



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Licenciatura

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DO BETÃO BRANCO COMPARADO AO
BETÃO CINZENTO E SUA APLICAÇÃO EM PROJECTOS DE ENGENHARIA**

Málik das Neves Boane

Supervisores:

Prof.^a Alexandra Neves, Eng.^a

Eng.^o Daniel Mazive

Maputo, Janeiro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Licenciatura

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DO BETÃO BRANCO COMPARADO AO
BETÃO CINZENTO E SUA APLICAÇÃO EM PROJECTOS DE ENGENHARIA**

Málik das Neves Boane

Supervisores:

Prof.^a Alexandra Neves, Eng.^a

Eng.^o Daniel Mazive

Maputo, Janeiro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Málik das Neves Boane entregou no dia ___/___/2025 as ___
cópias do relatório do seu trabalho de Licenciatura com a Referência: _____

Intitulado: _____

Maputo, ___ de _____ de 2025

A Chefe de Secretaria

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, pelo amor, apoio e incentivo. Que eu possa alegrar os vossos corações com o desfecho deste trabalho.

“Ouçam, meus filhos, a instrução de um pai; estejam atentos e obterão discernimento.”

Provérbios 4:1

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, Criador dos Céus e da Terra, por Sua protecção constante, concedendo-me saúde, sabedoria e fortalecendo-me diariamente para enfrentar diversos desafios.

Aos meus pais, Roberto Boane e Elsa Boane, expresso a minha profunda gratidão pela educação que me proporcionaram, pelos conselhos valiosos e pela motivação incomparável que me conduziram até esta etapa da minha vida.

Aos meus irmãos, Allen e Erik, agradeço pelo apoio incondicional, pela confiança e pela força que sempre me transmitiram. Minha gratidão estende-se a toda a minha família, em especial à minha avó, por suas contribuições directas e indirectas ao meu crescimento pessoal e profissional.

À minha supervisora, Prof.^a Eng.^a Alexandra Neves, e ao meu co-supervisor, Eng.^o Daniel Mazive, agradeço imensamente pelo acompanhamento atencioso e descontraído, pela motivação constante, pelo esclarecimento de dúvidas, pela partilha de conhecimentos e manuais, bem como pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o processo de realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Eduardo Mondlane, expresso a minha gratidão pelos ensinamentos que me enriqueceram ao longo da jornada académica.

Agradeço à empresa TÉCNICA pela oportunidade de estagiar em suas instalações, onde pude adquirir e desenvolver o conhecimento necessário para a execução deste trabalho. De maneira especial, agradeço ao Eng.^o Bonifácio da Conceição pelo suporte motivacional durante o estágio.

À empresa MOTA-ENGIL, sou grato pela disponibilização de manuais, cimento branco e agregados. Agradeço também à empresa SIKA pela oferta de adjuvantes, pelo acompanhamento e pelas dicas.

Minha sincera gratidão estende-se ao Laboratório de Engenharia de Moçambique, IP (LEM), pela generosa disponibilização de suas instalações para a realização dos ensaios desta pesquisa. Agradeço igualmente a toda a equipa do LEM, cujo apoio incansável no processo de fabrico do betão e contínuo incentivo foram essenciais. Expresso também

meu reconhecimento à empresa RIBEMOZ pelo suporte prestado ao longo de toda a investigação.

Aos meus amigos, Alen Martins, Mateus Cambaza, Teddy Simão e Zacarias Zunguza, agradeço pela companhia sempre positiva. Um agradecimento especial a alguém muito especial, Neid Pene, pelas orações, motivação e pelas valiosas dicas na elaboração deste trabalho.

Por fim, manifesto meu agradecimento aos colegas de turma do curso de engenharia civil, com destaque para Márcia Cuna, Cleton Bata, Elton Muconihua, Gullyt Mendes, Hilário Joaquim, Humeid Daud, Leonildo Evaristo, Luís Guambe e Mateus Machavane, cujo apoio foi igualmente inestimável.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento do betão branco, comparando-o ao betão cinzento em termos de produção e propriedades nos estados fresco e endurecido. Analisaram-se composições das classes de resistência C30/37 e C40/50 para o betão branco e cinzento, com foco no desenvolvimento da resistência à compressão.

Os resultados indicaram que o betão branco apresenta um ganho acelerado de resistência à compressão nos primeiros sete dias, comportamento que se reverte no período entre 7 e 28 dias, quando o desenvolvimento se torna mais lento em comparação ao betão cinzento.

Factores como a razão água/cimento e o grau de compactação mostraram-se determinantes na resistência à compressão do betão, enquanto a maior finura do cimento branco contribuiu para maior absorção de água, dificultando a obtenção de betões com consistência fluída. Problemas técnicos relacionados à interacção do cimento branco com superplastificantes, variações na cor do betão branco e fissuras de retracção térmica foram identificados, com recomendações específicas para mitigá-los.

Os resultados desta pesquisa fornecem subsídios para a melhoria da produção e aplicação do betão branco, destacando suas vantagens e limitações, além de propor medidas práticas para assegurar seu desempenho estrutural e estético. O trabalho destaca também a relevância do controlo técnico especializado ao longo de todo o processo produtivo.

Palavras Chaves:

Betão branco, resistência à compressão, betão cinzento, razão água/cimento.

ABSTRACT

This study presents an analysis of the behavior of white concrete, comparing it to gray concrete in terms of production and properties in both fresh and hardened states. Mixtures of strength classes C30/37 and C40/50 were analyzed for both white and gray concrete, with a focus on compressive strength development.

The results indicated that white concrete exhibits an accelerated gain in compressive strength during the first seven days; however, this trend reverses between 7 and 28 days, when its strength development slows compared to gray concrete.

Factors such as the water/cement ratio and the degree of compaction proved to be crucial for compressive strength, while the finer particle size of white cement contributed to higher water absorption, making it more difficult to achieve fluid consistency. Technical challenges related to the interaction between white cement and superplasticizers, variations in the color of white concrete, and thermal shrinkage cracking were identified, with specific recommendations proposed to mitigate these issues.

The findings of this research establish technical parameters for optimizing the production and application of white concrete, highlighting its advantages and limitations while proposing practical measures to ensure both structural and aesthetic performance. The study also emphasizes the importance of specialized technical control throughout the entire production process.

Keywords:

White concrete, compressive strength, gray concrete, water/cement ratio

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa.....	1
1.2. Objectivos	2
1.2.1. Geral	2
1.2.2. Específicos.....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.3.1. Revisão bibliográfica	3
1.3.2. Investigação experimental	3
1.3.3. Análise de resultados dos ensaios do Betão Pronto	3
1.4. Organização do Trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Introdução	5
2.2. Enquadramento Geral	5
2.3. Composição do Betão Branco.....	7
2.3.1. Cimento branco.....	8
2.3.2. Agregado	10
2.3.3. Aditivos minerais	11
2.3.4. Água.....	13
2.3.5. Adjuvantes	13

2.4.	Propriedades do Betão.....	14
2.4.1.	Betão fresco	15
2.4.2.	Betão endurecido	17
3.	FASE EXPERIMENTAL.....	20
3.1.	Introdução	20
3.2.	Planeamento	20
3.3.	Materiais, Composição e Formulação da Mistura dos Betões da Classe de Resistência C30/37	22
3.3.1.	Materiais usados	22
3.3.2.	Caracterização dos agregados	22
3.3.3.	Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados	28
3.3.4.	Composição da mistura	29
3.4.	Produção do Betão da classe de resistência C30/37	34
3.4.1.	Procedimento	34
3.5.	Ensaio de Caracterização do Betão no Estado Fresco	36
3.5.1.	Ensaio de abaixamento.....	36
3.6.	Ensaio de Caracterização do Betão no Estado Endurecido	37
3.6.1.	Ensaio da resistência à compressão de provetes	37
4.	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O BETÃO BRANCO E O BETÃO CINZENTO	38
4.1.	Introdução	38
4.2.	Diferença Entre o Betão Branco e Betão Cinzento na Fase de Produção	38
4.2.1.	Dosagem de adjuvante	38
4.2.2.	Cofragem e óleo descofrante	40
4.3.	Diferença Entre o Betão Branco e Betão Cinzento no Processo de cura.....	41
4.3.1.	Calor de hidratação e fissuras.....	41
4.4.	Caracterização do Betão no Estado Fresco	42
4.4.1.	Consistência.....	42

4.5.	Caracterização do Betão no Estado Endurecido.....	43
4.5.1.	Relação do peso específico aparente e a resistência aos 28 dias.....	44
4.5.2.	Resistência à compressão	45
5.	CONCLUSÕES	48
5.1.	Desenvolvimentos Futuros.....	49
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
6.1.	Livros, Artigos e Dissertações.....	51
6.2.	Normas e Especificações.....	52
6.3.	Outras Referências	53
6.4.	Consultas na Internet	53
ANEXOS	54

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos

a	Parâmetro para determinação do módulo de finura
$A \& B$	Parâmetros da curva de Faury que depende da trabalhabilidade e da potência de compactação
a/c	Razão água/cimento
$^{\circ}C$	Graus Celcius
C	Quantidade de cimento
cm^2/g	Centímetro ao quadrado por grama
$D/2$	Diâmetro médio do agregado grosso
D_{max}	Dimensão máxima do agregado grosso
$f_{ck,j}$	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos j dias de idade
f_{ci}	Valor da resistência à compressão de cada provete
$f_{cm,j}$	Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão aos j dias de idade
g	Grama
g/cm^3	Grama por centímetro cúbico
I_v	Índice de vazio
K	Parâmetro da expressão da água de amassadura de Faury
K'	Parâmetro da expressão da água de amassadura de Faury
kg	Quilograma
kg/l	Quilograma por litro
Kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
l	Litro
m_i	Massa do agregado
mm	Milímetro
MPa	Mega pascal
m_t	Massa total do agregado
n	Número total de provetes ensaiados
P_D	Ordenada da abcissa do diâmetro grosso do agregado
$P_{D/2}$	Ordenada da abcissa do diâmetro médio do agregado

Psi	Libra por polegada quadrada
R	Raio médio
S	Volume de sólidos
t	Idade do provete ensaiado em dias
$\beta_{cc}(t)$	Coefficiente dependente da idade do betão ensaiado
v_c	Volume de cimento
v_v	Volume de vazios
ρ	Massa volúmica da água
ρ_c	Massa volúmica do cimento
ρ_{imp}	Massa volúmica do material impermeável da partícula
δ	Desvio padrão

Siglas e acrónimos

A.P.I	Adições predominantemente inertes
A.P.R	Adições predominantemente reactivas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BB	Betão branco
BC	Betão cinzento
C ₂ S	Silicato bicálcico
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₃ S	Silicato tricálcico
C ₄ AF	Ferro aluminato tetracálcico
CEM	Cimento
CP	Cimento Portland
CPB	Cimento Portland branco
CPC	Cimento Portland cinzento
EUA	Estados Unidos de América
EN	Norma europeia
LEM, IP	Laboratório de Engenharia de Moçambique
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, IP
MF	Modulo de finura
N	Normal
NP	Norma Portuguesa

PCA	<i>Portland Cement Association</i>
r.p.m	Rotações por minuto
SD	Desvio padrão

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: A cidade das artes e da ciência, Valência, Espanha	6
Figura 2.2: Igreja Mergulho na Misericórdia, Roma, Itália	6
Figura 2.3: Casa da música, Porto, Portugal	6
Figura 2.4: Separador físico da auto-estrada em Nova Jersey, Estados Unidos de América	7
Figura 2.5: Viaduto do aeroporto Francisco Sá Carneiro, Porto, Portugal.....	7
Figura 2.6: Linha de produção do cimento cinzento	9
Figura 2.7: Linha de produção do cimento branco	10
Figura 2.8: Segregação e exsudação no betão fresco	16
Figura 2.9: Efeito da finura do cimento no desenvolvimento da resistência do betão ...	18
Figura 2.10: Faixa de relação típica entre a resistência à compressão e a relação água/cimento do betão	19
Figura 2.11: Relação entre resistência à compressão e a densidade do betão	19
Figura 3.1: Agregado retido no peneiro	22
Figura 3.2: Curvas granulométricas dos agregados	24
Figura 3.3: Prensa hidráulica usada para determinação da resistência ao esmagamento do agregado.	25
Figura 3.4: Pesagem da areia no ensaio de baridade	26
Figura 3.5: Máquina de Los Angeles	27
Figura 3.6: Carga abrasiva para realização do ensaio de Los Angeles.....	27
Figura 3.7: Picnómetro contendo areia e água.....	28
Figura 3.8: Curva real da Composição do betão cinzento da classe de resistência C30/37	32

Figura 3.9: Curva real da composição do betão branco da classe de resistência C30/37	33
Figura 3.10: Molde preparado com aplicação de óleo descofrante	34
Figura 3.11: Processo enchimento e vibração dos moldes	35
Figura 3.12: Medição da temperatura do betão fresco	35
Figura 3.13: Identificação dos provetes de betão	36
Figura 3.14: Processo de cura dos provetes de betão no tanque de cura	36
Figura 3.15: Medição do abaixamento do betão fresco	36
Figura 3.16: Ensaio de compressão axial do provete de betão	37
Figura 4.1: Segregação do betão branco devido à sobredosagem do adjuvante	39
Figura 4.2: Provede de betão branco com superfície áspera	39
Figura 4.3: Provede de betão branco com superfície lisa	40
Figura 4.4: Betão branco não endurecido após 24 horas de cura devido a sobredosagem de adjuvante	40
Figura 4.5: Betão branco com manchas de ferrugem a superfície	41
Figura 4.6: Betão branco sem manchas de ferrugem a superfície	41
Figura 4.7: Registo de temperatura do betão branco aplicado na parede após descofragem	42
Figura 4.8: Fissura de retracção na parede em betão branco	42
Figura 4.9: Curva de abaixamento em função da razão a/c	43
Figura 4.10: Resultados do ensaio da resistência à compressão em função do peso específico aparente	44
Figura 4.11: Curva de resistência à compressão aos 28 dias do betão branco em função da razão a/c	45
Figura 4.12: Curva de resistência do betão branco e betão cinzento da classe de resistência C30/37	46
Figura 4.13: Curva de resistência do betão branco e betão cinzento da classe de resistência C40/50	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Componentes principais do cimento Portland	8
Tabela 3.1: Normas usadas para realização dos ensaios para a caracterização dos agregados.....	20
Tabela 3.2: Normas usadas para os ensaios do betão no estado fresco e endurecido	21
Tabela 3.3: Percentagem acumulada retida e percentagem passada dos agregados ...	23
Tabela 3.4: Resultado dos ensaios da areia.....	28
Tabela 3.5: Resultado dos ensaios da brita.....	28
Tabela 3.6: Composição do betão cinzento da classe de resistência C30/37	32
Tabela 3.7: Composição do betão branco da classe de resistência C30/37	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1: Percentagem retida no peneiro i.....	23
Equação 3.2: Massa volúmica do material impermeável das partículas	24
Equação 3.3: Absorção de água do agregado	25
Equação 3.4: Percentagem do material friável	25
Equação 3.5: Desgaste do agregado	27
Equação 3.6: Ordenada do ponto de abcissa $d/2$	29
Equação 3.7: Parâmetro para a determinação do módulo de finura	29
Equação 3.8: Quantidade de cimento para determinada classe de resistência do betão	30
Equação 3.9: Índice de vazios.....	30
Equação 3.10: Volume de água	30
Equação 3.11: Percentagem de cimento nos sólidos do betão.....	31
Equação 3.12: Volume absoluto do cimento.....	31
Equação 3.13: Volume dos sólidos do betão.....	31

1. INTRODUÇÃO

O betão é actualmente o material estrutural mais utilizado na construção civil, destacando-se pela sua versatilidade, facilidade de aplicação e excelente desempenho em termos de resistência mecânica. Com o aumento das exigências, de resistência mecânica, durabilidade e a estética dos materiais, melhorar as propriedades do betão tornou-se um objectivo primordial. Neste contexto, o betão branco estrutural surge como uma alternativa que, além de garantir a resistência mecânica e a durabilidade do betão, oferece um acabamento estético diferente.

De acordo com Kirchheim et al. (2005), o betão branco foi introduzido na industria da construção no século XX. Embora o seu uso já esteja difundido na construção civil a nível mundial, existe escasso registo de obras em Moçambique, realizadas com betão branco. Suas principais vantagens incluem eficiência energética da estrutura e a possibilidade de variação de cor com o uso de pigmentos. Em contrapartida, o seu uso está também associado a custos de produção elevados e à necessidade de conhecimentos técnicos específicos.

Este trabalho visa compreender o comportamento do betão branco nos estados fresco e endurecido, com ênfase na resistência à compressão. Serão também analisadas as principais diferenças do betão branco em relação ao betão cinzento, através de ensaios de abaixamento e compressão nos betões das classes de resistência C30/37 produzidas no laboratório e C40/50 produzidas na central de betão pronto. Além disso, o trabalho examina cuidados necessários na produção, identificando causas de possíveis problemas e propondo medidas correctivas para otimizar seu desempenho técnico.

1.1. Justificativa

O avanço tecnológico e as crescentes exigências arquitectónicas requerem maior domínio técnico sobre os materiais de construção utilizados. A introdução de uma linha de investigação do betão branco justifica-se pela possibilidade de ampliar as opções para construção civil, agregando um material inovador na industria de construção local.

Este trabalho visa aprofundar o conhecimento sobre o comportamento do betão branco em comparação ao betão cinzento, fornecendo orientações para a produção e

sugerindo medidas para minimizar possíveis problemas no betão nos estados fresco e endurecido, como é o caso da segregação, e maximizar a qualidade. Além disso, o trabalho apresenta critérios para a selecção de materiais, oferecendo um conjunto de informações técnicas que apoiam a fabricação e o uso do betão branco.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

Este trabalho de pesquisa visa explorar as potencialidades do betão branco, abordando os procedimentos de dosagem, produção e cura, e tem como objectivo geral:

- Compreender o comportamento do betão branco nos estados fresco e endurecido, com ênfase na resistência à compressão.

1.2.2. Específicos

O trabalho de pesquisa tem os seguintes objectivos específicos:

- Comparar o desenvolvimento da resistência à compressão do betão branco com o betão cinzento nas classes de resistência C30/37 e C40/50;
- Identificar factores que influenciam a resistência à compressão;
- Avaliar o impacto da variação da relação água/cimento na consistência do betão branco, por meio do ensaio de abaixamento;
- Analisar as diferenças entre o betão branco e o betão cinzento na fase de amassadura;
- Propor medidas correctivas de modo a evitar possíveis problemas com o betão branco que afectem a sua qualidade;
- Fornecer uma contribuição técnica para a produção do betão branco.

1.3. Metodologia

A natureza desta pesquisa é aplicada, caracterizando-se pela busca de conhecimento direccionado à aplicação prática e à resolução de problemas específicos. Quanto ao objectivo, a pesquisa é classificada como descritiva, visando caracterizar determinado fenómeno e estabelecer relações entre suas variáveis. Do ponto de vista do meio de investigação, combinou-se a investigação experimental e a pesquisa bibliográfica.

1.3.1. Revisão bibliográfica

Como primeira etapa, foram colectadas informações teóricas pertinentes para alcançar os objectivos outrora delineados, obtidas por meio de livros, artigos científicos e portais de pesquisa na internet, com o propósito de fundamentar a investigação e fornecer um contexto ao tema abordado.

1.3.2. Investigação experimental

A investigação experimental foi estruturada em três fases, nomeadamente:

- a) Aquisição de materiais – O processo experimental teve início com a aquisição dos materiais necessários para a produção do betão branco e cinzento, isto é, cimento, agregados e plastificantes.
- b) Planeamento – Após a identificação do laboratório onde a pesquisa seria desenvolvida, foram definidos os ensaios necessários para o estudo. Iniciou-se com os ensaios de caracterização dos agregados, cujos resultados forneceram a base para o estudo da composição dos betões brancos e cinzentos da classe de resistência C30/37. Concluída essa fase, deu-se início à fase de experimentação.
- c) Experimentação – A fase da experimentação foi caracterizada pela produção dos betões, incluindo ensaios do betão no estado fresco, a fabricação de provetes, bem como ensaios do betão no estado endurecido. Procedeu-se a análise dos resultados obtidos, a comparação com os valores esperados e a tomada de decisões para a correcção de problemas identificados durante o processo de experimentação.

1.3.3. Análise de resultados dos ensaios do Betão Pronto

Paralelamente à etapa de investigação experimental, procedeu-se à aquisição e análise dos resultados dos ensaios realizados no betão pronto produzido na central de betão pronto. Os dados obtidos foram avaliados com o auxílio do *software* Microsoft Excel 365, possibilitando a comparação dos resultados e garantindo maior precisão na interpretação.

1.4. Organização do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo a presente introdução designada como o primeiro capítulo.

No Capítulo 2, é feita uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, começando pela caracterização geral do betão branco, seguindo uma descrição dos seus constituintes e os cuidados necessários durante a produção. Por fim, são apresentadas as propriedades exigidas para o betão nos estados fresco e endurecido.

