

Nº 179365

A análise petrográfica como ferramenta fundamental na construção civil

Priscila Rodrigues Melo Leal

*Trabalho apresentada no
CONGRESSO BRASILEIRO D
CONCRETO, 65., 2024, Alagoas.
Palestra... 14 p*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**



A análise petrográfica como ferramenta fundamental na construção civil

Petrographic analysis of concrete plays a crucial role in engineering

Leal, Priscila Rodrigues Melo

Pesquisadora, MSc, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

Av. Profº Almeida Prado, 532 - Área de Habitação e Edificações, Prédio 59 - T. CEP 05508-901. São Paulo - SP. prileal@ipt.br

Resumo

A análise petrográfica do concreto é fundamental na engenharia, fornecendo uma compreensão científica do concreto e materiais relacionados, suas composições e propriedades. As técnicas petrográficas, incluindo o uso de microscópios ópticos polarizados e eletrônicos de varredura, permitem examinar o concreto em níveis microscópicos, revelando características mineralógicas e microestruturais. Essas técnicas são essenciais para avaliar o comportamento físico-mecânico do concreto e materiais relacionados, bem como prever seu desempenho futuro. Além disso, a análise petrográfica fornece informações forenses vitais sobre as causas e mecanismos de degradação e danos no concreto e materiais relacionados. No entanto, nota-se que a abordagem das análises microscópicas de concreto no Brasil, principalmente para a determinação de patologias em concreto, se concentra apenas nas reações expansivas, o que de fato não constitui a maioria das patologias que podem ocorrer no concreto endurecido, tampouco resumem-se às reações expansivas os problemas que podem ser detectados pela análise petrográfica. Dentre as causas para este desvio nota-se a escassez de normativas nacionais cuja abordagem investigativa contemple a integralidade das características microscópicas do material concreto. As normas brasileiras de petrografia ou microscopia estão concentradas nos materiais rochosos, desta forma se faz necessária a criação de uma norma que contemple todos os aspectos do concreto endurecido, utilizando o máximo da potencialidade da microscopia óptica e eletrônica.

Palavra-Chave: microscopia, petrografia, patologia, durabilidade, análise

Abstract

The petrographic analysis of concrete is essential in engineering, providing a scientific understanding of concrete and related materials, their composition, and properties. Petrographic techniques, including the use of polarized optical microscopes and scanning electron microscopes, allow for the examination of concrete at microscopic level, revealing mineralogical and microstructural characteristics. These techniques are crucial for assessing the physical and mechanical behavior of concrete and related materials, as well as predicting their future performance. Additionally, petrographic analysis provides vital forensic information on the causes and mechanisms of degradation and damage in concrete and related materials. However, it is noted that the approach to microscopic analyses of concrete in Brazil, mainly for the determination of pathologies in concrete, focuses only on expansive reactions, which in fact do not constitute the majority of pathologies that can occur in hardened concrete, nor are expansive reactions the only problems that can be detected microscopy, petrography, pathology, durability, analysis by petrographic analysis. Among the reasons for this deviation is the scarcity of national regulations whose investigative approach contemplates the entirety of the microscopic characteristics of concrete material. Brazilian standards for petrography or microscopy are concentrated on rocky materials, thus making it necessary to create a standard that contemplates all aspects of hardened concrete, using the full potential of optical and electronic microscopy.

Keywords: microscopy, petrography, pathology, durability, analysis



1 Introdução

A petrografia ou análise petrográfica de concreto, argamassa e materiais de construção civil pode ser realizada em uma série de estágios inter-relacionados de complexidade crescente. A extensão de qualquer investigação desse tipo dependerá da natureza e dos pormenores das informações requeridas, ou seja, cada petrografia é uma investigação única, com foco em um problema levantado, geralmente, durante inspeção em obra.

Os autores Poole e Sims (2014) propuseram 5 etapas para a investigação:

Etapa 1: inspeção da estrutura de concreto ou do processo de fabricação.

Etapa 2: A inspeção visual por um petrógrafo competente, auxiliada por ferramentas como uma lupa de mão, microscópio binocular e testes físicos simples.

Etapa 3: Microscopia óptica para a identificação definitiva de minerais e materiais finos, envolvendo amostragem e preparação adequadas, difratometria de raios X para a identificação exploratória do conjunto de fases cristalinas e microscopia eletrônica auxiliar para a observação de fases menores que a escala do microscópio óptico e para confirmação microanalítica de fases, quando necessário.

Etapa 4: Para análise quantitativa, é necessário resolver questões de amostragem representativa e o uso de equipamentos especializados. Vários métodos estão disponíveis para análise quantitativa ou modal, variando desde a classificação granulométrica de amostras de agregados até a análise de imagem controlada por software.

Etapa 5: Investigações mais complexas, como análise forense de falha de concreto ou confirmação de aditivos químicos específicos, requerem consideração da abordagem e do tipo de equipamento usado.

A Figura 1 apresenta esquema que resume as etapas para a análise petrográfica.

INVESTIGAÇÃO EM OBRA

Permite identificar e registrar os tipos de materiais do concreto, composição e qualidade geral, e quaisquer características de deterioração visíveis na estrutura



ASPECTOS VISUAIS EM LABORATÓRIO

Identifica os principais minerais nos agregados, concretos, argamassas e materiais relacionados, juntamente com quaisquer características de deterioração visíveis em macro e mesoescala

IDENTIFICAÇÕES CONFIRMATÓRIAS

Identificações definitivas de componentes minerais específicos de agregados, fração argamassa do concreto e outros materiais relacionados

ANÁLISE QUANTITATIVA

Determinações quantitativas, estatísticas dos tamanhos, volumes e proporções de vazios, tipos e proporções de agregados, proporções de clínquer, cinzas volantes, escórias, misturas e componentes similares



INVESTIGAÇÕES LABORATORIAIS DETALHADAS

Investigação detalhada de fases e características específicas do arranjo microestrutural, interações minerais, composição, deterioração e falhas

Figura 1 – Diagrama esquemático com os estágios de complexidade da investigação petrográfica.



Segundo Poole e Sims (2014) a análise petrográfica por microscopia óptica é a técnica mais utilizada na caracterização de agregados, em adições e substituições ao cimento Portland, concretos e argamassas endurecidas, bem como a mais indicada e utilizada na investigação de possíveis causas de deterioração. Por se tratar de uma observação direta do material em microescala, é uma técnica bastante precisa, porém com baixa representatividade, o que requer especial atenção durante a amostragem e coleta da maior quantidade de informações anteriores ao envio do material para o laboratório. As Figuras 2 e 3 apresentam resumo da definição de petrografia com aplicação em materiais para a construção civil.

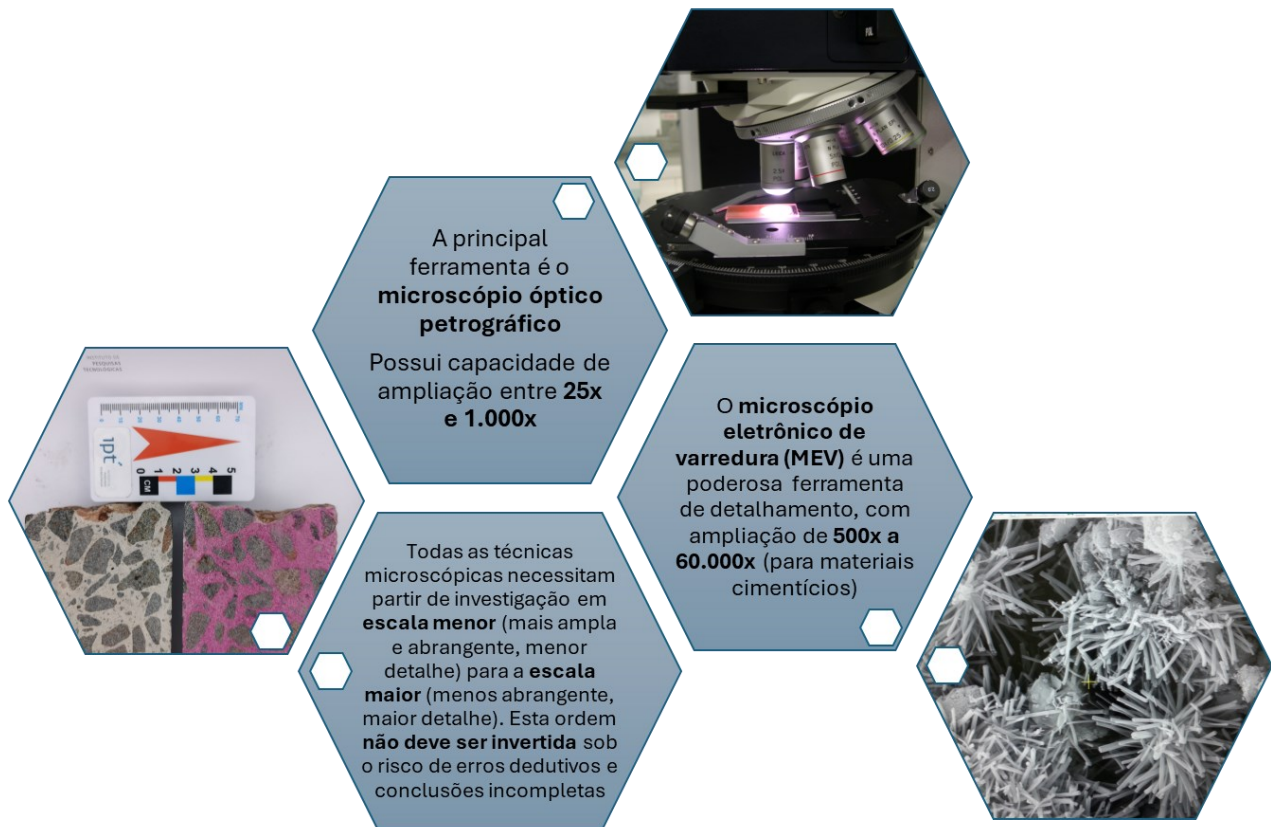


Figura 2 – Quadro resumo da definição de análise petrográfica aplicada a construção civil.

