente para suportar as tensões de tração causadas pela retração.

As fissuras típicas de retração são paralelas entre si e afastadas umas das outras de 0,3 a 1m, tendo de 25 a 50 nm de profundidade. São varias as causas da retração: exsudação, absorção de água pelas formas ou pelo agregado, redução de volume do sistema cimento-água, inchamento da formam, rápida ($>1 \text{ kg/m}^2$) perda de água por evaporação (devido a alta temperatura do concreto, baixa umidade e vento em alta velocidade). A revibração do concreto, quando o mesmo ainda se encontra em estado plástico, pode eliminar fissuras de retração.

2.4.5 – Tempo de Pega

Pega de concreto é definida como o início da solidificação da mistura fresca de concreto. Apesar das reações entre o cimento e a água serem as causas da pega do concreto, o tempo de pega do concreto não coincide com o tempo de pega do cimento. Isto ocorre, pois a relação água/cimento nos dois é diferente: em geral quanto maior a relação água/cimento maior é o tempo de pega. Os fatores que determinam o tempo de pega do concreto são seus componentes, a relação água-cimento, a temperatura e os aditivos. Assim, como para o cimento, são definidos arbitrariamente, por um método de ensaio, o inicio e o final de pega do concreto, que não tem de coincidir exatamente com o tempo do final de trabalhabilidade e com o inicio da resistência mecânica.

2.4.6 – Temperatura

O concreto desprotegido e em clima quente está sujeito à fissuração por retração, ao aumento da perda de abatimento e à redução do tempo de pega, aumento do consumo de água para determinada consistência é a maior dificuldade de retenção de ar incorporado. Concretos lançados e curados a altas temperaturas desenvolvem grandes resistências iniciais, mas aos 28 dias e em idades posteriores, as resistências podem ser menores comparativamente, durante as primeiras idades.

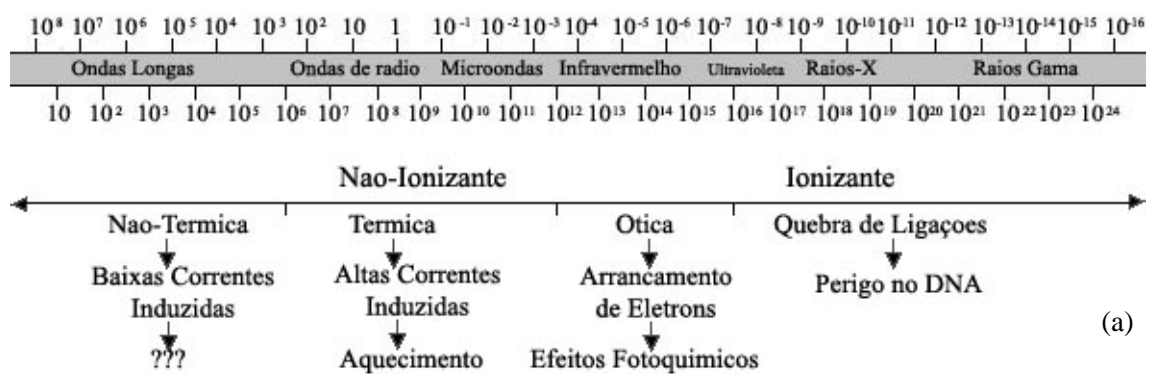
Em clima frio, a cura insuficiente do concreto pode impedir ou retardar seriamente a taxa de desenvolvimento da resistência. O concreto fresco deve ser protegido contra a expansão gerada pelo congelamento da água até que a resistência adequada seja atingida. Sem fontes externas de aquecimento, o calor de hidratação do cimento, em peças de concreto grandes e bem isoladas termicamente, pode ser suficiente para manter temperaturas de cura satisfatórias.

2.5 - Microondas

No século XIX, James C. Maxwell explicou os fenômenos elétricos e magnéticos através da teoria eletromagnética. O desenvolvimento subsequente permitiu a compreensão e a utilização das ondas eletromagnéticas. Essas ondas, compostas por campos elétricos e magnéticos, podem ser geradas por fenômenos naturais, como o Sol, ou criadas pelo homem. Os exemplos de ondas eletromagnéticas vão desde a luz até a radiação gama.

As ondas eletromagnéticas têm a capacidade de carregar energia para longe da fonte que as gerou. Quanto maior a frequência da onda, mais energia ela contém. Além disso, ondas de frequências diferentes não interferem entre si, fazendo com que a frequência seja uma das principais características das ondas eletromagnéticas. Como todas as ondas eletromagnéticas se deslocam na velocidade da luz, há uma relação fixa entre frequência e comprimento de onda, o que faz com que os gráficos normalmente mostrem as frequências crescentes e os comprimentos de onda decrescentes correspondentes em um mesmo eixo. O conjunto de todas as frequências das ondas eletromagnéticas é chamado de espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético é contínuo, mas, para fins práticos, foram definidas diversas regiões, sendo a divisão baseada nas propriedades e utilidades distintas das diversas frequências, como mostrado na figura 2.2. Por exemplo, o ultravioleta é refletido para fora da Terra pela camada de ozônio, as radiofrequências são refletidas de volta para a Terra pela ionosfera, corpos quentes emitem no infravermelho, etc. A divisão mais clara é a que delimita o espectro visível. Seres humanos percebem, através do sentido da visão, as frequências entre 500.000 GHz (vermelho) e 1.000.000 GHz (violeta). As frequências acima do visível são chamadas de ultravioleta e além do ultravioleta encontram-se os raios X e os raios gama. Abaixo do espectro visível encontra-se o infravermelho. Nessa região também estão às radiofrequências, utilizadas em radares e transmissões de rádio e TV. Dentro das radiofrequências estão localizadas as microondas.



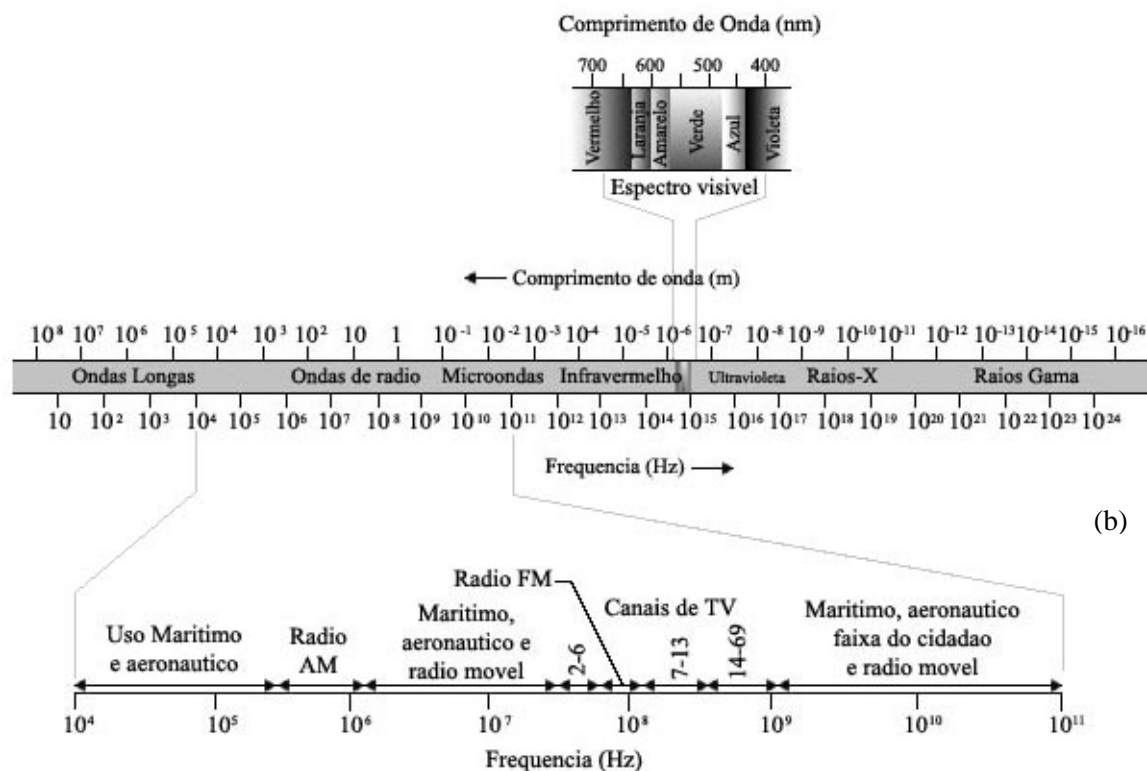


Figura 2.2 – Divisão do espectro eletromagnético: (a) efeitos e (b) aplicações (HALLIDAY e R, 1993).

Denominam-se microondas todas as frequências entre 01 GHz e 300 GHz. Esta parte do espectro eletromagnético é usada pelo GPS (Global Positioning System), para transmissão de TV via satélites, para radares e várias outras utilidades. Durante a Segunda Grande Guerra, foi descoberto que frequências de microondas podiam aquecer moléculas de água. Esse aquecimento ocorre devido à capacidade das moléculas de água de absorverem ondas com essas frequências e, através de vibrações, transformá-las em energia térmica. Essa transformação da energia da onda eletromagnética em energia térmica pode ser melhor exemplificada por uma analogia: um barco no mar pode subir e descer ao sabor das ondas. Entretanto, se estiver encostado em um cais, a subida e descida provocarão atrito entre o barco e a madeira transformando a energia da onda em energia cinética e energia térmica. As microondas funcionam pelo mesmo princípio. As microondas têm sido utilizadas para as mais diferentes aplicações, conforme HALLIDAY e ROSTAM (1993). Por produzirem o calor em moléculas dentro do material e, portanto, não dependerem da condução para aquecer, as microondas é uma

maneira eficiente de aquecer materiais não condutores. Além disso, elas atravessam plástico, vidro e diversos materiais não-metálicos sem afetá-los. A frequência 2,45 GHz, utilizada em fornos de microondas domésticos e várias outras aplicações, foi escolhida por penetrar bem em materiais orgânicos, permitindo um aquecimento uniforme, HALLIDAY (1993).

2.6 – Microondas e Concreto

Recentemente, pesquisadores da Universidade de Tel Aviv desenvolveram um equipamento do tipo furadeira capaz de perfurar materiais como concreto e cerâmica, utilizando a energia emitida por microondas através de um eletrodo. O equipamento focaliza microondas (as mesmas que os fornos microondas comuns utilizam) na área a ser perfurada. Com o aquecimento, o ponto é aquecido e mais microondas são absorvidas em um mecanismo conhecido por “fuga térmica”. A temperatura final pode ultrapassar 1.400°C, suficiente para derreter aço. Além de não gerar barulho, a nova furadeira também não deixa poeira ou cavacos (refugo do material usinado).

Atualmente, só é possível furos de profundidade máxima igual a um quarto do comprimento das ondas utilizadas, no caso das microondas, cerca de 2,5 cm.

As microondas têm sido utilizadas em ensaios não destrutivos. Em 1991 foi proposto um primeiro tradutor capaz de detectar trincas e bolhas em pequenas espessuras de concreto, conforme D. R. ANDREWS (1981). Trabalhos citados por J. HRUSCHKA e G. DESHCENKO (1998) relatam o desenvolvimento de métodos baseados em análise de imagens obtidas a partir de energia eletromagnética das microondas que são capazes de detectar defeitos internos em paredes de concreto. É possível avaliar a presença de bolhas de ar à profundidade de 5 cm em parede de concreto de 15 cm de espessura. Uma segunda geração de equipamentos já está no mercado. Pesquisadores da Universidade da Califórnia avaliaram o emprego tal método para detectar e quantificar defeitos internos de estruturas de concreto, citados por FENG et al. (2002) – BUYUKOZTURK e RHIM.

Uma outra utilização das ondas eletromagnéticas de alta frequência está relacionada ao fato das microondas serem capazes de penetrar nos materiais e promover um rápido aquecimento do mesmo. Esse aquecimento é baseado na associação interna da

dissipação da energia e na excitação molecular de dipolos em um campo eletromagnético, o que permite uma taxa de aquecimento mais elevada e uniforme, se comparado com as técnicas de aquecimento convencionais. A utilização de microondas de modo a promover a cura acelerada do concreto e a determinação do fator água/cimento da mistura tem sido alvo de interesse de alguns estudos.

2.6.1 – Cura Acelerada por Microondas

Trabalhos desenvolvidos na Austrália e nos Estados Unidos, citados por W. U. at al. (1997) e TUMIDAJSKI at al. (2003) mostram que é possível utilizar o método de aquecimento por microondas para a aceleração da cura do concreto. Nesse processo um pequeno período de tempo é suficiente pra fornecer resistência desejada aos 28 dias. Deve-se levar em conta que o aumento da temperatura tem de ser feito em recinto saturado de umidade, de forma que a água necessária a determinado tempo, a remoção da água pode resultar no colapso dos capilares e como consequência, ocorre a densificação do concreto. A resistência do concreto curado por microondas pode ser, a longo prazo, maior que aquela obtida párea o concreto convencionalmente curado.

Segundo LEUNG e PHEERAPHAN (1995), pesquisadores do Departamento de Engenharia Civil do Massachusetts Institute of Technology, alguns fatores devem ser levados em consideração: potência e posição de aplicação, conforme WU at al. (1987). Segundo os mesmos pesquisadores, os geradores capazes de fornecer uma potência que possa ser continuamente mudada são muito mais caros do que os geradores de potência fixa, por exemplo, no forno da cozinha doméstica. Neste caso, poderia ser usado o gerador de potencia fixa, dede que através de desligamentos em diferentes frações de tempo se forneça uma potencia discreta em diferentes níveis. O Instituto de Pesquisas da Austrália (CSIRO) tem atuado nessa área através de trabalhos conduzidos por Swee Liag Mak. Na tecnologia adotada o calor usado para a cura do concreto é reduzido em três vezes em relação à taxa convencional usando o vapor ou outro método de aquecimento. Em métodos convencionais, o uso de taxas de aquecimento muito rápidas pode causar danos significativos ao concreto. Segundo os trabalhos dos pesquisadores australianos, o uso de microondas permite que taxas mais elevadas sejam usadas sem colocar em risco a qualidade do concreto. Diferentemente dos pesquisadores do instituto

americano que trabalham com curas em 1h, esses estudiosos tem obtido bons resultados com curas em torno de 4,5h, conforme TUMIDASJSK et al. (2003).

