

## O concreto no Memorial Brumadinho: uma tríplice perspectiva

GUSTAVO PENNA | ARQUITETOS ASSOCIADOS  
PAULO RAFAEL CADAVAL BEDÊ | BEDÊ ENGENHARIA DE ESTRUTURAS  
PROF. OTÁVIO LUIZ DO NASCIMENTO | CONSULTARE CONSULTORIA DE REVESTIMENTOS E DESEMPENHO

### INTRODUÇÃO

O MEMORIAL BRUMADINHO, ERGUIDO EM MEMÓRIA DAS VÍTIMAS DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM MINA Córrego do Feijão – BRUMADINHO, EM MINAS GERAIS, É UMA OBRA QUE TRANSCENDE O SIMPLES USO DE CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO. ELE SE TRANSFORMA EM UM SÍMBOLO DE RESISTÊNCIA, MEMÓRIA E REFLEXÃO, LIGANDO O PASSADO AO PRESENTE DE FORMA VISCERAL E TANGÍVEL. NESTE ARTIGO, EXPLORAMOS O PAPEL DO CONCRETO NO MEMORIAL SOB TRÊS PRISMAS: O ARQUITETO QUE IDEALIZOU O ESPAÇO, O CALCULISTA QUE TRANSFORMOU AS IDEIAS EM ESTRUTURAS SEGURAS E FUNCIONAIS, E O PESQUISADOR QUE TROUXE A PRÓPRIA LAMA DA TRAGÉDIA PARA DAR FORMA E COR AO CONCRETO.

### 1. O OLHAR DO ARQUITETO: CONCRETO COMO SÍMBOLO DE MEMÓRIA E REFLEXÃO

#### 1.1 Espaço de memória: a criação de um lugar de luto e reflexão

O projeto arquitetônico liderado por

Gustavo Penna é profundamente marcado pela intenção de criar um espaço que revele as vítimas e proporcione um ambiente para o luto coletivo. O concreto, neste contexto, não é apenas um material funcional, mas um veículo de expressão simbólica.

O Pavilhão de entrada do memorial é uma representação física das forças destrutivas que marcaram o desastre. A sua forma retorcida e fragmentada é um reflexo dos sonhos despedaçados das vítimas, e a materialidade do concreto aparente, misturado ao pigmento proveniente dos rejeitos da barragem, reforça essa ligação visceral com a tragédia (Fig. 1). Esse trabalho minucioso de integração dos materiais foi fundamental para criar uma conexão visual e emocional entre o espaço e o ambiente que o cerca, fazendo com que cada parede e superfície carregasse em si a memória do que ocorreu naquele lugar.

#### 1.2 A fenda: a ferida no terreno

A Fenda, uma escavação de 205 metros

que corta o terreno, é outro elemento central do projeto (Fig. 2). Ela simboliza a fratura gigantesca causada pela tragédia e, ao mesmo tempo, guia os visitantes através de uma jornada de introspecção e lembrança. O concreto utilizado nas paredes da fenda cria uma estrutura resistente que sustenta a profundidade e a gravidade do espaço. Mais do que uma solução estrutural, o concreto aqui assume o papel de testemunha, um material que carrega em si as marcas do que aconteceu.

Além da funcionalidade estrutural, o concreto na Fenda desempenha um papel estético crucial. As paredes de concreto expostas, com suas texturas rústicas e variações de cor, criam um ambiente que é ao mesmo tempo imponente e introspectivo, reforçando a sensação de caminhar por uma cicatriz aberta no terreno. Essa combinação de função e forma é um testemunho da habilidade do arquiteto em utilizar o concreto não apenas como um elemento construtivo,



**FIGURA 1**

PERSPECTIVA DO ESPAÇO DE CONVIVÊNCIA ONDE SE OBSERVA A FORMA RETORCIDA E FRAGMENTADA DO PAVILHÃO



**FIGURA 2**

VISTA AÉREA DA FENDA

mas como um meio de evocar emoções profundas e complexas nos visitantes.

### 1.3 O mirante e o lago: um espaço para a contemplação

Ao final do percurso, o Mirante se projeta sobre um lago, oferecendo um espaço de serenidade e reflexão (Fig. 3). A estrutura em balanço do Mirante, feita de concreto protendido, simboliza a transição entre o luto e a esperança. O uso do concreto especial com resíduo da lama da barragem, que dá ao material uma cor única, conecta o memorial ao local da tragédia de forma indelével.