As informações obtidas por meio da análise petrográfica cobrem aspectos mineralógicos, tais como a composição mineral dos agregados, que permite a classificação geológica (litologia), a composição das fases do ligante, que remetem ao tipo de cimento, adições e substituições minerais, pigmentos, fases hidratadas e anidras. Estes aspectos relacionam-se com as reações químicas que ocorrem em concretos e argamassas, como as reações de hidratação, a reatividade das adições e substituições ao cimento Portland e a identificação de reações indesejadas, como é o caso das reações expansivas RAS e DEF. Todos os aspectos composicionais identificáveis pela via petrográfica possuem uma textura (organização e morfologia interna e externa de um cristal ou de grãos), e uma relação com os outros componentes do sistema, à esta relação dá-se o nome de arranjo, como por exemplo, a relação de aderência entre o agregado e o ligante cimentício. Este arranjo físico, em escala microscópica, onde se inter-relacionam os componentes dos materiais, suas texturas e seus espaços vazios chamamos de microestrutura. É a partir da correlação destes aspectos, integrando as escalas de observação que se compões a análise petrográfica.

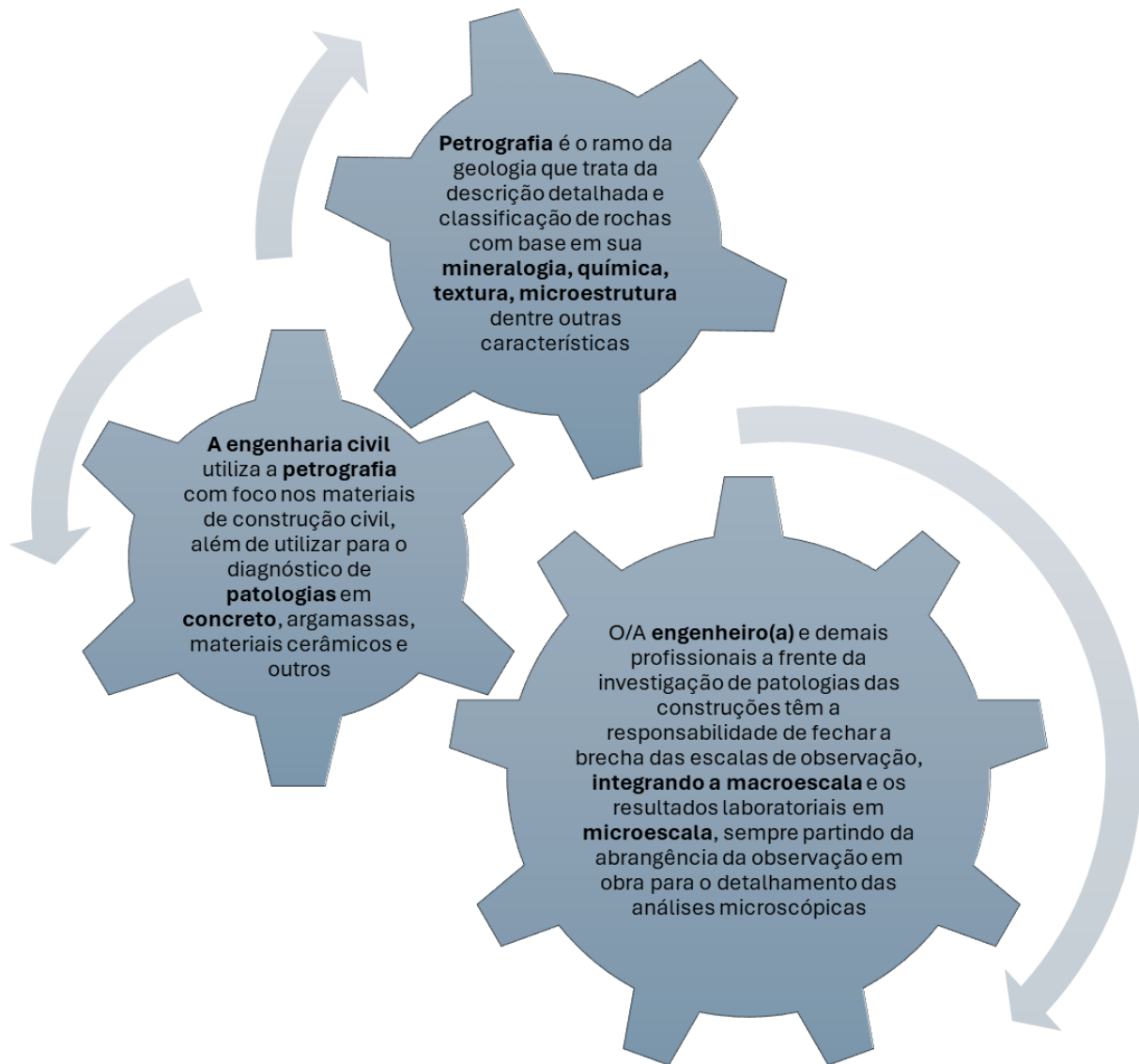


Figura 3 – Quadro resumo da definição de análise petrográfica aplicada a construção civil.

A Figura 4(a – d) resume as aplicações analíticas mais comumente utilizadas na análise de materiais de construção civil e seu grau de eficiência para cada aplicação, seja em materiais utilizados em concreto antes da mistura, em seu estado “puro”, seja em concreto endurecido e suas manifestações patológicas, de acordo com Poole e Sims (2014).



		Inspeção em obra	Inspeção em laboratório	Seções polidas	Mic. de luz transmitida	Mic. de luz refletida	Mic. de fluorescência	Coloração seletiva	MEV/EDS
Agregados para concreto	Agregado graúdo	13	12	A2M	P1			A1	
	Agregado miúdo	13	13	A2	P1M			A1	
	Agregado graúdo reciclado	12	12	A2M	P1		A1		
	Agregado graúdo artificial	12	11	A2M	P1		A1		
	Agregado graúdo expandido	12	11	A2M	P1		A1		
	Fillers	14	11	A4	P1	A1		A1	A1M
Materiais cimentícios anidros	Clínquer não moído	13	13		A2	P1		A1	P1
	Cimento Portland	14	13		A2	P1		A1	P1
	Cimentos especiais	14	13		A2	A2			P1
	Cimentos alto alumínio (C ₃ A)	14	13		P1	P1			P1
	Cimentos não-Portland	13	13		P2			A1	P1
Adições e substitutos do cimento (não hidratados)	Escória de alto forno	14	13		P1	A1			A1
	Cinza volante	14	13		P1	A1			A1
	Pozzolanas naturais	14	13		P1	A1			A1
	Sílica ativa		14		P2	A2			P1
	Aditivos químicos				A4				A2

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
 2 – Boa, abrangente;
 3 – Moderada, parcial;
 4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4a – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		DRX	FTIR	ATG/ATD	Análises químicas	Ensaio físico-mecânicos	Análise modal
Agregados para concreto	Agregado graúdo					P2M	M
	Agregado miúdo					P2M	M
	Agregado graúdo reciclado	A2				P1M	M
	Agregado graúdo artificial	A2				P1M	M
	Agregado graúdo expandido					P1M	M
	Fillers	A1M	A1		A1	P1M	M
Materiais cimentícios anidros	Clínquer não moído						
	Cimento Portland	A2		A2	A1		
	Cimentos especiais	A1	A1	A1	A1		
	Cimentos alto alumínio (C ₃ A)	A2		A1	A1		
	Cimentos não-Portland	A1	A1		A1		
Adições e substitutos do cimento (não hidratados)	Escória de alto forno	A1			A1		
	Cinza volante						
	Pozzolanas naturais						
	Sílica ativa						
	Aditivos químicos					P1	

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
 2 – Boa, abrangente;
 3 – Moderada, parcial;
 4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4b – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		Inspecção em obra	Inspecção em laboratório	Seções polidas	Mic. de luz transmitida	Mic. de luz refletida	Mic. de fluorescência	Coloração seletiva
Concretos e argamassas endurecidas	Tipos de cimento (hidratados)	I4	I3		P2M			A1
	Tipos de agregado	I3	I2	P1M	P1M			A2
	Bolhas de ar	I3	I2	P1M	P1M		A1	
	Arranjo/textura	I4	I3	P2	P1		A2	
	Adição - Cinza volante	I4	I3	A2	P1		A1M	
	Adição – Escória de alto forno	I4	I3	A2	P1		A1M	
	Razão água/cimento	I4	I3	I3	P1		P1	
	Pozzolanas naturais	I4	I4		P1			
	Adição – sílica ativa	I4	I4		P1			
	Aditivos químicos	I4	I4		A3			
	Traço	I4	I3	P2M	P1M		A1	
Causas possíveis de deterioração	Ataque químico	I2	I2	A3	P1			
	DEF	I4	I4	I3	P1			
	Retração de agregado	I4	I4	I3	P1			
	Ataque salino	I2	I2	A3	P1			
	Carbonatação	I2	I1	A1	P1			P1
	Corrosão de armadura	I1	I1		P2		A1	
	Ataque sulfático	I2	I2	A2	P1		A1	
	RAA	I2	I1	A1	P1			A2
	Danos causados pelo gelo	I2	I2	P1	A1	P1	A1	
	Danos causados pelo fogo	I2	I2	I2	P1		A1	
Falhas de execução	I2	I2	P1	P1		A1		

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
2 – Boa, abrangente;
3 – Moderada, parcial;
4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4c – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		DRX	FTIR	ATG/ATD	Análises químicas	Ensaio físico-mecânicos	Análise modal
Concretos e argamassas endurecidas	Tipos de cimento (hidratados)	A2	A2	A2	A2M		M
	Tipos de agregado		A1				M
	Bolhas de ar						M
	Arranjo/textura						
	Adição - Cinza volante						
	Adição - Escória de alto forno						
	Razão água/cimento				P3		
	Pozzolanas naturais						
	Adição - sílica ativa						
	Aditivos químicos		A2		A2		
	Traço				A3		M
Causas possíveis de deterioração	Ataque químico	A3					
	DEF	A2					
	Retração de agregado						
	Ataque salino	A2			A1		
	Carbonatação			A2			
	Corrosão de armadura				A3		
	Ataque sulfático	A2			A2		
	RAA						
	Danos causados pelo gelo						
	Danos causados pelo fogo						
	Falhas de execução				A2		

LEGENDA:

- I:** Método inicial/tentativo/identificação parcial;
- P:** Principal método de identificação;
- A:** Método alternativo/complementar;
- M:** Método quantitativo possível/análise modal possível.