O Capítulo 3 apresenta a fase experimental, descrevendo os procedimentos e ensaios realizados. São abordados os ensaios de caracterização dos agregados, o cálculo das composições e os ensaios no betão nos estados fresco e endurecido.

No Capítulo 4, são apresentadas as diferenças observadas entre o betão branco e cinzento, que consistiu na análise dos resultados dos ensaios realizados.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões resultantes da análise comparativa dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

O presente capítulo é dedicado a necessidade de estabelecer um contexto teórico para o tema em questão. Isso foi feito através de um levantamento de trabalhos relacionados aos objectivos do presente trabalho, focando especialmente na composição, produção e características do betão branco. Esta revisão bibliográfica serviu de base para a análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados.

2.2. Enquadramento Geral

No final do século XIX, diversos estudos foram conduzidos para melhorar e desenvolver diferentes tipos de betões. Inicialmente, o foco residia em garantir a resistência mecânica e a durabilidade desses materiais, mas, com o passar do tempo, novas exigências surgiram, impulsionadas pelo interesse por obras de betão à vista. Foi no final do século XX que o betão branco começou a ganhar destaque, sendo geralmente empregue em projectos inovadores e nobres, oferecendo assim, maior flexibilidade estética em comparação ao betão cinzento (Kirchheim et al., 2005; Dias, 2002).

Nas últimas décadas, o betão branco tem sido usado em obras de grande relevância nos continentes europeu e americano, com destaque para a cidade das artes e da ciência, em Valência, na Espanha (Figura 2.1), a igreja Mergulho na Misericórdia, em Roma, na Itália (Figura 2.2), o aeroporto de Dulles, em Washington *D.C.*, nos EUA, construído com a combinação de betão branco e cinzento. Outras obras incluem a sede da ASTM em *West Conshohocken*, Pensilvânia, EUA, totalmente construída em placas de betão branco pré-fabricadas. Em Portugal, destacam-se o pavilhão da Expo 98 e a Torre do Tombo, ambos em Lisboa, a Casa da Música, no Porto, ilustrada na Figura 2.3, e a Biblioteca Municipal de Viana do Castelo.



Figura 2.1: A cidade das artes e da ciência, Valência, Espanha

Fonte: Adaptado de Kirchheim et al. (2005)



Figura 2.2: Igreja Mergulho na Misericórdia, Roma, Itália

Fonte: Adaptado de <https://tesorosderoma.wordpress.com/2012/01/07/arquitetos-contemporaneos-que-vivem-com-a-cidade-eterna/>



Figura 2.3: Casa da música, Porto, Portugal

Fonte: Adaptado de <https://www.secil-group.com/pt/a-secil/o-que-fazemos/obras-de-referencia/casa-da-musica>

Dias (2003) afirma que, para além do betão branco conferir um aspecto arquitectónico diferente aos edifícios, o mesmo se destaca por sua capacidade de reflectir a luz, o que contribui para alta eficiência energética do edifício, reduzindo a

necessidade de iluminação artificial e de refrigeração, além de garantir menor variação da temperatura da estrutura.

No contexto de obras rodoviárias, o departamento de estradas de Nova Jersey, nos EUA, testou barreiras para auto-estradas fabricadas em betão branco, ilustrada na Figura 2.4, visando melhorar a visibilidade nocturna e em condições chuvosas, de acordo com um artigo científico publicado pela *Portland Cement Association* (s.d). O viaduto do aeroporto Francisco Sá Carneiro, no Porto, Portugal, ilustrado na Figura 2.5, e a ponte atirantada Irineu Bornhausen em Santa Catarina, Brasil ,são outros exemplos de obras viárias edificadas com recurso ao betão branco.



Figura 2.4: Separador físico da auto-estrada em Nova Jersey, Estados Unidos de América

Fonte: Adaptado de *Portland Cement Association* (s.d.)



Figura 2.5: Viaduto do aeroporto Francisco Sá Carneiro, Porto, Portugal

Fonte: Adaptado de <https://www.secil-group.com/pt/a-secil/o-que-fazemos/obras-de-referencia/aeroporto-sa-carneiro>

2.3. Composição do Betão Branco

O betão branco possui uma composição idêntica à do betão cinzento, diferenciando-se principalmente pelo uso do cimento branco, o que lhe confere uma cor bege, e não branca, a menos que sejam adicionados pigmentos específicos (Dias, 2002).

Para manter a cor desejada sem comprometer a qualidade do betão, diversos cuidados devem ser considerados na selecção dos constituintes do betão, os quais são descritos a seguir.

2.3.1. Cimento branco

O cimento Portland branco (CPB) é uma variação do cimento Portland cinzento (CPC), resultante de modificações no processo de produção e distinguindo-se, principalmente, pela escolha da matéria-prima. Basicamente, o cimento Portland (CP) é composto por quatro minerais, nomeadamente: silicato tricálcico (C_3S), silicato bicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) e ferro aluminato tetracálcico (C_4AF). A Tabela 2.1 fornece a comparação dos componentes do CPB e CPC.

Tabela 2.1: Componentes principais do cimento Portland

Composto	Composição em óxidos	Abreviação	Teores (%) CP CINZA	Teores (%) CP BRANCO
Silicato tricálcico	3 CaO.SiO ₂	C ₃ S – alita	50 - 70	50 – 70
Silicato dicálcico	2 CaO.SiO ₂	C ₂ S – belita	15 - 30	15 – 30
Aluminato tricálcico	3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A – aluminato	5 - 10	4 -13
Ferro aluminato tetracálcico	4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF – ferrita	3 - 8	≤1

Fonte: Adaptado de Kirchheim *et al.* (2005)

Nota-se que a maior diferença na composição encontra-se no teor do C_4AF , que contém ferrita. Segundo Illston & Domone (2001) e Saunders (2014), a cor acinzentada dos CP deve-se à presença da ferrita. Por este motivo, Neville & Brooks (1990) afirmam que, para a produção do CPB, recorre-se à argila branca (caulino), que possui baixos teores de óxido de ferro e óxido de magnésio, aliada ao calcário isento de impurezas específicas.

Além disso, o fabrico do CPB exige outros cuidados específicos, como a lavagem das matérias-primas e a moagem do cru para alcançar finuras superiores às pretendidas ou alcançadas na produção do CPC, a fim de superar as dificuldades de cozedura devido ao baixo teor de fundentes, ou seja, ferrita. Consequentemente, o processo de cozedura da matéria-prima do CPB requer temperaturas mais elevadas, o que implica maior consumo de combustível. Para evitar que as impurezas do combustível interfiram na coloração final do cimento, utiliza-se combustíveis à base de óleo ou gás (Dias, 2002; Saunders, 2014).

O clínquer branco requer um arrefecimento mais rápido, frequentemente realizado com água, para prevenir a oxidação de vestígios de impurezas de ferro que podem escurecer o cimento (Saunders, 2014). Além disso, a etapa de moagem do clínquer deve ser conduzida de modo a atingir finuras mais elevadas, visando alcançar índices superiores de brancura (Dias, 2002). De modo geral, a linha de produção do CPB exige cuidados adicionais em comparação com o CPC, o que afecta negativamente os custos de produção (Illston & Domone, 2001; Neville & Brooks, 1990).

As Figuras 2.6 e 2.7 apresentam a linha de produção do CPC e do CPB, na qual a principal diferença entre os dois processos está na introdução da etapa de lavagem da matéria-prima do CPB após a britagem e a substituição da torre de ciclones (CPC) pela fase de pré-aquecedor de grelha (CPB), após a homogeneização e o armazenamento de cru.

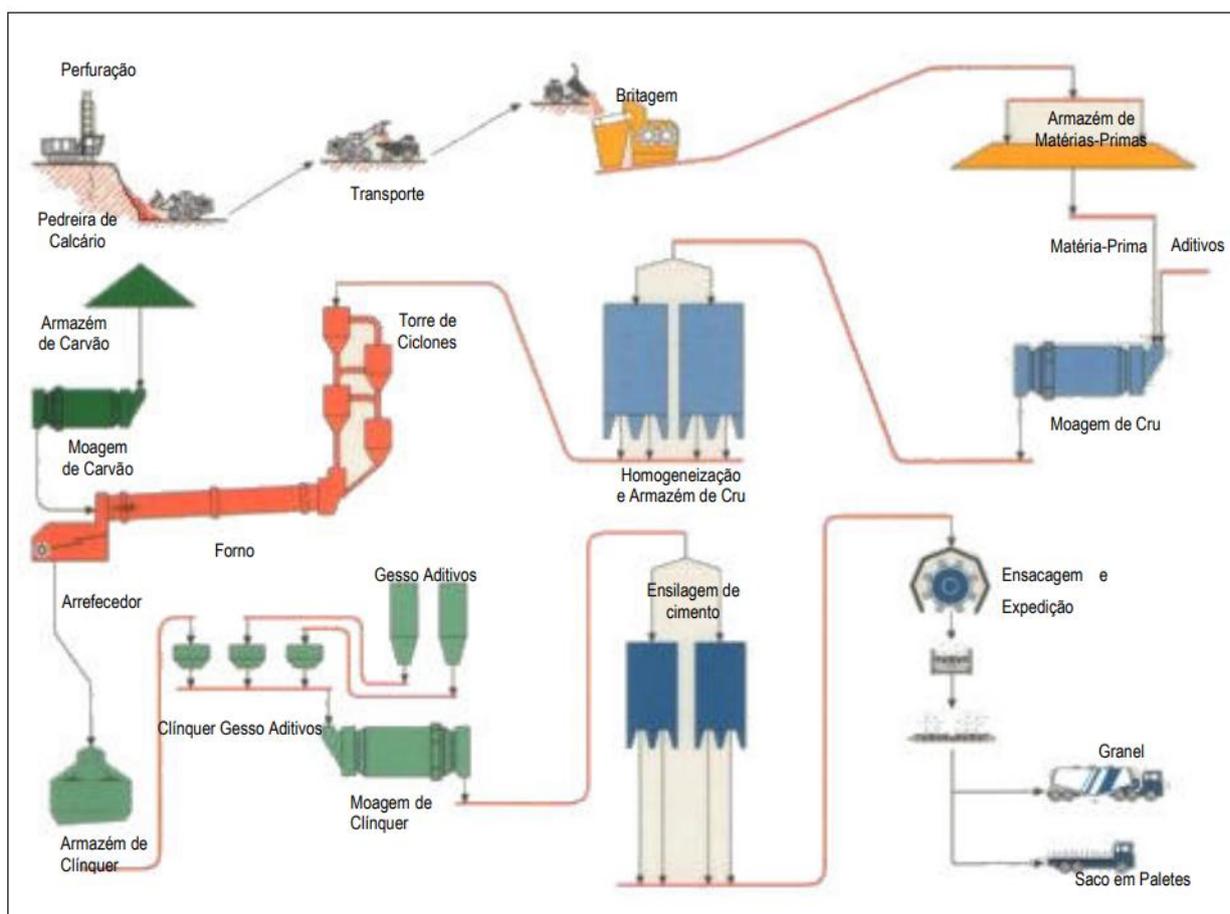


Figura 2.6: Linha de produção do cimento cinzento

Fonte: Adaptado de Dias (2002)

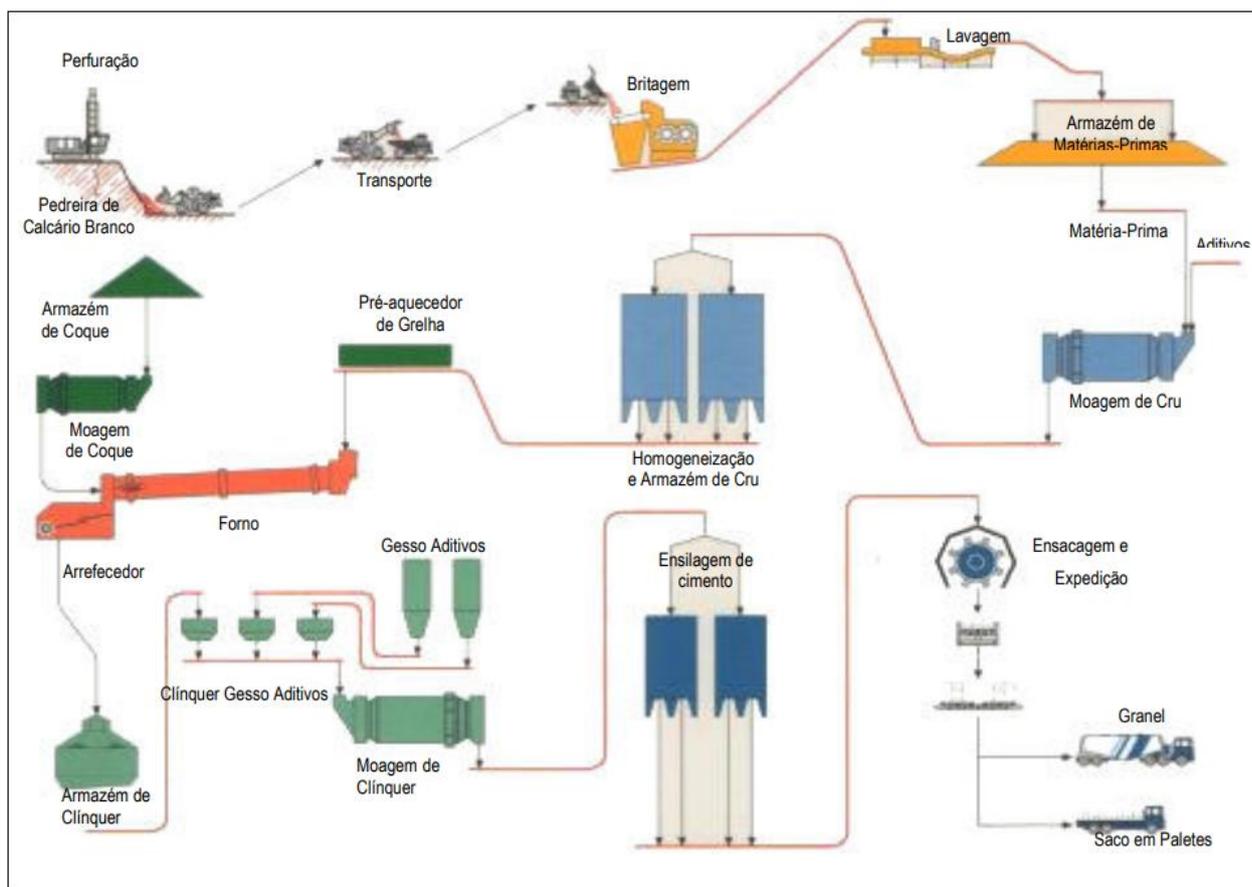


Figura 2.7: Linha de produção do cimento branco

Fonte: Adaptado de Dias (2002)

2.3.2. Agregado

O agregado no betão representa cerca 70% a 80% do volume total do betão. É recomendável adicionar na pasta de cimento a maior quantidade possível de agregados, desde os agregados finos até os agregados grossos, pois estes desempenham um papel significativo na redução da fluência, na minimização da retracção e na optimização dos custos do betão (Coutinho, 2006a; Illston & Domone, 2001). Bauer (2000) destaca a importância de garantir a resistência à compressão dos agregados, evitando os provenientes de rochas macias. Os agregados devem ser inertes em relação ao cimento e estáveis em relação aos agentes que irão entrar em contacto com o betão durante a vida útil da estrutura.

Para o betão branco, é crucial considerar a cor dos agregados, optando por agregados de cores mais claras, pois esta influencia directamente a coloração final do betão. Agregados finos de tonalidade escura podem alterar a cor do betão de maneira mais significativa do que agregados grossos (Kirchheim *et al.*, 2005). Segundo Dias

(2002), a lavagem dos agregados é um factor crucial, pois garante a remoção da argila, matéria orgânica e outras impurezas, contribuindo para a obtenção de superfícies de betão com coloração homogénea. Contudo, o processo de lavagem pode resultar na perda de agregados finos, sendo necessário realizar correcções granulométricas para assegurar a qualidade e a uniformidade do betão.

2.3.3. Aditivos minerais

De acordo com Cavalcanti (2006), os aditivos minerais, ou adições minerais, são materiais finamente moídos incorporados ao betão com o objectivo de reduzir os custos, melhorar a trabalhabilidade do betão no estado fresco, aumentar a resistência à fissuração térmica e melhorar o comportamento químico em relação a expansão álcali-agregado e aos ataques por sulfatos.

As adições minerais podem ser classificadas em dois tipos principais: adições predominantemente inertes (A.P.I.), que não possuem propriedades hidráulicas ou pozolânicas, e adições predominantemente reactivas (A.P.R.), que apresentam propriedades hidráulicas latentes¹ ou são pozolânicas. As pozolanas podem ser naturais, artificiais ou subprodutos industriais. As pozolanas naturais são originárias de depósitos de cinzas vulcânicas, enquanto os subprodutos industriais incluem cinzas volantes das centrais térmicas, sílica de fumo da produção de silício e cinzas da casca de arroz. Já as pozolanas artificiais são rochas tratadas termicamente para adquirirem propriedades pozolânicas, podendo ser siliciosas, argilosas ou aluminosas (Cavalcanti, 2006; Costa, 2012).

Nem todas as adições são recomendadas para a produção do betão branco, pois a fracção fina presente na mistura pode afectar a coloração final do material. Assim, o uso de adições no betão branco exige maior cuidado em comparação ao betão cinzento para evitar variações indesejadas de cor (Kirchheim et al., 2005). Entre os aditivos compatíveis com o betão branco estão o fíler de calcário e a sílica de fumo, ambos caracterizados por não alterarem a cor do betão, pois possuem tonalidades brancas ou claras, assim como os pigmentos normalmente usados para modificar a coloração do betão (Dias, 2002).

¹ As propriedades hidráulicas latentes referem-se à capacidade de determinados materiais reagirem quimicamente na presença de água e de um activador, como o hidróxido de cálcio, formando compostos hidratados que conferem resistência mecânica.

a) Fíler de calcário

O fíler de calcário é um material finamente moído e quimicamente inactivo que desempenha um papel importante na optimização do betão. Ele preenche os vazios deixados pelos agregados mal graduados, melhorando a trabalhabilidade, estabilidade e impermeabilidade da mistura (Jackson & Dhir, 1992). O fíler confere ao betão maior coesão, compacidade, redução de calor de hidratação e acabamento superficial de qualidade. No entanto, a adição de fíler de calcário deve ser limitada a 20% da massa do ligante, para evitar problemas na mistura (Dias, 2002; Kirchheim et al., 2005).

A correcção granulométrica com o uso de fíler é particularmente necessária em situações onde ocorre perda de agregados finos durante a lavagem, o que pode resultar em uma curva granulométrica mal graduada que é desfavorável para a produção do betão.

b) Sílica de fumo

A sílica de fumo é uma adição mineral extremamente fina com propriedades pozolânicas, que melhora a qualidade geral do betão e é frequentemente utilizada em betões de alta resistência (Kosmatka & Wilson, 2011). Embora o uso da sílica de fumo não apresente grandes vantagens económicas, a sílica de fumo contribui significativamente para reduzir a porosidade do betão, aumentando sua impermeabilidade, resistência mecânica e durabilidade, além de proporcionar maior coesão e estabilidade à mistura, reduzindo a exsudação e a segregação (Dias, 2002).

A sílica de fumo é geralmente da cor cinzenta, mas sua tonalidade pode variar de acordo com o teor de carbono presente na sua composição. Para o uso específico no betão branco, a sílica de fumo branca é especialmente processada, de forma a garantir uma coloração clara. Em termos de aplicação, a sílica de fumo é incorporada em proporções de 5% a 10% da massa total do ligante e pode ser encontrada no mercado em forma de pó ou pasta (Kosmatka & Wilson, 2011).

c) Pigmentos

Os pigmentos adicionados ao betão com fins arquitectónicos devem ser quimicamente inertes em relação ao cimento, aos agregados e aos adjuvantes. Devem também ser insolúveis em água, resistentes à luz e às temperaturas extremas presentes no betão (Dias, 2002). O corante do pigmento deve ser forte o suficiente para que seja

utilizado em pequenas quantidades, concretamente entre 0,5% e 2% da massa do cimento (Portland Cement Association, s.d.).

A adição de pigmentos é mais eficaz quando realizada durante a produção do clínquer do cimento, pois isso proporciona uma coloração mais uniforme e duradoura no betão. No entanto, é importante escolher pigmentos que não comprometam as características do betão branco, tempo de presa, endurecimento e durabilidade. Pigmentos à base de carbono, por exemplo, podem reduzir a resistência do betão nas primeiras idades, razão pela qual devem ser evitados na composição do betão branco (Jackson & Dhir, 1992).