O Mirante não é apenas um ponto de observação, mas um espaço onde a arquitetura se funde com a paisagem para criar um momento de transcendência. A superfície de concreto que se estende sobre o lago é um símbolo de superação e continuidade, projetando-se sobre a água como um gesto de esperança e renascimento. A escolha do concreto protendido, com suas propriedades de alta resistência e flexibilidade, foi fundamental para permitir a criação desta estrutura arrojada, que parece desafiar as leis da física ao flutuar serenamente sobre o espelho d'água.

## 2. O OLHAR DO CALCULISTA: DESAFIOS E SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

### 2.1 Desenvolvimento da estrutura do pavilhão

O Pavilhão, com sua cobertura de lajes maciças dispostas em planos inclinados, exigiu uma abordagem inovadora no cálculo estrutural devido à complexidade geométrica e às condições de carga únicas (Fig. 4). A análise por elementos finitos foi utilizada para prever o comportamento estrutural do concreto sob diferentes condições de carga, levando em conta tanto as forças estáticas quanto dinâmicas.

#### 2.1.1 MODELAGEM POR ELEMENTOS FINITOS

A modelagem por elementos finitos (FEM) foi essencial para simular as múltiplas interações entre as lajes de

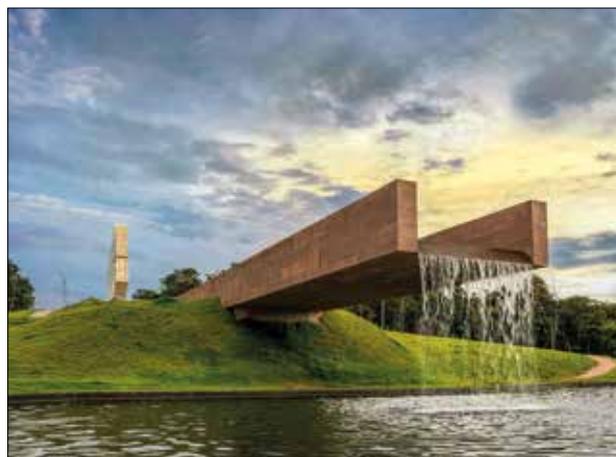
concreto e os suportes estruturais. Um modelo tridimensional foi criado utilizando software de última geração, o que permitiu uma análise detalhada das tensões e deformações em cada ponto crítico da estrutura. As lajes, com vãos de até 15 metros, foram analisadas quanto à resistência à flexão, cisalhamento e ao pandejamento, com especial atenção às conexões nos pontos de apoio.

#### 2.1.2 INTEGRAÇÃO COM O BIM

A utilização de Building Information Modeling (BIM) foi crucial para a integração de todas as disciplinas envolvidas no projeto, garantindo que o cálculo estrutural fosse compatível com as exigências arquitetônicas e com as demais instalações do edifício. O modelo BIM permitiu a visualização em tempo real de como as forças estruturais interagiriam com os elementos arquitetônicos, facilitando a tomada de decisões e a realização de ajustes necessários ao longo do desenvolvimento do projeto.

#### 2.1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARGAS E VARIÁÇÕES CLIMÁTICAS

Além das cargas permanentes e acidentais, o cálculo considerou as variações climáticas, como mudanças de temperatura e a ação do vento, que poderiam afetar as lajes inclinadas. Simulações foram realizadas para garantir que



**FIGURA 3**  
MIRANTE SOBRE O LAGO

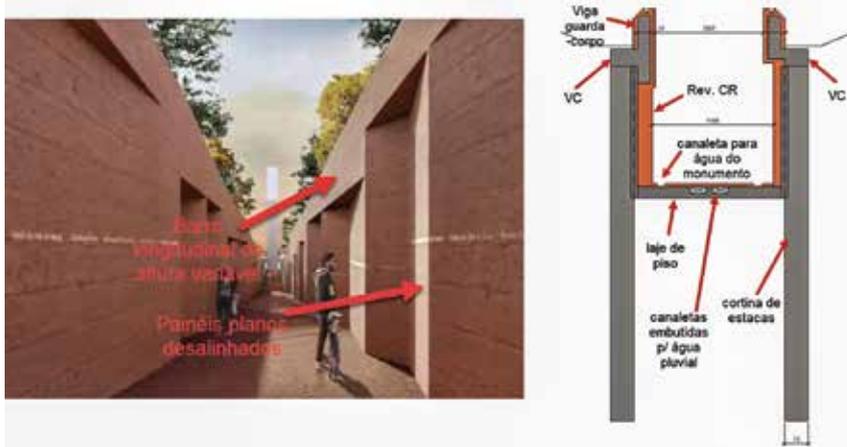
o sistema estrutural pudesse acomodar essas variações sem comprometer a integridade da edificação. As lajes foram projetadas para resistir a cargas verticais e horizontais, com o objetivo de evitar qualquer tipo de deformação excessiva ou fissuração.