- 1 – Excelente, definitiva;
- 2 – Boa, abrangente;
- 3 – Moderada, parcial;
- 4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4d – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



2 Escopo da análise petrográfica

2.1 Diferenças composicionais e texturais em concreto endurecido

O cimento Portland é composto principalmente por silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), aluminatos de cálcio (C_3A) e ferroaluminatos de cálcio (C_4AF), estes componentes podem ser identificados e sua proporção quantificada por microscopia óptica e análise química. Partículas residuais de cimento não hidratado no concreto permitem a diferenciação, na microscopia óptica, entre cimentos Portland comuns e cimentos especiais como cimento branco ou adições e substituições, como a escória de alto forno, pela ausência da fase ferrita (Fotomicrografias nas Figuras 5, 6 e 8).

É possível determinar o grau de hidratação das partículas cimentícias pela observação direta de desenvolvimento de halos de hidratação, bem como pela abundância de partículas anidras no ligante de concreto endurecido (Figuras 7 e 8). A técnica microscópica também permite observar misturas de tipos diferentes de ligantes, como comumente ocorrem em argamassas mistas de cal e cimento (Figura 9).

Os agregados são os componentes mais comumente analisados por análise petrográfica, sendo vasta as características a serem descritas, com amplo domínio da geologia neste campo. Para o concreto importa determinar suas características texturais de esfericidade e arredondamento e se sua composição pode ser potencialmente reativa para geração de gel de álcali-silica (reação álcali-silica – RAS), além de verificar a aderência com a o ligante (Figuras 10 a 12), grau de empacotamento e homogeneidade de distribuição espacial (Figura 13) e granulométrica. Na análise petrográfica, além da determinação dos aspectos citados, é possível a quantificação dos componentes do concreto, determinando seu traço (Figura 15).

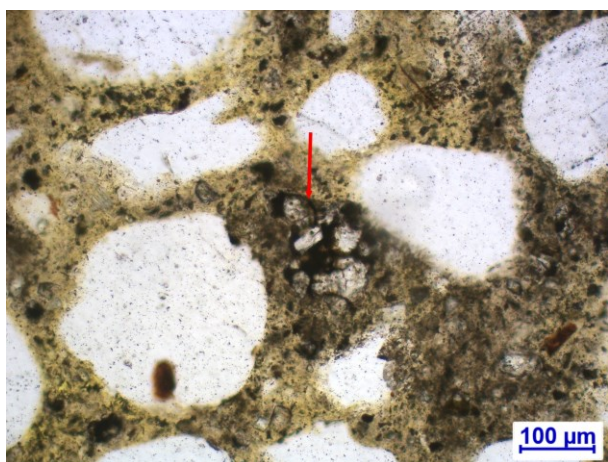


Figura 5 – a seta vermelha indica partícula de cimento anidro composta por C_3S em fase intersticial de ferrita escura (C_4AF), em ligante cimentício de concreto endurecido. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

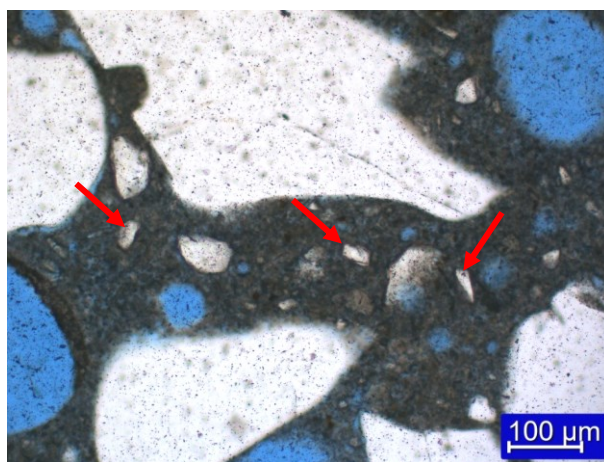


Figura 6 – As setas vermelhas indicam partículas de escória anidra de alto forno em ligante cimentício de concreto endurecido. Notar a ausência de ferrita e morfologia angulosa característica. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

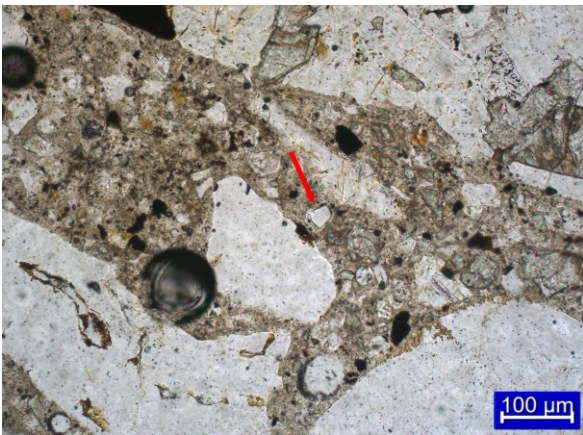


Figura 7 – A seta vermelha indica partícula de silicato cimento com halo delgado de hidratação, em ligante cimentício de concreto endurecido. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

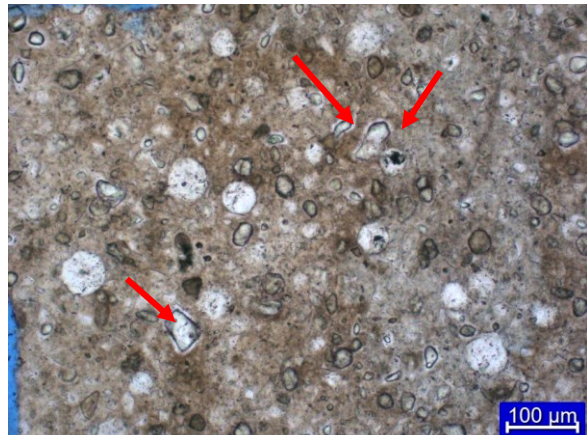


Figura 8 – As setas vermelhas indicam partículas de silicatos com halo delgado de hidratação, em ligante de argamassa de cimento branco. Notar a ausência de ferrita. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

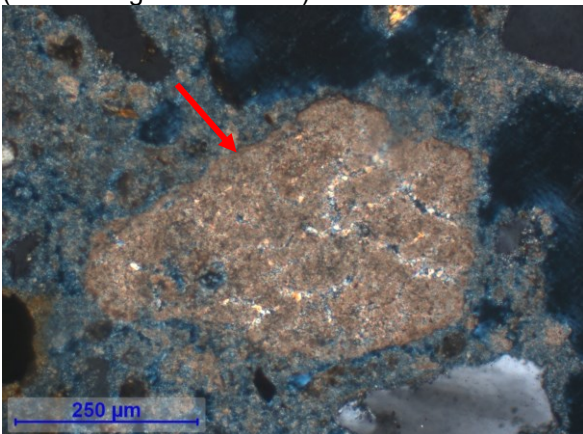


Figura 9 – A seta vermelha indica partícula cal mal calcinada em argamassa à base de cal e cimento. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

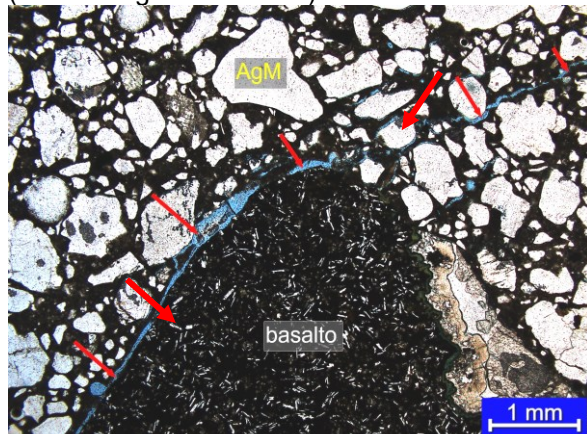


Figura 10 – As setas vermelhas indicam microfissura comprometendo a aderência de agregado grão (basalto) e ligante. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)



Figura 11 – As setas vermelhas e verdes indicam calcedônia e zeólita, dois minerais potencialmente reativos para RAS. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

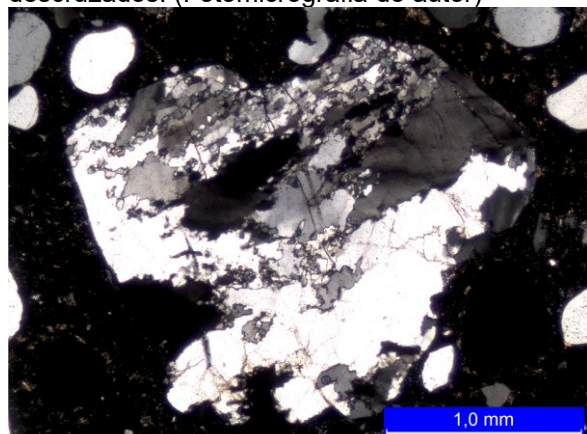


Figura 12 – No centro grão de agregado miúdo com textura *mortor* onde o quartzo é intensamente deformado e transformado em subgrãos muito finos (microgranular). Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)



2.2 Vazios

Os vazios no concreto podem estar associados à incorporação (proposital) ou aprisionamento (acidental) de ar, sendo estes expressos por formas geralmente arredondadas. Vazios de ar aprisionado são irregulares e maiores que 1 mm (Figura 13), normalmente indesejáveis, já os vazios de ar incorporado são esféricos, entre 10 μm e 1 mm (Figura 14), desejáveis e podem promover melhora na durabilidade do concreto. Outros tipos de vazios estão ligados à quantidade de água livre (microporosidade) e fatores atrelados a patologias, como fissuras e microfissuras. Na análise petrográfica é possível determinar a quantidade de microporosidade capilar ($> 0,05 \mu\text{m}$) relacionada à água livre com a aplicação de resina fluorescente por impregnação à vácuo nas amostras, e incidência de luz UV acoplada ao microscópio óptico (Figura 15).