2.6.2 – Determinação da Relação Água/Cimento no Concreto Fresco por Secagem em Forno Microondas

A resistência da pasta de cimento depende da porosidade do concreto e da sua durabilidade. Entretanto, não existe nenhum método pratico ou fácil de medição para a quantidade destes poros, ficando difícil o controle de qualidade do concreto baseado na quantidade destes poros. A adição de água no limite normal para o concreto na relação água/cimento 0,40 a 0,50 afeta somente a porosidade capilar do concreto, conforme NAIK e RAMME (1986). É útil a medição da relação água/cimento na determinação da quantidade do concreto que é entregue em campo.

Vários métodos foram desenvolvidos para medir o conteúdo de água/cimento do concreto, mas nenhum destes métodos é simples e rápido. A partir dos anos 80 iniciaram-se pesquisas onde se usava o forno de microondas para avaliar a relação água/cimento, CONFORME NAIK e RAMME (1986). Resultados encorajadores foram obtidos com mais de 94% de recuperação da água de mistura. Outros efeitos, como tamanho das amostras, ar, cinzas e outros agregados, têm sido explorados em inúmeros projetos de pesquisa. Entretanto, temia-se que o método do forno de microondas pudesse decompor partículas de cimento hidratado, aumentando o conteúdo da água. Observou-se que o tempo desde a mistura até os testes também influenciam a relação água/cimento medida. Na química do cimento, quando a água é misturada ao cimento, produtos de hidratação se formarão imediatamente. Estes têm moléculas de água aderidas, que existem em diferentes estágios. Nestes produtos, existe água que se evapora e água que não se evapora.

Entretanto, deve haver alguma quantidade de água que não pode se evaporar usando-se calor gerado pelo forno de microondas. NAIK e RAMME (1986) indicaram que se as amostras fossem estáveis por 30 minutos antes do testes, os resultados indicavam cerca de 2 a 4% de erro dos valores conhecidos. Resultados mais recentes do Programa de Pesquisa Estratégica de Estradas (Strategic Highway Research Program – SHRP) dos Estados Unidos indicaram ser possível um método gravimétrico de secagem por

microondas para medir conteúdo de água no concreto fresco como entregue, de acordo com NANTUNG (1998). Foi utilizado um microondas com potência de 900 W, foram analisadas diferentes misturas de concretos convencionais. Resultados indicaram que, com a relação de forma precisa em 14-16 minutos, conforme NAGI (1994). Obtiveram-se resultados bastante encorajadores. Foi possível a recuperação de mais de 91% da água da mistura. Foi observado que o teor de absorção dos agregados não afeta a percentagem de recuperação de água das misturas de concreto, mas a quantidade de agregados graúdos na amostragem, sim. Esta quantidade de agregados graúdos na mistura de concreto foi indicada como fonte de erro na determinação da porcentagem de água nas misturas de concreto que usava o procedimento do forno de microondas.

Estudos de 1998 analisaram esse efeito, conforme NANTUNG (1998) foram estudadas amostras de 1500 g.

Foi utilizado um microondas de 1200Watts que agregados que vieram de diferentes fontes. A relação água/cimento estimada foi de 0,44 e *slump* de 7,5 a 10 cm para dar aproximadamente 38 MPa de resistência compressiva em 28 dias.

Os resultados indicaram que quanto menor a quantidade dos agregados graúdos na mistura, mais alta é a percentagem de água. Os aumentos da percentagem de água nas misturas é um resultado da diminuição no peso total das amostras. Este resultado indicou que a quantidade e capacidade de absorção dos agregados graúdos em uma amostra devem ser tomadas em consideração, quando a relação água/cimento está para ser determinada. Foi proposto um fator de correção baseado na quantidade de agregado graúdo na amostra e na capacidade de absorção dos agregados (T 318 – 02). Os resultados mostram que usando técnicas apropriadas de amostragem e com a aplicação do fator de correção, a relação água/cimento pode ter uma precisão menor que 0,01.

3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1–Introdução

O procedimento experimental consistiu na determinação da variação da massa, antes e após a secagem em forno de microondas, de pastas e concretos no estado fresco. Com o objetivo de avaliar a influência de diferentes variáveis no método estudado, foram confeccionados concretos com e sem agregados, utilizando três tipos de cimento, e diferentes fatores água/cimento.

Foram estudados concretos confeccionados com e sem agregados graúdos, a fim de se avaliar a influência da granulometria do agregado. Os experimentos com esses materiais foram realizados em dois momentos. Primeiramente foi utilizando o cimento CP-II. No segundo momento foi avaliada a influência do tipo de cimento na absorção de água pela mistura. A relação água/cimento em cada caso foi obtida a partir de considerações sobre a variação do peso da amostra antes e após a cura do concreto no forno de microondas. Dessa forma, antes de se iniciar os experimentos foi necessário estabelecer as condições de cura:

- a) potência do forno (variação de 10 a 100% da potência máxima do forno de 900 watts);
- b) tempo de exposição (01 minuto e 20 segundos a 11 minutos);
- c) pesagem da amostra, após exposição.

Após a preparação e acondicionamento dos compósitos em vasilhame apropriado para microondas, esses foram pesados e inseridos no forno, nas condições de cura descritas acima.

3.2–Materiais

Foram confeccionados concretos com três diferentes tipos de cimento. Foi utilizado cimento CP-II, cujas características/composição são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição de cimento CP-II E 32

Fórmula abreviada	ligas / aditivos	percentagem
C ₂ S	SiO ₂	10,40
C ₃ S	CaO	55,50
C ₃ A	Al ₂ O ₃	6,85
C ₄ AF	Fe ₂ O ₃	11,30

No caso do cimento CP-III, com escória, cujas características/composição são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Composição do cimento CP-III 32.

Fórmula abreviada	ligas / aditivos	percentagem
C ₂ S	SiO ₂	5,60
C ₃ S	CaO	42,70
C ₃ A	Al ₂ O ₃	10,79
C ₄ AF	Fe ₂ O ₃	0,80

Tabela 3.3 - Composição do cimento CP-V - ARI.

Fórmula abreviada	ligas / aditivos	Porcentagem
C ₂ S	SiO ₂	18,93
C ₃ S	Cão	60,25
C ₃ A	Al ₂ O ₃	4,35
C ₄ AF	Fe ₂ O ₃	2,57

Na confecção dos concretos foram utilizados os agregados areia e brita. Foi utilizada areia de origem natural, lavada, de tamanho médio, isenta de materiais estranhos e nocivos à ação do endurecimento do cimento. Foi utilizada brita zero, de gnaisse. A água empregada é da COPASA. Esses materiais foram caracterizados segundo as normas vigentes e se mostraram adequados para a confecção do concreto. Os concretos foram confeccionados utilizando as relações água/cimento de 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 e 0,9. Esses valores foram escolhidos por englobarem as relações usadas em concretos de alto desempenho (0,40), os preconizados na norma brasileira (0,45 a 0,65) e as comumente praticadas.

3.3-Métodos

No presente trabalho inicialmente foram elaborados ensaios preliminares que constaram: 1) adequação de um forno de microondas doméstico de potência de 900 watts, com seletor de potência de 10 a 100 %, da determinação da potência a ser utilizada; 2) desenvolvimento dos compósitos (argamassas e concretos); 3) pesagem através de uma balança de precisão, com aproximação de décimo do grama; 4) controle da impregnação dos equipamentos pela umidade ambiente e dos ensaios com cimento sem umidade. 5) determinação do tempo de incubação (espaço de tempo após a preparação dos compósitos e o início da retirada da água no microondas) devido ao aquecimento. Em seguida se iniciou o estudo do efeito dos constituintes no processo: efeito do cimento / água; cimento / água / areia; cimento / água / areia / brita. Para cada estudo foi fixada a água e o tipo de cimento. Analisar-se-á o efeito do teor de água e o efeito do cimento.

As amostras estudadas consistiram da mistura fluída, de peso determinado em gramas e confeccionadas para cada experimento. Foram realizados em torno de 30 experimentos para cada situação. Cuidados especiais foram tomados com o ambiente e recipientes tais como: limpeza e secagem dos utensílios e microondas, e a balança foi calibrada, nivelada e protegida contra ventos e poeira. Também foram adotadas medidas para evitar perdas inerentes ao procedimento, tais como: proteção da amostra no recipiente, com papel toalhas, evitando o respingo dos materiais no microondas. A colher utilizada para misturar foi pesada juntamente com o vasilhame e inserida ao forno para evitar perda de material aderido.

Após a mistura manual dos componentes foi feita a pesagem da amostra. A pesagem se deu antes e após a cura com o forno de microondas. Foi utilizada uma balança de precisão.

As amostras fluídas foram secas em forno de microondas na frequência 2,45 GHz. Essa frequência é a utilizada em fornos domésticos e várias outras aplicações. Foi escolhida por penetrar bem em materiais permitindo um aquecimento uniforme.

4

RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. – Introdução

Com a metodologia proposta foram coletados dados relativos ao tempo e potência necessários para retirada de toda a água de diferentes misturas de água, cimento e agregados. Foram inicialmente estudados pequenos volumes de material (da ordem de 30,4 cm³). Os resultados obtidos com a metodologia proposta são apresentados na íntegra no anexo. Foram confeccionadas 383 amostras. Nem sempre a retirada total da água foi conseguida. Como foram utilizadas diferentes combinações de tempo e potência do forno, de forma a se ter resultados que independam do forno. Os valores obtidos foram transformados em energia (joules) necessária para retirada de toda a água. A transformação dos valores utilizados em energia foi obtida multiplicando-se a potência do forno em watts (joule/segundo) pela potência utilizada (de 10 a 100% da potência total) e pelo tempo, em segundos, de exposição da amostra no forno.

Resultados típicos obtidos foram agrupados em gráficos de 4.1 a 4.21, de modo a viabilizar a análise da influência do tipo de cimento, do agregado e do tempo de incubação.

Não foi feito o tratamento estatístico dos dados, pois se trata de um trabalho de base, exploratório, onde se visa a viabilidade do método para a situação brasileira.

4.2 – Análise da Influência do Tempo de Incubação

Nas figuras 4.1 a 4.6 são apresentados para pasta, argamassa e concreto com cimentos CP-II, CP-III e CP-V, os valores médios de energia necessária para retirada de toda a água de uma mistura com fator água/cimento variando de 0,4 a 0,9 para diferentes tempos de incubação (0, 1800 e 3600s). Em alguns casos só foram estudados os fatores 0,4 e 0,5. Isto ocorreu em função de dados já obtidos e pelo fato de que esses valores encontram-se abaixo do valor máximo 0,65 estabelecido pela Norma Brasileira. NBR 6.118 (2003), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), do ponto de vista de durabilidade do concreto.

A certeza de que toda a água foi retirada se baseia no fato que o material foi seco inicialmente e que a água presente na mistura era a água adicionada. Dessa forma considera-se como finalizado o processo quando o peso da água retirada se igualava ao peso da adicionada.

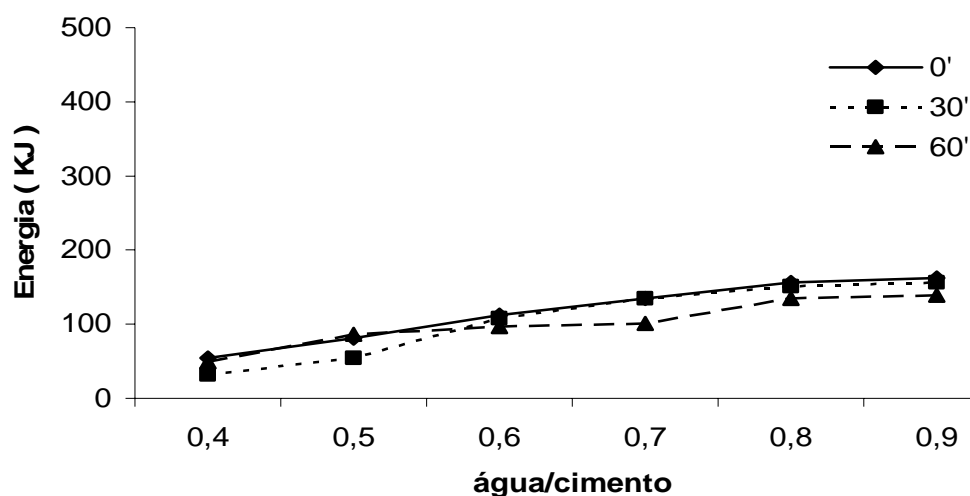


Figura 4.1: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-II, com distintos fatores água/cimento e diferentes tempos de incubação.

A análise da figura 4.1 indica que para a pasta de cimento CP-II, o tempo de incubação praticamente não altera de maneira significativa a energia média necessária para um mesmo fator água/cimento. A energia necessária para a retirada da água adicionada para

os diferentes tempos de incubação, varia de 22kj para o fator 0,4; 32kj para o fator 0,5; 15kj para o fator 0,6; 34kj para o fator 0,7; 25kj para o fator 0,8 e 23kj para o fator 0,9.

Na figura 4.2 e 4.3 são apresentados os resultados para as misturas com o CP-V. Nas misturas com CP-V observa-se que a energia varia com o tempo de incubação. Essa variação é maior para maior relação água/cimento. Isto poderia estar relacionado com as características do cimento, ou seja, é um cimento de alta resistência inicial, cuja finura poderia dificultar a retirada de grande volume de água.