#### 2.1.4 FUNDAÇÕES E ESTABILIDADE GERAL

As fundações do Pavilhão foram projetadas utilizando estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM), que proporcionaram uma base sólida e segura para a estrutura, mesmo em um terreno com características geotécnicas desafiadoras. As estacas foram dimensionadas para suportar tanto as cargas verticais quanto os esforços horizontais resultantes da geometria inclinada da estrutura. As cintas de fundação foram



**FIGURA 4**  
PERSPECTIVA DA COBERTURA DE LAJES EM PLANOS INCLINADOS DO PAVILHÃO



**FIGURA 5**

CORTE TRANSVERSAL GENÉRICO NA FENDA COM A INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA E REVESTIMENTO

projetadas para suportar as alvenarias, promovendo o travamento dos blocos estruturais e garantindo a estabilidade geral do edifício.

## 2.2 ESTABILIZAÇÃO DA FENDA

A Fenda, com suas profundidades variáveis e paredes de concreto armado, representou um desafio estrutural significativo. A solução adotada, que incluiu estacas HCM alinhadas e a construção de uma viga de cabeça para equalizar os deslocamentos, foi essencial para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura. O revestimento das paredes com o concreto especial desenvolvido a partir dos resíduos da barragem adicionou uma camada adicional de complexidade, exigindo um planejamento cuidadoso e execuções precisas.

### 2.2.1 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS HCM

As estacas HCM foram escolhidas devido à sua capacidade de suportar grandes cargas verticais e laterais, além de proporcionarem uma fundação estável em terrenos de características geotécnicas variadas. O dimensionamento das estacas levou em conta a profundidade de escavação e os empuxos laterais do solo, que variam ao longo dos 205 metros da Fenda. A escolha do diâmetro e do espaçamento entre as estacas foi

baseada em simulações que previram o comportamento do solo e as interações com as estruturas de concreto.

### 2.2.2 VIGA DE CABEÇA E DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS

A viga de cabeça foi projetada para redistribuir as cargas horizontais ao longo das estacas, evitando deslocamentos excessivos e garantindo a estabilidade das paredes da Fenda (Fig. 5). Essa viga também atua como suporte para o guarda-corpo e outros elementos arquitetônicos que compõem a Fenda. A construção da viga de cabeça envolveu o uso de concreto de alta resistência, capaz de suportar as tensões acumuladas sem apresentar fissurações ou deslocamentos significativos. Há um grande monumento, estruturado em aço, suportado pelas duas cortinas paralelas que conformam a Fenda.

O piso, em concreto armado, abriga as canaletas de drenagem e é também revestido com CR (Concreto de Rejeito).

## 2.2.3 REVESTIMENTO E IMPERMEABILIZAÇÃO

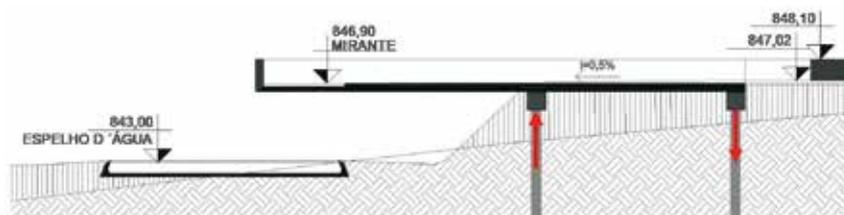
O revestimento das paredes com concreto especial desenvolvido a partir dos resíduos da barragem adicionou uma camada de complexidade ao processo de estabilização. A impermeabilização das paredes foi cuidadosamente planejada para evitar infiltrações de água, que poderiam comprometer a durabilidade do concreto ao longo do tempo. A aplicação de camadas adicionais de impermeabilizantes, juntamente com o controle rigoroso da cura do concreto, garantiu que as paredes da Fenda permanecessem intactas e resistentes às condições ambientais.

## 2.3 O mirante: equilíbrio em balanço

O Mirante, que se projeta sobre o lago em um balanço de 13,60 metros, exigiu um planejamento estrutural meticuloso para garantir a segurança e a estabilidade da estrutura. As vigas invertidas protendidas foram fundamentais para criar o balanço, permitindo que a estrutura suportasse as forças significativas associadas a essa projeção (Fig. 6).