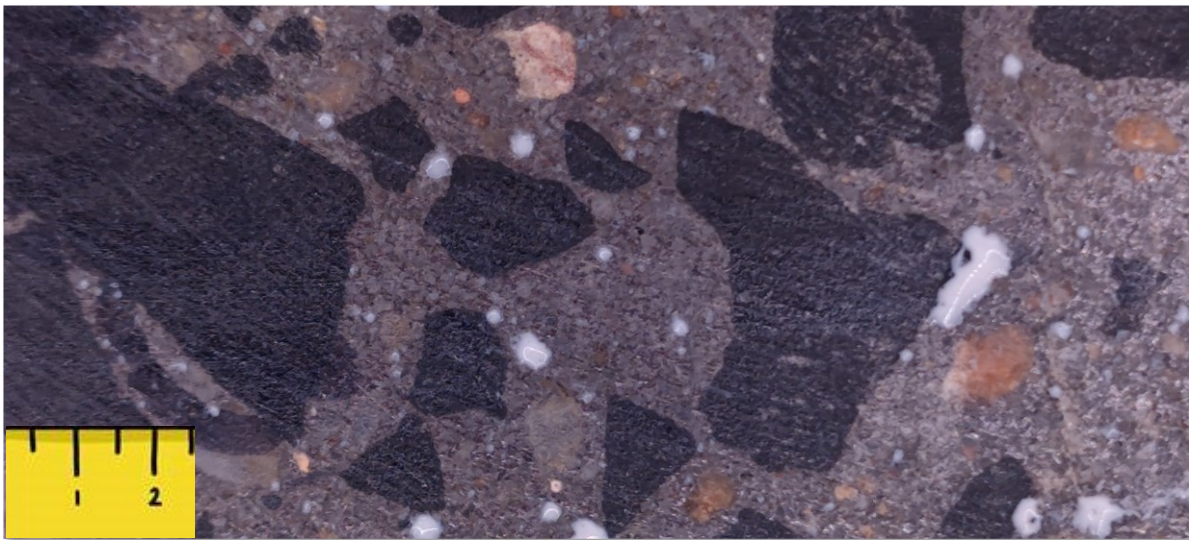


Figura 13 – Bolhas de ar aprisionado (em branco) em seção de testemunho de concreto mal compactado. Notar distribuição heterogênea de agregado graúdo. Escala em centímetros. Foto do autor.

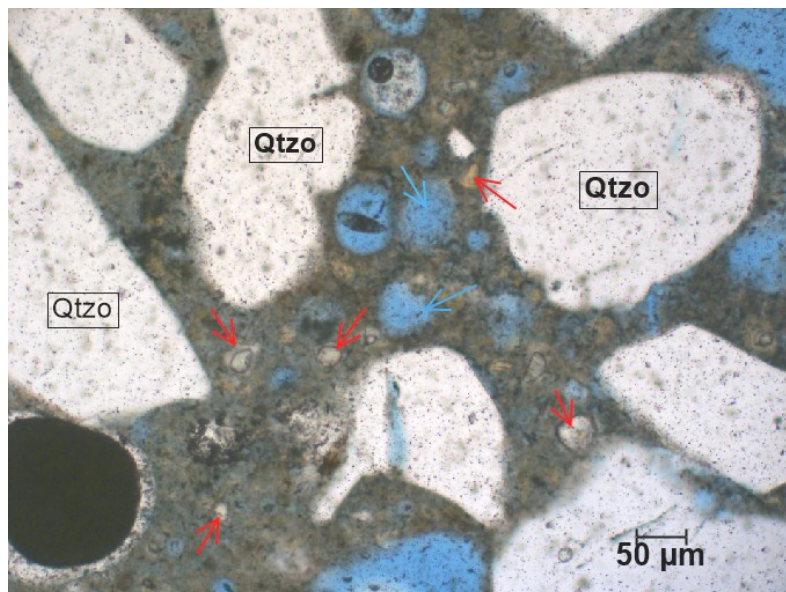


Figura 14 – Em azul bolhas de ar incorporado em argamassa. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. Qtzo:= quartzo. (Fotomicrografia do autor)

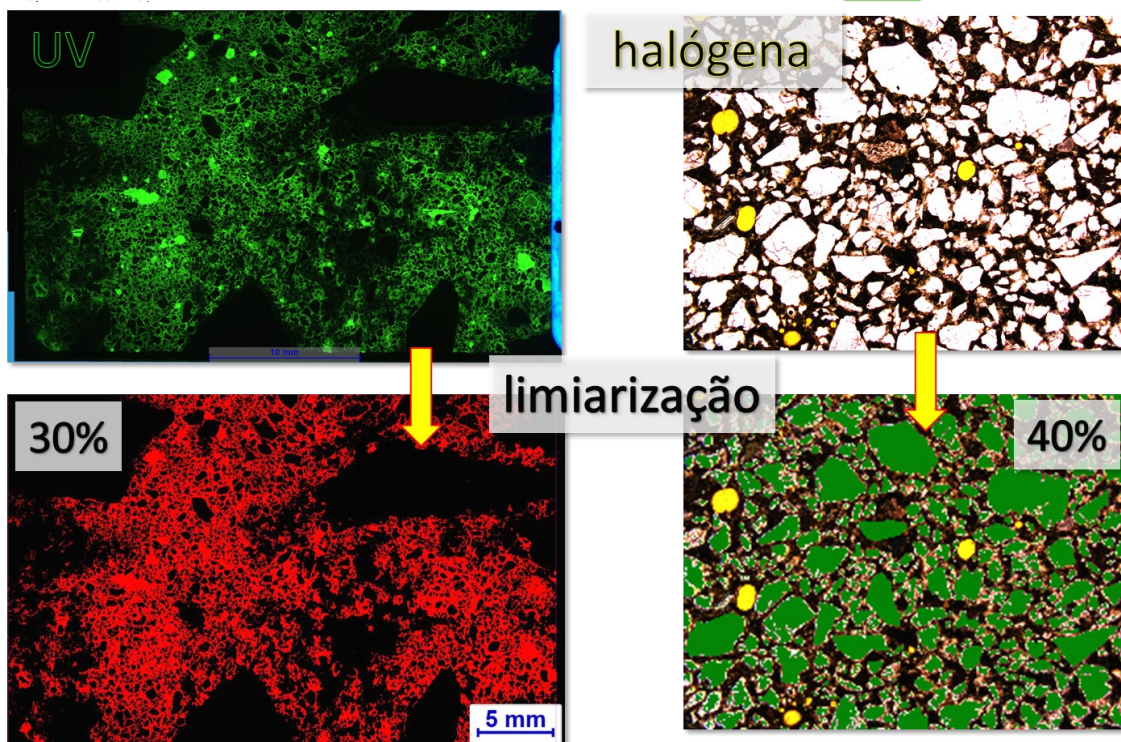


Figura 15 – Exemplo de quantificação em área (extrapolável para volume) por análise de imagens sob microscópio óptico. À esquerda, quantificação de vazios, incluindo a microporosidade utilizando a luz UV. À direita quantificação de grãos de agregado miúdo. (Fotomicrografias do autor).

As microfissuras são espacialmente importantes na análise petrográfica por expressar patologias de pressão de expansão interna (reações expansivas tipo DEF¹ e RAA²), cisalhamento, compressão, retração entre outros. Sob o microscópio óptico é possível determinar a composição de material de preenchimento destas microfissuras (Figuras 16 e 17).

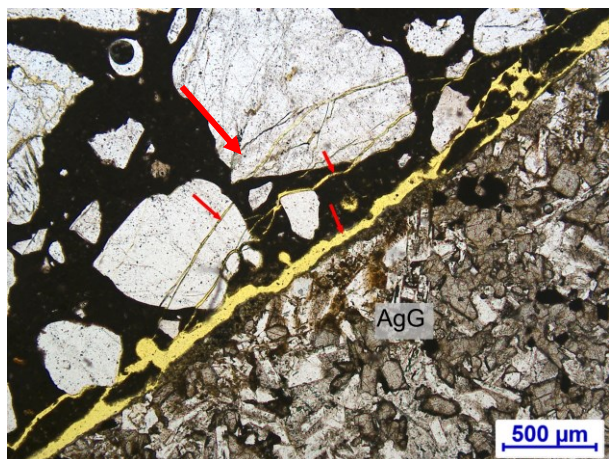


Figura 16 – As setas vermelhas indicam microfissuras na interface pasta-agregado. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)



Figura 17 – As setas vermelhas indicam microfissuras na interface pasta-agregado preenchidas por gel de reação álcali-silica (RAS). Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

¹ Sigla em inglês para formação de etringita tardia.

² Reação álcali agregado



3 Normatização das análises petrográficas

A abordagem das análises microscópicas de concreto no Brasil, principalmente para a determinação de patologias em concreto, se concentra apenas nas reações expansivas, o que de fato não constitui a maioria das patologias que podem ocorrer no concreto endurecido, tampouco resumem-se às reações expansivas os problemas que podem ser detectados pela análise petrográfica. Dentre as causas para este desvio nota-se a escassez de normativas nacionais cuja abordagem investigativa contemple a integralidade das características microscópicas do material concreto, colocadas de forma muito sucinta neste texto. As normas brasileiras de petrografia ou microscopia para aplicação em concreto estão concentradas nos materiais rochosos (potencialidade para RAA, ABNT NBR 15577-3 ou NBR 7389 partes 1 e 2) ou na análise do clínquer. As normativas nacionais contemplam de forma eficaz todas as características da rocha para as boas práticas de seleção e aplicação da rocha ao concreto, porém não é abrangente o suficiente para a determinação das causas de patologias em concreto, dado que estas não se restringem às reações expansivas, e nem se circunscrevem às vizinhanças dos agregados. Existem normas de petrografia internacionais que contemplam, de forma mais abrangente, as patologias de concreto, sendo a mais tradicional e revisada a ASTM C856 cuja primeira edição data de 1995 e sua última de 2020, perfazendo um total de 10 revisões ao longo de 25 anos.