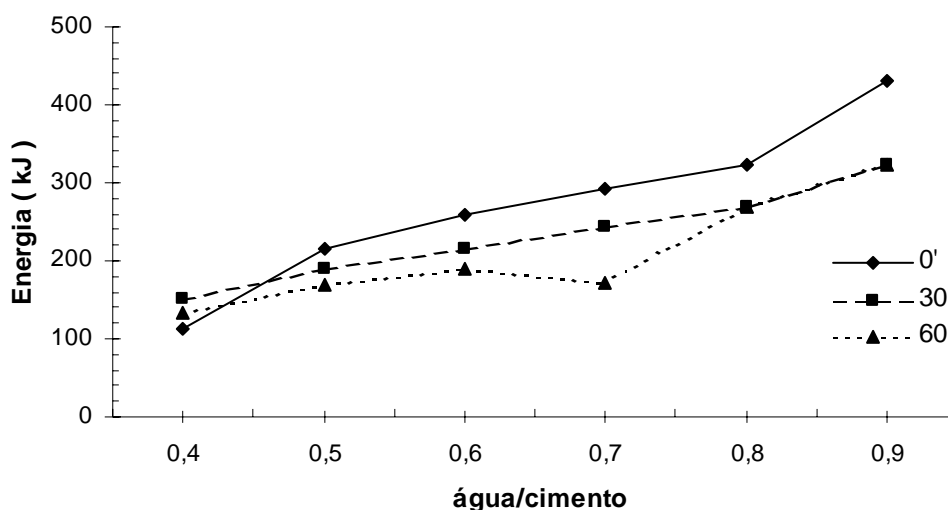


Figura 4.2: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-V + areia, com distintos fatores água/cimento e diferentes tempos de incubação.

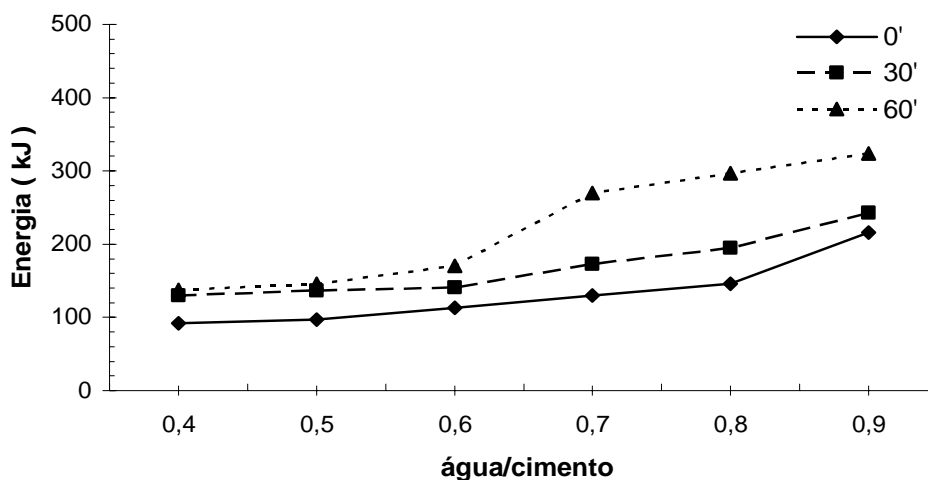


Figura 4.3: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-V + areia + brita, com distintos fatores água/cimento e diferentes tempos de incubação.

Nas figuras 4.4 a 4.6, são apresentados os resultados com CP-III. Cabe lembrar que devido às dificuldades experimentais foram estudados apenas fatores que levam a concretos mais duráveis.

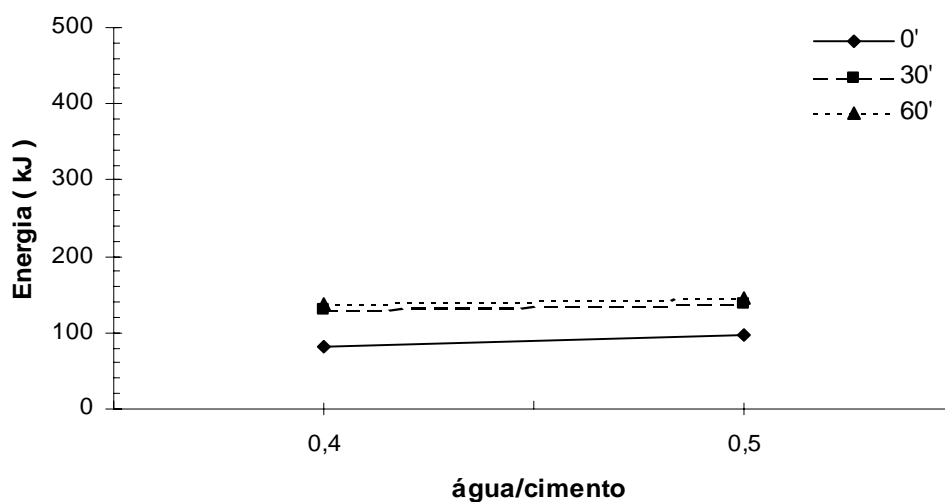


Figura 4.4: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e diferentes tempos de incubação.

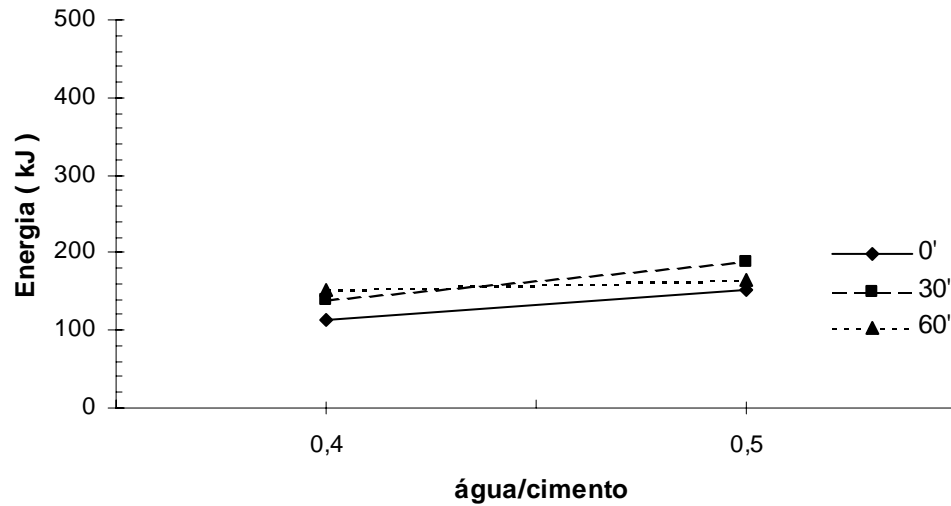


Figura 4.5: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-III + areia, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e diferentes tempos de incubação.

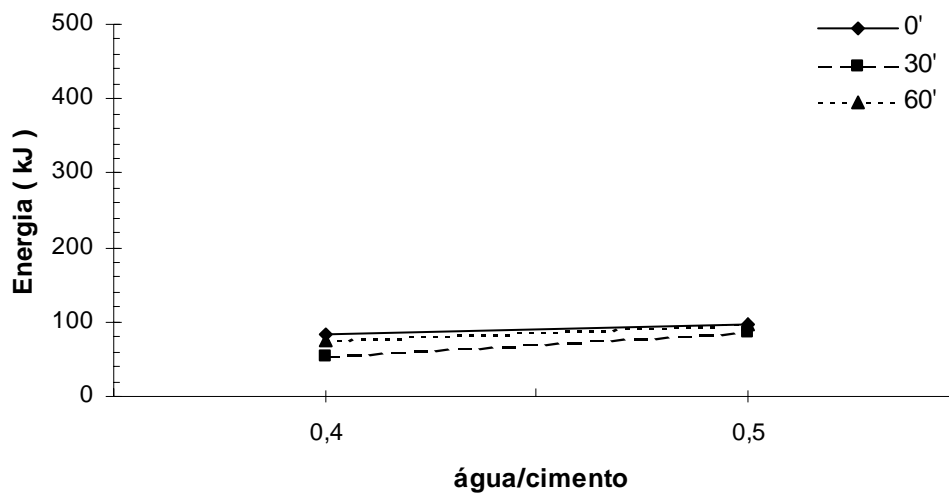


Figura 4.6: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma mistura de água + cimento CP-III + areia + brita, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e diferentes tempos de incubação.

Nas misturas com cimento CP-III, pasta, argamassa e concreto, o tempo de incubação afeta muito pouco na energia necessária para a retirada de toda a água. Comportamento similar à das misturas com CP-V e CP-III para os fatores 0,4 e 0,5.

A análise global das figuras 4.1 a 4.6 indica que para a retirada de toda a água da mistura, para fatores água/cimento entre 0,4 e 0,5, pode ser realizada no período compreendido entre zero e 3600s após a fabricação do concreto. Desta forma seria possível a determinação da água presente nas misturas utilizando microondas em um período de até 3600s de fabricação do concreto, para fatores mais altos mais estudos precisam ser realizados. Para fatores mais altos o tempo afetaria os resultados. Esses dados vão de encontro aos descritos na literatura, que indicam ser o método adequado para a retirada de água da mistura, entre os fatores 0,25 e 0,65, conforme CORVIB (2007).

4.3 – Análise da Influência dos Agregados

A influência dos agregados grão e miúdo pode ser avaliada pela análise das figuras 4.7 a 4.12. Nessas figuras são apresentadas, para pasta, argamassa e concreto, os valores necessários para a retirada de toda a água de uma mistura, com diferentes fatores água/cimento e para os tempos de incubação estudados.

Para o cimento CP-III (figuras 4.7 a 4.9) observa-se que a retirada de água da argamassa exige em torno de 25% a mais de energia do que para a retirada de água da pasta. O concreto consome um pouco menos de energia do que a argamassa, chegando no caso de zero segundo a exigir a mesma quantidade de energia que a pasta. Isto poderia estar relacionado a granulometria da areia que absorve mais água. Nas argamassas a proporção de agregado miúdo é superior a do concreto, o que leva a uma maior dificuldade da retirada da água das argamassas.

As figuras 4.7 a 4.9 relatam o comportamento das misturas com o CP-III.

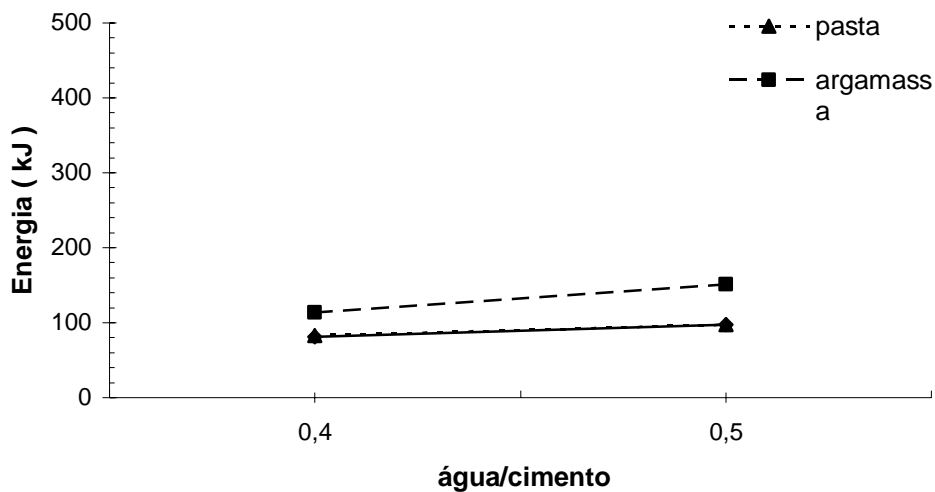


Figura 4.7: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água de uma das misturas, CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação zero segundo.

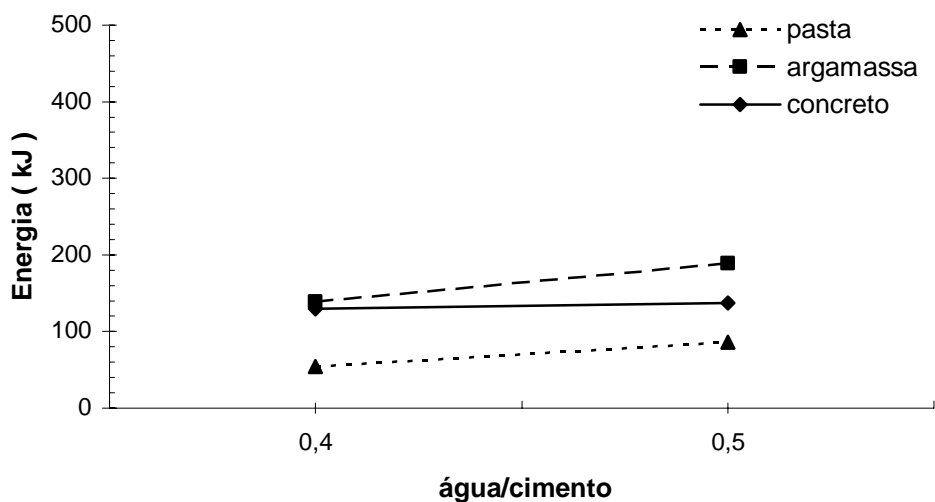


Figura 4.8: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das misturas, CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 1800 segundos.

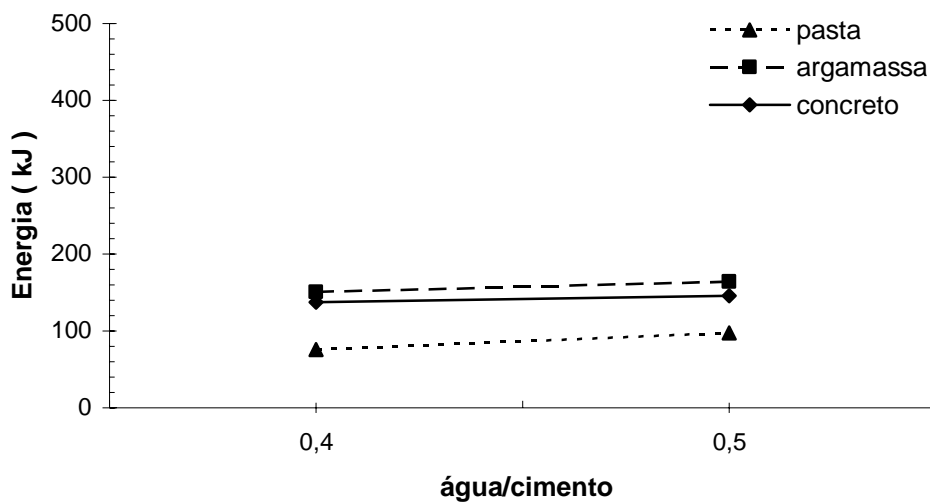


Figura 4.9: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das misturas, CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 3600 segundos.