### 2.3.1 CÁLCULO DAS VIGAS PROTENDIDAS

As vigas protendidas foram dimensionadas para suportar as tensões de compressão e tração geradas pelo balanço. A técnica de protensão, que envolve o tensionamento de cabos de aço dentro do concreto, foi aplicada para aumentar a resistência à flexão das vigas, prevenindo



**FIGURA 6**

CORTE ESQUEMÁTICO DO PROJETO ESTRUTURAL DO MIRANTE

fissuras e garantindo a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

### 2.3.2 ALMOFADAS ELASTOMÉRICAS E MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

Nos apoios do balanço, foram instaladas almofadas elastoméricas que permitem a absorção de movimentos e variações térmicas. Essas almofadas são essenciais para minimizar os impactos das dilatações e contrações do concreto devido às mudanças de temperatura, prevenindo danos estruturais e garantindo a estabilidade do Mirante.

### 2.3.3 USO DE EPS PARA REDUÇÃO DE CARGA

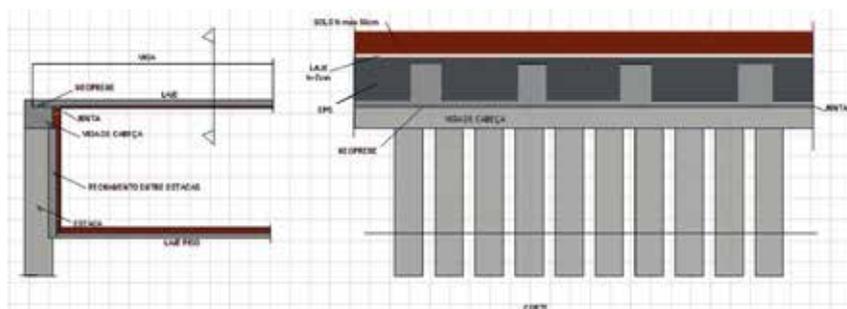
O enchimento com placas de EPS (poliestireno expandido) foi utilizado para reduzir a carga permanente sobre a estrutura, mantendo o equilíbrio do balanço. Essa solução leve e eficiente foi crucial para permitir que o Mirante mantivesse sua forma e funcionalidade sem comprometer a segurança estrutural.

## 2.4 Espaços memória e testemunho: estruturas enterradas e lajes protendidas

Os espaços Memória e Testemunho, com área total de aproximadamente 620m<sup>2</sup>, estão situados em uma parte enterrada da estrutura. A solução estrutural para essas áreas foi similar à da Fenda, utilizando contenções em concreto armado e estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM). As lajes de cobertura desses espaços foram projetadas para suportar não apenas o peso próprio e as cargas usuais, mas também elevadas sobrecargas provenientes de enchimentos e impermeabilizações, além de cargas acidentais de utilização.

### 2.4.1 CONTENÇÕES E APOIOS PERIFÉRICOS

As lajes de cobertura dos espaços Memória e Testemunho são suportadas periféricamente pelas contenções de concreto armado, que são ancoradas nas estacas HCM. Essa abordagem foi escolhida para garantir a estabilidade das estruturas enterradas, distribuindo



**FIGURA 7**

CORTE ESQUEMÁTICO DA ESTRUTURA DOS ESPAÇOS MEMÓRIA E TESTEMUNHO

as forças ao longo da viga de cabeça, que conecta os elementos de contenção ao longo do perímetro. A estabilidade lateral é reforçada pela interação entre as estacas e as vigas de cabeça, proporcionando segurança adicional contra empuxos laterais do solo.

### 2.4.2 VIGAS PROTENDIDAS PARA GRANDES VÃOS

Uma característica notável dos espaços Memória e Testemunho é a utilização de vigas protendidas paralelas para vencer vãos de até 16 metros sem a necessidade de apoios intermediários. Essas vigas são essenciais para suportar os carregamentos significativos impostos sobre as lajes de cobertura, que incluem tanto as cargas permanentes quanto as cargas variáveis resultantes do uso do edifício e da cobertura de solo.

As vigas protendidas permitem que as lajes de cobertura se mantenham estáveis, distribuindo as cargas uniformemente ao longo da estrutura. A protensão, por meio da aplicação de cabos tensionados, aumenta a capacidade de flexão das vigas, prevenindo fissurações e minimizando deformações ao longo do tempo. Essa solução foi escolhida não apenas pela sua eficiência estrutural, mas também por permitir um design arquitetônico limpo, sem a necessidade de pilares que poderiam comprometer o uso do espaço.