A Tabela 1 sintetiza o escopo das normas citadas, onde nota-se as características e aplicações distintas deste arcabouço normativo de análise petrográfica.

Tabela 1 – Síntese comparativa entre as normas ABNT NBR de análise petrográfica de agregados e ASTM de análise petrográfica de concreto.

NORMA	TÍTULO	MATERIAL A ANALISAR	REULTADO/OBJETIVO DA ANÁLISE
ABNT NBR 7389 parte 1	Agregados- Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 1: Agregado miúdo	Areia (natural ou artificial)	Identifica e quantifica grãos deletérios, potencialmente deletérios, friáveis e inócuos, para uso como agregado
ABNT NBR 7389 parte 2	Agregados- Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 2: Agregado graúdo	Rocha Britada ou não	Identifica e quantifica os minerais presentes na rocha e quartzo microgranular, identifica os minerais e texturas potencialmente reativas para RAA
ABNT NBR 15577 parte 1	Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto	Rocha Britada ou não	Identifica e quantifica os minerais presentes na rocha, identifica os minerais e texturas potencialmente reativos para RAA e classifica em relação à sua potencialidade
ASTM C856	<i>Standard practice for petrographic examination of hardened concrete</i>	Testemunho de concreto extraído	Consiste na descrição macro e microscópica, identificação da mineralogia e litologia dos agregados, relação dos agregados com o ligante, descrição da composição do ligante, descrição e quantificação dos vazios presentes maiores que capilares grandes (>0,05 micrometros), proporção entre agregado-ligante-vazios, identificação de patologias diversas, incluindo as reações expansivas



4 Conclusão

A análise petrográfica combina precisão da observação direta de uma amostra, em progressão escalar sucessiva (mais abrangente ao mais detalhado), agrupando a multidisciplinaridade entre o engenheiro na obra e o analista no laboratório (geólogo, engenheiro ou químico), perfaz o principal método analítico para os principais materiais utilizados na construção civil e, apesar das técnicas microscópicas datarem do século 19, a petrografia avança agregado as inovações tecnológicas do mundo digital, aumentando sua eficiência. Desta forma se faz necessária a criação de uma norma que contemple todos os aspectos do concreto endurecido, utilizando o máximo da potencialidade das microscopias óptica e eletrônica.

Referências

POOLE, Alan B.; SIMS, Ian. Concrete petrography. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do cimento. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7389-1: Agregados - Análise petrográfica - Parte 1: Determinação da composição petrográfica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7389-2: Agregados - Análise petrográfica - Parte 2: Identificação petrográfica. Rio de Janeiro, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C856: Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, 2020.



A análise petrográfica como ferramenta fundamental na construção civil

Petrographic analysis of concrete plays a crucial role in engineering

Leal, Priscila Rodrigues Melo

Pesquisadora, MSc, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

Av. Profº Almeida Prado, 532 - Área de Habitação e Edificações, Prédio 59 - T. CEP 05508-901. São Paulo - SP. prileal@ipt.br

Resumo

A análise petrográfica do concreto é fundamental na engenharia, fornecendo uma compreensão científica do concreto e materiais relacionados, suas composições e propriedades. As técnicas petrográficas, incluindo o uso de microscópios ópticos polarizados e eletrônicos de varredura, permitem examinar o concreto em níveis microscópicos, revelando características mineralógicas e microestruturais. Essas técnicas são essenciais para avaliar o comportamento físico-mecânico do concreto e materiais relacionados, bem como prever seu desempenho futuro. Além disso, a análise petrográfica fornece informações forenses vitais sobre as causas e mecanismos de degradação e danos no concreto e materiais relacionados. No entanto, nota-se que a abordagem das análises microscópicas de concreto no Brasil, principalmente para a determinação de patologias em concreto, se concentra apenas nas reações expansivas, o que de fato não constitui a maioria das patologias que podem ocorrer no concreto endurecido, tampouco resumem-se às reações expansivas os problemas que podem ser detectados pela análise petrográfica. Dentre as causas para este desvio nota-se a escassez de normativas nacionais cuja abordagem investigativa contemple a integralidade das características microscópicas do material concreto. As normas brasileiras de petrografia ou microscopia estão concentradas nos materiais rochosos, desta forma se faz necessária a criação de uma norma que contemple todos os aspectos do concreto endurecido, utilizando o máximo da potencialidade da microscopia óptica e eletrônica.

Palavra-Chave: microscopia, petrografia, patologia, durabilidade, análise

Abstract

The petrographic analysis of concrete is essential in engineering, providing a scientific understanding of concrete and related materials, their composition, and properties. Petrographic techniques, including the use of polarized optical microscopes and scanning electron microscopes, allow for the examination of concrete at microscopic level, revealing mineralogical and microstructural characteristics. These techniques are crucial for assessing the physical and mechanical behavior of concrete and related materials, as well as predicting their future performance. Additionally, petrographic analysis provides vital forensic information on the causes and mechanisms of degradation and damage in concrete and related materials. However, it is noted that the approach to microscopic analyses of concrete in Brazil, mainly for the determination of pathologies in concrete, focuses only on expansive reactions, which in fact do not constitute the majority of pathologies that can occur in hardened concrete, nor are expansive reactions the only problems that can be detected microscopy, petrography, pathology, durability, analysis by petrographic analysis. Among the reasons for this deviation is the scarcity of national regulations whose investigative approach contemplates the entirety of the microscopic characteristics of concrete material. Brazilian standards for petrography or microscopy are concentrated on rocky materials, thus making it necessary to create a standard that contemplates all aspects of hardened concrete, using the full potential of optical and electronic microscopy.

Keywords: microscopy, petrography, pathology, durability, analysis



1 Introdução

A petrografia ou análise petrográfica de concreto, argamassa e materiais de construção civil pode ser realizada em uma série de estágios inter-relacionados de complexidade crescente. A extensão de qualquer investigação desse tipo dependerá da natureza e dos pormenores das informações requeridas, ou seja, cada petrografia é uma investigação única, com foco em um problema levantado, geralmente, durante inspeção em obra.

Os autores Poole e Sims (2014) propuseram 5 etapas para a investigação:

Etapa 1: inspeção da estrutura de concreto ou do processo de fabricação.

Etapa 2: A inspeção visual por um petrógrafo competente, auxiliada por ferramentas como uma lupa de mão, microscópio binocular e testes físicos simples.

Etapa 3: Microscopia óptica para a identificação definitiva de minerais e materiais finos, envolvendo amostragem e preparação adequadas, difratometria de raios X para a identificação exploratória do conjunto de fases cristalinas e microscopia eletrônica auxiliar para a observação de fases menores que a escala do microscópio óptico e para confirmação microanalítica de fases, quando necessário.

Etapa 4: Para análise quantitativa, é necessário resolver questões de amostragem representativa e o uso de equipamentos especializados. Vários métodos estão disponíveis para análise quantitativa ou modal, variando desde a classificação granulométrica de amostras de agregados até a análise de imagem controlada por software.

Etapa 5: Investigações mais complexas, como análise forense de falha de concreto ou confirmação de aditivos químicos específicos, requerem consideração da abordagem e do tipo de equipamento usado.

A Figura 1 apresenta esquema que resume as etapas para a análise petrográfica.

INVESTIGAÇÃO EM OBRA

Permite identificar e registrar os tipos de materiais do concreto, composição e qualidade geral, e quaisquer características de deterioração visíveis na estrutura



ASPECTOS VISUAIS EM LABORATÓRIO

Identifica os principais minerais nos agregados, concretos, argamassas e materiais relacionados, juntamente com quaisquer características de deterioração visíveis em macro e mesoescala

IDENTIFICAÇÕES CONFIRMATÓRIAS

Identificações definitivas de componentes minerais específicos de agregados, fração argamassa do concreto e outros materiais relacionados

ANÁLISE QUANTITATIVA

Determinações quantitativas, estatísticas dos tamanhos, volumes e proporções de vazios, tipos e proporções de agregados, proporções de clínquer, cinzas volantes, escórias, misturas e componentes similares



INVESTIGAÇÕES LABORATORIAIS DETALHADAS

Investigação detalhada de fases e características específicas do arranjo microestrutural, interações minerais, composição, deterioração e falhas

Figura 1 – Diagrama esquemático com os estágios de complexidade da investigação petrográfica.



Segundo Poole e Sims (2014) a análise petrográfica por microscopia óptica é a técnica mais utilizada na caracterização de agregados, em adições e substituições ao cimento Portland, concretos e argamassas endurecidas, bem como a mais indicada e utilizada na investigação de possíveis causas de deterioração. Por se tratar de uma observação direta do material em microescala, é uma técnica bastante precisa, porém com baixa representatividade, o que requer especial atenção durante a amostragem e coleta da maior quantidade de informações anteriores ao envio do material para o laboratório. As Figuras 2 e 3 apresentam resumo da definição de petrografia com aplicação em materiais para a construção civil.