Para o fator 0,4 a energia média para a retirada da água do concreto e da argamassa é praticamente a mesma. Nos outros casos a energia depende do fator água/cimento, do tempo de incubação e do tipo de mistura.

Para o CP-V os dados obtidos são apresentados nas figuras 4.10 a 4.12.

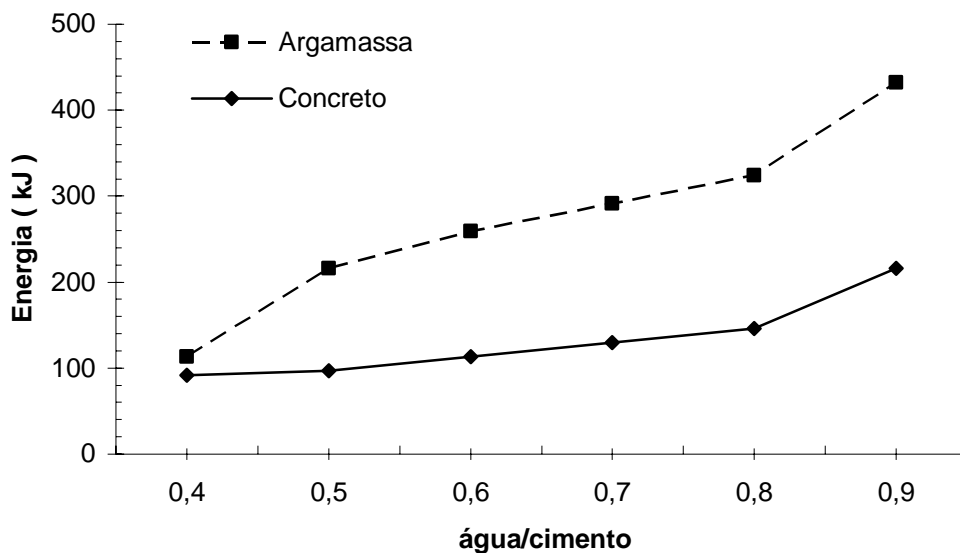


Figura 4.10: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das misturas, CP-V, com distintos fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação zero segundos.

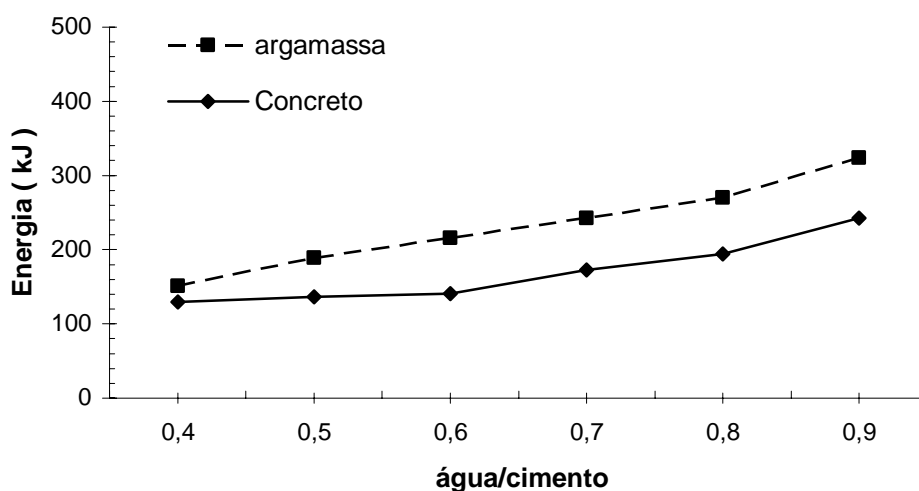


Figura 4.11: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das misturas, CP-V, com distintos fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 1800 segundos.

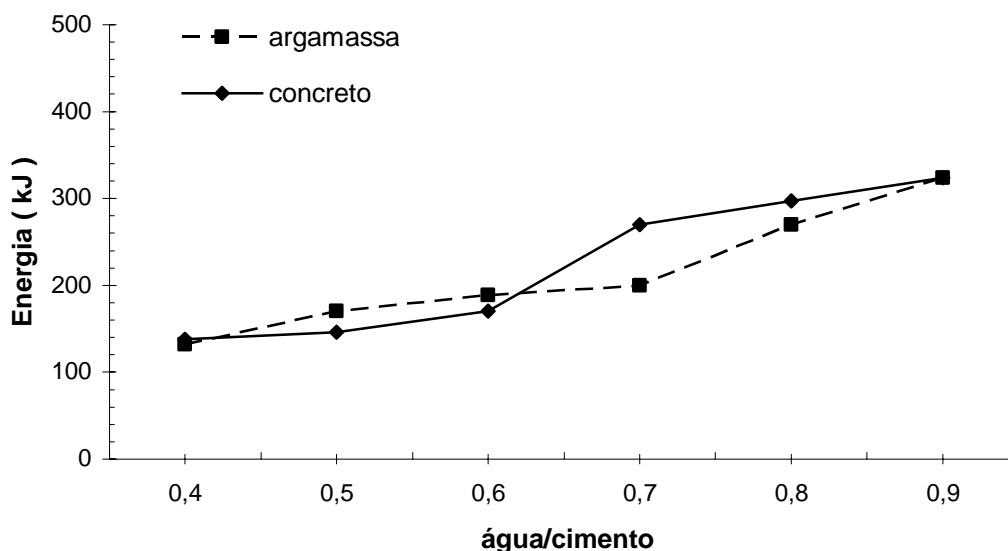


Figura 4.12: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das misturas, CP-V, com distintos fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 3600 segundos.

A observação das figuras 4.7 a 4.12 indica que a presença do agregado miúdo promove o aumento da energia necessária para a retirada de toda a água. A presença do agregado graúdo tende a minimizar este efeito. Isto está relacionado à capacidade de retenção de água nos materiais de menor granulometria.

4.4 – Análise da Influência do Cimento

Nas figuras de 4.13 a 4.21 são apresentados gráficos para diferentes tipos de cimento, a variação da energia necessária para a retirada de toda a água de uma mistura, com distintos fatores água/cimento e diferentes tempos de incubação, para pasta, argamassa e concreto. A análise dessas figuras mostra que maiores teores de água exigem maior energia para que a mesma seja retirada. Para fatores água/cimento 0,4 e 0,5, a energia para a retirada não depende do tipo de cimento a ser utilizado.

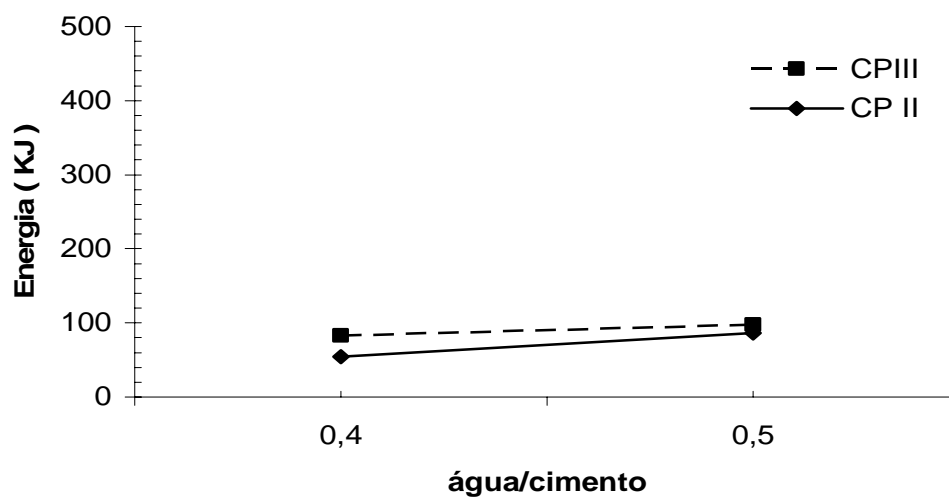


Figura 4.13: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das pastas de CP-II e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação zero segundos.

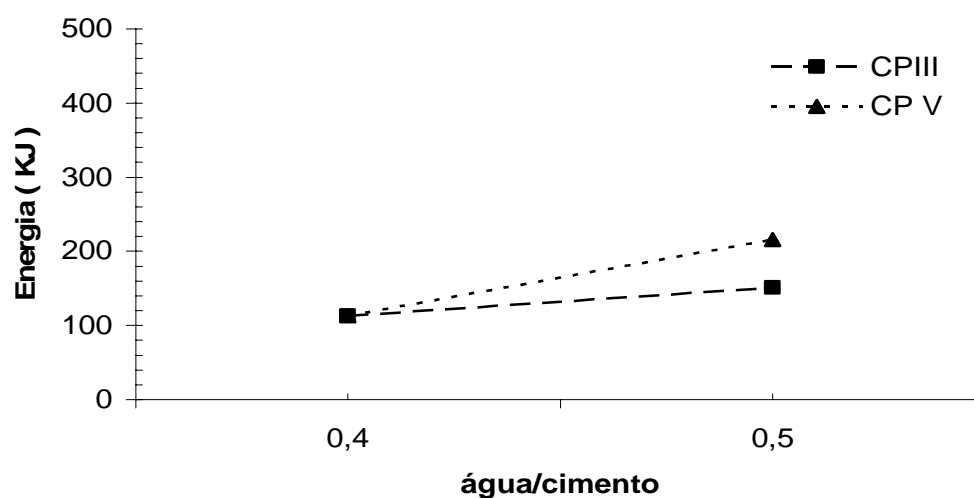


Figura 4.14: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das argamassas de CP-V e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação zero segundos.

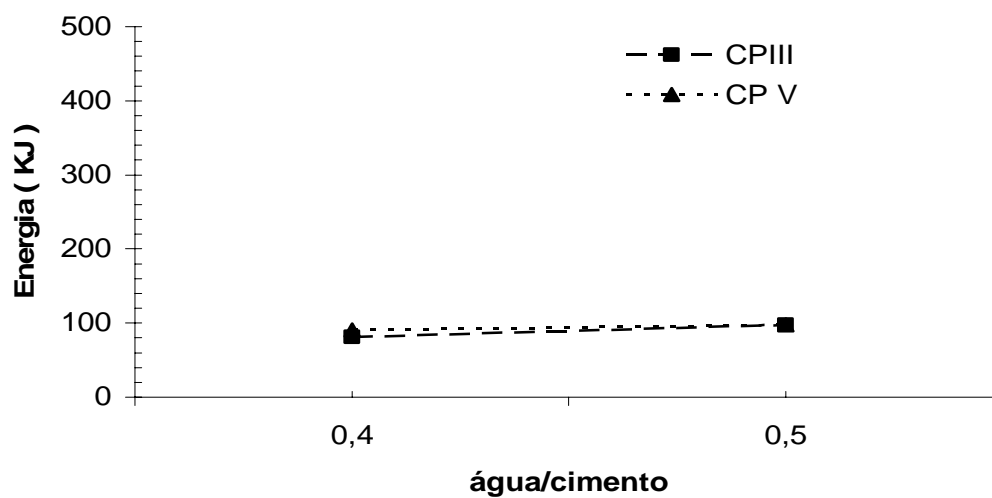


Figura 4.15: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água dos concretos de CP-III e de CP-V, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação zero segundos.

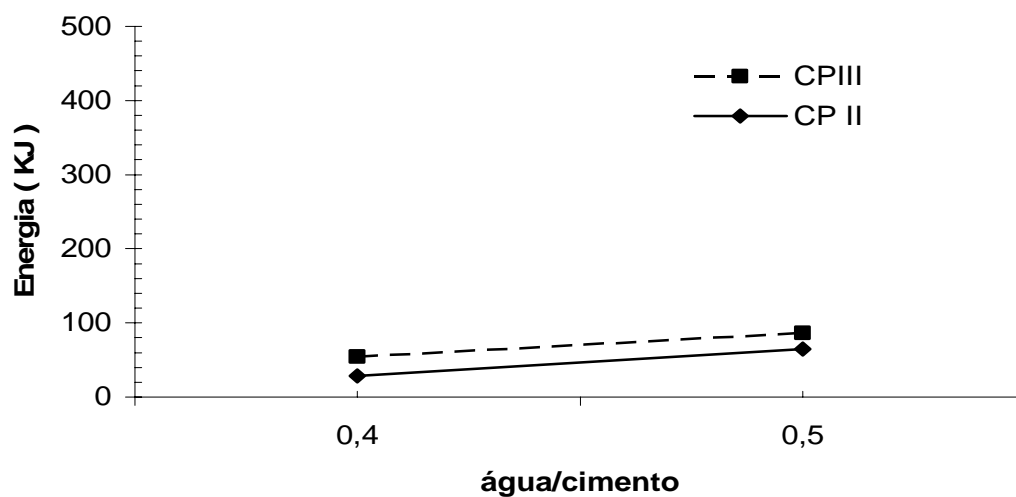


Figura 4.16: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das pastas de CP-II e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 1800 segundos.