2.3.4. Água

A água desempenha uma função crucial no betão, sendo responsável por hidratar o cimento, o que resulta na presa e endurecimento do material (Costa, 2012). Além disso, a água assegura a trabalhabilidade do betão no seu estado fresco, facilitando sua adequada colocação em obra. Por isso, a certificação da qualidade da água utilizada na amassadura do betão é de extrema importância. Neville & Brooks (1990) afirmam que as impurezas presentes na água podem desencadear reacções químicas com o cimento, resultando na redução da resistência à compressão do betão, no aparecimento de manchas na superfície e, ainda, podendo originar o processo de corrosão das armaduras.

Além da qualidade, a quantidade de água também desempenha um papel fundamental na composição do betão branco. É essencial manter constante a proporção de água de um projecto específico, pois qualquer variação pode provocar uma alteração visível na cor do betão (Portland Cement Association, s.d.). Esta atenção a qualidade e a quantidade de água é vital para garantir as propriedades estéticas e funcionais do betão.

2.3.5. Adjuvantes

Os adjuvantes são produtos químicos adicionados ao betão imediatamente antes ou durante a amassadura, com o objectivo de melhorar as propriedades do betão no estado fresco e/ou endurecido, visando benefícios económicos e/ou facilitando a betonagem (Illston & Domone, 2001). São aplicados em quantidades que variam entre

0.5% a 2% da massa do cimento, sendo crucial manter sua concentração abaixo de 5% da massa total do cimento, conforme destacado por Coutinho (2006a).

A eficiência do adjuvante na mistura depende de alguns factores como a composição do adjuvante, o teor de adjuvante, o tempo de actividade do adjuvante, o tipo, a marca, a quantidade de cimento na mistura, a quantidade de água, a forma dos agregados, a consistência e a temperatura do betão (Kosmatka & Wilson, 2011). No contexto dos betões brancos, torna-se praticamente indispensável a utilização de plastificantes ou superplastificantes, pois estes adjuvantes garantem consistência fluida ao betão no estado fresco de modo que o mesmo se espalhe e se auto compacte (Kirchheim *et al.*, 2005).

Ainda sobre o betão branco, Dias (2002) recomenda o uso de adjuvantes incolores ou de tonalidade clara, a fim de evitar a alteração da cor original do betão. Além disso, é importante destacar que nenhum adjuvante pode substituir as boas práticas de betonagem, que são essenciais para a qualidade e a durabilidade do betão (Kosmatka & Wilson, 2011).

2.4. Propriedades do Betão

Os betões devem atender a requisitos fundamentais claramente definidos, que podem ser divididos em duas fases: as propriedades do betão fresco e as do betão endurecido.

Para o betão fresco, as propriedades essenciais incluem:

- Consistência – Capacidade de fluir adequadamente;
- Coesão – Resistência à segregação dos componentes;
- Homogeneidade – Com constituintes uniformemente distribuídos;
- Trabalhabilidade – Facilidade de colocação e compactação;
- Acabamento – Facilidade de realizar operações de acabamento para alcançar características superficiais específicas.

Já para o betão endurecido, as propriedades pretendidas são:

- Resistência – Capacidade de suportar deformações induzidas por forças externas, como compressão, flexão, tracção, torção e cisalhamento;
- Durabilidade – Resistência à intempéries, ataque químico, abrasão e outras condições de serviço;
- Aparência – Atendimento às características estéticas desejadas;
- Economia – Desempenho conforme pretendido dentro de um determinado orçamento, garantindo eficiência económica.

2.4.1. Betão fresco

As propriedades do betão fresco exercem uma influência significativa sobre o seu desempenho ao longo da vida útil do betão, por essa razão, é fundamental que o betão fresco seja coeso e homogéneo. Durante a colocação, o betão de consistência plástica deve fluir de forma coesa, sem segregação, e mantém a estabilidade. Portanto, é essencial assegurar que a consistência e a trabalhabilidade do betão sejam adequadas, permitindo que o material seja misturado, transportado, colocado, compactado e acabado com facilidade, sem segregação (Neville & Brooks, 1990; Kosmatka & Wilson, 2011).

a) Consistência

A consistência é definida como a facilidade de fluxo da mistura, relacionada com o grau de fluidez, e é medida através do ensaio de abaixamento, o qual é descrito no capítulo 3. No geral, betões com consistência mais fluida são mais trabalháveis do que os mais secos (Gill, 2009; Neville & Brooks, 1990). O problema reside no facto do excesso de água no betão, utilizado para alcançar maior fluidez, ser a principal causa do desempenho insatisfatório do betão, pois reduz a resistência do betão, incita a segregação, aumento a retracção por secagem e favorece a formação de poros de capilaridade na pasta de cimento, resultando no fenómeno de exsudação (Gani, 1997; Kosmatka & Wilson, 2011).

De acordo com Kirchheim et al. (2005), é necessário, para o betão branco, especificar valores de abaixamento superiores a 180mm para todo betão da peça, garantindo assim que o material se espalhe, ganhe forma, e se auto compacte com aparência uniforme. Importa referir que a norma EN NP 206-1 especifica que os betões da classe de consistência superiores a S4 (com abaixamentos superiores a 160mm) devem ser fabricados com o uso de adjuvantes superplastificastes.

b) Segregação

A segregação refere-se ao movimento descendente dos agregados e pode ser identificada no betão quando a pasta de cimento apresenta mais de uma fase. É geralmente causada pela diferença de peso dos componentes do betão e muitas vezes relacionadas ao tamanho da partícula (Illston & Domone, 2001; School of Concrete Technology, 2001).

Betões deficientes em partículas finas, de consistência excessivamente seca ou excessivamente fluida, tendem a ser mais susceptíveis à segregação de acordo com Jackson & Dhir (1992). Para minimizá-la, uma composição bem elaborada é fundamental, incluindo a selecção e dosagem adequadas dos materiais constituintes, a redução da razão água/cimento (a/c), o aumento da proporção de partículas finas e a diminuição dos agregados grossos na mistura. Factores como impactos durante o transporte, quedas de alturas consideráveis, betonagem contra obstáculos e excesso de vibração durante a consolidação também podem incentivar a ocorrência da segregação. Nestas circunstâncias, é aconselhável usar betões de consistência plástica (Jackson & Dhir, 1992; Neville & Brooks, 1990).

c) Exsudação

A exsudação, segundo Neville & Brooks (1990), é conhecida como ganho de água, caracterizada pela migração ascendente de parte da água contida no betão até à superfície do mesmo. Este processo, ilustrado na Figura 2.8 e frequentemente ocorre simultaneamente com a segregação, sendo causado pela incapacidade dos constituintes sólidos reterem toda a água do betão durante o processo de consolidação (Illston & Domone, 2001).

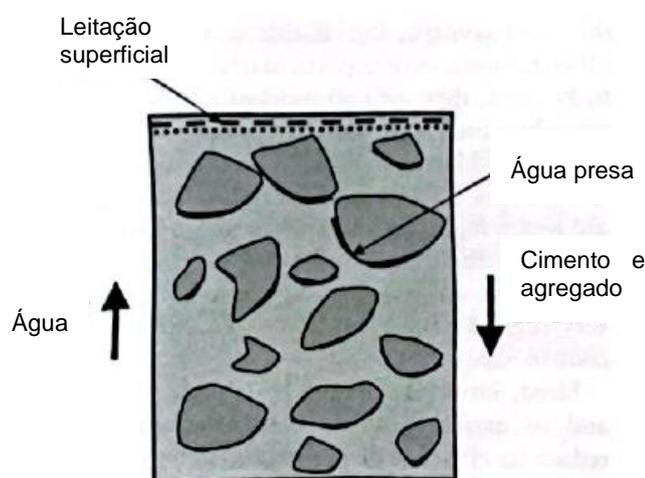


Figura 2.8: Segregação e exsudação no betão fresco

Fonte: Adaptado de Illston & Domone (2001)

A exsudação é um fenómeno normal, que quando o betão é devidamente colocado, acabado e curado, não compromete a sua qualidade (Kosmatka & Wilson, 2011). Quando a exsudação não é interrompida e a água evapora, a razão a/c efectiva reduz, o que contribui para um aumento significativo da resistência. No entanto, se a

evaporação da água contida na superfície do betão for superior à taxa de exsudação, podem ocorrer fissuras devido à retracção plástica (Neville & Brooks, 1990).

Em casos extremos, a exsudação pode atingir 2% ou mais da profundidade total do elemento. A exsudação excessiva aumenta a razão a/c perto da superfície superior do betão, criando uma camada superior fraca, conhecida como leitação superficial, com baixa durabilidade, especialmente se as operações de acabamento ocorrerem enquanto a água exsudada estiver presente (Kosmatka & Wilson, 2011; Illston & Domone, 2001). Se essa camada não for removida, o betão próximo à superfície superior será mais fraco e poroso em relação ao resto do betão. Este problema pode ser mais preocupante nas lajes, que apresentam maior área superficial (Jackson & Dhir, 1992).

2.4.2. Betão endurecido

As propriedades do betão endurecido são cruciais, pois caracterizam o betão ao longo de sua vida útil. Segundo Jackson & Dhir (1992), as principais propriedades do betão endurecido incluem a resistência, a deformação sob carga, a durabilidade, a permeabilidade e a retracção. Em geral, a resistência à compressão do betão é considerada a propriedade mais significativa, sendo um factor preponderante para a determinação da sua qualidade. Contudo, em muitos casos práticos, outras características, como durabilidade e permeabilidade podem ser as mais relevantes (Neville & Brooks, 1990).

a) Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma propriedade fundamental e amplamente utilizada em cálculos de projectos estruturais. Jackson & Dhir (1992) identificam os factores que influenciam na resistência à compressão do betão:

- Materiais constituintes - Incluem a composição química do cimento, a finura do cimento, a qualidade da água, a resistência do agregado e o tipo de adjuvante utilizado;
- Métodos de preparação - Envolvem dosagem e amassadura;
- Método de execução – Incluem a colocação e vibração;
- Processo de cura - Considera a humidade, temperatura, tempo e o processo de cura.

Em relação a composição do cimento, Neville & Brooks (1990) e Jackson & Dhir (1992) afirmam que a resistência do betão provem essencialmente dos silicatos (C_2S e C_3S). Cimentos com maior teor em C_3S desenvolvem a resistência à compressão inicial rapidamente, enquanto que cimentos ricos em C_2S desenvolvem resistência à compressão lentamente. A finura do cimento também desempenha um papel importante na resistência à compressão. Cimentos com maior área superficial específica (mais finos) proporcionam maior resistência inicial à compressão conforme ilustrado na Figura 2.9.

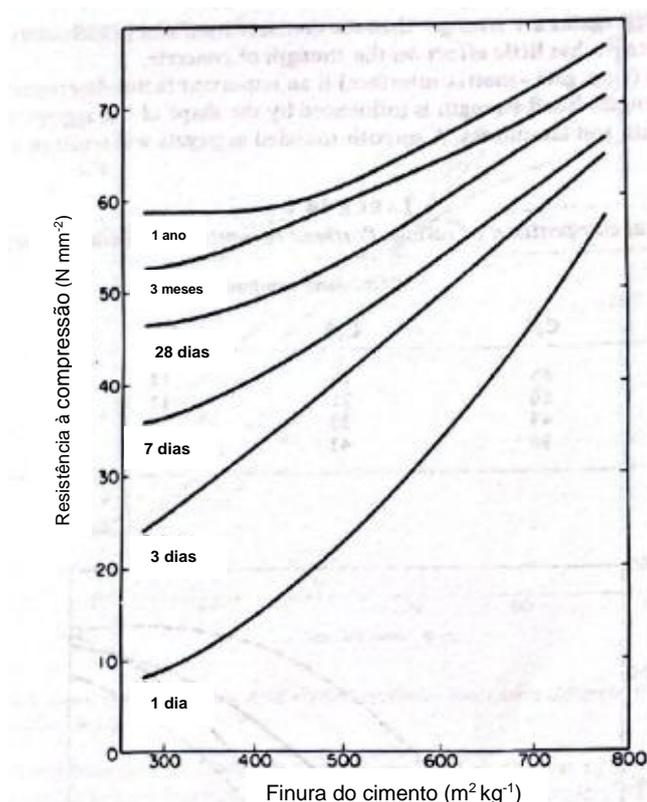


Figura 2.9: Efeito da finura do cimento no desenvolvimento da resistência do betão

Fonte: Adaptado de Jackson & Dhir (1992)

A relação entre a razão a/c e a resistência à compressão indica que menor razão a/c resulta em maior resistência. Gani (1997), recomenda que a razão a/c esteja entre 0,25 e 0,38 para se atingir maior resistência à compressão, conforme ilustrado na Figura 2.10. Além disso, a presença de vazios no betão reduz a densidade e, conseqüentemente, diminui a resistência do betão. Estudos indicam que índice de vazios de 2% pode resultar em uma redução de 10% na resistência à compressão do betão, enquanto que 5% de vazios pode conduzir a uma redução da resistência à compressão do betão de 30%, ilustrado na Figura 2.11. É importante destacar que, à medida que a resistência à compressão aumenta, também aumentam as resistências à flexão, tracção

e aderência do betão ao aço (Kosmatka & Wilson, 2011; Neville & Brooks, 1990; Gani, 1997).

No entanto, é importante referir que a obtenção de elevadas resistências à compressão provenientes do incremento do teor de cimento pode afectar negativamente a durabilidade do betão e a permeabilidade do betão. Isso se deve ao facto de altas quantidades de cimento na composição do betão tornam o betão susceptível a ocorrência de fissuras por retracção (Jackson & Dhir, 1992).

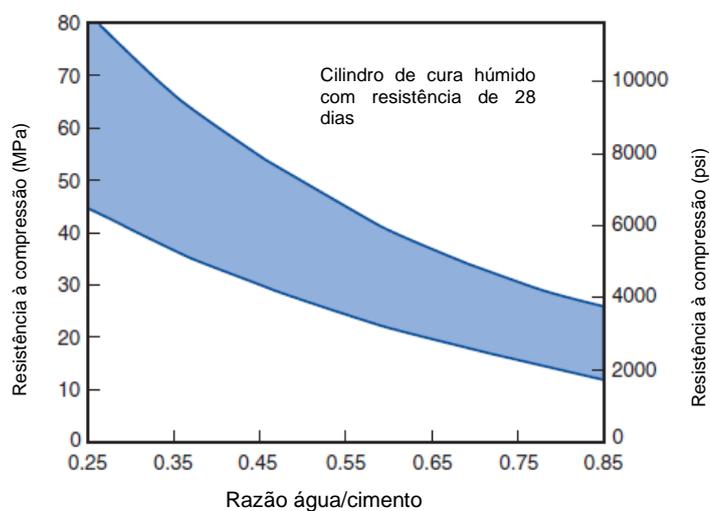


Figura 2.10: Faixa de relação típica entre a resistência à compressão e a relação água/cimento do betão
Fonte: Adaptado de Kosmatka & Wilson (2011)

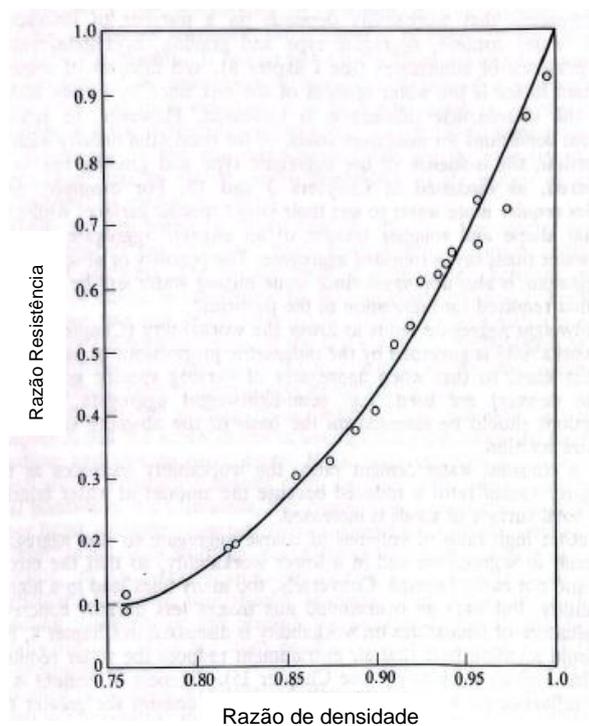


Figura 2.11: Relação entre resistência à compressão e a densidade do betão

Fonte: Adaptado de Neville & Brooks (1990)

3. FASE EXPERIMENTAL

3.1. Introdução

No presente capítulo são descritos os procedimentos e ensaios realizados na fase experimental, com o objectivo de avaliar o desempenho do betão branco e cinzento nos estados fresco e endurecido. Foram analisados o betão branco e o betão cinzento, ambos pertencentes à classe de resistência C30/37, produzidos e ensaiados no Laboratório de Engenharia de Moçambique, IP (LEM, IP). O processo envolveu a caracterização dos agregados, o estudo e definição das composições, a amassadura do betão e a realização dos ensaios nos estados fresco e endurecido. Além disso, foram conduzidos ensaios de resistência à compressão e abaixamento no betão branco e cinzento da classe de resistência C40/50, cujos resultados foram obtidos na central de betão pronto da Mota-Engil.

3.2. Planeamento

A fase experimental deste trabalho dividiu-se em quatro partes:

i. Primeira parte: Caracterização dos agregados

Procedeu-se o estudo de caracterização dos agregados finos e grossos usados para a produção dos betões da classe de resistência C30/37, cujos ensaios realizados e as respectivas normas estão listados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Normas usadas para realização dos ensaios para a caracterização dos agregados

Ensaio	Norma / Especificação
Análise granulométrica	NP 1379:1976
Determinação da massa volúmica e absorção*	NP 581:1969
Determinação da resistência ao esmagamento*	NP 1039:1974
Determinação da baridade	NP 955:1973
Determinação do desgaste pela máquina de Los Angeles*	LNEC E 237:1970
Determinação da densidade das partículas**	NP 83:1965

* - Ensaio realizado somente com a brita

** - Ensaio realizado somente com a areia

ii. Segunda parte: Estudo da composição do betão

Foi realizado o estudo das composições dos betões da classe de resistência C30/37, branco e cinzento. Devido às diferenças nas classes de resistência dos cimentos, a composição do betão branco difere da do betão cinzento. Para viabilizar a comparação entre os dois betões, calculou-se a relação entre as resistências dos dois cimentos, onde verificou-se que a resistência do cimento cinzento CEM II/A-L 42,5N corresponde a 80,95% da resistência do cimento branco CEM II/A-L 52,5N. A partir desta relação, procedeu-se com o cálculo da composição adequada para cada tipo de betão.

iii. Terceira parte: Produção

Nesta fase, procedeu-se à produção dos betões definidos na fase anterior, bem como à realização de ensaios do betão fresco e do betão endurecido, com base nas normas apresentadas na Tabela 3.2. Após a análise dos resultados obtidos, em caso de resultados falseados, ajustava-se a composição da mistura, e a produção era repetida até se alcançarem os resultados desejados. Especificamente para o ensaio de resistência à compressão, a fim de prever as resistências à compressão características aos 28 dias, utilizou-se o procedimento descrito na norma NP EN 1992-1-1, apresentada no Anexo 6.

Tabela 3.2: Normas usadas para os ensaios do betão no estado fresco e endurecido

Ensaio	Norma
Abaixamento	NP EN 12350-2:2019
Resistência à compressão	NP EN 12390-3:2009

iv. Quarta parte: Colecta de resultado de betões da central

Considerando que a Mota-Engil está a realizar uma obra na qual é aplicado betão branco e cinzento da classe de resistência C40/50, foram colectados os resultados dos ensaios de resistência à compressão e de abaixamento, os quais estão apresentados nos Anexos 4.2 e 4.4. Ao todo, foram obtidos 30 resultados para o betão branco e 30 para o betão cinzento, que serviram como base para sustentar o estudo do comportamento do betão no estado endurecido.

3.3. Materiais, Composição e Formulação da Mistura dos Betões da Classe de Resistência C30/37

3.3.1. Materiais usados

Para a produção dos betões da classe de resistência C30/37, foram utilizados dois tipos de agregados: a areia natural lavada e a brita de rocha riolítica. Em relação ao cimento, usou-se dois tipos: o cimento cinzento CEM II/A-L 42,5N da Cimentos de Moçambique para o betão cinzento e CEM II/A-L 52,5N da SECIL para o betão branco. Adicionalmente, em ambas composições se usou o adjuvante superplastificante Sika Viscocrete 1150 e a água utilizada era proveniente da rede de abastecimento público. As fichas técnicas dos materiais utilizados podem ser consultadas no Anexo 1.

3.3.2. Caracterização dos agregados

a) Análise granulométrica

A caracterização da granulometria dos agregados foi realizada de acordo com a norma NP 1379. O ensaio consiste na peneiração a seco dos agregados previamente pesados através de uma série de peneiros de aberturas normalizadas, ficando assim o agregado retido ao longo dos peneiros, separados por classes granulométricas, conforme ilustrado na Figura 3.1. Segue-se a pesagem das parcelas dos agregados retidos em cada peneiro e cálculo das fracções granulométricas correspondentes recorrendo a Eq. 3.1.