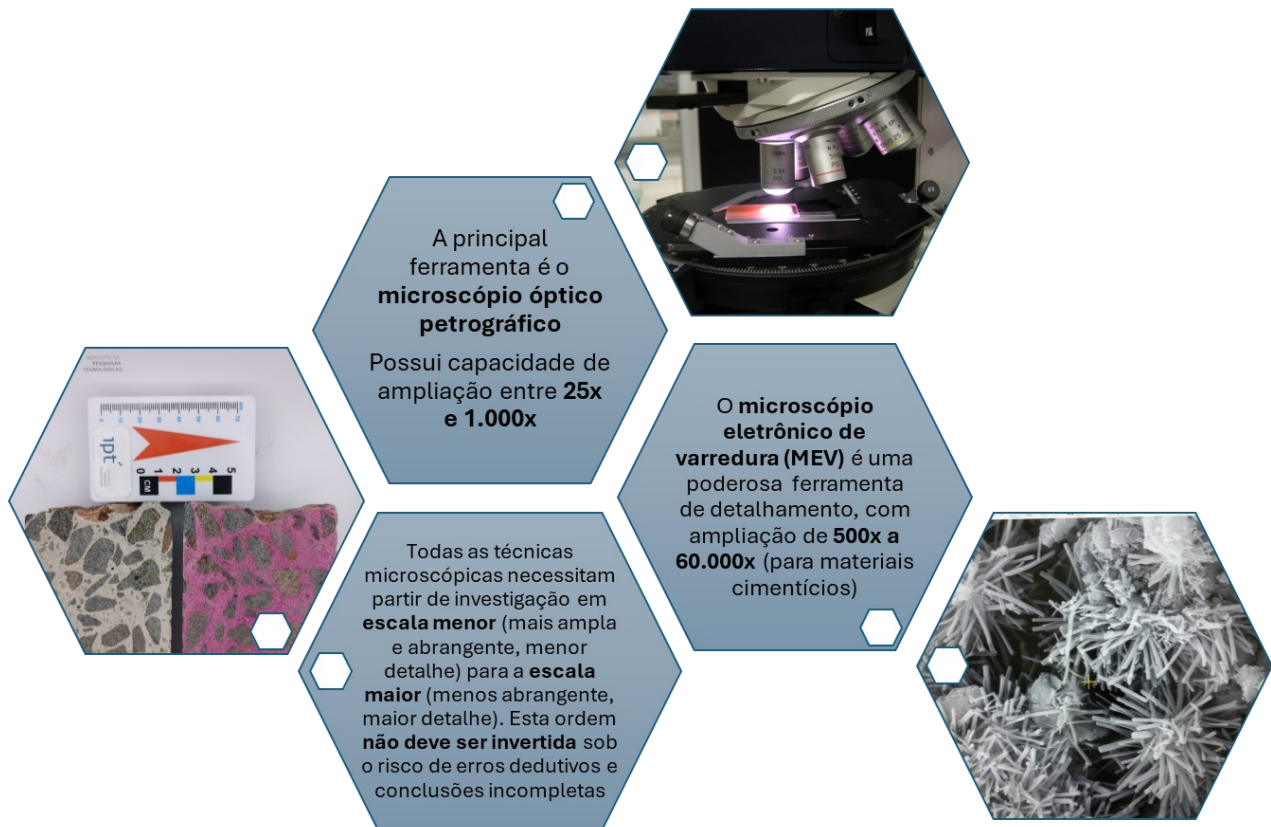


Figura 2 – Quadro resumo da definição de análise petrográfica aplicada a construção civil.

As informações obtidas por meio da análise petrográfica cobrem aspectos mineralógicos, tais como a composição mineral dos agregados, que permite a classificação geológica (litologia), a composição das fases do ligante, que remetem ao tipo de cimento, adições e substituições minerais, pigmentos, fases hidratadas e anidras. Estes aspectos relacionam-se com as reações químicas que ocorrem em concretos e argamassas, como as reações de hidratação, a reatividade das adições e substituições ao cimento Portland e a identificação de reações indesejadas, como é o caso das reações expansivas RAS e DEF. Todos os aspectos composicionais identificáveis pela via petrográfica possuem uma textura (organização e morfologia interna e externa de um cristal ou de grãos), e uma relação com os outros componentes do sistema, à esta relação dá-se o nome de arranjo, como por exemplo, a relação de aderência entre o agregado e o ligante cimentício. Este arranjo físico, em escala microscópica, onde se inter-relacionam os componentes dos materiais, suas texturas e seus espaços vazios chamamos de microestrutura. É a partir da correlação destes aspectos, integrando as escalas de observação que se compões a análise petrográfica.



Figura 3 – Quadro resumo da definição de análise petrográfica aplicada a construção civil.

A Figura 4(a – d) resume as aplicações analíticas mais comumente utilizadas na análise de materiais de construção civil e seu grau de eficiência para cada aplicação, seja em materiais utilizados em concreto antes da mistura, em seu estado “puro”, seja em concreto endurecido e suas manifestações patológicas, de acordo com Poole e Sims (2014).



		Inspeção em obra	Inspeção em laboratório	Seções polidas	Mic. de luz transmitida	Mic. de luz refletida	Mic. de fluorescência	Coloração seletiva	MEV/EDS
Agregados para concreto	Agregado graúdo	I3	I2	A2M	P1			A1	
	Agregado miúdo	I3	I3	A2	P1M			A1	
	Agregado graúdo reciclado	I2	I2	A2M	P1		A1		
	Agregado graúdo artificial	I2	I1	A2M	P1		A1		
	Agregado graúdo expandido	I2	I1	A2M	P1		A1		
	Fillers	I4	I1	A4	P1	A1		A1	A1M
Materiais cimentícios anidros	Clínquer não moído	I3	I3		A2	P1		A1	P1
	Cimento Portland	I4	I3		A2	P1		A1	P1
	Cimentos especiais	I4	I3		A2	A2			P1
	Cimentos alto alumínio (C ₃ A)	I4	I3		P1	P1			P1
	Cimentos não-Portland	I3	I3		P2			A1	P1
Adições e substitutos do cimento (não hidratados)	Escória de alto forno	I4	I3		P1	A1			A1
	Cinza volante	I4	I3		P1	A1			A1
	Pozzolanas naturais	I4	I3		P1	A1			A1
	Sílica ativa		I4		P2	A2			P1
	Aditivos químicos				A4				A2

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
2 – Boa, abrangente;
3 – Moderada, parcial;
4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4a – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		DRX	FTIR	ATG/ATD	Análises químicas	Ensaio físico-mecânicos	Análise modal
Agregados para concreto	Agregado graúdo					P2M	M
	Agregado miúdo					P2M	M
	Agregado graúdo reciclado	A2				P1M	M
	Agregado graúdo artificial	A2				P1M	M
	Agregado graúdo expandido					P1M	M
	Fillers	A1M	A1		A1	P1M	M
Materiais cimentícios anidros	Clínquer não moído						
	Cimento Portland	A2		A2	A1		
	Cimentos especiais	A1	A1	A1	A1		
	Cimentos alto alumínio (C ₃ A)	A2		A1	A1		
	Cimentos não-Portland	A1	A1		A1		
Adições e substitutos do cimento (não hidratados)	Escória de alto forno	A1			A1		
	Cinza volante						
	Pozzolanas naturais						
	Sílica ativa						
	Aditivos químicos					P1	

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
 2 – Boa, abrangente;
 3 – Moderada, parcial;
 4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4b – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		Inspecção em obra	Inspecção em laboratório	Seções polidas	Mic. de luz transmitida	Mic. de luz refletida	Mic. de fluorescência	Coloração seletiva
Concretos e argamassas endurecidas	Tipos de cimento (hidratados)	I4	I3		P2M			A1
	Tipos de agregado	I3	I2	P1M	P1M			A2
	Bolhas de ar	I3	I2	P1M	P1M		A1	
	Arranjo/textura	I4	I3	P2	P1		A2	
	Adição - Cinza volante	I4	I3	A2	P1		A1M	
	Adição – Escória de alto forno	I4	I3	A2	P1		A1M	
	Razão água/cimento	I4	I3	I3	P1		P1	
	Pozzolanas naturais	I4	I4		P1			
	Adição – sílica ativa	I4	I4		P1			
	Aditivos químicos	I4	I4		A3			
	Traço	I4	I3	P2M	P1M		A1	
Causas possíveis de deterioração	Ataque químico	I2	I2	A3	P1			
	DEF	I4	I4	I3	P1			
	Retração de agregado	I4	I4	I3	P1			
	Ataque salino	I2	I2	A3	P1			
	Carbonatação	I2	I1	A1	P1			P1
	Corrosão de armadura	I1	I1		P2		A1	
	Ataque sulfático	I2	I2	A2	P1		A1	
	RAA	I2	I1	A1	P1			A2
	Danos causados pelo gelo	I2	I2	P1	A1	P1	A1	
	Danos causados pelo fogo	I2	I2	I2	P1		A1	
Falhas de execução	I2	I2	P1	P1		A1		

LEGENDA:

I: Método inicial/tentativo/identificação parcial;
P: Principal método de identificação;
A: Método alternativo/complementar;
M: Método quantitativo possível/análise modal possível.

1 – Excelente, definitiva;
2 – Boa, abrangente;
3 – Moderada, parcial;
4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4c – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



		DRX	FTIR	ATG/ATD	Análises químicas	Ensaio físico-mecânicos	Análise modal
Concretos e argamassas endurecidas	Tipos de cimento (hidratados)	A2	A2	A2	A2M		M
	Tipos de agregado		A1				M
	Bolhas de ar						M
	Arranjo/textura						
	Adição - Cinza volante						
	Adição - Escória de alto forno						
	Razão água/cimento				P3		
	Pozzolanas naturais						
	Adição - sílica ativa						
	Aditivos químicos		A2		A2		
	Traço				A3		M
Causas possíveis de deterioração	Ataque químico	A3					
	DEF	A2					
	Retração de agregado						
	Ataque salino	A2			A1		
	Carbonatação			A2			
	Corrosão de armadura				A3		
	Ataque sulfático	A2			A2		
	RAA						
	Danos causados pelo gelo						
	Danos causados pelo fogo						
	Falhas de execução				A2		

LEGENDA:

- I:** Método inicial/tentativo/identificação parcial;
- P:** Principal método de identificação;
- A:** Método alternativo/complementar;
- M:** Método quantitativo possível/análise modal possível.

- 1 – Excelente, definitiva;
- 2 – Boa, abrangente;
- 3 – Moderada, parcial;
- 4 – Pobre, requer confirmação.

Figura 4d – Quadro resumo das técnicas analíticas pelos tipos de materiais de construção civil e propriedades a serem analisadas, em classificação de relevância e qualidade dos resultados. Traduzido e adaptado de Poole e Sims (2014) pelo autor.