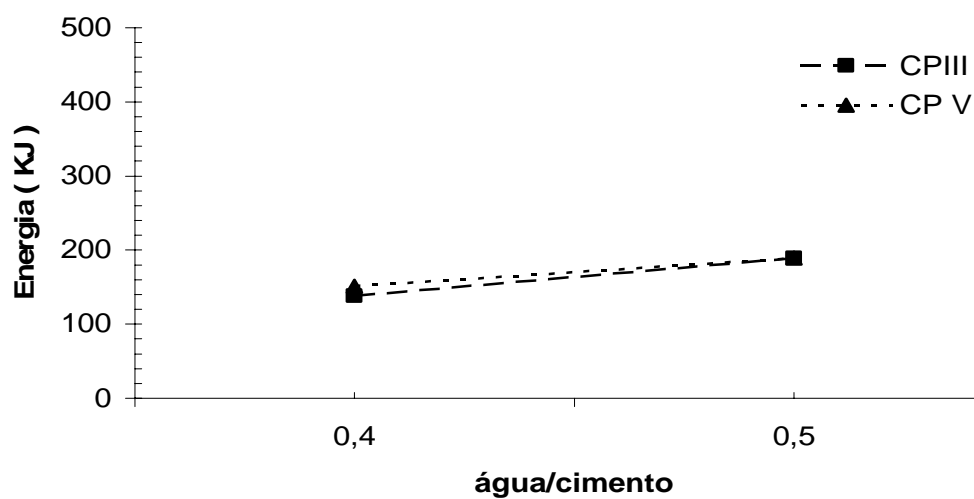


Figura 4.17: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das argamassas de CP-V e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 1800 segundos.

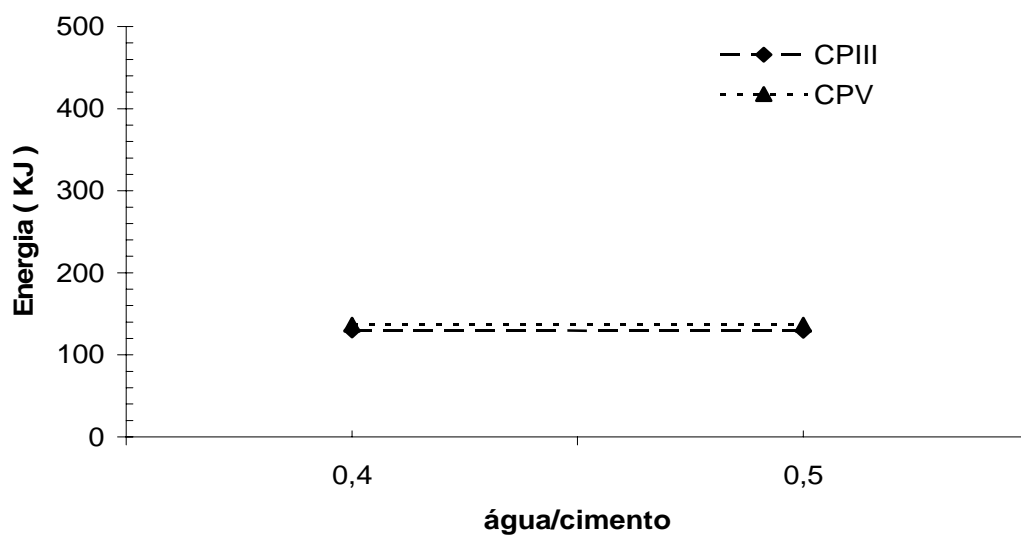


Figura 4.18: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água dos concretos de CP-III e de CP-V, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 1800 segundos.

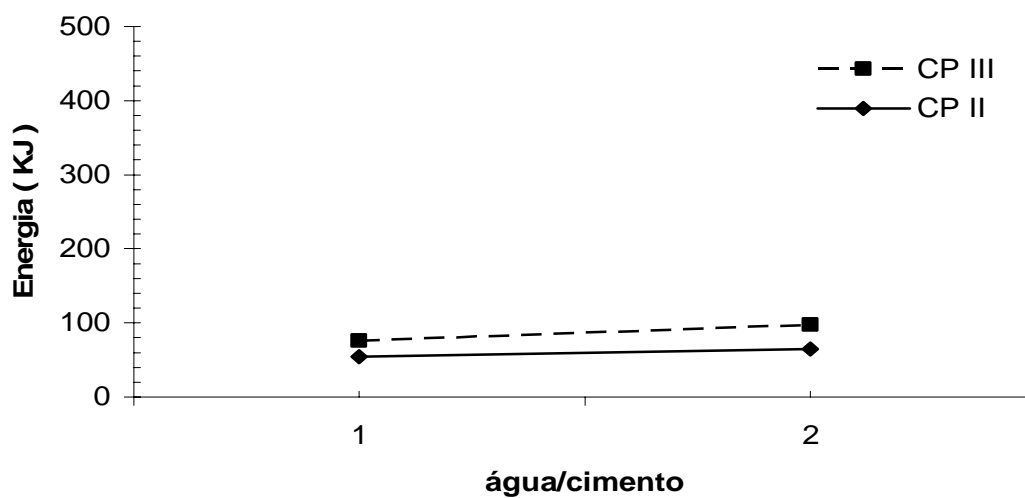


Figura 4.19: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das pastas de CP-II e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 3600 segundos.

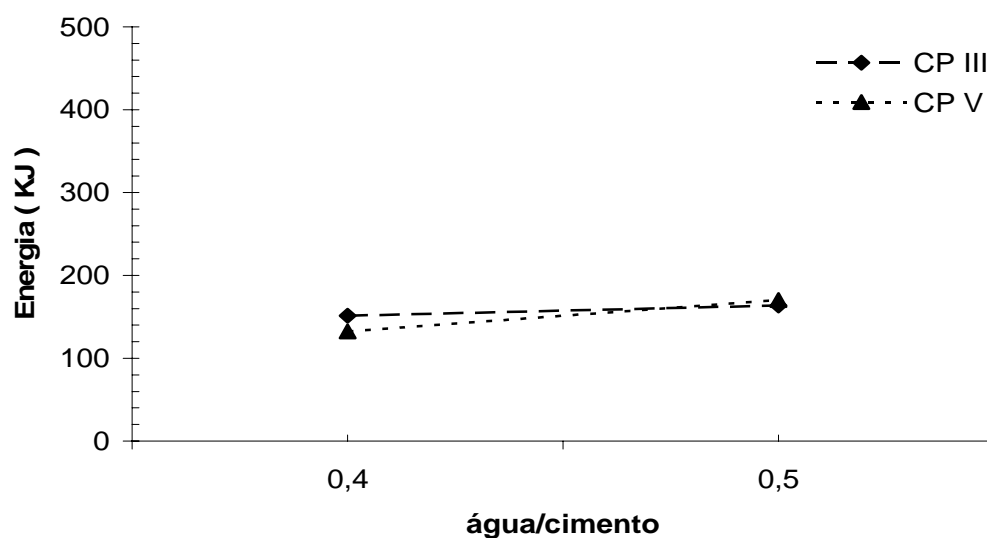


Figura 4.20: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água das argamassas de CP-V e de CP-III, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 3600 segundos.

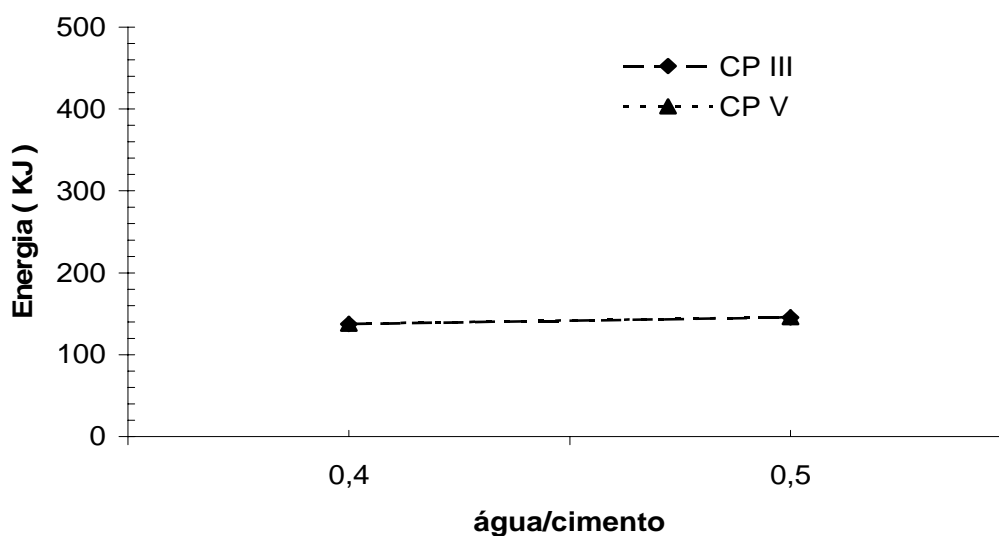


Figura 4.21: Variação da energia média necessária para a retirada de toda a água dos concretos de CP-III e de CP-V, com fatores água/cimento 0,4 e 0,5, e no tempo de incubação 3600 segundos.

Para concretos de baixa relação água/cimento (0,4 e 0,5) o tipo de cimento parece não afetar a energia necessária para a retirada de toda a água. Isto indica ser o método eficaz para estes concretos, o que mais uma vez mostra a possibilidade de um método geral, conforme CORVIB (2007).

4.5 – Análise de Amostras Constituídas por 1,0 Kg de Concreto

A influência da quantidade de mistura a ser utilizada nos resultados pode ser avaliada através da tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Evolução da energia em função do peso da amostra.

Nº Amostra	Peso (Kg)	Potência (%)	Tempo	Fator a/c	Energia (Kg)
206	0,074	80	3'10"	0,4	136,8
322	0,075	80	3'15"	0,5	140,8
381	1,071	100	10'00"	0,4	540,0
382	1,085	100	11'00"	0,5	594,0

A análise da tabela mostra que a energia média necessária para a retirada da água não é diretamente proporcional ao peso da mistura. Isto está de acordo com o relatado na literatura conforme NAGI (1994), NAIK e RAMME (1986) e NANTUNG (1998). Os dados também indicam que para baixos fatores água/cimento é possível a determinação da relação com amostra de 1 Kg com precisão razoável.

5

CONCLUSÕES

- 1- Os resultados indicam que a determinação do fator água/cimento de misturas cimentícias utilizando microondas pode ser realizado no período compreendido entre 0 e 3600 segundos, para misturas com fator 0,4 a 0,5.
- 2- A secagem de argamassas exige uma energia maior que a necessária para o concreto, no mesmo fator água/cimento.
- 3- Para fatores 0,5 e 0,6, observou-se que a energia necessária parece não depender do tipo de cimento.
- 4- Para massas maiores é necessária uma energia maior para a retirada de toda a água presente na mistura, não sendo possível aplicar uma relação direta com as quantidades menores e a energia utilizada.
- 5- O método de pesagem/secagem por microondas/pesagem parece ser indicado para a determinação da relação água/cimento de concretos com fatores que variam de 0,4 a 0,5.

5.1 - Sugestões para Pesquisas Futuras

- Estudo da influência de altos fatores água/cimento na energia necessária para a retirada de toda água da mistura.
- Estudo da microestrutura das misturas após a secagem com microondas.

- Estudo da relação matemática entre a quantidade de água retirada e o tamanho da amostra.
- Estudo da influência de aditivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P.C. – Concreto de alto desempenho – São Paulo, Pini, p. 666, 2000.

ANDREWS, D.R., HUGHES, A.M. A novel ultrasonic transducer for inspecting concrete. IEEE Symp Ultrasonics & Ferroelectrics, Orlando, Florida, Dec (1991).

ASKELAND, D.R. The Science and Engineering of Materials. Third Edition. Boston: PWS Publishing Company, p. 812, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6188, ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

BUYUKOZTURK, O. and RHIM, H.C., "Electromagnetic Properties of Concrete at Microwave Frequency Range and Their Physical Significance in Nondestructive Testing," ACI Materials Journal, accepted for publication.

CHURCHILL, R.J., LO, K.P., GROGER, H. P., KIPP, D.O., VARSHNEY, U. Microwave Resonance Sensors for Determination of Moisture Content in Concrete. Trends in NDE Science & Technology; Proceedings of the 14th World Conference on Non-Destructive Testing, New Delhi, p. 8-13, December 1996.

CORVIB, USA. CementoMeter Type R. Disponível em http://www.corvib-int.com/zc02/index.php?main_page=product_info&products_id=35, acessado em 13/07/2007, às 22:00 horas.

COUTINHO, A. de S. Fabrico e Propriedades do Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

DESHCHENKO, G. "Step-Frequency Microwave Testing of Concrete Walls", Proceedings of the 7th European conference on NDT (7th ECNDT), Copenhagen, Denmark, p. 26-29, 868-871, May 1998.

DOWELL, A., CRAMER, S., Field Measurement of Water-Cement Ratio for Portland Cement Concrete. Wisconsin Highway Research Program, June 2002.

EI JERBY, VLADIMIR DIKHTYAR, OLEG ACTUSHEV, and URI GROSLICK.
"The Microwave Drill", Science, October 18, 2002.

FENG, M. Q., de FLAVIIS, F., Kim, Y. J., and DIAZ, R. (2000), "Application of Electromagnetic Waves in Damage Detection of Concrete Structures", Proceedings of the International Symposium on Smart Structures and Materials, SPIE, Newport Beach, California, p. 6-7, 118-126, March, 2000.

FENG, M. Q., de FLAVIIS, F., and KIM, Y. J. (2002), "Use of Microwaves for Damage Detection of FRP-Wrapped Concrete Structures", ASCE Journal of Engineering Mechanics, p. 128(2), 172-183, 2002.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fundamentos de Física, 4ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1993.

HRUSCHKA, J. et al. Ultrasonic examination of crack depths - the application to complex crack structures" J. HRUSCHKA et al. DARMSTADT Concrete 13, p. 297-308, (1998).

LEUNG, C.K.Y., PHEERAPHAN, T. Microwave curing Portland cement concrete. Construction and Building Material, vol 9, n. 2, p. 67-73, 1995.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

NAGI, M., WHITING, D. Determination of Water Content of Fresh Concrete Using a Microwave Oven. Cement, Concrete and Aggregates, ASTM, vol 16, n. 2, p. 125-131, December 1994.

NAIK, T. R., RAMME, B.W. Determination of the Water Content of Concrete Microwave Method, Cement and concrete Research, vol 17, p. 927-938, 1986.