Figura 3.1: Agregado retido no peneiro

Fonte: Autor, 2024

$$\%_{retida,i} = \frac{m_i}{m_T} * 100 \quad (3.1)$$

onde:

$\%_{retida,i}$ – Percentagem retida no peneiro i;

m_i – Massa retida no peneiro i em grama;

m_T – Massa total em grama (massa inicial da amostra seca).

Obtidas percentagens do agregado retido nos diversos peneiros, calcula-se a percentagem do agregado que passa por cada peneiro somando a percentagem do material retido nele com as do material retido nos peneiros de abertura maior subtraindo de 100 o valor obtido.

Dos valores das percentagens do agregado passado em cada peneiro, traça-se a curva granulométrica do agregado, marcando nas ordenadas as percentagens e nas abcissas as aberturas dos respectivos peneiros. São apresentados na Tabela 3.3 os resultados referentes às percentagens retidas e passadas em cada peneiro para os dois agregados analisados e as respectivas curvas granulométricas são apresentadas na Figura 3.2.

Tabela 3.3: Percentagem acumulada retida e percentagem passada dos agregados

	Areia lavada		Brita	
	% AC Retida (%)	% Passada (%)	% AC Retida (%)	% Passada (%)
38,1				
25,4				
19			0,0%	100,0%
12,7			28,4%	71,6%
9,51	0,0%	100,0%	57,3%	42,7%
4,76	0,6%	99,4%	98,7%	1,3%
2,38	5,7%	94,3%	99,8%	0,2%
1,19	29,7%	70,3%	100,0%	0,0%
0,595	72,9%	27,1%	100,0%	
0,297	95,7%	4,3%	100,0%	
0,149	99,7%	0,3%	100,0%	
0,075	100,0%	0,0%	100,0%	
Dmáx	2,38		12,7	
dmin	0,297		4,76	
MF	3,04		6,56	

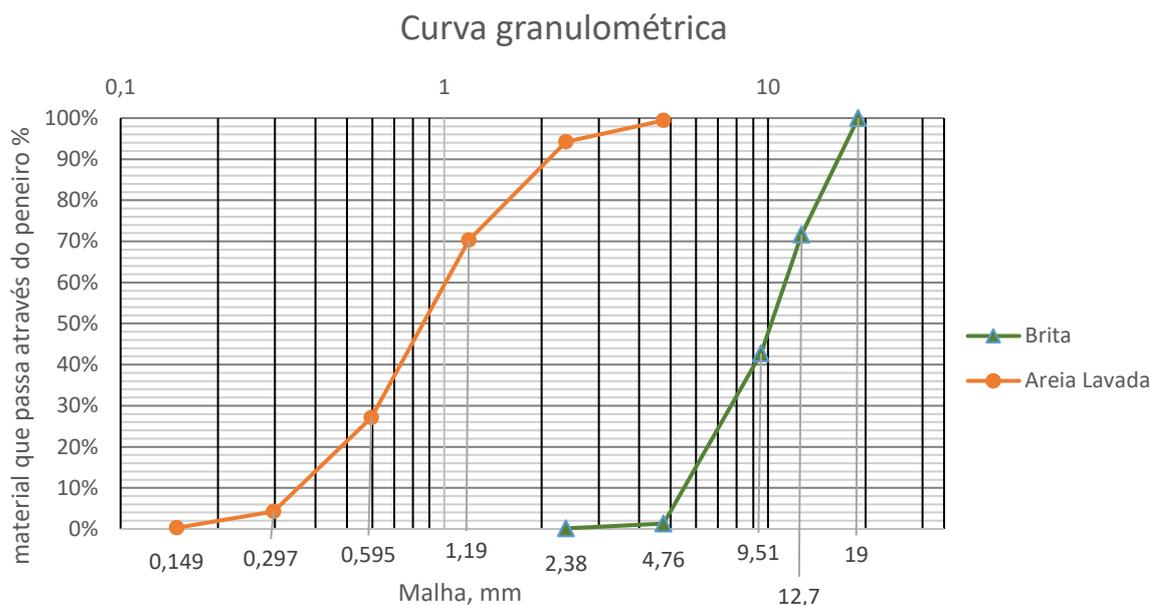


Figura 3.2: Curvas granulométricas dos agregados

Fonte: Autor, 2024

b) Massa volúmica e absorção

A massa volúmica e a absorção de água dos agregados grossos foram determinados segundo a norma NP 581. A massa volúmica é a relação entre a massa de um corpo e o seu volume, referindo-se à massa volúmica das partículas individuais, e não à massa agregada em conjunto.

A massa volúmica do material impermeável das partículas foi determinada através da Eq. 3.2.

$$\rho_{imp} = \frac{m_3}{m_3 - m_2} \times \rho \quad (3.2)$$

onde:

ρ_{imp} - Massa volúmica do material impermeável das partículas em g/cm^3 ;

m_2 - Massa da partícula saturado dentro da água em grama;

m_3 - Massa da partícula seca na estufa, a 105°C, em grama;

ρ - Massa volúmica da água a temperatura a que se realizou o ensaio em g/cm^3 .

A absorção de água do agregado foi determinada através da Eq. 3.3.

$$\text{Absorção} = \frac{m_1 - m_3}{m_3} \times 100 \quad (3.3)$$

onde:

m_1 - Massa da partícula saturada com superfície seca em grama.

c) Resistência ao esmagamento

A resistência ao esmagamento da brita foi determinada segundo a norma NP 1039, conforme ilustrada na Figura 3.3. A resistência ao esmagamento é determinada pela razão percentual entre a massa do agregado que passa do peneiro de 2,38mm após o esmagamento e a massa do agregado que passa do peneiro 12,5mm e é retida no peneiro 9,50mm antes do esmagamento, apresentada na Eq. 3.4.



Figura 3.3: Prensa hidráulica usada para determinação da resistência ao esmagamento do agregado.

Fonte: Autor, 2024

$$\text{Percentagem do material friável} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (3.4)$$

onde:

m_1 - Massa inicial da amostra em grama;

m_2 - Massa do material que passou do peneiro nº 8 medida em grama.

A realização do ensaio resistência ao esmagamento obriga a repetição de duas determinações, sendo o resultado final do ensaio obtido pela média entre as determinações.

d) Baridade

O ensaio de baridade foi realizado de acordo com a norma NP 955. A baridade é definida como massa volúmica aparente do material, dada pelo quociente da massa do agregado seco pelo volume por este ocupado em condições de compactação definidas. A Figura 3.4 demonstra a fase da pesagem do recipiente cheio durante a execução do ensaio de baridade da areia.

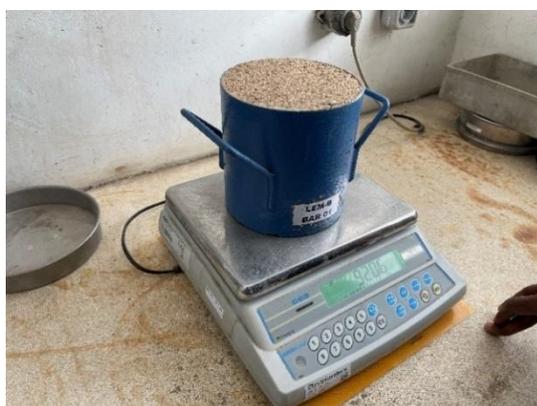


Figura 3.4: Pesagem da areia no ensaio de baridade

Fonte: Autor, 2024

e) Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles

O ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles foi realizado de acordo com a especificação LNEC E 237. O ensaio consiste em submeter a amostra do agregado na máquina de Los Angeles (Figura 3.5) com presença da carga abrasiva (Figura 3.6) garantindo que estejam uniformemente distribuídos na máquina submetendo-os a rotação num velocidade entre 30 e 33 r.p.m.



Figura 3.5: Máquina de Los Angeles

Fonte: Autor, 2024

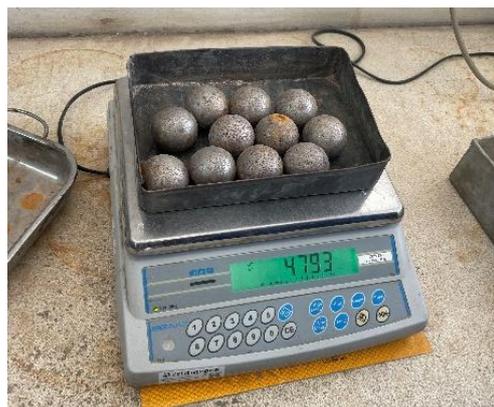


Figura 3.6: Carga abrasiva para realização do ensaio de Los Angeles

Fonte: Autor, 2024

A perda por desgaste na máquina de Los Angeles é expressa em percentagem e é determinada através da Eq. 3.5.

$$Desgaste = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3.5)$$

onde:

m_1 - Massa inicial da amostra em gramas;

m_2 - Massa do material retido no peneiro de 1,68mm (nº 12) em gramas.

f) Densidade da areia

A densidade da areia foi determinada segundo a norma NP 83. Este ensaio tem como objectivo determinar a densidade das partículas de solo que passam do peneiro de malha quadrada de 4,76mm de abertura. No ensaio, mede-se a massa da amostra, a massa do picnómetro, a massa do picnómetro cheio de água, a temperatura da água e a massa do picnómetro com amostra cheia de água. Tendo estes parâmetros todos conhecidos é possível calcular a densidade relativa da areia através da medição do volume deslocado pela água no interior do picnómetro. A Figura 3.7 ilustra o equipamento utilizado no ensaio da densidade da areia, onde o picnómetro está parcialmente preenchido com água e uma amostra de areia



Figura 3.7: Picnómetro contendo areia e água

Fonte: Autor, 2024

3.3.3. Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados

Realizados os ensaios de caracterização da areia e da brita usados nos betões branco e cinzento da classe de resistência C30/37 obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 3.4 e Tabela 3.5 respectivamente. Estes resultados foram comparados com as especificações apresentadas por Coutinho (2006a) e verificou-se que os agregados atendem aos requisitos especificados para a produção de betão.

Tabela 3.4: Resultado dos ensaios da areia

Propriedade	Ensaio	Resultado
Baridade (g/cm ³)	NP 955	1,69
Massa volúmica (g/cm ³)	NP 83	2,65

Tabela 3.5: Resultado dos ensaios da brita

Propriedade	Ensaio	1ª determinação	2ª determinação	Resultado
Baridade (g/cm ³)	NP 955	-	-	1,35
Absorção (%)	NP 581	-	-	2,99
Massa volúmica (g/cm ³)	NP 582	-	-	2,52
Esmagamento (%)	NP 1039	19,15	17,2	18,18
Los Angeles (%)	LNEC E 237	-	-	26,36

De acordo com Coutinho (2006a), os agregados são considerados adequados quando a resistência ao esmagamento é igual ou inferior a 45%, e a perda de peso por desgaste, segundo o ensaio de Los Angeles, não excede 50%.

3.3.4. Composição da mistura

As composições dos betões foram definidas de acordo com a norma NP EN 206-1:2007 e conforme apresentado por Coutinho (2006b) que resumidamente resultaram nos seguintes passos:

1º Passo - Determinação da dimensão máxima dos agregados ($D_{\text{máx}}$);

2º Passo - Atribuição de valores aos parâmetros da curva de Faury (A e B) – Estes parâmetros foram determinados com recurso a Tabela A2. 2 do Anexo 2;

3º Passo - Cálculo da ordenada do ponto de abcissa $d/2 = 6,35\text{mm}$ – O ponto de abcissa é calculado através da Eq. 3.6 abaixo apresentada;

$$P_{6,35} = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.6)$$

onde:

A – Parâmetro da curva de Faury que depende da trabalhabilidade e da potência de compactação, definido no passo anterior;

B – Parâmetro da curva de Faury que depende da trabalhabilidade e da potência de compactação, definido no passo anterior;

R – Raio médio do molde em milímetro;

D - Maior dimensão do agregado grosso em milímetro.

4º Passo - Determinação do módulo de finura (MF) da curva de referência de Faury - Este parâmetro foi definido com recurso à Tabela A2. 3 do Anexo 2 onde o parâmetro a é determinado através da Eq. 3.7;

$$a = A + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.7)$$

5º Passo - Cálculo da quantidade de cimento para determinada classe de resistência pretendida – A quantidade de cimento foi inicialmente determinada utilizando a fórmula empírica apresentada na Eq. 3.8. No entanto, devido à

especificação desta fórmula para cimentos da classe de resistência 32,5N, e devido adição do adjuvante na mistura, a quantidade de cimento obtida foi ajustada, pois a fórmula resulta em quantidades elevadas de cimento para betões de classes de resistência mais altas. Após este ajuste, a quantidade de cimento foi comparada com o valor mínimo de cimento que garantem a durabilidade do betão indicadas na norma NP EN 206-1:2007 para a classe de exposição XS1. As quantidades mínimas de cimento para cada classe de exposição podem ser consultadas na tabela apresentada no Anexo 5.

$$C = \left[20 * (f_{ck} + 10) * \frac{1}{\sqrt[5]{D}} \right] \quad (3.8)$$

onde:

C – Quantidade de cimento em kg;

f_{ck} – Tensão de rotura característica ao 28 dias em MPa;

D - Maior dimensão do agregado grosso em milímetro.

6º Passo - Determinação do volume de vazios e índice de vazios – O volume de vazios (V_v) foi determinado através da Tabela A2. 4 apresentada no Anexo 2 e o índice de vazios do betão foi determinado através da equação Eq. 3.9;

$$I_v = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.9)$$

onde:

I_v – Índice de vazios para betão armado e não armado em m^3/m^3 ;

K e K' - Parâmetros da expressão da água de amassadura de Faury, apresentados na Tabela A2. 1 do Anexo 2.

7º Passo - Cálculo do volume de água para amassadura – este foi determinado com recurso a equação Eq. 3.10;

$$I_v = V_v + A ; A = I_v - V_v \quad (3.10)$$

onde:

A – Volume de água em m^3/m^3 ;

V_v – Volume de vazios em m^3/m^3 .

8º Passo - Cálculo da percentagem dos componentes (agregados e cimento) – Determinou-se a percentagem do cimento na totalidade dos sólidos pela Eq. 3.11. Para isso, foi necessário calcular o volume absoluto do cimento (Eq. 3.12) e o volume total dos sólidos do betão (Eq. 3.13).

$$\%C = \frac{V_c}{S} \quad (3.11)$$

$$V_c = \frac{C}{\rho_c} \quad (3.12)$$

$$S = 1 - I_v \quad (3.13)$$

Onde:

% C – Percentagem do cimento nos sólidos;

V_c – Volume do absoluto do cimento em m^3/m^3 ;

S – Volume de sólidos em m^3/m^3 ;

ρ_c – Massa específica do cimento em kg/m^3 ;

I_v – Índice de vazios em m^3/m^3 .

Uma vez conhecida a percentagem do cimento nos sólidos, as percentagens dos agregados nos sólidos foram determinadas pelo método gráfico.

9º Passo - Ajuste da composição pelo módulo de finura – O ajuste da composição pelo módulo de finura foi realizado somando-se os produtos entre o módulo de finura de cada componente e a percentagem correspondente. Este ajuste é feito de forma iterativa, alterando as percentagens dos agregados até que o módulo de

finura da composição seja igual ao módulo de finura da curva de referência de Faury.

11º Passo - Composição do betão, em quilogramas por metro cúbico – Com excepção da água (cuja quantidade é determinada pela Eq. 3.10) e do adjuvante (que varia conforme a quantidade de cimento), a quantidade de agregados e cimento é calculada multiplicando-se a percentagem do material nos sólidos pelo volume total de sólidos e pela massa específica do material.

Seguindo os passos acima referenciados chegou-se à composição do betão cinzento apresentada na Tabela 3.6 cuja curva real da composição é apresentada na Figura 3.8 e a composição do betão branco apresentada na Tabela 3.7 e a respectiva curva real na Figura 3.9.

Tabela 3.6: Composição do betão cinzento da classe de resistência C30/37

Material	Designação	Origem	Fornecedor	Kg/m ³
Cimento	CEM II/A-L 42,5N - cinzento	Matola	Cim. de Moçambique	410
Areia grossa	Areia lavada	Moamba	Mota-Engil	995
Brita	Brita 4/12	Pedreira JRC	Mota-Engil	650
Adjuvante	Sika Viscocrete 1150	Matola	Sika	3,85 l
Água	Água da rede	Rede pública	FIPAG	150 l

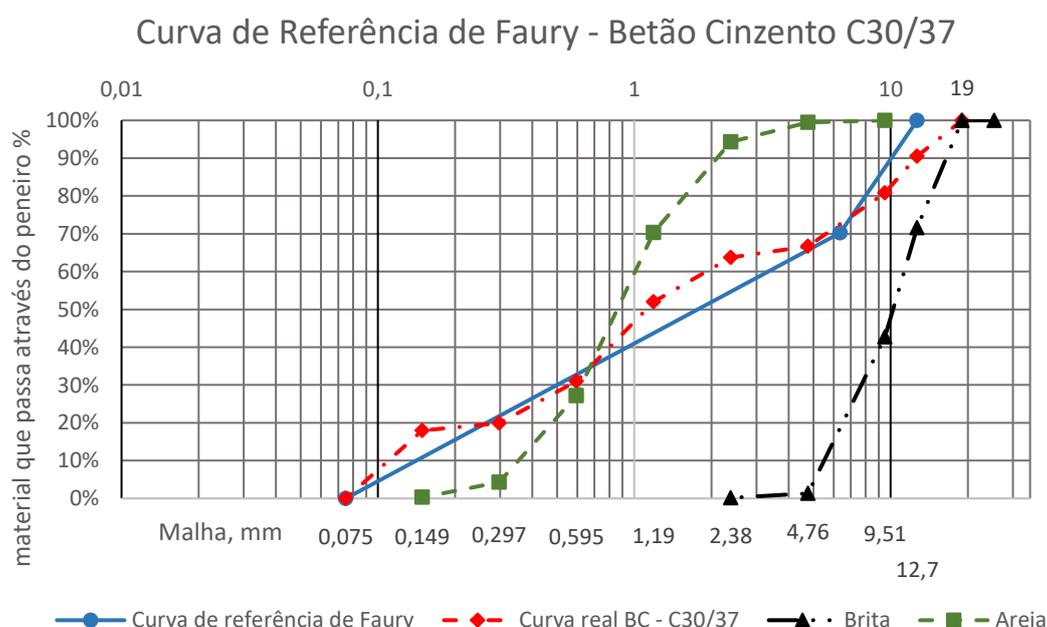


Figura 3.8: Curva real da Composição do betão cinzento da classe de resistência C30/37

Tabela 3.7: Composição do betão branco da classe de resistência C30/37

Material	Designação	Origem	Fornecedor	Kg/m ³
Cimento	CEM II/A-L 52,5N - Branco	Portugal	Mota-Engil	355
Areia grossa	Areia lavada	Moamba	Mota-Engil	955
Brita	Brita 4/12	Pedreira JRC	Mota-Engil	805
Adjuvante	Sika Viscocrete 1150	Matola	Sika	2 l
Água	Água da rede	Rede pública	FIPAG	195 l

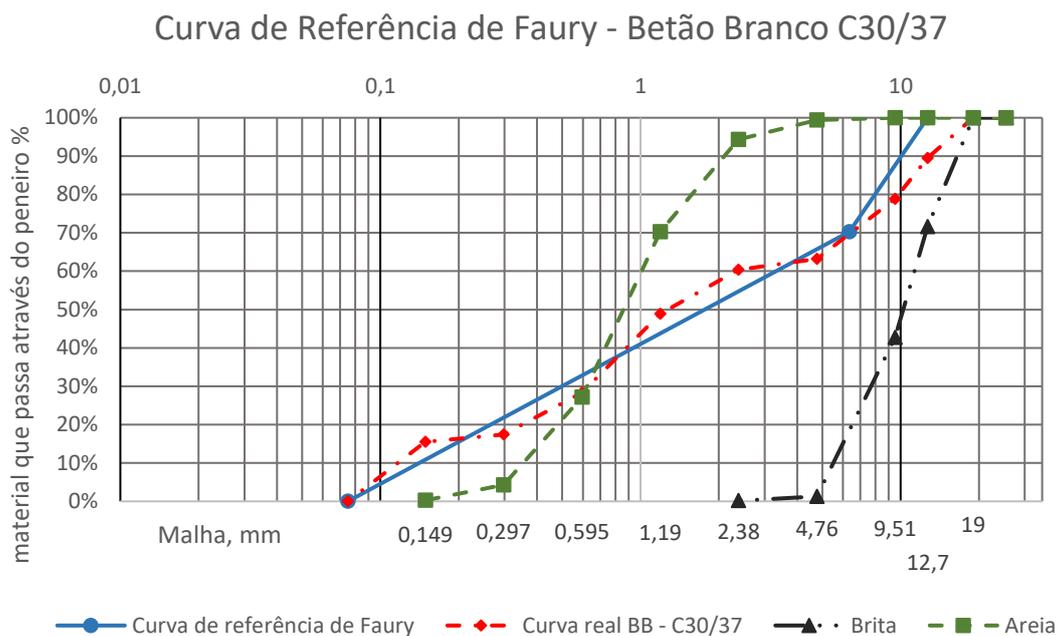


Figura 3.9: Curva real da composição do betão branco da classe de resistência C30/37

Fonte: Autor, 2024

Observa-se que a composição do betão cinzento contém maior quantidade de cimento, uma vez que a classe de resistência do cimento cinzento (42,5N) é inferior a da classe de resistência do cimento branco (52,5N). A quantidade de cimento na mistura influencia directamente na quantidade de água, devido a razão a/c, que deve ser mantida dentro dos intervalos aceitáveis, de acordo com a norma NP EN 206-1, bem como a quantidade de adjuvante. Quanto aos agregados, sua proporção também varia em função da quantidade de cimento e do número de agregados presentes na mistura.