2 Escopo da análise petrográfica

2.1 Diferenças composicionais e texturais em concreto endurecido

O cimento Portland é composto principalmente por silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), aluminatos de cálcio (C_3A) e ferroaluminatos de cálcio (C_4AF), estes componentes podem ser identificados e sua proporção quantificada por microscopia óptica e análise química. Partículas residuais de cimento não hidratado no concreto permitem a diferenciação, na microscopia óptica, entre cimentos Portland comuns e cimentos especiais como cimento branco ou adições e substituições, como a escória de alto forno, pela ausência da fase ferrita (Fotomicrografias nas Figuras 5, 6 e 8).

É possível determinar o grau de hidratação das partículas cimentícias pela observação direta de desenvolvimento de halos de hidratação, bem como pela abundância de partículas anidras no ligante de concreto endurecido (Figuras 7 e 8). A técnica microscópica também permite observar misturas de tipos diferentes de ligantes, como comumente ocorrem em argamassas mistas de cal e cimento (Figura 9).

Os agregados são os componentes mais comumente analisados por análise petrográfica, sendo vasta as características a serem descritas, com amplo domínio da geologia neste campo. Para o concreto importa determinar suas características texturais de esfericidade e arredondamento e se sua composição pode ser potencialmente reativa para geração de gel de álcali-silica (reação álcali-silica – RAS), além de verificar a aderência com a o ligante (Figuras 10 a 12), grau de empacotamento e homogeneidade de distribuição espacial (Figura 13) e granulométrica. Na análise petrográfica, além da determinação dos aspectos citados, é possível a quantificação dos componentes do concreto, determinando seu traço (Figura 15).

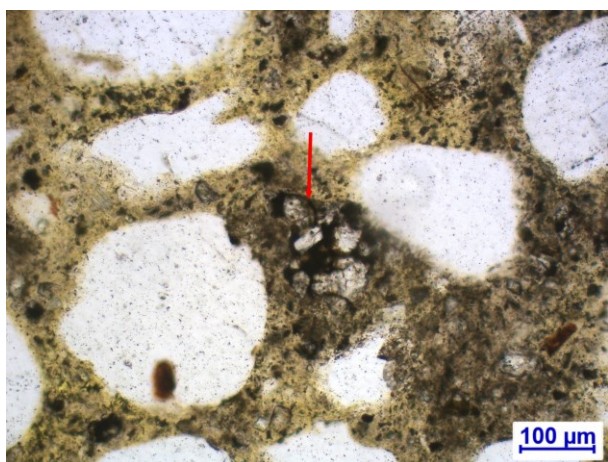


Figura 5 – a seta vermelha indica partícula de cimento anidro composta por C_3S em fase intersticial de ferrita escura (C_4AF), em ligante cimentício de concreto endurecido. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

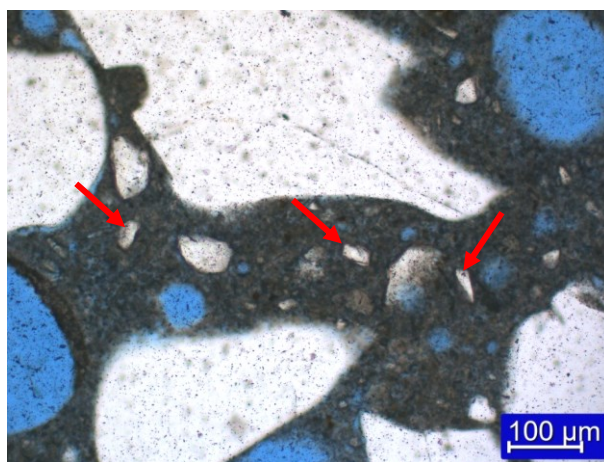


Figura 6 – As setas vermelhas indicam partículas de escória anidra de alto forno em ligante cimentício de concreto endurecido. Notar a ausência de ferrita e morfologia angulosa característica. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)



Figura 7 – A seta vermelha indica partícula de silicato cimento com halo delgado de hidratação, em ligante cimentício de concreto endurecido. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

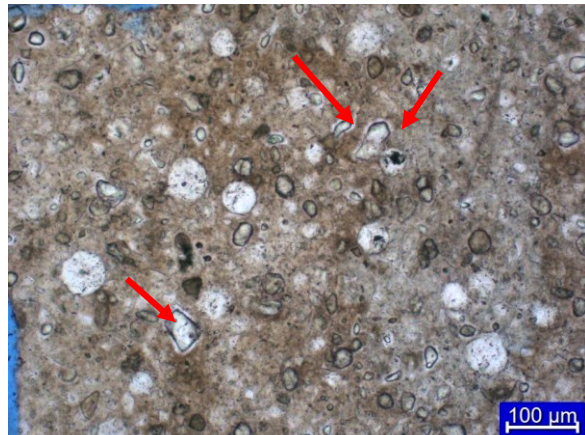


Figura 8 – As setas vermelhas indicam partículas de silicatos com halo delgado de hidratação, em ligante de argamassa de cimento branco. Notar a ausência de ferrita. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)

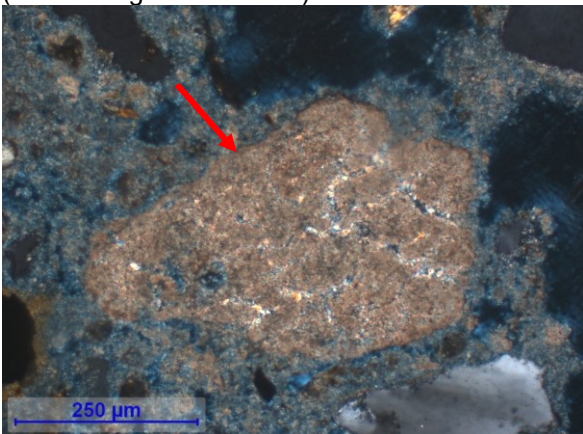


Figura 9 – A seta vermelha indica partícula cal mal calcinada em argamassa à base de cal e cimento. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

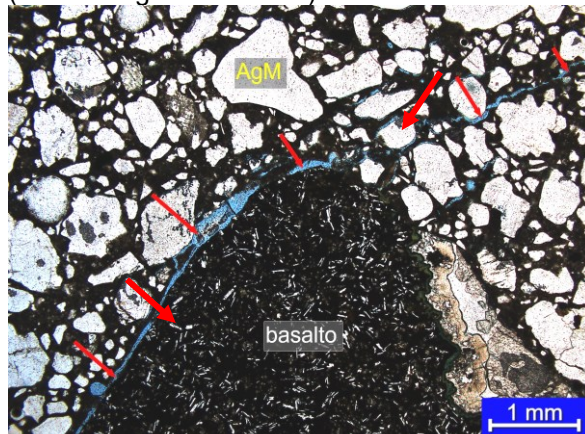


Figura 10 – As setas vermelhas indicam microfissura comprometendo a aderência de agregado grão (basalto) e ligante. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)



Figura 11 – As setas vermelhas e verdes indicam calcedônia e zeólita, dois minerais potencialmente reativos para RAS. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

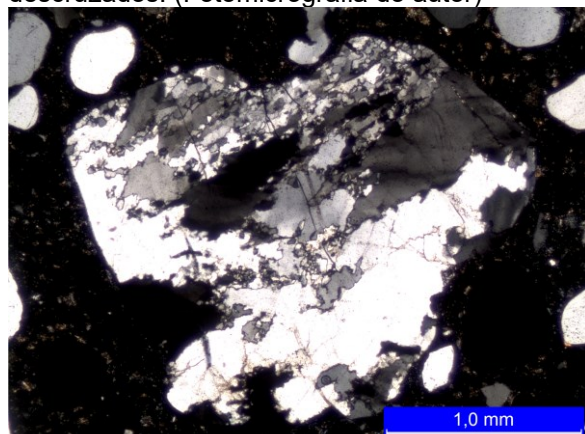


Figura 12 – No centro grão de agregado miúdo com textura *mortar* onde o quartzo é intensamente deformado e transformado em subgrãos muito finos (microgranular). Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)



2.2 Vazios

Os vazios no concreto podem estar associados à incorporação (proposital) ou aprisionamento (acidental) de ar, sendo estes expressos por formas geralmente arredondadas. Vazios de ar aprisionado são irregulares e maiores que 1 mm (Figura 13), normalmente indesejáveis, já os vazios de ar incorporado são esféricos, entre 10 µm e 1 mm (Figura 14), desejáveis e podem promover melhora na durabilidade do concreto. Outros tipos de vazios estão ligados à quantidade de água livre (microporosidade) e fatores atrelados a patologias, como fissuras e microfissuras. Na análise petrográfica é possível determinar a quantidade de microporosidade capilar (> 0,05 µm) relacionada à água livre com a aplicação de resina fluorescente por impregnação à vácuo nas amostras, e incidência de luz UV acoplada ao microscópio óptico (Figura 15).