NANTUNG, T.E. Determination of Water-to-Cement Ratio in Fresh Concrete Using Microwave Oven. Research Division of Indiana Department of Transportation, 1998.

NEVILLE, A.M. Properties of Concrete, 2ed, Pitman, 1973.

POPOVICS, Sandor. Concrete Materials; properties, specifications, and testing, 2ed, New Jersey: Noyes Publications, 1992.

ROSTAM, STEEN. Service Life Design – The European Approach. Concrete

SUTTON, W.H. Microwave processing of ceramic materials. *Ceramic Bulletin*, 68, p. 376-386, 1969.

T 318-02 Water Content of Freshly Mixed Concrete Using Microwave Oven Drying
American Association of State Highway and Transportation Officials.

TUMIDAJSKI P J; GONG B; BAKER D Correlation between 28-day and 6-hour compressive strengths Cement Concrete Research, 33, n. 9, p.1491-1493, 2003.

WU, X., DONG, J. and TANG, M. Microwave curing technique in concrete manufacture. Cement Conr. Research, 17, p. 205-210, 1987.

YOUNG, J. F., MINDESS, S., BENTUR, A., GRAY, R. J.; The Science and Technology of Civil Engineering Materials. USA: Prentice Hall, 1997.

APÊNDICE

Resultados Experimentais

TABELA 1- MATERIAL: CIMENTO CP - II

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
3	19,55	70	5,00	189	10,0				10,00	29,55	29,470	9,920	0,080	-0,080
9	19,55	70	5,00	189	10,0				10,00	29,55	29,490	9,940	0,060	-0,060
10	19,55	80	5,00	216	10,0				10,00	29,55	29,500	9,950	0,050	-0,050
6	19,55	100	5,00	270	10,0				10,00	29,55	29,500	9,950	0,050	-0,050
1	19,20	50	5,00	135	10,0				10,00	29,20	29,180	9,980	0,020	-0,020
2	19,55	60	5,00	162	10,0				10,00	29,55	29,530	9,980	0,020	-0,020
26	19,20	70	5,00	189	10,0				10,00	29,20	29,180	9,980	0,020	-0,020
12	19,55	90	5,00	243	10,0				10,00	29,55	29,530	9,980	0,020	-0,020
5	19,55	90	5,00	243	10,0				10,00	29,55	29,540	9,990	0,010	-0,010
4	19,20	80	5,00	216	10,0				10,00	29,20	29,200	10,000	0,000	0,000

TABELA 2- MATERIAL: ÁGUA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
11	19,20	70	8,00	302		6,0			6,00	25,20	19,120	-0,080	6,080	-0,080
13	19,20	80	8,00	346		6,0			6,00	25,20	19,170	-0,030	6,030	-0,030
20	19,20	50	7,00	189		6,0			6,00	25,20	19,200	0,000	6,000	0,000
8	19,20	60	8,00	259		6,0			6,00	25,20	19,200	0,000	6,000	0,000
25	19,20	60	8,00	259		6,0			6,00	25,20	19,200	0,000	6,000	0,000
7	19,55	50	8,00	216		6,0			6,00	25,55	19,560	0,010	5,990	0,010
21	19,20	50	7,00	189		6,0			6,00	25,20	19,210	0,010	5,990	0,010

TABELA 3 - MATERIAIS: CIMENTO CP II e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
297	164,94	40	2,50	54	10,0	4,0			14,00	178,94	174,890	9,950	4,050	-0,050
34	21,51	30	5,00	81	10,0	5,0			15,00	36,51	31,520	10,010	4,990	0,010
33	21,86	20	5,00	54	10,0	5,0			15,00	36,86	31,880	10,020	4,980	0,020
330	297,78	50	4,00	108	10,0	6,0			16,00	313,78	307,600	9,820	6,180	-0,180
321	291,80	40	4,33	94	10,0	6,0			16,00	307,80	301,660	9,860	6,140	-0,140
328	165,26	40	4,08	88	10,0	6,0			16,00	181,26	175,120	9,860	6,140	-0,140
325	297,66	40	4,17	90	10,0	6,0			16,00	313,66	307,570	9,910	6,090	-0,090
17	21,51	40	5,17	112	10,0	6,0			16,00	37,51	31,510	10,000	6,000	0,000
28	20,70	40	5,00	108	10,0	6,0			16,00	36,70	30,710	10,010	5,990	0,010
15	20,89	20	5,00	54	10,0	6,0			16,00	36,89	30,980	10,090	5,910	0,090
14	20,70	10	5,00	27	10,0	6,0			16,00	36,70	31,080	10,380	5,620	0,380
373	375,01	50	5,00	135	10,0	7,0			17,00	392,01	383,330	10,000	8,660	-1,660
335	373,64	50	4,00	108	10,0	7,0			17,00	390,64	383,450	10,000	7,190	-0,190
361	291,99	40	4,58	99	10,0	7,0			17,00	308,99	301,810	10,000	7,180	-0,180
374	374,55	50	5,00	135	10,0	7,0			17,00	391,55	384,370	10,000	7,180	-0,180
362	294,56	40	4,50	97	10,0	7,0			17,00	311,56	304,430	10,000	7,130	-0,130
48	21,51	50	5,00	135	10,0	7,0			17,00	38,51	31,490	9,980	7,020	-0,020
50	21,51	50	5,00	135	10,0	7,0			17,00	38,51	31,510	10,000	7,000	0,000
47	21,51	40	5,00	108	10,0	7,0			17,00	38,51	31,530	10,020	6,980	0,020
46	21,51	30	5,00	81	10,0	7,0			17,00	38,51	31,550	10,040	6,960	0,040
51	20,54	30	5,00	81	10,0	7,0			17,00	37,54	31,650	11,110	5,890	1,110

TABELA 3 - CONTINUAÇÃO

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
312	373,42	50	5,17	140	10,0	8,0			18,00	391,42	383,210	10,000	8,210	-0,210
311	165,30	60	4,00	130	10,0	8,0			18,00	183,30	175,140	10,000	8,140	-0,140
308	297,80	60	5,00	162	10,0	8,0			18,00	315,80	307,700	10,000	8,100	-0,100
59	21,86	60	4,83	156	10,0	8,0			18,00	39,86	31,820	9,960	8,040	-0,040
57	21,86	50	5,00	135	10,0	8,0			18,00	39,86	31,910	10,050	7,950	0,050
213	297,37	70	5,00	189	10,0	9,0			19,00	316,37	307,110	9,740	9,260	-0,260
215	297,31	60	5,50	178	10,0	9,0			19,00	316,31	307,100	9,790	9,210	-0,210
60	21,86	50	6,00	162	10,0	9,0			19,00	40,86	31,850	9,990	9,010	-0,010

TABELA 4 - MATERIAIS : CIMENTO CP II, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
285	164,92	80	4,00	173	10,0	4,0	25,0		39,00	203,92	199,780	35,000	4,140	-0,140
302	291,82	70	3,00	113	10,0	4,0	25,0		39,00	330,82	326,770	35,000	4,050	-0,050
73	21,86	50	5,00	135	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	60,860	39,000	6,000	-1,000
376	374,80	80	5,00	216	10,0	5,0	25,0		40,00	414,80	409,610	35,000	5,190	-0,190
77	21,86	70	5,00	189	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,820	39,960	5,040	-0,040
84	21,86	80	5,00	216	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,870	40,010	4,990	0,010
193	373,97	90	5,00	243	10,0	6,0	25,0		41,00	414,97	408,760	34,790	6,210	-0,210
107	38,11	80	6,00	259	10,0	6,0	30,0		46,00	84,11	78,152	40,042	5,958	0,042
90	21,86	90	5,00	243	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,950	40,090	5,910	0,090
111	21,86	90	6,00	292	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,860	40,000	7,000	0,000
99	21,86	100	5,00	270	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,976	40,116	6,884	0,116
102	21,86	100	6,00	324	10,0	8,0	30,0		48,00	69,86	61,872	40,012	7,988	0,012
108	38,11	100	8,00	432	10,0	9,0	30,0		49,00	87,11	78,060	39,950	9,050	-0,050

TABELA 5 - MATERIAIS : CIMENTO CP II, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
230	165,23	60	2,50	81	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	239,23	235,040	69,810	4,190	-0,190
207	291,91	40	4,00	86	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	365,91	361,750	69,840	4,160	-0,160
229	373,60	60	2,83	92	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,60	443,470	69,870	4,130	-0,130
237	373,78	60	2,00	65	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,78	443,660	69,880	4,120	-0,120
183	277,01	50	3,00	81	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	351,01	346,910	69,900	4,100	-0,100
181	297,49	60	3,00	97	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	371,49	367,400	69,910	4,090	-0,090
223	291,71	60	3,50	113	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	365,71	361,700	69,990	4,010	-0,010
198	373,47	80	3,00	130	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,47	443,620	70,150	3,850	0,150
144	296,80	100	5,00	270	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	371,80	366,300	69,500	5,500	-0,500
201	165,07	60	3,00	97	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,07	234,830	69,760	5,240	-0,240
146	164,90	100	5,00	270	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	239,90	234,700	69,800	5,200	-0,200
160	277,21	100	4,00	216	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	352,21	347,060	69,850	5,150	-0,150
241	297,51	60	3,67	119	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	372,51	367,440	69,930	5,070	-0,070
177	165,10	60	3,00	97	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,10	235,060	69,960	5,040	-0,040
167	291,73	80	3,00	130	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	366,73	361,710	69,980	5,020	-0,020
130	296,80	100	4,00	216	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	372,80	366,500	69,700	6,300	-0,300
141	164,90	70	4,00	151	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	240,90	234,700	69,800	6,200	-0,200
135	296,80	90	4,00	194	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	372,80	366,600	69,800	6,200	-0,200
150	165,50	100	5,00	270	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	241,50	235,390	69,890	6,110	-0,110
136	296,80	80	4,00	173	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	372,80	366,700	69,900	6,100	-0,100
176	297,41	70	3,00	113	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	373,41	367,350	69,940	6,060	-0,060

TABELA 5 - CONTINUAÇÃO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
147	291,30	90	6,00	292	10,0	7,0	30,0	0,0	47,00	338,30	330,900	39,600	7,400	-0,400
171	292,14	90	5,00	243	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	369,14	361,920	69,780	7,220	-0,220
153	165,50	100	5,00	270	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,50	235,410	69,910	7,090	-0,090
175	165,13	80	3,00	130	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,13	235,150	70,020	6,980	0,020
188	164,99	80	4,00	173	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	242,99	234,840	69,850	8,150	-0,150
191	291,84	90	3,00	146	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	369,84	361,780	69,940	8,060	-0,060
192	297,41	100	3,00	162	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,41	367,220	69,810	9,190	-0,190
159	291,59	90	7,00	340	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	370,59	361,430	69,840	9,160	-0,160
162	164,97	100	6,50	351	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	243,97	234,830	69,860	9,140	-0,140
197	374,00	100	3,00	162	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	453,00	443,880	69,880	9,120	-0,120
199	164,99	90	5,00	243	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	243,99	234,880	69,890	9,110	-0,110
194	291,84	90	4,00	194	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	370,84	361,740	69,900	9,100	-0,100
203	297,24	100	4,00	216	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,24	367,210	69,970	9,030	-0,030
121	21,75	100	5,00	270	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	171,75	161,730	139,980	10,020	-0,020
118	20,52	90	5,00	243	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	170,52	161,527	141,007	8,993	1,007
129	276,97	100	5,00	270	20,0	12,0	60,0	60,0	152,00	428,97	415,301	138,328	13,672	-1,672
124	21,75	100	6,00	324	20,0	12,0	60,0	60,0	152,00	173,75	161,630	139,880	12,120	-0,120
378	910,10	60	2,83	92	200,0	80,0	500,0	700,0	1480,00	2390,10	2387,000	1476,900	3,100	76,900
377	908,80	60	2,83	92	400,0	160,0	1000,0	1400,0	2960,00	3868,80	3861,500	2952,700	7,300	152,700

TABELA 6 - MATERIAIS : CIMENTO CP II e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
292	373,77	40	3,00	65	10,0	4,0			14,00	387,77	383,500	10,000	4,270	-0,270
315	297,75	40	1,50	32	10,0	4,0			14,00	311,75	307,670	10,000	4,080	-0,080
56	21,86	100	5,00	270	10,0	5,0			15,00	36,86	31,800	9,940	5,060	-0,060
62	20,54	70	5,00	189	10,0	5,0			15,00	35,54	30,560	10,020	4,980	0,020
41	20,54	60	5,00	162	10,0	5,0			15,00	35,54	30,580	10,040	4,960	0,040
114	21,86	90	6,00	292	10,0	5,0			15,00	36,86	31,906	10,046	4,954	0,046
44	21,86	70	5,00	189	10,0	5,0			15,00	36,86	31,920	10,060	4,940	0,060
53	21,86	90	5,00	243	10,0	5,0			15,00	36,86	31,920	10,060	4,940	0,060
39	21,86	20	5,00	54	10,0	5,0			15,00	36,86	31,930	10,070	4,930	0,070
49	21,86	80	5,00	216	10,0	5,0			15,00	36,86	31,930	10,070	4,930	0,070
40	21,52	40	5,00	108	10,0	5,0			15,00	36,52	31,600	10,080	4,920	0,080
24	21,05	40	5,00	108	10,0	6,0			16,00	37,05	31,050	10,000	6,000	0,000
23	20,89	30	5,00	81	10,0	6,0			16,00	36,89	30,900	10,010	5,990	0,010
27	20,89	40	5,00	108	10,0	6,0			16,00	36,89	30,900	10,010	5,990	0,010
22	21,05	20	5,00	54	10,0	6,0			16,00	37,05	31,080	10,030	5,970	0,030
18	21,05	10	5,00	27	10,0	6,0			16,00	37,05	31,410	10,360	5,640	0,360
350	165,35	50	4,00	108	10,0	7,0			17,00	182,35	175,300	10,000	7,050	-0,050
52	21,86	50	5,00	135	10,0	7,0			17,00	38,86	31,830	9,970	7,030	-0,030
64	21,86	40	5,00	108	10,0	7,0			17,00	38,86	31,910	10,050	6,950	0,050
65	21,86	40	5,00	108	10,0	8,0			18,00	39,86	31,860	10,000	8,000	0,000
70	20,54	40	5,00	108	10,0	8,0			18,00	38,54	30,580	10,040	7,960	0,040
115	20,54	80	5,00	216	10,0	9,0			19,00	39,54	30,520	9,980	9,020	-0,020
66	21,86	50	5,00	135	10,0	9,0			19,00	40,86	31,920	10,060	8,940	0,060
71	21,86	70	5,00	189	10,0	9,0			19,00	40,86	31,920	10,060	8,940	0,060
69	21,86	60	5,00	162	10,0	9,0			19,00	40,86	31,940	10,080	8,920	0,080