3.4. Produção do Betão da classe de resistência C30/37

3.4.1. Procedimento

A produção dos betões consistiu nas seguintes etapas, nomeadamente a pesagem dos constituintes, a preparação dos moldes, betonagem, moldagem, compactação e cura.

a) Preparação e pesagem dos constituintes do betão

Foram pesados todos constituintes, isto é, os agregados e o cimento e mediou-se o volume da água e do superplastificante nas provetas graduadas. Procedeu-se de igual forma com a preparação dos moldes cúbicos metálicos para betão, desde a limpeza, afixação dos parafusos e a aplicação do óleo descofrante conforme ilustrado na Figura 3.10.



Figura 3.10: Molde preparado com aplicação de óleo descofrante

Fonte: Autor, 2024

b) Amassadura

As amassaduras foram realizadas numa betoneira de 40L de eixo vertical basculante. Para realizar a mistura dos constituintes, foi adoptado o procedimento recomendado pela experiência para o tipo de betoneira:

1. Colocou-se aproximadamente metade do agregado grosso no fundo da betoneira;
2. Adicionou-se todo o cimento;
3. Colocou-se o agregado fino por cima do cimento (aproximadamente metade);
4. Procedeu-se a mistura;
5. Adicionou-se 80% da água calculada;
6. Adicionou-se todo o adjuvante calculado;

7. Interrompeu-se a amassadura e adicionou-se a betoneira o resto dos agregados finos e grossos;
8. Procedeu-se a mistura por 2 a 3 min, adicionando-se água até que se atingisse a consistência desejada.

c) Moldagem e compactação dos provetes

Após o preenchimento dos moldes, vibração do betão e medição da temperatura, ilustrados na Figura 3.11 e Figura 3.12, procedeu-se à regularização e alisamento da superfície e de seguida cobriu-se durante 24h, de modo a garantir a cura e evitar problemas de retracção plástica. Depois deste período procedeu-se à desmoldagem dos provetes e a colocação no tanque de cura.

Para cada amassadura foram produzidos 9 provetes cúbicos de 15cm de aresta para serem ensaiados aos 3, 7 e 28 dias.



Figura 3.11: Processo enchimento e vibração dos moldes

Fonte: Autor, 2024



Figura 3.12: Medição da temperatura do betão fresco

Fonte: Autor, 2024

d) Cura

Uma vez desmoldados, os provetes foram individualmente identificados e colocados no tanque de cura até a data do ensaio de resistência à compressão conforme ilustrado na Figura 3.13 e na Figura 3.14.



Figura 3.13: Identificação dos provetes de betão

Fonte: Autor, 2024



Figura 3.14: Processo de cura dos provetes de betão no tanque de cura

Fonte: Autor, 2024

3.5. Ensaio de Caracterização do Betão no Estado Fresco

3.5.1. Ensaio de abaixamento

O ensaio de abaixamento do cone de Abrams foi realizado de acordo com a norma NP EN 12350-2:2009. O molde (tronco-cónico) que contém duas aberturas, superior e inferior, é colocado sobre uma superfície plana e não absorvente. O betão é colocado dentro do molde em três camadas, sendo cada camada compactada 25 vezes com recurso a um soquete. Após o preenchimento, o molde é cuidadosamente levantado verticalmente, e o abaixamento é medido, entre a altura do molde e a altura do centro do topo superior do cone de betão, eventualmente deformado, ilustrado na Figura 3.15.



Figura 3.15: Medição do abaixamento do betão fresco

Fonte: Autor, 2024

3.6. Ensaios de Caracterização do Betão no Estado Endurecido

3.6.1. Ensaio da resistência à compressão de provetes

O ensaio de compressão de provetes de betão endurecido foi realizado de acordo com a norma NP EN 12390-3:2021 ilustrado na Figura 3.16. A resistência à compressão é determinada aplicando uma carga axial crescente sobre um provete de betão até a sua rotura. Os provetes foram ensaiados à compressão aos 3, 7 e 28 dias de idade. Para cada idade foram ensaiados 3 provetes.



Figura 3.16: Ensaio de compressão axial do provete de betão

Fonte: Autor, 2024

4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O BETÃO BRANCO E O BETÃO CINZENTO

4.1. Introdução

No capítulo presente, apresenta-se com base nos resultados obtidos durante a fase experimental, uma análise comparativa entre o betão branco e o betão cinzento. São abordadas as diferenças observadas na fase de produção dos betões das classes de resistência C30/37, branco e cinzento. Também são analisadas as diferenças no processo de cura dos betões da classe de resistência C40/50, após a sua aplicação nos elementos. Além disso, foi realizada a caracterização do betão no estado fresco, com foco na análise da consistência do betão branco da classe de resistência C30/37, por meio do ensaio de abaixamento. Por fim, a caracterização do betão no estado endurecido, onde analisou-se a resistência à compressão dos betões das classes de resistência C30/37 e C40/50

4.2. Diferença Entre o Betão Branco e Betão Cinzento na Fase de Produção

A principal diferença entre o betão branco e o betão cinzento reside no seu processo de produção, o qual exige um maior controlo por parte do fabricante. Descrevem-se abaixo alguns problemas observados na fase experimental de produção de betão branco da classe de resistência C30/37.

4.2.1. Dosagem de adjuvante

A Figura 4.1 ilustra o principal desafio enfrentado na fase experimental de produção do betão branco da classe de resistência C30/37, a segregação. Diversas hipóteses foram formuladas para compreender a razão da ocorrência da segregação, mesmo utilizando uma composição semelhante à do betão cinzento da mesma classe de resistência, onde esse fenómeno não ocorreu.



Figura 4.1: Segregação do betão branco devido à sobredosagem do adjuvante

Fonte: Autor, 2024

A principal causa identificada para a segregação foi a sobredosagem de adjuvante, neste caso, o superplastificante. A interacção entre o superplastificante e o cimento branco difere significativamente daquela observada com o cimento cinzento. Com a mesma proporção de superplastificante, os resultados obtidos foram distintos. A sobredosagem comprometeu a aderência da pasta de cimento branco aos agregados, prejudicando sua função como ligante no estado fresco. Esse efeito fez com que a pasta de cimento se depositasse, deixando os agregados expostos e contribuindo para a segregação e a redução da brancura do betão. Após o endurecimento, o betão adquiriu um acabamento superficial áspero, conforme ilustrado na Figura 4.2.



Figura 4.2: Provete de betão branco com superfície áspera

Fonte: Autor, 2024

Para corrigir esse problema, a massa de cimento foi ligeiramente aumentada, e a quantidade de adjuvante foi reduzida a 0,5% da massa do cimento, garantindo assim um acabamento superficial mais liso e uniforme, como ilustrado na Figura 4.3.



Figura 4.3: Provete de betão branco com superfície lisa

Fonte: Autor, 2024

Outro inconveniente relacionado a sobredosagem do adjuvante é ilustrado na Figura 4.4, que é a retardação da reacção de hidratação do cimento que culminou no início tardio do processo de presa, isto é, entre 24 à 48 horas após a produção dos provetes. Embora a resistência mecânica final possa ser superior aos 28 dias, este atraso é indesejável para o betão branco, pois o tempo de contacto entre o betão e a cofragem deve ser minimizado para evitar a transferência de cor da cofragem para o betão.



Figura 4.4: Betão branco não endurecido após 24 horas de cura devido a sobredosagem de adjuvante

Fonte: Autor, 2024

4.2.2. Cofragem e óleo descofrante

No caso do betão branco, cuidados adicionais na cofragem são essenciais. A Figura 4.5 apresenta um provete com manchas de ferrugem, resultante da interacção do betão com a cofragem e do uso de óleo descofrante inadequado. Para mitigar esta questão, os moldes foram devidamente limpos antes da fabricação dos provetes, e

utilizou-se um óleo descofrante apropriado para o betão branco, cuja ficha técnica é apresentada no Anexo 1, ao invés do óleo descofrante comum destinado ao betão cinzento. Desta intervenção resultou uma melhoria significativa no aspecto do betão branco, conforme mostrado na Figura 4.6.



Figura 4.5: Betão branco com manchas de ferrugem a superfície

Fonte: Autor, 2024



Figura 4.6: Betão branco sem manchas de ferrugem a superfície

Fonte: Autor, 2024

4.3. Diferença Entre o Betão Branco e Betão Cinzento no Processo de cura

4.3.1. Calor de hidratação e fissuras

Devido a falta de finos no betão branco, torna-se necessário aumentar ligeiramente a quantidade de cimento na mistura. Este aumento do teor de cimento tem implicações significativas, pois aumenta a temperatura de hidratação, o que pode resultar em perda de água da composição por evaporação e formação de fissuras no betão. No caso do betão branco da classe de resistência C40/50, devido a quantidade e a finura do cimento, foram registadas temperaturas de 60°C durante o processo de hidratação, 24 horas após a sua colocação, conforme indicado na Figura 4.7. Em contraste, no betão cinzento da mesma classe de resistência, foram registadas temperaturas inferiores, de 48°C, durante o processo de hidratação do cimento. Esse comportamento deve-se à presença de cinzas volantes na sua composição que permitem redução do calor de hidratação.

Não é recomendado realizar um arrefecimento brusco do elemento betonado, uma vez que este processo pode induzir tensões de tracção no betão, causando fissuras de retracção, apresentado na Figura 4.8. Assim, a rega do betão deve ser feita apenas após

o resfriamento a temperatura ambiente, exigindo uma atenção redobrada do fabricante na dosagem do cimento, a fim de alcançar um equilíbrio ideal.



Figura 4.7: Registo de temperatura do betão branco aplicado na parede após descofragem

Fonte: Autor, 2024



Figura 4.8: Fissura de retracção na parede em betão branco

Fonte: Autor, 2024

4.4. Caracterização do Betão no Estado Fresco

4.4.1. Consistência

Com o objectivo de compreender o comportamento do betão branco no estado fresco, variou-se a dosagem de água de amassadura para o betão da classe de resistência C30/37, mantendo a dosagem do adjuvante superplastificante fixa em 0,5% da massa do cimento e mantendo também fixa a dosagem dos demais constituintes. Realizou-se o ensaio de abaixamento para cada alteração da relação a/c. A curva resultante, apresentada na Figura 4.9, foi elaborada com o propósito de identificar a relação a/c ideal para a produção do betão branco, de modo a atingir a consistência desejada.

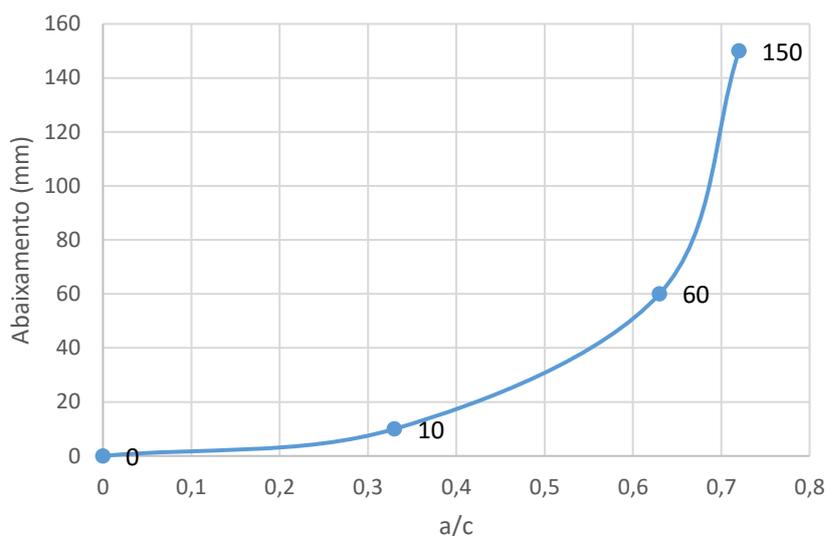


Figura 4.9: Curva de abaixamento em função da razão a/c

Fonte: Autor, 2024

Considerando a dosagem do adjuvante fixa, nota-se que a relação entre a razão a/c e a consistência do betão, indicada pelo valor de abaixamento medido no tronco de cone de Abrams, não é linear. À medida que a razão a/c aumenta, o abaixamento também aumenta, conferindo ao betão uma consistência mais fluida. A partir de a/c = 0,63, observa-se um aumento significativo na trabalhabilidade, evidenciando uma mudança na consistência do betão, que se torna plástica. Com a razão a/c = 0,72, o betão atinge um abaixamento de 150mm, indicando uma consistência fluida.

Devido a finura do cimento branco, verifica-se também que o cimento branco absorve uma quantidade maior de água em comparação com o cimento cinzento. Embora não tenha sido construída uma curva de abaixamento para o betão cinzento, foi possível perceber essa diferença durante as amassaduras. Com o uso de superplastificante no betão cinzento, em dosagem proporcionalmente igual a aplicada no betão branco, foi possível alcançar um abaixamento de 220mm, correspondente a uma consistência fluida, com uma razão a/c de apenas 0,36.

4.5. Caracterização do Betão no Estado Endurecido

Conforme mencionado anteriormente, para a caracterização do betão no estado endurecido, foram seleccionadas quatro composições distintas: duas desenvolvidas em laboratório, correspondentes à classe de resistência C30/37 de betão branco e cinzento, e duas provenientes de uma central de betão, pertencentes à classe de resistência

C40/50 do betão branco e cinzento. Das composições provenientes da central, foram colectados 30 resultados para cada tipo de betão, branco e cinzento.

4.5.1. Relação do peso específico aparente e a resistência aos 28 dias

A relação entre o peso específico aparente e a resistência à compressão foi analisada para os betões da classe de resistência C40/50. O peso específico aparente foi calculado como a razão entre a massa e o volume do provete de betão, multiplicada pela aceleração da gravidade. A Figura 4.10 apresenta os resultados do ensaio de compressão em função do peso específico aparente.

Observa-se, para ambos betões, uma tendência geral de aumento da resistência à compressão com o incremento do peso específico aparente. No entanto, verifica-se que betões com pesos específicos relativamente baixos, podem apresentar resistências à compressão elevadas, enquanto betões com pesos específicos relativamente altos, podem resultar em resistências à compressão reduzidas. Essa variação é particularmente evidenciada nos resultados do betão cinzento, conforme destacado no gráfico apresentado na Figura 4.10.

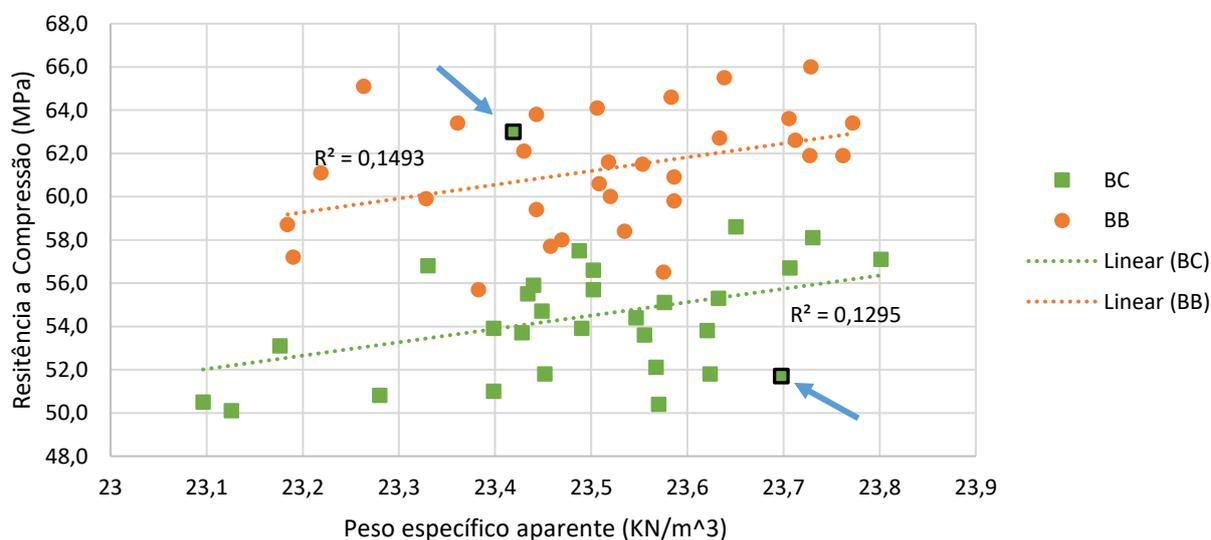


Figura 4.10: Resultados do ensaio da resistência à compressão em função do peso específico aparente

Fonte: Autor, 2024

Estes casos podem ser causados pela variação da razão a/c, pela compactação, discutidos na secção 2.4.2 e pela influência do operador (acção humana), que também pode contribuir para a variação da resistência à compressão.

4.5.2. Resistência à compressão

a) Relação entre a resistência à compressão e a relação a/c – betão branco

A relação entre a resistência à compressão do betão branco aos 28 dias e a razão a/c foi verificada no betão da classe de resistência C30/37, observando-se uma perda de resistência com o aumento desta razão. O gráfico correspondente está ilustrado na Figura 4.11, indo de acordo com o que foi referenciado por Kosmatka & Wilson (2011) e Gani (1997). Embora a resistência à compressão aumente com a redução da razão a/c, é importante considerar que o cimento branco, devido à sua elevada finura, absorve maior quantidade de água em comparação ao cimento cinzento, o que pode comprometer a trabalhabilidade do betão, devido à absorção rápida do cimento, exigindo maior atenção na fabricação.

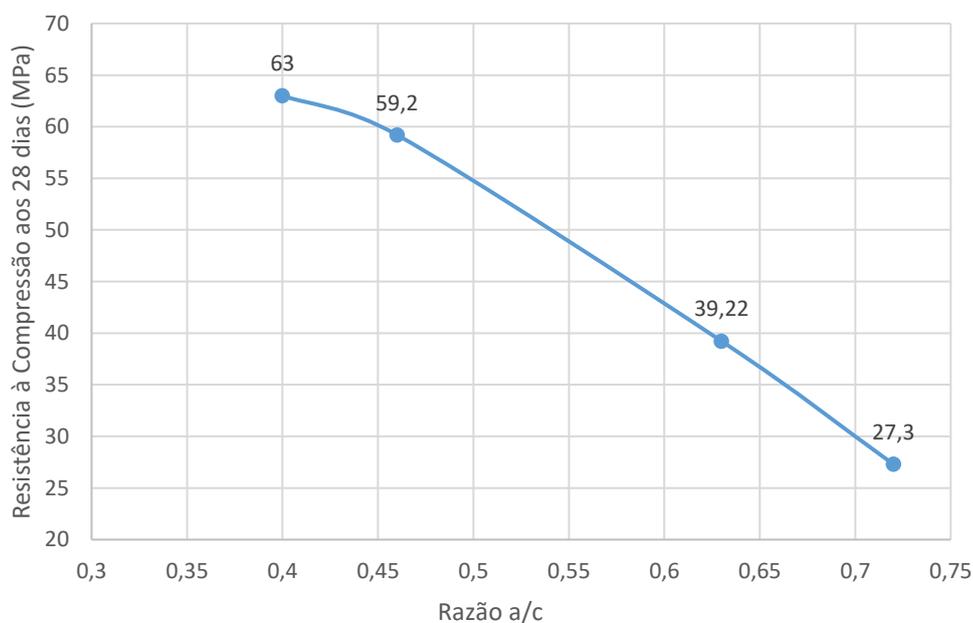


Figura 4.11: Curva de resistência à compressão aos 28 dias do betão branco em função da razão a/c

Fonte: Autor, 2024

b) Comparação do desenvolvimento da resistência à compressão entre o betão branco e o betão cinzento

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a norma NP EN 12390-3: 2021. Analisou-se o comportamento da resistência à compressão dos betões produzidos no laboratório, com os resultados apresentados no Anexo 3 e curva

de resistência ilustrada na Figura 4.12. Os resultados dos betões produzidos na central de betão são apresentados no Anexo 4 e na Figura 4.13.