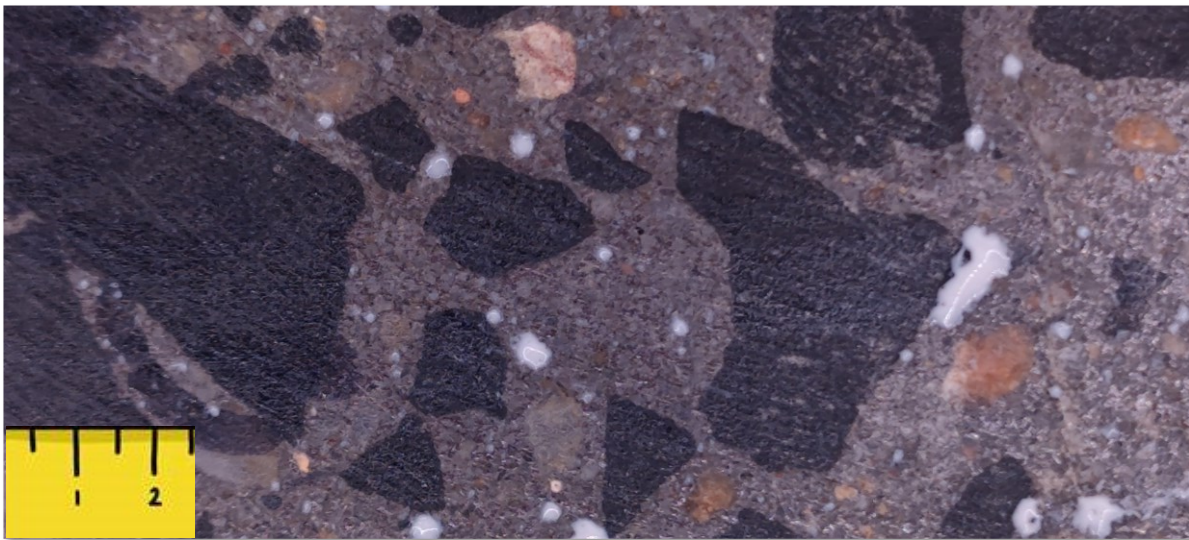


Figura 13 – Bolhas de ar aprisionado (em branco) em seção de testemunho de concreto mal compactado. Notar distribuição heterogênea de agregado graúdo. Escala em centímetros. Foto do autor.



Figura 14 – Em azul bolhas de ar incorporado em argamassa. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. Qtzo:= quartzo. (Fotomicrografia do autor)

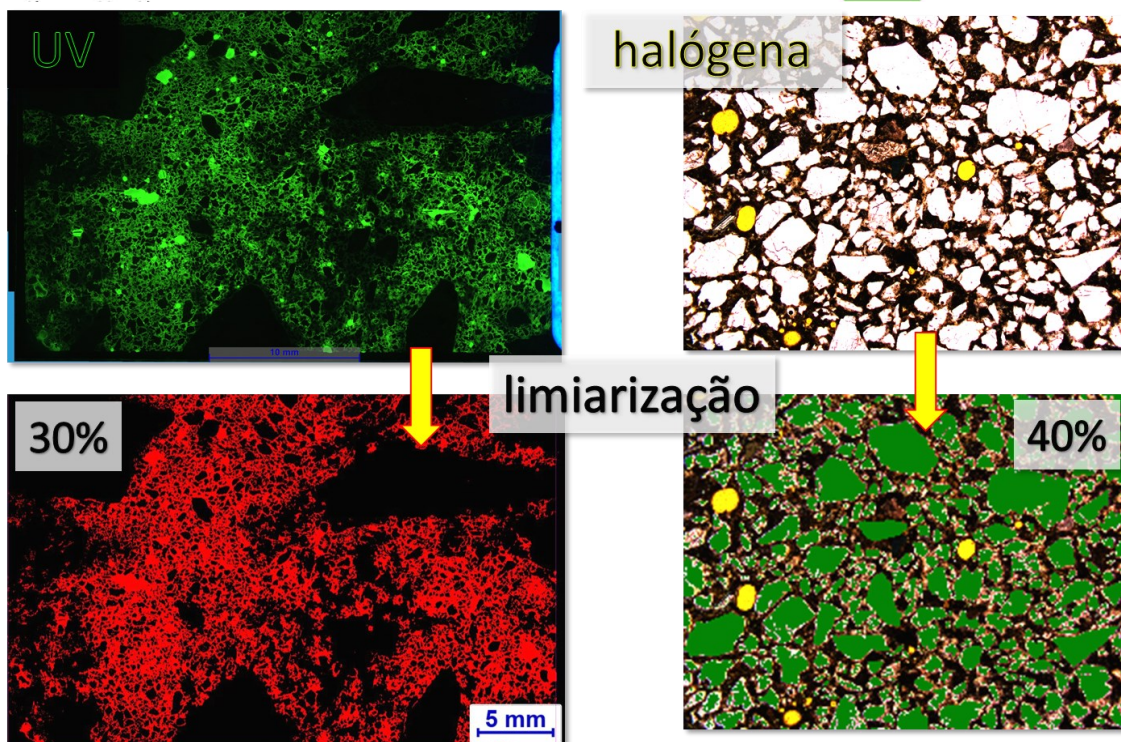


Figura 15 – Exemplo de quantificação em área (extrapolável para volume) por análise de imagens sob microscópio óptico. À esquerda, quantificação de vazios, incluindo a microporosidade utilizando a luz UV. À direita quantificação de grãos de agregado miúdo. (Fotomicrografias do autor).

As microfissuras são espacialmente importantes na análise petrográfica por expressar patologias de pressão de expansão interna (reações expansivas tipo DEF¹ e RAA²), cisalhamento, compressão, retração entre outros. Sob o microscópio óptico é possível determinar a composição de material de preenchimento destas microfissuras (Figuras 16 e 17).

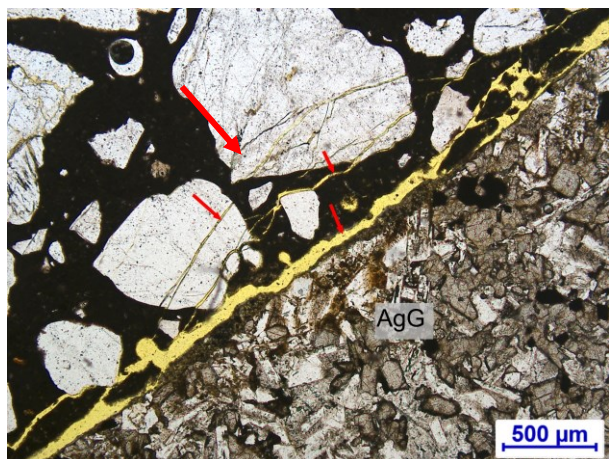


Figura 16 – As setas vermelhas indicam microfissuras na interface pasta-agregado. Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores descruzados. (Fotomicrografia do autor)



Figura 17 – As setas vermelhas indicam microfissuras na interface pasta-agregado preenchidas por gel de reação álcali-silica (RAS). Fotomicrografia de microscopia óptica de luz transmitida, com polarizadores cruzados. (Fotomicrografia do autor)

¹ Sigla em inglês para formação de etringita tardia.

² Reação álcali agregado



3 Normatização das análises petrográficas

A abordagem das análises microscópicas de concreto no Brasil, principalmente para a determinação de patologias em concreto, se concentra apenas nas reações expansivas, o que de fato não constitui a maioria das patologias que podem ocorrer no concreto endurecido, tampouco resumem-se às reações expansivas os problemas que podem ser detectados pela análise petrográfica. Dentre as causas para este desvio nota-se a escassez de normativas nacionais cuja abordagem investigativa contemple a integralidade das características microscópicas do material concreto, colocadas de forma muito sucinta neste texto. As normas brasileiras de petrografia ou microscopia para aplicação em concreto estão concentradas nos materiais rochosos (potencialidade para RAA, ABNT NBR 15577-3 ou NBR 7389 partes 1 e 2) ou na análise do clínquer. As normativas nacionais contemplam de forma eficaz todas as características da rocha para as boas práticas de seleção e aplicação da rocha ao concreto, porém não é abrangente o suficiente para a determinação das causas de patologias em concreto, dado que estas não se restringem às reações expansivas, e nem se circunscrevem às vizinhanças dos agregados. Existem normas de petrografia internacionais que contemplam, de forma mais abrangente, as patologias de concreto, sendo a mais tradicional e revisada a ASTM C856 cuja primeira edição data de 1995 e sua última de 2020, perfazendo um total de 10 revisões ao longo de 25 anos.

A Tabela 1 sintetiza o escopo das normas citadas, onde nota-se as características e aplicações distintas deste arcabouço normativo de análise petrográfica.

Tabela 1 – Síntese comparativa entre as normas ABNT NBR de análise petrográfica de agregados e ASTM de análise petrográfica de concreto.

NORMA	TÍTULO	MATERIAL A ANALISAR	REULTADO/OBJETIVO DA ANÁLISE
ABNT NBR 7389 parte 1	Agregados- Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 1: Agregado miúdo	Areia (natural ou artificial)	Identifica e quantifica grãos deletérios, potencialmente deletérios, friáveis e inócuos, para uso como agregado
ABNT NBR 7389 parte 2	Agregados- Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 2: Agregado graúdo	Rocha Britada ou não	Identifica e quantifica os minerais presentes na rocha e quartzo microgranular, identifica os minerais e texturas potencialmente reativas para RAA
ABNT NBR 15577 parte 1	Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto	Rocha Britada ou não	Identifica e quantifica os minerais presentes na rocha, identifica os minerais e texturas potencialmente reativos para RAA e classifica em relação à sua potencialidade
ASTM C856	<i>Standard practice for petrographic examination of hardened concrete</i>	Testemunho de concreto extraído	Consiste na descrição macro e microscópica, identificação da mineralogia e litologia dos agregados, relação dos agregados com o ligante, descrição da composição do ligante, descrição e quantificação dos vazios presentes maiores que capilares grandes (>0,05 micrometros), proporção entre agregado-ligante-vazios, identificação de patologias diversas, incluindo as reações expansivas



4 Conclusão

A análise petrográfica combina precisão da observação direta de uma amostra, em progressão escalar sucessiva (mais abrangente ao mais detalhado), agrupando a multidisciplinaridade entre o engenheiro na obra e o analista no laboratório (geólogo, engenheiro ou químico), perfaz o principal método analítico para os principais materiais utilizados na construção civil e, apesar das técnicas microscópicas datarem do século 19, a petrografia avança agregado as inovações tecnológicas do mundo digital, aumentando sua eficiência. Desta forma se faz necessária a criação de uma norma que contemple todos os aspectos do concreto endurecido, utilizando o máximo da potencialidade das microscopias óptica e eletrônica.

Referências

POOLE, Alan B.; SIMS, Ian. Concrete petrography. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do cimento. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7389-1: Agregados - Análise petrográfica - Parte 1: Determinação da composição petrográfica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7389-2: Agregados - Análise petrográfica - Parte 2: Identificação petrográfica. Rio de Janeiro, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C856: Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, 2020.