TABELA 7 - MATERIAIS : CIMENTO CP II, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
260	165,17	70	4,00	151	10,0	4,0	25,0		39,00	204,17	200,020	34,850	4,150	-0,150
266	292,09	70	3,67	139	10,0	4,0	25,0		39,00	331,09	327,000	34,910	4,090	-0,090
79	20,54	70	5,00	189	10,0	5,0	30,0		45,00	65,54	60,410	39,870	5,130	-0,130
72	21,86	50	5,00	135	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,890	40,030	4,970	0,030
82	21,86	60	5,00	162	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,920	40,060	5,940	0,060
81	20,54	60	5,00	162	10,0	7,0	30,0		47,00	67,54	60,600	40,060	6,940	0,060
87	21,86	70	5,00	189	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,960	40,100	6,900	0,100
212	165,11	90	5,08	247	10,0	8,0	25,0		43,00	208,11	199,970	34,860	8,140	-0,140
208	277,13	90	5,17	251	10,0	8,0	25,0		43,00	320,13	312,060	34,930	8,070	-0,070
96	20,54	90	5,00	243	10,0	8,0	30,0		48,00	68,54	60,567	40,027	7,973	0,027
105	21,86	100	5,00	270	10,0	9,0	30,0		49,00	70,86	61,922	40,062	8,938	0,062

TABELA 8 - MATERIAIS : CIMENTO CP II, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
180	373,37	90	4,00	194	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,37	443,320	69,950	4,050	-0,050
145	165,30	90	5,00	243	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,30	235,300	70,000	5,000	0,000
240	373,93	80	3,00	130	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	449,93	443,940	70,010	5,990	0,010
131	373,30	100	7,00	378	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	450,30	443,000	69,700	7,300	-0,300
140	296,70	90	6,00	292	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	373,70	366,500	69,800	7,200	-0,200
149	165,23	80	4,00	173	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,23	235,170	69,940	7,060	-0,060
190	165,10	80	4,00	173	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,10	235,090	69,990	7,010	-0,010
323	165,41	80	4,50	194	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	243,41	235,310	69,900	8,100	-0,100
142	276,10	80	4,00	173	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	354,10	346,100	70,000	8,000	0,000
123	276,97	100	5,00	270	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	426,97	416,785	139,814	10,186	-0,186
126	276,97	90	5,00	243	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	426,97	416,940	139,969	10,031	-0,031
120	21,48	100	5,00	270	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	171,48	161,470	139,990	10,010	-0,010
117	21,86	80	5,00	216	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	171,86	163,082	141,222	8,778	1,222
125	21,83	100	5,00	270	20,0	12,0	60,0	60,0	152,00	173,83	161,750	139,920	12,080	-0,080
128	382,78	100	6,00	324	20,0	12,0	60,0	60,0	152,00	534,78	522,806	140,030	11,970	0,030
381	1060,50	100	10,00	540	142,8	71,4	357,1	500,0	1071,34	2131,84	2061,000	1000,500	70,840	0,560
379	1056,40	80	3,17	137	142,8	71,4	357,1	500,0	1071,34	2127,74	2102,700	1046,300	25,040	46,360
382	1046,50	100	11,00	594	142,8	85,7	357,1	500,0	1085,62	2132,12	2048,000	1001,500	84,120	1,560
380	1043,30	80	3,25	140	142,8	85,7	357,1	500,0	1085,62	2128,92	2102,000	1058,700	26,920	58,760
383	297,37	90	5,00	243	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,37	367,290	69,920	9,080	-0,080

TABELA 9 - MATERIAIS: CIMENTO CP II e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
286	297,58	30	3,00	49	10,0	4,0			14,00	311,58	307,500	9,920	4,080	-0,080
305	165,17	40	4,00	86	10,0	5,0			15,00	180,17	175,130	9,960	5,040	-0,040
205	291,90	40	4,00	86	10,0	5,0			15,00	306,90	301,870	9,970	5,030	-0,030
35	21,86	60	5,00	162	10,0	5,0			15,00	36,86	31,760	9,900	5,100	-0,100
334	373,59	40	4,50	97	10,0	6,0			16,00	389,59	383,550	9,960	6,040	-0,040
318	373,70	50	4,00	108	10,0	7,0			17,00	390,70	383,630	10,000	7,070	-0,070
364	297,62	40	4,67	101	10,0	7,0			17,00	314,62	307,450	10,000	7,050	-0,050
375	374,85	40	4,67	101	10,0	7,0			17,00	391,85	384,800	10,000	7,050	-0,050
337	297,70	40	4,67	101	10,0	7,0			17,00	314,70	307,700	10,000	7,000	0,000
329	297,61	40	5,00	108	10,0	8,0			18,00	315,61	307,230	10,000	8,380	-0,380
331	373,60	60	4,00	130	10,0	8,0			18,00	391,60	383,370	10,000	8,230	-0,230
351	165,32	40	4,75	103	10,0	8,0			18,00	183,32	175,140	10,000	8,180	-0,180
348	165,30	40	4,75	103	10,0	8,0			18,00	183,30	175,140	10,000	8,160	-0,160
341	165,30	40	5,00	108	10,0	8,0			18,00	183,30	175,150	10,000	8,150	-0,150
356	294,59	40	4,67	101	10,0	8,0			18,00	312,59	304,490	10,000	8,100	-0,100
365	165,17	50	5,00	135	10,0	8,0			18,00	183,17	175,130	10,000	8,040	-0,040
367	165,18	40	4,83	104	10,0	9,0			19,00	184,18	175,000	10,000	9,180	-0,180
371	165,39	50	5,16	139	10,0	9,0			19,00	184,39	175,330	10,000	9,060	-0,060
54	20,50	40	5,00	108	20,0	12,0			32,00	52,50	40,490	19,990	12,010	-0,010

TABELA 10 - MATERIAIS : CIMENTO CP II, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
179	291,76	100	4,00	216	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	365,76	361,660	69,900	4,100	-0,100
185	297,50	90	3,00	146	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	371,50	367,460	69,960	4,040	-0,040
132	373,30	100	5,50	297	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	448,30	443,100	69,800	5,200	-0,200
148	292,15	100	4,00	216	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	367,15	362,130	69,980	5,020	-0,020
133	164,80	100	5,00	270	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	240,80	234,600	69,800	6,200	-0,200
138	164,70	100	4,00	216	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	240,70	234,700	70,000	6,000	0,000
134	165,00	100	6,00	324	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,00	234,700	69,700	7,300	-0,300
139	291,30	100	4,00	216	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	368,30	361,280	69,980	7,020	-0,020
156	165,51	100	6,00	324	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	243,51	235,450	69,940	8,060	-0,060
157	297,67	100	7,00	378	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,67	367,460	69,790	9,210	-0,210
163	297,52	100	7,00	378	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,52	367,400	69,880	9,120	-0,120
122	384,95	100	6,00	324	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	534,95	524,737	139,787	10,213	-0,213
116	21,75	90	5,00	243	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	171,75	161,830	140,080	9,920	0,080
119	21,86	100	5,00	270	20,0	10,0	60,0	60,0	150,00	171,86	161,958	140,098	9,902	0,098
127	384,95	100	6,00	324	20,0	12,0	60,0	60,0	152,00	536,95	524,430	139,480	12,520	-0,520

TABELA 11 - MATERIAIS : CIMENTO CP III e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
16	20,70	30	5,00	81	10,0	4,0			14,00	34,70	30,730	10,030	3,970	0,030
19	21,05	60	5,00	162	10,0	4,0			14,00	35,05	31,110	10,060	3,940	0,060
36	21,51	50	5,00	135	10,0	5,0			15,00	36,51	31,490	9,980	5,020	-0,020
31	21,86	40	4,50	97	10,0	5,0			15,00	36,86	31,830	9,970	5,030	-0,030

TABELA 12 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
263	373,65	70	3,00	113	10,0	4,0	25,0		39,00	412,65	408,420	35,000	4,230	-0,230
236	291,87	80	4,00	173	10,0	4,0	25,0		39,00	330,87	326,660	35,000	4,210	-0,210
262	373,58	70	3,50	132	10,0	4,0	25,0		39,00	412,58	408,490	35,000	4,090	-0,090
268	297,57	70	3,00	113	10,0	4,0	25,0		39,00	336,57	332,520	35,000	4,050	-0,050
282	373,72	80	4,00	173	10,0	4,0	25,0		39,00	412,72	408,770	35,000	3,950	0,050
252	373,77	70	5,00	189	10,0	5,0	25,0		40,00	413,77	408,350	35,000	5,420	-0,420
235	165,46	80	5,00	216	10,0	5,0	25,0		40,00	205,46	200,300	35,000	5,160	-0,160
251	297,49	80	5,00	216	10,0	5,0	25,0		40,00	337,49	332,390	35,000	5,100	-0,100
254	165,13	70	4,00	151	10,0	5,0	25,0		40,00	205,13	200,110	35,000	5,020	-0,020

TABELA 13 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTO

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
248	297,47	60	2,83	92	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	371,47	367,410	69,940	4,060	-0,060
214	277,15	60	3,00	97	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	352,15	347,140	69,990	5,010	-0,010

TABELA 14 - MATERIAIS : CIMENTO CP III e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
267	277,17	40	3,00	65	10,0	4,0			14,00	291,17	287,000	9,830	4,170	-0,170
281	276,63	40	3,00	65	10,0	4,0			14,00	290,63	286,480	10,000	4,150	-0,150
290	297,75	40	2,83	61	10,0	4,0			14,00	311,75	307,670	10,000	4,080	-0,080
284	373,76	40	3,00	65	10,0	4,0			14,00	387,76	383,690	10,000	4,070	-0,070
295	297,64	40	2,50	54	10,0	4,0			14,00	311,64	307,600	10,000	4,040	-0,040
277	165,16	40	2,83	61	10,0	4,0			14,00	179,16	175,300	10,000	3,860	0,140
273	292,00	40	2,50	54	10,0	4,0			14,00	306,00	302,880	10,000	3,120	0,880
261	297,37	40	4,00	86	10,0	5,0			15,00	312,37	307,430	10,060	4,940	0,060

TABELA 15 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
279	165,11	70	3,67	139	10,0	4,0	25,0		39,00	204,11	200,120	35,000	3,990	0,010
276	165,04	70	3,33	126	10,0	4,0	25,0		39,00	204,04	200,190	35,000	3,850	0,150
272	297,46	70	3,33	126	10,0	4,0	25,0		39,00	336,46	332,900	35,000	3,560	0,440
255	292,12	70	5,00	189	10,0	5,0	25,0		40,00	332,12	327,070	34,950	5,050	-0,050

TABELA 16 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
247	373,61	80	3,00	130	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,61	443,560	69,950	4,050	-0,050
211	291,96	80	3,00	130	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	366,96	361,840	69,880	5,120	-0,120
246	165,06	80	3,17	137	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,06	235,030	69,970	5,030	-0,030

TABELA 17 - MATERIAIS : CIMENTO CP III e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
259	292,12	40	4,00	86	10,0	4,0			14,00	306,12	301,500	9,380	4,620	-0,620
249	277,14	40	4,50	97	10,0	4,0			14,00	291,14	286,690	9,550	4,450	-0,450
275	277,24	40	3,83	83	10,0	4,0			14,00	291,24	286,980	9,740	4,260	-0,260
278	165,14	40	3,50	76	10,0	4,0			14,00	179,14	175,100	9,960	4,040	-0,040
265	165,08	40	3,50	76	10,0	4,0			14,00	179,08	175,440	10,360	3,640	0,360
250	165,03	40	5,00	108	10,0	5,0			15,00	180,03	174,940	9,910	5,090	-0,090
258	277,02	40	4,50	97	10,0	5,0			15,00	292,02	287,060	10,040	4,960	0,040

TABELA 18 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
245	292,15	70	4,00	151	10,0	4,0	25,0		39,00	331,15	327,100	34,950	4,050	-0,050
257	165,02	80	4,00	173	10,0	5,0	25,0		40,00	205,02	199,900	34,880	5,120	-0,120
244	165,18	70	4,50	170	10,0	5,0	25,0		40,00	205,18	200,090	34,910	5,090	-0,090
280	291,89	70	4,50	170	10,0	5,0	25,0		40,00	331,89	326,800	34,910	5,090	-0,090
253	297,49	70	4,00	151	10,0	5,0	25,0		40,00	337,49	332,440	34,950	5,050	-0,050
287	297,72	70	4,33	164	10,0	5,0	25,0		40,00	337,72	332,680	34,960	5,040	-0,040
264	165,14	70	4,17	158	10,0	5,0	25,0		40,00	205,14	200,220	35,080	4,920	0,080
274	373,71	70	4,33	164	10,0	5,0	25,0		40,00	413,71	408,900	35,190	4,810	0,190

TABELA 19 - MATERIAIS : CIMENTO CP III, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
221	373,59	90	2,83	138	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,59	443,640	70,050	3,950	0,050
210	165,07	40	3,00	65	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	239,07	235,170	70,100	3,900	0,100
209	373,63	90	3,00	146	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	448,63	443,620	69,990	5,010	-0,010