A ausência do ensaio de resistência à compressão aos 3 dias para os betões da classe de resistência C40/50 reduziu a caracterização da curva de resistência. Por esse motivo, optou-se por caracterizar apenas o desenvolvimento da resistência entre os 7 e os 28 dias.

Observa-se na Figura 4.12 que o betão branco, da classe de resistência C30/37, apresenta um desenvolvimento rápido da resistência à compressão no intervalo de 0 aos 7 dias, quando comparado ao betão cinzento da mesma classe de resistência. Enquanto o betão cinzento atinge aproximadamente 67,75% da sua resistência aos 7 dias aos 3 dias, o betão branco demonstra uma evolução mais acelerada, alcançando 88,66% da resistência aos 7 dias aos 3 dias.

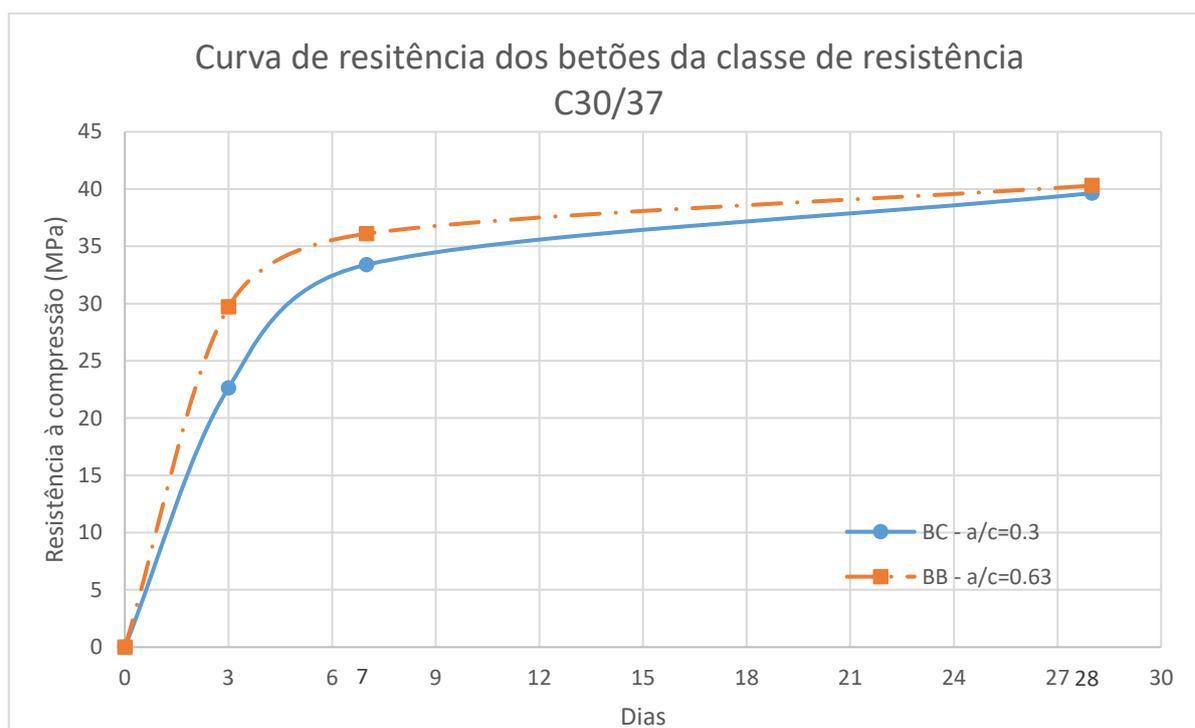


Figura 4.12: Curva de resistência do betão branco e betão cinzento da classe de resistência C30/37

Fonte: Autor, 2024

No intervalo entre 7 e 28 dias, conforme ilustrado nas Figuras 4.12 e 4.13, verifica-se que o betão branco, tanto na classe de resistência C30/37 quanto da C40/50, apresenta uma redução na taxa de desenvolvimento da resistência à compressão, evoluindo de forma mais lenta em comparação ao betão cinzento. Esse comportamento contrasta com o observado no período inicial de 0 a 7 dias. Aos 7 dias, a resistência à

compressão do betão branco corresponde a cerca de 90% da resistência alcançada aos 28 dias para ambas classes de resistência.

Por outro lado, o betão cinzento apresenta um desenvolvimento mais rápido no mesmo intervalo. Para a classe de resistência C30/37, atinge aos 7 dias cerca de 84% da resistência aos 28 dias, enquanto que para a classe de resistência C40/50 esse valor é de aproximadamente 80%.

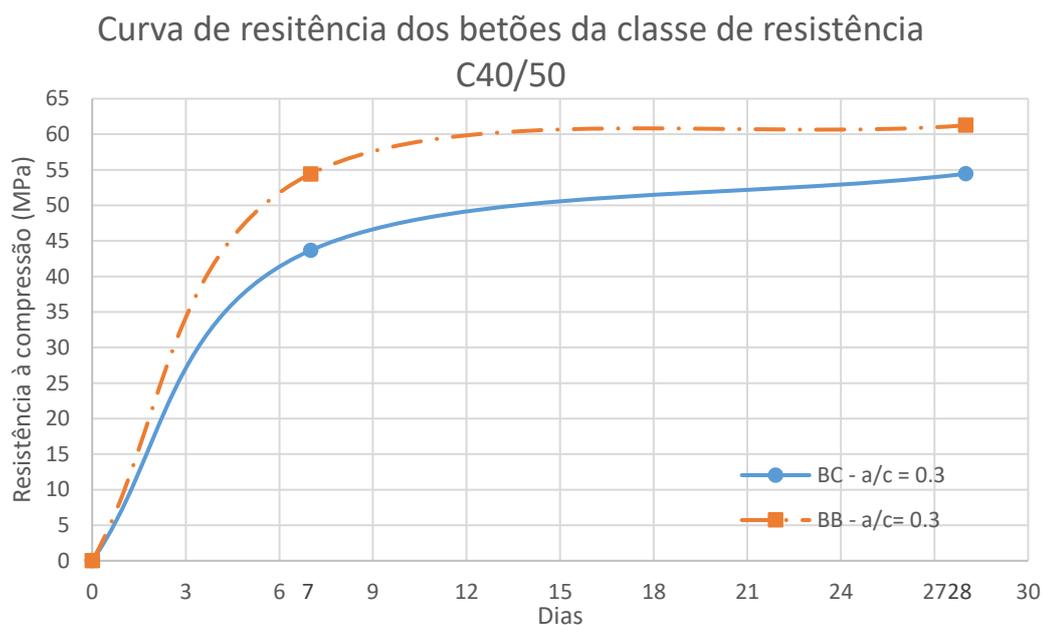


Figura 4.13: Curva de resistência do betão branco e betão cinzento da classe de resistência C40/50

Fonte: Autor, 2024

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa consistiu numa investigação sobre o comportamento do betão branco, abordando sua produção e as propriedades nos estados fresco e endurecido, com foco particular no desenvolvimento da curva de resistência do betão branco em comparação com o betão cinzento. Para atingir os objectivos definidos, foram estudadas duas composições de betão da classe de resistência C30/37, isto é, betão branco e cinzento, e duas composições da classe de resistência C40/50, betão branco e cinzento.

Em relação ao desenvolvimento da resistência à compressão, verificou-se que o betão branco apresenta um ganho rápido de resistência nos primeiros sete dias, em comparação ao betão cinzento. Esse comportamento inicial é benéfico, pois reduz o tempo de interacção entre o betão branco e as cofragens. Contudo, entre os 7 aos 28 dias, o desenvolvimento da resistência do betão branco é mais lento em comparação a betão cinzento. Ainda assim, aos 28 dias, tanto o betão branco quanto o cinzento, alcançam valores próximos de resistência à compressão característica, quando produzidos em condições laboratoriais. O desenvolvimento da resistência à compressão acelerado do betão branco nas idades iniciais deve-se, principalmente, à maior superfície específica, isto é, maior finura do cimento branco.

Entre os factores que afectam a resistência à compressão, destacou-se como o principal factor a razão a/c , sendo evidente que menores razões a/c resultam em resistências mais elevadas. O grau de compactação também exerce influência significativa, uma vez que betões com maior peso específico tendem a apresentar maior resistência à compressão. Importa ressaltar que o grau de compactação está directamente relacionado à técnica de execução adoptada, à habilidade do operador e ao método de betonagem aplicado.

Quanto à consistência do betão, observou-se que o aumento da razão a/c resulta em maiores abaixamentos. Contudo, no caso do betão branco, devido à maior superfície específica do cimento, há uma tendência de absorção de água superior à do betão cinzento. Isso dificulta a obtenção de abaixamentos superiores a 150mm sem o uso de superplastificantes. Por outro lado, no betão cinzento, é possível alcançar abaixamentos mais elevados mesmo com razões a/c menores.

Durante o processo de produção, foram identificados problemas relacionados à variação da cor do betão branco, associados à limpeza inadequada dos moldes e ao uso de óleo descofrante inadequados para o betão branco. Para mitigar esses problemas, é imprescindível garantir a limpeza adequada das cofragens e a aplicação de óleos descofrantes específicos para betão branco.

Para minimizar as fissuras de retração associadas ao elevado calor de hidratação do betão branco nas primeiras 24 horas, recomenda-se evitar o arrefecimento brusco com água imediatamente após a descofragem. A rega do elemento betonado deve ser realizada somente após o arrefecimento a temperatura ambiental, de forma a prevenir tensões de tracção no betão que possam comprometer sua durabilidade.

Em suma, a pesquisa evidenciou que o betão branco apresenta um ganho acelerado de resistência à compressão nos primeiros sete dias, seguido por um desenvolvimento mais lento até os 28 dias. Esse comportamento inicial é atribuído à maior finura do cimento branco. Observou-se também que a razão a/c e o grau de compactação são factores determinantes para a resistência à compressão, sendo que menores razões a/c e maior peso específico resultam em maiores resistência à compressão. Quanto a consistência, o betão branco demonstrou maior dificuldade em alcançar abaixamentos elevados devido à sua maior absorção de água, exigindo o uso de adjuvantes.

5.1. Desenvolvimentos Futuros

O estudo realizado permitiu conhecer o comportamento e as características do betão branco comparativamente ao betão cinzento. No entanto, existem várias possibilidades de complementar e dar seguimento ao estudo realizado. Abaixo, são enumeradas algumas sugestões de desenvolvimento futuro, que poderão aprofundar a temática abordada e ampliar seu campo de aplicação:

- Quantificar, sob a óptica económica, a viabilidade do uso do betão branco em Moçambique, incluindo aspectos relacionados à sua reparação e manutenção;
- Divulgar os cuidados necessários para a aplicação do betão branco em obra, tais como as técnicas de betonagens ideais, bem como o cuidado com as armaduras, o tipo ideal de cofragem, os espaçadores adequados e a protecção final da estrutura;

- Divulgar as técnicas de reparação do betão branco, visando melhorar e manter sua durabilidade e desempenho ao longo prazo;
- Expandir o estudo sobre a resistência do betão branco, explorando classes de resistência que não foram abordadas no presente trabalho;
- Divulgar requisitos para garantir a durabilidade do betão branco para diferentes classes de exposição regulamentar, a fim de verificar seu desempenho em condições variadas de ambiente e uso;
- Avaliar o comportamento das propriedades térmicas e acústicas do betão branco, visando compreender seu desempenho em aplicações específicas, como isolamento térmico e sonoro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Livros, Artigos e Dissertações

1. Bauer, L. A. (2000). *MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO*. Rio de Janeiro: LTC editora.
2. Cavalcanti, D. J. (2006). *Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Auto-Adensável Visando sua Aplicação em Elementos Estruturais*. Maceió, Alagoas, Brasil: Universidade Federal de Alagoas.
3. Costa, H. S. (2012). *Betões Estruturais de Agregados Leves - Aplicações em Prefabricação e Reforço de Estruturas*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
4. Coutinho, A. d. (2006b). *Fabrico e Propriedades do Betão* (4ª ed., Vol. II). (LNEC, Ed.) Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
5. Coutinho, A. d. (2006a). *Fabrico E Propriedades do Betão* (4ª ed., Vol. I). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
6. Dias, N. C. (2002). *Betão Auto-Compactavel Branco*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
7. Gani, M. S. (1997). *Cement and Concrete*. Clayton: Chapman & Hall.
8. Gill, O. (2009). *Fulton's concrete technology*. Midrand: South Africa.
9. Illston, J., & Domone, P. (2001). *CONSTRUCTION MATERIALS*. London: Spon Press.
10. Jackson, N., & Dhir, R. (1992). *Civil Engineering Materials* (Fourth ed.). Hong Kong: THE MACMILLAN PRESS.
11. Kirchheim, A. P., Passuello, A. C., Dal Molin, D. C., & Filho, L. C. (2005). Concreto Branco. Em *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações* (pp. 1453-1491). Rio Grande do Sul: IBRACON.
12. Kosmatka, S., & Wilson, M. (2011). *Design and Control of concrete Mixtures* (15 ed.). Skokie, Illinois, Estados Unidos de America: Portland Cement Association.
13. Neville, A., & Brooks, J. (1990). *Concrete Technology*. Educational Low-Priced Books Scheme .
14. Portland Cement Association. (s.d.). *Portland Cement Association*. Obtido em 11 de Janeiro de 2024, de Portland Cement Association: <https://www.cement.org/>

concrete-books-learning/materials-applications/architectural-and-decorative-concrete/white-cement

15. Saunders, A. (14 de November de 2014). *Global cement magazine*. Obtido em 09 de Janeiro de 2024, de Global cement: <https://www.globalcement.com/magazine/articles/890-white-cement-review>
16. School of concrete technology. (2001). *Concrete Technology*. Midrand: Cement & Concrete Institute.

6.2. Normas e Especificações

17. LNEC E 237, Agregados - Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles, 1970.
18. NP 1379, Inertes para Argamassa e betões - análise granulométrica, 1976.
19. NP 581, Inertes para Argamassa e betões - Determinação das massas volúmicas e da absorção de britas e godos, 1969.
20. NP 1039, Inertes para Argamassa e Betões - Determinação da resistência ao esmagamento, 1974.
21. NP 955, Inertes para Argamassa e betões - Determinação da baridade, 1973.
22. NP 83, Solos - Determinação da densidade das partículas, 1965.
23. NP EN 1992-1-1, "Projecto de estrutura de betão Parte 1-1: Regras gerais e Regras para edifícios." Versão portuguesa da EN 1992-1-1:2004 + AC:2008.
24. NP EN 12350-2, "Ensaio de betão fresco Parte 2: Ensaio de abaixamento 2009." Versão portuguesa da EN 12350-2:2009.
25. NP EN 12390-3, "Ensaio do betão endurecido Parte 3: Resistência à compressão de provetes 2021." Versão portuguesa da EN 12390-3: 2019.
26. NP EN 206-1, "Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade 2007." Versão portuguesa da EN 206-1:2000 + A1:2004 + A2:2005.

6.3. Outras Referências

27. CECIL. (s.d). Cimento Branco.
28. Gil, A. C. (2008). Métodos e técnicas de pesquisa social (6th ed.). São Paulo: Atlas S.A.
29. Lopes, C. (2021). COMO FAZER CITAÇÕES E REFERÊNCIAS? GUIA PRÁTICO DA NORMA APA (2020, 7ª EDIÇÃO) (1st ed.). Lisboa: Instituto Universitário.
30. Moresi, E. (2003). Metodologia da pesquisa. Brasília: Universidade Católica de Brasília.
31. Mota-Engil Engenharia. (2010). Workshop betão branco.
32. Mota-Engil Engenharia. (2010). Elementos de betão e betão cinzento à vista.

6.4. Consultas na Internet

33. <https://www.jardindelturia.com/la-ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias-copia/>, 28 de Fevereiro de 2024
34. <https://www.secil-group.com/pt/a-secil/o-que-fazemos/obras-de-referencia/casa-da-musica>, 6 de Março de 2024,
35. <https://www.secil-group.com/pt/a-secil/o-que-fazemos/obras-de-referencia/aeroporto-sa-carneiro>, 6 de Março de 2024
36. <https://tesorosderoma.wordpress.com/2012/01/07/arquitetos-contemporaneos-que-vivem-com-a-cidade-eterna/>, 6 de Março de 2024

ANEXOS

ANEXO I: Ficha técnica dos materiais usados no fabrico dos Betões da classe de resistência C30/37

ANEXO II: Tabelas para o cálculo da composição da mistura pelo método de Faury

ANEXO III: Relatório dos resultados dos ensaios dos betões da classe de resistência C30/37

ANEXO IV: Composição e resultados dos ensaios realizados no betão pronto da classe de resistência C40/50

ANEXO V: Tabela da quantidade mínima de cimento para a classe de exposição

ANEXO VI: Procedimento para estimativa da resistência à compressão aos 28 dias

ANEXO I

**Ficha técnica dos materiais usados no fabrico dos Betões da classe de
resistência C30/37**

A1.1. Ficha técnica do cimento branco – CEM II/A-L 52.5 N (br)



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

CERTIFICADO DE REGULARIDADE DO DESEMPENHO

0856 - CPR - 0153

De acordo com o Regulamento (EU) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011 (Regulamento dos Produtos de Construção - CPR), este certificado aplica-se ao produto de construção

Cimento Portland de calcário EN 197-1 – CEM II/A-L 52,5 N (br)

produzido por

SECIL Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Outão – Apartado 71, 2901-864 SETÚBAL

na fábrica

CIBRA - PATAIAS

Apartado 46, 2449-909 Pataias

Este certificado atesta que todas as disposições relativas à avaliação e verificação da regularidade do desempenho descritas no Anexo ZA da Norma

EN 197-1:2011

no âmbito do sistema 1+, para os desempenhos definidos neste certificado, são aplicadas, e que

o produto de construção cumpre todos os requisitos estabelecidos para esses desempenhos

Este certificado foi emitido pela primeira vez em 3 de janeiro de 2005, no âmbito da Diretiva dos Produtos da Construção - CPD, e permanece válido enquanto se mantiverem os métodos de ensaio e os requisitos do controlo de produção em fábrica, estabelecidos na norma harmonizada para avaliar os desempenhos das características essenciais declaradas, e o produto e as suas condições de fabrico não se alterarem significativamente, a não ser que tenha sido suspenso ou anulado pelo organismo de certificação do produto.

Lisboa, em 21 de janeiro de 2014

Arlindo Gonçalves
Responsável Técnico

Carlos Pina
Presidente do LNEC, I.P.

DECLARATION OF PERFORMANCE

0856-CPR-0153



1. Unique identification code of the product-type:
Limestone Portland Cement EN 197-1 – CEM III/A-L 52,5 N (white)
 2. Type, batch or serial number or any other element allowing identification of the construction product as required under Article 11(4):
Cibra-Pataias Plant – Limestone Portland Cement EN 197-1 – CEM III/A-L 52,5 N (white)
 3. Intended use or uses of the construction product, in accordance with the applicable harmonised technical specification, as foreseen by the manufacturer:
Preparation of concrete, mortar, grout and other mixes for construction and for the manufacture of construction products
 4. Name, registered trade name or registered trade mark and contact address of the manufacturer as required under CPR Article 11(5):
**SECIL – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.
Av. Eng.ª Duarte Pacheco, 19 - 7º | 1070-100 Lisboa | Portugal**
 5. Where applicable, name and contact address of the authorised representative whose mandate covers the tasks specified in CPR Article 12(2):
Not applicable
 6. System or systems of assessment and verification of constancy of performance of the construction product as set out in CPR, Annex V:
System 1+
 7. Harmonised standard:
EN 197-1:2011
- Notified product certification body:
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, notified product certification body No. 0856
8. Declared performance:

ESSENTIAL CHARACTERISTICS	PERFORMANCE	HARMONISED TECHNICAL SPECIFICATION
Common cements (subfamilies) constituents and composition	CEM III/A-L	EN 197-1:2011
Compressive strength (early and standard)	52,5 N	
Setting time	Pass	
Insoluble residue	Pass	
Loss on ignition	Pass	
Soundness: - Expansion - SO ₃ content	Pass Pass	
Chloride content	Pass	

9. The performance of the product identified in points 1 and 2 is in conformity with the declared performance in point 8. This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 4.

Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Manuel Sousa Martins | Administrator

Lisbon, 4th of September, 2017



CEMENT DATA SHEET

MANUFACTURED IN: PLANT CIBRA-PATAIAS, PORTUGAL

CEM II/A-L 52,5N (br)

EN 197-1:2011 Certificate of Conformity 0856 – CPR - 0153 21.01.2014



0856



Declared Composition (%)

Constituents		Calcium Sulfate	
Portland Cement Clinker (K)	83,0	Gypsum	4,0
	-	Other source of calcium sulfate	-
Limestone (L)	17,0		
Minor constituents (L, V)	-	Additives	
		Grinding Aid	0,07

Compressive Stenghts (MPa)

Time	Test Method	Mean Values	Range of Values		
2 days	EN 196-1	34,0	30,0	-	38,0
7 days	EN 196-1	50,0	46,0	-	54,0
28 days	EN 196-1	62,0	58,0	-	66,0

Physical Properties

Property	Test Method	Mean Values	Range of Values		
Specific density(kg/m ³)	EN 196-6	3,00	2,95	-	3,05
Specific surface (cm ² /g)	EN 196-6	5350	4750	-	5950
32µm Fineness (%)	EN 196-6	2,8	0,2	-	5,4
Standard consistence (%)	EN 196-3	28,5	27,5	-	29,5
Initial setting time (min)	EN 196-3	120	80	-	160
Final setting time (min)	EN 196-3	170	130	-	210
Soundness (mm)	EN 196-3	1,0	0,0	-	2,0

Chemical Properties

Property	Test	Mean	Range	Property	Test	Mean	Range
LOI (%)	EN 196-2	9,35	8,25-10,45	SO ₃ (%)	EN 196-2	2,90	2,30 -3,50
IR (%)	EN 196-2	0,30	0,10-0,50	K ₂ O (%)	EN 196-2	0,20	0,14-0,26
SiO ₂ (%)	EN 196-2	18,25	16,95-19,55	Na ₂ O (%)	EN 196-2	0,04	0,02-0,06
Al ₂ O ₃ (%)	EN 196-2	2,20	1,90-2,50	Cl (%)	EN 196-2	0,01	0,00-0,02
Fe ₂ O ₃ (%)	EN 196-2	0,20	0,10-0,30	Na ₂ Oeqv (%)		0,17	0,13-0,21
CaO (%)	EN 196-2	66,15	64,15-68,15	Cr (VI) (ppm)	EN 196-10	0,10	0,00-0,20
MgO (%)	EN 196-2	0,40	0,30-0,50	C3A (%)	XRD (Rietveld)	2,5	2,0-3,0

Whiteness

Property	Test Method	Mean Values	Range of Values		
L	ASTM E 313-05	94,5	94,0	-	95,0
a*	ASTM E 313-05	-0,55	-0,75	-	-0,35
b*	ASTM E 313-05	3,2	2,9	-	3,5

Approved by: QESM

Date of approval: 2021.03.10

Version:05

Page: 1/1



RESULTADOS DO AUTOCONTROLO

AUTOCONTROL RESULTS | RÉSULTATS DE L'AUTOCONTRÔLE
VALORES MÉDIOS
AVERAGE RESULTS | RÉSULTATS MOYENNE

REFERÊNCIA Cimento Branco Portland de Calcário - EN 197-1 CEM II/A-L 52,5N(br)

REFERENCE White Portland-limestone Cement | Ciment Blanc Portland au Calcaire

BOLETIM Nº ACP- 011 /2023

REPORT N. | RAPPORT N.

FÁBRICA Cibra-Pataias

PLANT | USINE

DATA 22/05/2023

DATE

MÊS Março 2023

MONTH | MOIS Mars | March

ENSAIOS MECÂNICOS

MECHANICAL TESTS | ESSAIS MECANIQUES [NP EN 196-1]

IDADE AGE	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa) FLEXURAL STRENGTH RÉSISTANCE À LA FLEXION		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) COMPRESSIVE STRENGTH RÉSISTANCE À LA COMPRESSION	
	MÊS MONTH MOIS	ANO YEAR AN	MÊS MONTH MOIS	ANO YEAR AN
1 dia day jour	-	-	-	-
2 dias days jours	5,7	5,5	34,6	33,6
7 dias days jours	7,5	7,1	50,1	47,9
28 dias days jours	8,4	8,2	62,6	59,8

ENSAIOS FÍSICOS

PHYSICAL TESTS | ESSAIS PHYSIQUES

TIPO DE ANÁLISE TYPE OF ANALYSIS / TYPE D'ANALYSE	MÊS MONTH MOIS	ANO YEAR AN
Peso Específico (g/cm³) Specific weight Masse volumique	3,00	3,00
Resíduo de Penetração (%) Sieve Residue Residue de Tamisage [NP EN 196-6]	45 µm	0,1
	32 µm	2,2
Superfície Específica de Blaine (cm²/g) Blaine Spec. Surface Surface spécifique Blaine [NP EN 196-6]	5175	5094
Água na Pasta Normal (%) Water demand Eau de Gâchage [NP EN 196-3]	29,1	29,6
Tempo de Presa (min) Setting Time Temps de Prise [NP EN 196-3]	Início Initial Debut	103
	Fim Final Fin	140
Expansibilidade (mm) Soundness Expansion [NP EN 196-3]	0	1
Índice de Reflectância - Y (0 a 100) Reflectance Réflectance	86	86

INFORMAÇÃO ADICIONAL

ADDITIONAL INFORMATION | INFORMATION SUPPLÉMENTAIRE

--

ANO | YEAR | AN: Últimos 12 meses. Last 12 months. Dernier 12 mois.
NOTA | NOTE: Os parâmetros são determinados por métodos internos com excepção dos que indicam a [norma aplicada]. The parameters are determined by internal methods, except when a [standard] is indicated. Les paramètres sont déterminés par méthodes internes, except leurs que indique la [norme appliquée].

ANÁLISE QUÍMICA

CHEMICAL ANALYSIS | ANALYSES CHIMIQUES

TIPO DE ANÁLISE TYPE OF ANALYSIS / TYPE D'ANALYSE	MÊS MONTH MOIS	ANO YEAR AN
Perda ao Fogo (%) Loss on Ignition Perte au Feu	-	8,51
Resíduo Insolúvel (%) Insoluble Residue Résidu Insoluble	-	0,44
Óxido de Silício (%) Silicon Oxide Oxyde de Silicium	SiO ₂	18,92
Óxido de Alumínio (%) Aluminium Oxide Oxyde d'Aluminium	Al ₂ O ₃	2,19
Óxido de Ferro (%) Ferric Oxide Oxyde de Fer	Fe ₂ O ₃	0,20
Óxido de Cálcio (%) Calcium Oxide Oxyde de Calcium	CaO	66,92
Óxido de Magnésio (%) Magnesium Oxide Oxyde de Magnésium	MgO	0,44
Sulfatos (%) Sulfates Sulfates	SO ₃	2,40
Óxido de Potássio (%) Potassium Oxide Oxyde de Potassium	K ₂ O	0,22
Óxido de Sódio (%) Sodium Oxide Oxyde de Sodium	Na ₂ O	0,04
Sódio Equivalente (%) Alkali Alkali	Na ₂ O _{eq}	0,18
Clorretos (%) Chloride Chlorures [NP EN 196-2]	Cl	0,01
Cal Livre (%) Free Lime Chaux Libre	-	-
Índice de Saturação em Cal Lime Saturation Factor Depot de Chaux		
Índice Silíceo Silica Ratio Indice Siliceux		
Índice Aluminoso Alumina-Iron Ratio Indice Alumineux		

ANÁLISE MINERALÓGICA (RIETVELD)

MINERALOGICAL ANALYSIS | ANALYSE MINÉRALOGIQUE

TIPO DE ANÁLISE TYPE OF ANALYSIS / TYPE D'ANALYSE	MÊS MONTH MOIS	ANO YEAR AN
Silicato Tricálcico (%) Tricalcium Silicate Silicate Tricalcique	C ₃ S Déu	62,1
Silicato Bicálcico (%) Dicalcium Silicate Silicate Bicalcique	C ₂ S Déu	12,7
Aluminato Tricálcico (%) Tricalcium Aluminate Aluminate Tricalcique	C ₃ A Déu	2,4
Ferro-aluminato Tetracálcico (%) Tetracalcium Aluminoferrite Ferraluminite Tetracalcique	C ₄ AF Déu	-

APROVADO
APPROVED | APPROUVÉ

A1.2. Ficha técnica do cimento cinzento – CEM II/A-L 42.5 N




REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE
MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, HABITAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE MOÇAMBIQUE, I.P.

Certificado de Conformidade do Cimento
Cement Conformity Certificate

Número do Certificado: 011/LEM,IP/IP/2023
Certificate Number

Nome da Fábrica: Cimentos de Moçambique S.A.
Factory Name
Unidade fabril - Matola 1

Endereço da Fábrica: Av. Namaacha 730 / Cidade da Matola
Factory Address

O Laboratório de Engenharia de Moçambique ao abrigo do número um do artigo 12 do Decreto 28/2016 de 18 de Julho declara que o
Cimento Portland de Calcário NM NP EN 197-1 CEM II/ A- L 42,5 N
está em conformidade com os requisitos das Normas NM NP EN 197-1 e NM NP EN 197-2.

The Engineering Laboratory of Mozambique, pursuant to number one of article 12 of Decree 28/2016 of 18 July, declares that
Portland-Lamstone Cement NM NP EN 197-1 CEM II/A-L 42.5 N
is in conformity with the requirements of the NM NP EN 197-1 and NM NP EN 197-2 Standards.

Data de emissão: 08.11.23
Issue date

Validade: Doze meses
Validity

O Director Geral

Carlos Rodrigues Cumbane

Av. de Moçambique Km 1.5 Tel (+258) 21 477763/21475268/823170460 Email: labeng@lem.co.mz
Modelo: CRD 01 20180702

Testes Standard de Performance segundo a NM NP EN 197/1



Relatório de Performance de Produto	
Contacto de escritório	
Endereço	Av. 24 de Julho, Nº 7 9º e 10º andar CP 270 Maputo
Número de Telefone	+258 21 482 593
Autorizado pela área de Qualidade	CIMENTOS DE MOÇAMBIQUE, S.A. FABRIL DA MOÇAMBIQUE
Unidade	Matola
Data	06-jun-24

Produto	CEM II/A-L 42,5 N					
Data	Resistências 2 dias Mpa	Resistências 28 dias Mpa	Início de Presa min	SO3 %	Cloreto %	Expansibilidade mm
Requisitos de norma	≥ 10	≥ 42,5 ≤ 62,5	≥ 60	≤ 3,5	≤ 0,10	≤ 10
07/04/24 - 13/04/24 Semana 15	19,2	44,9	193	2,7	0,02	0,9
14/04/24 - 20/04/24 Semana 16	19,2	44,2	193	2,7	0,02	0,7
21/04/24 - 27/04/24 Semana 17	19,1	44,4	178	2,7	0,02	0,7
28/04/24 - 04/05/24 Semana 18	19,9	44,1	180	2,8	0,02	1,0
05/05/24 - 11/05/24 Semana 19	19,3	***	187	2,7	0,02	1,0
12/05/24 - 18/05/24 Semana 20	20,0	***	187	2,7	0,02	1,0
19/05/24 - 25/05/24 Semana 21	20,1	***	182	2,7	0,02	0,5
Coments: *** Ensaio em curso						

A1.3. Ficha técnica do plastificante



FICHA DE DADOS DO PRODUTO

Sika® ViscoCrete®-1150

SUPERPLASTIFICANTE PARA BETÃO

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Sika® ViscoCrete®-1150 é um superplastificante de alto desempenho à base de polímeros de 3ª geração para a produção de betão de consistência leve. Foi especialmente concebido para trabalhar em betões especiais que requerem baixos rácios de água/cimento e/ou elevadas reduções de água com excelente trabalhabilidade.

UTILIZAÇÕES

Sika® ViscoCrete®-1150 é utilizado para os seguintes tipos de betão:

- Betão colorido
- Betão cinzento padrão
- Adequação para betão com consistência que varia de plástico a betão fluido
- Eficácia melhorada a uma temperatura ambiente mais elevada
- Betão com elevada redução de água de amassadura
- Betão muito plástico ou fluido com resistências iniciais e finais melhoradas
- Betão de classe de resistência média e alta, com qualquer consistência, nos quais se pretenda obter uma economia grande de cimento

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

Sika® ViscoCrete®-1150 atua sobre as partículas do cimento por dois mecanismos principais: adsorção superficial e efeito espacial. Ambos concorrem para um efeito dispersante muito intenso, permitindo uma elevada redução da água de amassadura ou um aumento marcado da trabalhabilidade. As propriedades do betão com Sika® ViscoCrete®-1150 são:

- Excelente robustez em betão colorido, incluindo betão branco
- Um nível de redução de água muito elevado. Daqui resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compactidade elevada e de permeabilidade muito baixa
- Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil
- Um comportamento mais favorável quanto à retração e fluência
- Excelente sinergia com Sika® ViscoCrete®-1150
- Isento de cloretos

DADOS DO PRODUTO

Fornecimento	1000 l
Tempo de armazenamento	12 meses após a data de fabrico
Armazenagem e conservação	Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar direta, a temperaturas entre +5 °C e +35 °C. Proteger da geada.
Cor	Líquido claro
Massa volúmica	~ 1.06kg/l
Valor do pH	4.3 a 6.3

FICHA DE DADOS DO PRODUTO
Sika® ViscoCrete®-1150
Julho 2023, VERSÃO 01.01
021301011000004892

DADOS TÉCNICOS

Guia de betonagem	Sika® ViscoCrete®-1150 permite o fabrico de betão de qualidade, daí que devam ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a betonagem e a cura do betão.
-------------------	---

INFORMAÇÃO DO SISTEMA

INFORMAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO

Consumo	0,1 - 1,5% em peso de cimento/ligante
Compatibilidade	Sika® ViscoCrete®-1150 pode ser combinado com muitos outros produtos sika. Devem ser efectuados ensaios antes de combinar produtos numa mistura de betão.

VALOR BASE

Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Resultados obtidos noutras condições podem divergir dos apresentados, devido a circunstâncias que não podemos controlar.

OBSERVAÇÕES

- Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem ótima do adjuvante e sempre que se altere os componentes do betão ou a própria composição
- Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém, uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a utilizar-se
- Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika®

ECOLOGIA, SAÚDE E SEGURANÇA

DISPENSADOR

Preparar o betão com cerca de 2/3 da água prevista e adicionar o adjuvante misturando aprox. 1 minuto/m³; adicionar água até à consistência desejada – aproveitamento máximo do adjuvante e controlo da razão água/ligante. Se o processo não for viável adicionar o produto à água de amassadura determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea. Não adicionar o adjuvante aos componentes secos (redução de eficácia). No caso de redosagem em obra: diluição ligeira do adjuvante para reduzir a sua viscosidade e facilitar a incorporação. "Puxar" o

betão acima e adicionar lentamente o adjuvante, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneizar. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.

RESTRIÇÕES LOCAIS

Por favor, ter em atenção que o desempenho deste produto poderá variar ligeiramente de país para país, em função dos parâmetros regulamentares específicos de cada local. Por favor, consultar a Ficha de Produto para a descrição completa dos campos de aplicação.

NOTA LEGAL

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que solicitada.

SIKA MOÇAMBIQUE, LDA
Boane, Matola Rio, Parcela 3441
MOÇAMBIQUE
Phone : +25 821 730 367
[HTTPS://moz.sika.com/](https://moz.sika.com/)

FICHA DE DADOS DO PRODUTO
Sika® ViscoCrete®-1150
Julho 2023, VERSÃO 01.01
021301011.000004892

A1.4. Ficha técnica do óleo descofrante



Technical Data Sheet

08/2022

Doka-OptiX

Release agent for concrete

Product Overview

Product description:	Doka-OptiX is a thin liquid release agent for concrete delivered in ready-to-use form. Doka-OptiX is an emulsion of vegetable oil derivatives in water.
Special properties:	Doka-OptiX is particularly well suited for use on lightly and non absorbent formwork facing surfaces. Doka-OptiX is unproblematic to use and readily biodegradable in the soil.
Area of use:	Release agent for concrete for uses on wood, plastic and steel facings. Ideal for on-site concrete applications that have to meet high concrete surface quality standards.

Technical Data

Form/color/odor:	Liquid/white/faint
Boiling point:	Approx. 100 °C
Setting point:	Approx. - 5 °C
Density:	Approx. 0.97 kg/l
Dyn. viscosity (20°C):	5,040 mPas (acc. to ASTM D 2983)
Ignition point:	Not combustible
Consumption:	Non-absorbent steel and plastic facing Approx. 25 ml/m ² Wood facing Approx. 50 ml/m ²

Recommendations for Use

Preparing the surface:	Make sure facing is dry and clean. Remove old concrete residue. Remove rust from steel facings.
Handling:	Doka-OptiX is delivered ready for processing. Admixtures are not permitted. Application is preferably by spraying at sufficiently high pressure (min. 4 bar). A thin, uniform and closed film of release agent must be applied - this is particularly important for fair-faced concrete requirements. Wiping is generally not necessary. If wiping is required, this should only be carried out after flash-off. As long as the sprayed-on film has a milky appearance, protection from rain is required.



Technical Data Sheet

08/2022

Doka-OptiX Release agent for concrete

Processing temperature:	Can be sprayed at temperatures as low as approx. -4 °C
Waiting time:	As the water in the blend evaporates, the emulsion breaks and is converted from a milky liquid into a firm transparent film. The facing can subsequently be used for concrete rendering. Protect facing against contamination if waiting times are prolonged.
Cleaning the device:	The substance can be washed off with water as long as it is in a white liquid condition. Once the emulsion has been broken, use standard grease solvents to clean it off.
Storage:	Store in original packaging, tightly closed at temperatures of no less than -4 °C. Storage class 12 (FRG)
Shelf life:	About 12 months

Hazard information and safety recommendations:	No special hazards. Not classified as hazardous for the processor/handler.
GISCODE (Germany):	BTM1 - Concrete release agent emulsions, non-labelled
Transportation:	Doka-OptiX is not classified as a dangerous product.
Disposal:	Dispose product residue with an authorized waste collection service. Waste code number 12503 pursuant to ÖNORM S 2100. European waste catalog: 13 08 02 Recycle completely empty packaging material.
Measures to take in the event of an accident:	Pick up with a liquid binding material. Prevent liquid from entering bodies of water. Water hazard class (WGK): 1 minor hazard for water

ANEXO II

Tabelas para o cálculo da composição da mistura pelo método de Faury

Tabela A2. 1: Valores de K e K' da expressão da água de amassadura, de Faury

<i>Trabalhabilidade</i>	<i>Meios de compactação que se podem empregar</i>	<i>Valores de K</i>			<i>Valores de K'</i>
		<i>Natureza do inerte</i>			
		<i>Areia rolada</i>		<i>Areia britada.</i>	
		<i>Inerte grosso rolado</i>	<i>Inerte grosso britado</i>	<i>Inerte grosso britado</i>	
Terra húmida	Vibração muito potente e possível compressão (pré-fabricação)	0,24	0,25	0,27	0,002
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	0,25 a 0,27	0,26 a 0,28	0,28 a 0,30	0,003
Plástica	Vibração média	0,26 a 0,28	0,28 a 0,30	0,30 a 0,34	0,003
Mole	Apiloamento	0,34 a 0,36	0,36 a 0,38	0,38 a 0,40	0,003
Fluida	Espalhamento e compactação pelo próprio peso	≥ 0,36	≥ 0,38	≥ 0,40	≥ 0,004

Fonte: Adaptado de Coutinho (2006b)

Tabela A2. 2: Valores de A e B da Curva de Faury

<i>Trabalhabilidade*</i>	<i>Meios de compactação que se podem empregar</i>	<i>Valores de A</i>			<i>Valores de B</i>
		<i>Natureza dos inertes</i>			
		<i>Areia rolada</i>		<i>Areia britada</i>	
		<i>Inerte grosso rolado</i>	<i>Inerte grosso britado</i>	<i>Inerte grosso britado</i>	
Terra húmida	Vibração muito potente e possível compressão (pré-fabricação)	≤ 18	≤ 19	≤ 20	1
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	20 a 21	21 a 22	22 a 23	1 a 1,5
Plástica	Vibração média	21 a 22	23 a 24	25 a 26	1,5
Mole	Apiloamento	28	30	32	2
Fluida	Espalhamento e compactação pelo próprio peso	32	34	38	2

*Para a definição da trabalhabilidade ver o quadro 5.2.