TABELA 20 - MATERIAIS : CIMENTO CP V e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
296	291,85	40	2,50	54	10,0	4,0			14,00	305,85	301,350	10,000	4,500	-0,500
304	297,55	40	1,67	36	10,0	4,0			14,00	311,55	307,060	10,000	4,490	-0,490
298	165,15	40	2,00	43	10,0	4,0			14,00	179,15	174,970	10,000	4,180	-0,180
324	292,15	40	1,33	29	10,0	4,0			14,00	306,15	302,100	10,000	4,050	-0,050
332	291,62	40	4,00	86	10,0	5,0			15,00	306,62	301,520	10,000	5,100	-0,100
336	291,86	40	3,00	65	10,0	5,0			15,00	306,86	301,810	10,000	5,050	-0,050
340	373,66	40	4,00	86	10,0	6,0			16,00	389,66	383,610	10,000	6,050	-0,050
369	165,40	40	4,67	101	10,0	7,0			17,00	182,40	175,180	10,000	7,220	-0,220
370	164,91	40	4,33	94	10,0	7,0			17,00	181,91	174,880	10,000	7,030	-0,030
372	294,55	40	4,33	94	10,0	7,0			17,00	311,55	304,530	10,000	7,020	-0,020
342	165,34	60	5,00	162	10,0	8,0			18,00	183,34	175,160	10,000	8,180	-0,180
357	297,55	50	4,08	110	10,0	8,0			18,00	315,55	307,390	10,000	8,160	-0,160
352	165,26	50	4,33	117	10,0	8,0			18,00	184,26	175,110	10,000	9,150	-0,150
366	373,36	50	4,00	108	10,0	8,0			18,00	391,36	383,330	10,000	8,030	-0,030
353	373,44	50	4,50	122	10,0	9,0			19,00	392,44	383,200	10,000	9,240	-0,240
358	165,24	50	4,17	113	10,0	9,0			19,00	184,24	175,070	10,000	9,170	-0,170
346	373,42	70	5,00	189	10,0	9,0			19,00	392,42	383,300	10,000	9,120	-0,120
363	165,26	50	4,17	113	10,0	9,0			19,00	184,26	175,160	10,000	9,100	-0,100
368	292,03	50	4,08	110	10,0	9,0			19,00	311,03	302,040	10,000	8,990	-0,010

TABELA 21 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
283	165,09	70	4,00	151	10,0	4,0	25,0		39,00	204,09	200,070	35,000	4,020	-0,020
219	291,77	90	4,50	219	10,0	5,0	25,0		42,00	333,77	326,600	35,000	5,060	-0,060
85	21,86	70	5,00	189	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,860	40,000	5,000	0,000
75	20,54	60	5,00	162	10,0	5,0	30,0		45,00	65,54	60,580	40,040	4,960	0,040
101	38,29	80	5,00	216	10,0	6,0	30,0		46,00	84,29	78,304	40,010	5,990	0,010
95	21,86	70	5,00	189	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,968	40,108	5,892	0,108
224	165,48	90	4,00	194	10,0	7,0	25,0		42,00	207,48	200,290	70,000	7,190	-0,190
238	291,82	90	3,50	170	10,0	7,0	25,0		42,00	333,82	326,630	35,000	7,190	-0,190
231	276,80	90	3,50	170	10,0	7,0	25,0		42,00	318,80	311,620	35,000	7,180	-0,180
103	21,86	90	5,00	243	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,899	40,039	6,961	0,039
91	21,86	80	5,00	216	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,979	40,119	6,881	0,119
303	291,83	100	5,00	270	10,0	8,0	25,0		43,00	334,83	326,780	35,000	8,050	-0,050
113	21,75	100	6,00	324	10,0	9,0	30,0		49,00	70,75	61,761	40,011	8,989	0,011

TABELA 22 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 30,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
196	373,37	90	4,00	194	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,37	443,320	69,950	4,050	-0,050
186	373,38	80	3,00	130	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,38	443,370	69,990	4,010	-0,010
222	277,24	80	3,50	151	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	352,24	347,120	69,880	5,120	-0,120
195	297,28	80	2,00	86	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	372,28	367,190	69,910	5,090	-0,090
200	291,75	80	3,00	130	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	366,75	361,750	70,000	5,000	0,000
206	297,20	80	3,17	137	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	372,20	367,250	70,050	4,950	0,050
228	297,91	80	3,25	140	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	373,91	367,650	69,740	6,260	-0,260
306	373,61	80	4,00	173	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	449,61	443,440	69,830	6,170	-0,170
202	373,90	80	3,50	151	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	449,90	443,750	69,850	6,150	-0,150
313	297,69	80	3,33	144	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	373,69	367,540	69,850	6,150	-0,150
187	276,99	80	3,50	151	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	352,99	346,860	69,870	6,130	-0,130
322	165,21	80	3,25	140	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	241,21	235,160	69,950	6,050	-0,050
164	165,21	80	4,00	173	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,21	235,140	69,930	7,070	-0,070
232	298,08	80	4,08	176	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	376,08	367,740	69,660	8,340	-0,340
225	165,05	80	4,17	180	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	243,05	234,840	69,790	8,210	-0,210
220	297,63	80	4,50	194	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	375,63	367,540	69,910	8,090	-0,090
333	297,66	80	4,50	194	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	375,66	367,610	69,950	8,050	-0,050
151	297,37	90	5,00	243	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	376,37	367,290	69,920	9,080	-0,080

TABELA 23 - MATERIAIS : CIMENTO CP V e ÁGUA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOS TRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊN CIA (%)	TEMPO NO MICRO ONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERI AIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
300	373,63	40	4,00	86	10,0	4,0			14,00	387,63	383,420	9,790	4,210	-0,210
310	291,85	40	3,00	65	10,0	4,0			14,00	305,85	301,660	9,810	4,190	-0,190
314	165,08	40	2,50	54	10,0	4,0			14,00	179,08	175,040	9,960	4,040	-0,040
316	165,39	40	3,00	65	10,0	5,0			15,00	180,39	175,340	9,950	5,050	-0,050
317	291,86	40	4,00	86	10,0	6,0			16,00	307,86	301,820	9,960	6,040	-0,040
339	165,33	40	4,33	94	10,0	7,0			17,00	182,33	175,230	9,900	7,100	-0,100
359	165,44	40	4,08	88	10,0	7,0			17,00	182,44	175,410	9,970	7,030	-0,030
344	373,63	40	4,17	90	10,0	7,0			17,00	390,63	383,600	9,970	7,030	-0,030
326	165,14	60	4,00	130	10,0	8,0			18,00	183,14	174,980	9,840	8,160	-0,160
355	292,15	40	4,25	92	10,0	8,0			18,00	310,15	302,040	9,890	8,110	-0,110
338	164,94	40	4,67	101	10,0	8,0			18,00	182,94	174,850	9,910	8,090	-0,090
343	291,83	40	4,33	94	10,0	8,0			18,00	309,83	301,790	9,960	8,040	-0,040
360	373,36	40	4,17	90	10,0	8,0			18,00	391,36	383,330	9,970	8,030	-0,030
327	165,44	60	4,50	146	10,0	9,0			19,00	184,44	175,070	9,630	9,370	-0,370
347	297,56	40	4,50	97	10,0	9,0			19,00	316,56	307,400	9,840	9,160	-0,160
345	297,33	40	4,50	97	10,0	9,0			19,00	316,33	307,210	9,880	9,120	-0,120
349	291,85	40	4,42	95	10,0	9,0			19,00	310,85	301,740	9,890	9,110	-0,110
354	297,62	40	4,33	94	10,0	9,0			19,00	316,62	307,590	9,970	9,030	-0,030

TABELA 24 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
288	291,80	70	4,00	151	10,0	4,0	25,0		39,00	330,80	326,610	34,810	4,190	-0,190
289	165,11	70	3,50	132	10,0	4,0	25,0		39,00	204,11	200,060	34,950	4,050	-0,050
204	165,10	80	5,00	216	10,0	5,0	25,0		40,00	205,10	200,010	34,910	5,090	-0,090
218	165,13	70	4,50	170	10,0	5,0	25,0		40,00	205,13	200,070	34,940	5,060	-0,060
97	20,54	80	5,00	216	10,0	5,0	30,0		45,00	65,54	60,570	40,030	4,970	0,030
89	21,86	70	5,00	189	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,940	40,080	4,920	0,080
83	21,86	60	5,00	162	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	62,010	40,150	4,850	0,150
76	21,86	50	5,00	135	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	62,048	40,188	4,812	0,188
78	21,86	70	5,00	189	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,300	39,440	6,560	-0,560
86	20,54	70	5,00	189	10,0	6,0	30,0		46,00	66,54	60,550	40,010	5,990	0,010
88	20,54	70	5,00	189	10,0	6,0	30,0		46,00	66,54	60,550	40,010	5,990	0,010
226	291,89	80	5,00	216	10,0	7,0	25,0		42,00	333,89	326,660	35,000	7,230	-0,230
112	38,11	100	6,00	324	10,0	7,0	30,0		47,00	85,11	77,970	39,860	7,140	-0,140
291	165,07	90	5,00	243	10,0	7,0	25,0		42,00	207,07	199,930	34,860	7,140	-0,140
233	165,04	70	5,17	195	10,0	7,0	25,0		42,00	207,04	199,910	35,000	7,130	-0,130
299	165,42	80	5,00	216	10,0	7,0	25,0		42,00	207,42	200,290	34,870	7,130	-0,130
309	165,37	80	4,00	173	10,0	7,0	25,0		42,00	207,37	200,340	34,970	7,030	-0,030
110	20,54	100	5,00	270	10,0	7,0	30,0		47,00	67,54	60,590	40,050	6,950	0,050
104	20,54	80	5,00	216	10,0	7,0	30,0		47,00	67,54	60,610	40,070	6,930	0,070
98	38,29	90	5,00	243	10,0	7,0	30,0		47,00	85,29	80,742	42,448	4,552	2,448
100	21,86	100	5,00	270	10,0	8,0	30,0		48,00	69,86	61,875	40,015	7,985	0,015
106	21,75	100	6,00	324	10,0	9,0	30,0		49,00	70,75	61,760	40,010	8,990	0,010

TABELA 25 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 60,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER- (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
301	297,75	90	2,83	138	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	371,75	367,720	69,970	4,030	-0,030
169	373,66	100	3,00	162	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	447,66	443,870	70,210	3,790	0,210
137	373,40	90	5,00	243	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	448,40	443,000	69,600	5,400	-0,400
161	165,13	100	3,00	162	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,13	235,040	69,910	5,090	-0,090
307	165,16	90	3,50	170	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	240,16	235,110	69,950	5,050	-0,050
174	292,15	90	3,00	146	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	367,15	362,130	69,980	5,020	-0,020
178	165,04	90	4,00	194	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	241,04	234,960	69,920	6,080	-0,080
184	165,10	90	3,50	170	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	241,10	235,060	69,960	6,040	-0,040
155	165,23	100	5,00	270	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	242,23	235,180	69,950	7,050	-0,050
189	165,06	100	5,50	297	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	243,06	235,030	69,970	8,030	-0,030
168	164,97	100	6,00	324	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	243,97	234,960	69,990	9,010	-0,010

TABELA 26 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA e AREIA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
294	373,83	60	3,50	113	10,0	4,0	25,0		39,00	412,83	408,620	35,000	4,210	-0,210
293	291,83	70	4,00	151	10,0	4,0	25,0		39,00	330,83	326,650	35,000	4,180	-0,180
80	21,86	80	5,00	216	10,0	5,0	30,0		45,00	66,86	61,921	40,061	4,939	0,061
74	20,54	60	5,00	162	10,0	5,0	30,0		45,00	65,54	61,010	40,470	4,530	0,470
92	21,86	100	5,00	270	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,729	39,869	6,131	-0,131
93	21,86	100	4,83	261	10,0	6,0	30,0		46,00	67,86	61,909	40,049	5,951	0,049
94	21,86	100	5,33	288	10,0	7,0	30,0		47,00	68,86	61,800	39,940	7,060	-0,060
217	21,86	100	8,00	432	10,0	9,0	30,0		49,00	70,86	61,940	40,080	8,920	0,080

TABELA 27 - MATERIAIS : CIMENTO CP V, ÁGUA, AREIA e BRITA

TEMPO DE CURA : 0,00 MINUTOS

AMOSTRA	PESO VASILHA + COLHER	POTÊNCIA (%)	TEMPO NO MICROONDAS (Minuto)	ENERGIA GASTA (Kj)	CIMENTO (g)	ÁGUA (g)	Areia (g)	Brita 01 (g)	PESO TOTAL MATERIAIS (g)	PESO TOTAL MATERIAIS + VASILHA + COLHER (g)	PESO FINAL SECO (g)	PESO FINAL MATERIAL SECO (g)	ÁGUA RETIRADA (g)	ÁGUA MANTIDA (g)
165	291,83	100	3,00	130	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	366,79	361,660	69,870	5,130	-0,130
243	291,79	60	3,58	216	10,0	5,0	25,0	35,0	75,00	239,90	361,640	196,740	-121,740	126,740
143	164,90	60	4,00	173	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	449,64	234,800	-138,840	214,840	-208,840
152	373,64	100	4,00	216	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	373,40	443,560	146,160	-70,160	76,160
170	297,40	80	4,00	130	10,0	6,0	25,0	35,0	76,00	352,91	367,360	90,450	-14,450	20,450
172	276,91	80	5,00	149	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	374,40	346,750	49,350	27,650	-20,650
173	297,40	60	4,00	378	10,0	7,0	25,0	35,0	77,00	450,64	367,360	-6,280	83,280	-76,280
154	373,64	50	5,50	220	10,0	8,0	25,0	35,0	78,00	451,68	443,560	69,880	8,120	-0,120
158	373,68	100	7,00	92	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	243,92	443,550	278,630	-199,630	208,630
166	164,92	70	5,83	0	10,0	9,0	25,0	35,0	79,00	452,58	234,900	-138,680	217,680	-208,680
227	373,58	60	2,83	0	10,0	4,0	25,0	35,0	74,00	74,00	443,620	443,620	-369,620	373,620