Fonte: Adaptado de Coutinho (2006b)

Tabela A2. 3: Módulo de finura das curvas de referência de Faury em função dos valores da expressão

$$a = A + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

Máxima dimensão do inerte	Valores de	Valores da expressão (a)											
		$\frac{5}{\sqrt{D}}$	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
D													
203,2	49,21	6,11	6,06	6,01	5,96	5,91	4,85	5,80	5,75	5,70	5,65	5,60	
152,4	46,46	5,90	5,85	5,80	5,75	5,70	5,65	5,60	5,55	5,50	5,45	5,40	
101,6	42,84	5,64	5,60	5,55	5,50	5,45	5,40	5,36	5,31	5,26	5,21	5,16	
76,2	40,44	5,40	5,36	5,31	5,26	5,22	5,17	5,12	5,07	5,03	4,98	4,93	
50,8	37,29	5,12	5,08	5,03	4,99	4,94	4,89	4,85	4,80	4,76	4,71	4,69	
38,1	35,21	4,87	4,82	4,78	4,74	4,69	4,65	4,60	4,56	4,51	4,47	4,42	
25,4	32,46	4,57	4,53	4,48	4,44	4,40	4,36	4,32	4,28	4,24	4,19	4,15	
19,1	30,66	4,29	4,25	4,21	4,17	4,12	4,08	4,04	4,00	3,96	3,92	3,88	
12,7	28,26	3,96	3,92	3,88	3,84	3,80	3,76	3,72	3,68	3,64	3,60	3,56	
9,52	26,68	3,64	3,60	3,56	3,53	3,49	3,45	3,41	3,38	3,34	3,30	3,26	
6,35	24,60	3,33	3,29	3,26	3,22	3,19	3,15	3,12	3,08	3,05	3,01	2,98	
4,76	23,22	3,04	3,01	2,98	2,94	2,91	2,88	2,84	2,81	2,78	2,74	2,71	

Fonte: Adaptado de Coutinho (2006b)

Tabela A2. 4: Volume de vazios do betão compactado

Máxima dimensão do inerte, mm	Volume de vazios, V_v , l/m ³
9,5	30
12,7	25
19,1	20
25,4	15
38,1	10
50,8	5
76,2	3
152,4	2

Fonte: Adaptado de Coutinho (2006b)

ANEXO III

Relatório dos resultados dos ensaios dos betões da classe de resistência C30/37

A3.1. Ficha do resultado do ensaio laboratorial do betão branco C30/37

AMASSADURA LABORATORIAL BETÃO BRANCO

N.º EXP. 005/24

Data: 29/jul/24

Local de Prod.:	LEM, IP	Projecto:	COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE CIMENTO
Classe do betão:	C30/37 D12 S3	Data de fabrico:	29/jul/24
Norma	Clas. De Exposição	Abaixamento	
NP EN 206-1	XS1	150 mm	

CONSTITUINTES E COMPOSIÇÃO

Vol. amassadura:	40 Litros	Hora:	Temperatura Ambiente:	°C	H.R:	%
MATERIAL	DESIGNAÇÃO	ORIGEM	FORNECEDOR	Kgs/ m³	Kgs/Amassad.	CORRIGIDA (Kgs)
Cimento	CEM II/A-L 32,5R-Branco	Portugal	SÉCIL	355	14,20	14,20
Areia grossa	Areia lavada	Moamba	Mota-Engil	955	38,20	38,20
Brita	Brita 4/12	Pedreiros JRC	Mota-Engil	805	32,20	32,20
Adjuvante	Sika Viscocrete 1150	Matola	Sika	2,00 l	0,08 l	0,08 l
					0,00	0,00
					0,00	0,00
					0,00	0,00
					0,00	0,00
Água	Água da rede	Rede Pública	FIPAG	195 l	7,80 l	7,80 l
				Densidade Teórica do betão: 2312 Kgs/m³		

RESULTADOS

Referências		Data de ensaio	Idade (Dias)	Secção (mm²)	Massa (Kgs)	ENSAIO DE COMPRESSÃO				Abaixamento (Slump): 110		
Molde NR	Provete NR					Força (KN)	Tensão (MPa)	Rotura		Verdadeiro	Deformado	
						Indiv.	Média	S	NS			
	1	08/jul	1							Deslize		
	2										Mau <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Bom <input checked="" type="checkbox"/>	
	3										Tipo de compactação	
	4	11/jul	3	22500	7701	648,70	28,83	29,71			Vibração <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/>	
	5			22500	7709	662,30	29,44				Tipo de cura	
	6			22500	7759	694,30	30,86				Água <input checked="" type="checkbox"/> Outro <input type="checkbox"/>	
	7	15/jul	7	22500	7961	823,40	36,60	36,26			Temperatura do Betão 22,3 °C	
	8			22500	7606	820,90	36,48				Aspecto do Betão	
	9			22500	7656	803,20	35,70				Mau <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Bom <input checked="" type="checkbox"/>	
	10	20/jul	12	22500	7711	896,90	39,86	40,25				
	11			22500	7621	914,60	40,65					
	12			22500	7558	905,40	40,24					

OBSERVAÇÕES:

O Técnico de Laboratório

O Responsável

A3.2. Ficha do resultado do ensaio laboratorial do betão cinzento C30/37

AMASSADURA LABORATORIAL BETÃO CINZENTO

N.º: EXP. 002/24

Data: 08/jun/24

Local de prod.:	LEM, IP	Projecto:	COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DE CIMENTO
Classe do betão:	C30/37 D12 S4	Data de fabrico:	08/jun/24
Norma	Clas. De Exposição	Abaixamento	
NP EN 206-1	XS1	200 mm	

CONSTITUINTES E COMPOSIÇÃO

Vol. amassadura:	40 Litros	Hora:	Temperatura Ambiente:	°C	H.R.:	%
MATERIAL	DESIGNAÇÃO	ORIGEM	FORNECEDOR	Kgs/ m³	Kgs/Amassad.	CORRIGIDA (Kgs)
Cimento	CEM II/A-L 42,5R- Cinza	Maputo	Cim. De Moçambique	410	16,40	16,40
Areia grossa	Areia lavada	Moamba	Mota-Engil	995	39,80	39,80
Brita	Brita 4/12	Pedreira JRC	Mota-Engil	649	25,96	25,96
Adjuvante	Sika Viscocrete 1150	Matola	Sika	3,85 l	0,15 l	0,15 l
					0,00	0,00
					0,00	0,00
					0,00	0,00
					0,00	0,00
Água	Água da rede	Rede Pública	FIPAG	150 l	6,00 l	6,00 l
				Densidade Teórica do betão: 2207,85 Kgs/m³		

RESULTADOS

Referências		Data de ensaio	Idade (Dias)	Secção (mm²)	Massa (Kgs)	ENSAIO DE COMPRESSÃO				Abaixamento (Slump): 220			
Molde N.º	Provete N.º					Força (KN)	Tensão (MPa)		Rotura		Verdadeiro	Deformado	
						Indiv.	Média	S	NS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	08/jul	1							Deslize			
	2										Mau <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input checked="" type="checkbox"/>
	3										Tipo de compactação		
	4	11/jul	3	22500	7510	522,80	23,24	22,63		Vibração <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/>			
	5			22500	7605	510,70	22,70			Tipo de cura			
	6			22500	7574	494,20	21,96			Água <input checked="" type="checkbox"/> Outro _____			
	7	15/jul	7	22500	7407	778,80	34,61	33,40		Temperatura do Betão 25,5 °C			
	8			22500	7576	758,80	33,72			Aspecto do Betão			
	9			22500	7395	717,00	31,87			Mau <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Bom <input checked="" type="checkbox"/>			
	10	20/jul	12	22500	7600	880,70	39,14	39,64					
	11			22500	7535	914,80	40,66						
	12			22500	7584	880,40	39,13						

OBSERVAÇÕES:

O Técnico de Laboratório

O Responsável

ANEXO IV

Composição e resultados dos ensaios realizados no betão pronto da classe de resistência C40/50

A4.1. Estudo de composição do betão branco da central da Mota-Engil da classe C40/50



RELATÓRIO DE ESTUDO DE COMPOSIÇÃO DE BETÃO 10230 – Tribunal Supremo de Maputo CPB-MACHAVA ECB.BET.204-REV00 | Data: 27Nov.2023

3. MATERIAIS CONSTITUINTES

3.1. CIMENTO

Tipo	Produtor
CEM III/A-L 52,5N (br)	Secil

3.2. ÁGUA

Tipo	Origem
Água de amassadura	Abastecimento público

3.3. AGREGADOS

Agregado	Tipo	Origem
Areia Lavada	Natural 0/4	Moamba
Brita 1	Riolito 6/14	Pedreira da JRC

3.4. ADJUVANTES

Tipo	Designação	Fornecedor
Plastificante/Retardador de presa	Plastiretard	Sika Moçambique
Superplastificante	Sika Viscocrete 1150	Sika Moçambique

MEEC/MD/CEFTP/03/REV1





RELATÓRIO DE ESTUDO DE COMPOSIÇÃO DE BETÃO

10230 – Tribunal Supremo de Maputo
CPB-MACHAVA
ECB.BET.204-REV00 | Data: 27Nov.2023

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DE COMPOSIÇÃO

Quadro 1

n.º	Norma	Classe de Resistência	Cimento ¹	D	Classe de exposição	Classe de cloretos	Classe de Abaixamento	Prescrição
100	NP EN 206-1	C40/50	CEM II/A-L	14	XS1(P)	Cl0,2	S4	a/c≤0,3

Quadro 2

Por m³ de betão:

Mix n.º	CEM II/A-L 52,5N(kg)	Areia 0/4 L (kg)	Brita 6/14 (kg)	Água (L)	Adjuvantes (kg)	
					Plastiretard	Visocrete 1150
100	470	881	843	122	1,2	2,7

Em ensaios industriais realizados de acordo com o Anexo A da NP EN 201, com a utilização das normas de ensaio NP EN 12350-1, NP EN 12350-2, NP EN 12390-2 e NP EN 12390-3, foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 3

Mix n.º	Abaixamento (mm)	Desenvolvimento de resistência ²	Resistência à compressão aos 7 Dias (MPa)	Resistência à compressão aos 28 Dias (MPa)
100	210	Rápido	55,1	-

MEC/MC/CE/FP/028-REV1

¹ De acordo com capítulo 3 de LNEC E 464.

² De acordo com 7.2 (2) e quadro 16 da NP EN 206.

A4.2. Resultado do ensaio de compressão do betão branco da classe C40/50

CONTROLO ESTATÍSTICO DE RESISTÊNCIA BETÃO BRANCO						
C40/50 D22 S4						
DATA	REF. Nº.	Relação 7/28Dias	7 Dias (MPa)	28 Dias (Mpa)	massa 28 dias (g)	Slump (mm)
16/01/2024	207	0,86	53,0	61,9	8020	210
18/01/2024	209	0,89	55,0	61,5	7949	210
23/01/2024	213	0,94	55,1	58,4	7943	180
31/01/2024	221	0,89	56,6	63,4	8023	220
01/02/2024	224	0,94	58,4	61,9	8008	200
02/02/2024	226	0,92	55,7	60,6	7934	230
02/02/2024	230	0,92	53,6	58,0	7921	220
14/02/2024	232	0,87	55,6	64,1	7933	230
15/02/2024	235	0,94	53,1	56,5	7957	210
21/02/2024	8	0,90	51,8	57,7	7917	230
29/02/2024	34	0,90	57,3	63,6	8001	220
01/03/2024	37	0,91	58,8	64,6	7959	220
02/03/2024	41	0,78	46,5	59,4	7912	230
05/03/2024	43	0,91	54,3	60,0	7938	230
16/03/2024	63	0,85	55,6	65,5	7978	180
21/03/2024	79	0,91	53,2	58,7	7825	220
22/03/2024	85	0,84	50,6	59,9	7873	230
27/03/2024	88	0,92	54,8	59,8	7960	220
02/04/2024	96	0,87	55,7	63,8	7912	210
05/04/2024	112	0,85	52,1	61,6	7937	220
10/04/2024	114	0,83	51,3	62,1	7908	220
11/04/2024	118	0,86	53,8	62,7	7976	230
12/04/2024	119	0,82	53,3	65,1	7851	230
18/04/2024	122	0,94	57,4	60,9	7960	220
20/04/2024	137	0,89	58,9	66,0	8008	220
23/04/2024	141	0,90	55,2	61,1	7836	220
25/04/2024	145	0,92	51,3	55,7	7892	190
26/04/2024	149	0,92	52,7	57,2	7827	230
07/05/2024	166	0,88	55,9	63,4	7884	200
07/05/2024	172	0,90	56,1	62,6	8003	220

$f_{ck,28}$	média (28 dias)	SD (30)	$f_{cm,28}$	Média 7/28
50,0 MPa	61,3 MPa	2,7 MPa	54,1 MPa	88,9 %

A4.3. Estudo de composição do betão cinzento da central da Mota-Engil da classe C40/50



RELATÓRIO DE ESTUDO DE COMPOSIÇÃO DE BETÃO

10230 – Tribunal Supremo de Maputo
CPB-MACHAVA
ECB.BET.197-REV01 | Data: 05Jul.2023

3. MATERIAIS CONSTITUINTES

3.1. CIMENTO

Tipo	Produtor
CEM II/A-L 42,5N	Cimentos Dugongo

3.2. CINZAS VOLANTES

Tipo	Produtor
DuraPozz (S type)	Ash Resources – Matla Plant

3.3. ÁGUA

Tipo	Origem
Água de amassadura	Abastecimento público

3.4. AGREGADOS

Agregado	Tipo	Origem
Areia	Natural 0/4	Moamba
Brita 1	Riolito 6/14	Pedreira da JRC
Brita 2	Riolito 14/22	Pedreira da JRC

3.5. ADJUVANTES

Tipo	Designação	Fornecedor
Plastificante	Sika Plastiment 26	Sika Moçambique
Superplastificante	Sika ViscoFlow 1050	Sika Moçambique
Hidrófugo de Massa	Sika Plastocrete 05	Sika Moçambique

MECAN/CEFTP-028-REV1





RELATÓRIO DE ESTUDO DE COMPOSIÇÃO DE BETÃO

**10230 – Tribunal Supremo de Maputo
CPB-MACHAVA**
ECB.BET.197-REV01 | Data: 05Jul.2023

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DE COMPOSIÇÃO

Quadro 1

n.º	Norma	Classe de Resistência	Cimento ¹	D	Classe de exposição	Classe de cloretos	Classe de Abaixamento
3807	NP EN 206-1	C40/50	CEM IV/A-V	14	XS1(P)	CI0,2	S4
3808	NP EN 206-1	C40/50	CEM IV/A-V	22	XS1(P)	CI0,2	S4

Quadro 2

Por m³ de betão:

Mix n.º	CEM III/A-L 42,5N(kg)	Cinzas Volantes (kg)	Areia 0/4 (kg)	Brita 6/14 (kg)	Brita 14/22 (kg)	Água (L)	Adjuvantes (Kg)	
							Plastiment 28	ViscoFlow 1050
3807	375	95	789	851	-	145	-	3,3
3808	365	95	775	432	460	143	-	3,2

No caso de solicitação de adição de hidrófugo (Sika Plastocrete 0,5) a qualquer uma das composições de betão apresentadas, o mesmo será introduzido na dosagem de 0,5% da quantidade de cimento e o n.º de composição será precedido de um nove, como, por exemplo, no caso de adição de hidrófugo na dosagem indicada na composição 3808 a mesma, passa a designar-se 93808.

Em ensaios industriais realizados de acordo com o Anexo A da NP EN 201, com a utilização das normas de ensaio NP EN 12350-1, NP EN 12350-2, NP EN 12390-2 e NP EN 12390-3, foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 3

Mix n.º	Abaixamento (mm)	Desenvolvimento de resistência ²	Resistência à compressão aos 28 Dias (MPa)
3807	180	Médio	58,7
3808	190	Médio	58,3

¹ De acordo com capítulo 3 de LNEC E 464.

² De acordo com 7.2 (2) e quadro 16 da NP EN 206.



A4.4. Resultado do ensaio de compressão do betão cinzento da classe C40/50

DATA	CONTROLO ESTATÍSTICO DE RESISTÊNCIA BETÃO CINZENTO					
	C40/50 D22 S4					
	REF. Nº.	Relação 7/28Dias	7 Dias (MPa)	28 Dias (Mpa)	massa 28 dias (g)	Slump (mm)
23/03/2024	30.120	0,82	40,9	50,1	7905	190
26/03/2024	30.124	0,82	41,6	51,0	7887	180
28/03/2024	30.137	0,82	41,2	50,4	7921	220
01/04/2024	30.140	0,75	38,9	51,7	7985	220
03/04/2024	26	0,80	41,4	51,8	7928	210
11/04/2024	30.143	0,83	45,3	54,4	7901	210
13/04/2024	50	0,76	41,8	54,7	7996	210
18/04/2024	64	0,83	44,6	53,6	7924	170
19/04/2024	82	0,86	46,6	53,9	7836	200
24/04/2024	100	0,77	38,9	50,5	7810	210
25/04/2024	109	0,82	42,5	52,1	7809	220
27/04/2024	156	0,85	47,2	55,7	7920	170
02/05/2024	162	0,77	39,7	51,8	7887	170
04/05/2024	147	0,91	50,2	55,1	7865	220
06/05/2024	149	0,74	43,5	58,6	7942	220
06/05/2024	152	0,72	40,4	55,9	7868	200
07/05/2024	30.160	0,79	42,5	53,7	7911	210
09/05/2024	30.168	0,82	45,6	55,5	7956	200
10/05/2024	30.173	0,89	47,7	53,8	7950	210
11/05/2024	163	0,81	42,9	53,1	7896	180
15/05/2024	182	0,78	39,5	50,8	7896	180
17/05/2024	30.188	0,77	43,6	56,7	7962	230
18/05/2024	30.196	0,77	41,5	53,9	7932	200
20/05/2024	30.201	0,71	40,3	56,8	7902	210
23/05/2024	30.207	0,80	50,2	63,0	7887	220
24/05/2024	30.217	0,85	49,1	58,1	8005	200
30/05/2024	30.236	0,82	45,6	55,3	7893	210
31/05/2024	30.244	0,83	47,3	57,1	7970	220
03/06/2024	30.254	0,79	44,9	56,6	7902	210
07/06/2024	30.262	0,77	44,4	57,5	8001	220

$f_{ck,28}$	média (28 dias)	SD (30)	$f_{cm,28}$	Média 7/28
50,0 MPa	54,4 MPa	2,9 MPa	54,3 MPa	80,2 %

ANEXO V

Tabela da quantidade mínima de cimento para a classe de exposição

Tabela A5. 1: Valores limites para a composição e para as propriedades do betão

	Classes de exposição																		
	Sem risco de corrosão ou ataque	Corrosão induzida por										Ataque pelo gelo/degelo				Ambientes químicos agressivos			
		carbonatação				Cloretos provenientes													
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	da água do mar			doutras origens			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Máxima razão A/C	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Mínima classe de resistência	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Mínima dosagem de cimento (kg/m ³)	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Mínimo teor de ar (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	—	—	—	
Outros requisitos												Agregados conformes com a EN 12620:2002 com suficiente resistência ao gelo/degelo				Cimento resistente aos sulfatos			

^a Se o betão não tiver ar incorporado, o seu desempenho deverá ser avaliado com um método de ensaio apropriado, tendo como referência um betão cuja resistência ao gelo/degelo, para a classe de exposição aplicável, se encontre estabelecida.

^b Quando o SO_4^{2-} conduzir às classes de exposição XA2 e XA3, é essencial utilizar cimento resistente aos sulfatos. Se o cimento estiver classificado quanto à resistência aos sulfatos, deverá ser utilizado cimento de moderada ou elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA2 (e quando aplicável na XA1) e cimento de elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA3.

Fonte: Adaptado de NP EN 206-1

ANEXO VI

Procedimento para estimativa da resistência à compressão aos 28 dias

A.6.1. Procedimento para estimativa da resistência à compressão aos 28 dias

De acordo com a norma NP EN 1992-1-1, para estimar as resistências características dos provetes aos 28 dias, foram seguidos os seguintes passos:

1º Passo – Determinação do coeficiente s que depende da classe de resistência do cimento.

Tabela A6.1: Coeficiente s em função da classe de resistência do cimento

Tipo	s
CEM 42.5R	0,2
CEM 52.5R	0,2
CEM 52.5N	0,2
CEM 32.5R	0,25
CEM 42.5N	0,25
CEM 32.5N	0,38

2º Passo – Determinação do coeficiente β que depende do coeficiente s .

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

Onde:

$\beta_{cc}(t)$ – Coeficiente dependente da idade do betão ensaiado no tempo t ;

s – Coeficiente determinado através da tabela A6.1;

t – Idade do provete ensaiado em dias.

3º Passo – Cálculo da média da resistência à compressão determinada a partir do ensaio à compressão.

$$f_{cm,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$

$f_{cm,j}$ – Tensão média de rotura do betão à compressão em MPa aos j dias de idade;

f_{ci} – Resistência à compressão de cada provete MPa aos j dias de idade.

4º Passo – Cálculo da estimativa da tensão média de rotura aos 28 dias.

$$f_{cm,28} = \frac{f_{cm,j}}{\beta_{cc}(t)}$$

Onde:

$f_{cm,28}$ - Tensão média de rotura em MPa aos 28 dias de idade;

$f_{cm,j}$ – Tensão média de rotura em MPa aos j dias de idade.

5º Passo – Cálculo do desvio padrão

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm,j}}{n - 1} \right)^2}$$

Onde:

δ – Desvio padrão em MPa;

f_{ci} – Resistência à compressão de cada provete na idade de t dias em MPa;

$f_{cm,j}$ – Tensão média de rotura na idade de t dias em MPa;

n – Número total de provetes ensaiados.

6º Passo – Cálculo da Resistência Característica:

$$f_{ck,28} = (1 - 1.64\delta) \times f_{cm,28}$$

$f_{ck,28}$ – Resistência característica aos 28 dias em MPa.