### 2.4.3 APOIOS ELASTOMÉRICOS E CONSOLES PARA MANUTENÇÃO

Os apoios das vigas protendidas são dotados de aparelhos elastoméricos, que

absorvem pequenas variações de movimento e dilatação térmica. Esses aparelhos são posicionados no topo da viga de cabeça, nas estacas que formam a contenção dos espaços enterrados. Além disso, o projeto incluiu a previsão de manutenção e substituição dos elementos elastoméricos. Para facilitar esse processo, foram projetados consoles laterais ao longo das vigas, permitindo que macacos hidráulicos sejam utilizados para elevar as vigas durante eventuais trocas dos apoios elastoméricos. Isso garante que a estrutura possa ser mantida ao longo do tempo sem a necessidade de intervenções invasivas.

### 2.4.4 REVESTIMENTO DE CONCRETO DE RESÍDUO CIMENTÍCIO (CRC)

Assim como no Pavilhão, as lajes de cobertura dos espaços Memória e Testemunho receberam um revestimento especial na sua face inferior, com 5 cm de espessura de concreto de resíduo cimentício (CRC). O CRC, desenvolvido a partir de resíduos da barragem, confere uma estética única ao espaço, além de proporcionar uma superfície de concreto com boas propriedades de durabilidade e resistência a intempéries. O processo de revestimento foi cuidadosamente executado para garantir que a superfície inferior das lajes refletisse a intenção estética e simbólica do projeto.

### 2.4.5 ESTRUTURAS AUXILIARES E RESERVATÓRIOS ENTERRADOS

Além dos espaços Memória e Testemunho, o projeto incluiu a construção de diversas estruturas operacionais, como



**FIGURA 8**

PERSPECTIVA DA FENDA ONDE SE VÊ OS REVESTIMENTOS EM CONCRETO APARENTE COM RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

reservatórios enterrados e um edifício de utilidades. Essas estruturas foram integradas ao projeto utilizando as mesmas técnicas de contenção e fundação, com foco na durabilidade e na capacidade de suportar os carregamentos impostos pelas camadas de solo e pela infraestrutura adjacente. Os reservatórios enterrados foram dimensionados para armazenar grandes volumes de água, necessários para o sistema de drenagem e para o espelho d'água do Mirante, garantindo a funcionalidade e a sustentabilidade do conjunto.

### 3. O OLHAR DO PESQUISADOR: O REVESTIMENTO QUE TRANSFORMA A LAMA EM MEMÓRIA

#### 3.1 Pesquisa e seleção de materiais

Otávio Luiz do Nascimento, mestre e doutor em Ciências dos Materiais, liderou o desenvolvimento do concreto com resíduo cimentício (CRC) utilizado no projeto. O desafio principal foi criar um material que incorporasse os resíduos da barragem de forma eficaz, atendendo às exigências estéticas e estruturais.

##### 3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

O processo de pesquisa começou com a caracterização dos resíduos de mineração, que incluíram análise granulométrica, composição química e propriedades físicas. Essas análises foram essenciais para determinar a viabilidade do uso dos resíduos como agregados na mistura de concreto. Foram realizados ensaios de resistência

à compressão e durabilidade para garantir que os resíduos selecionados atendessem aos padrões exigidos.

##### 3.1.2 SELEÇÃO DE CIMENTOS E ADITIVOS

A escolha do cimento Portland e dos aditivos foi baseada na necessidade de alcançar uma

resistência mínima de 20 MPa, mantendo a trabalhabilidade da mistura. Foram testadas diferentes proporções de cimento, resíduo, areia artificial e brita, com o objetivo de obter a melhor combinação que atendesse às exigências do projeto (Fig. 8). A adição de aditivos superplastificantes e retardadores de pega foi crucial para ajustar o tempo de trabalhabilidade e garantir uma cura adequada do concreto.

##### 3.1.3 DESENVOLVIMENTO DA DOSAGEM

A dosagem final do CRC foi resultado de uma série de testes e ajustes, que levaram em conta fatores como a consistência da mistura, a trabalhabilidade, o tempo de pega e a resistência à compressão. Cada componente foi dosado com precisão para

garantir que o concreto final tivesse as propriedades desejadas em termos de durabilidade, resistência mecânica e estética (Tabela 1). A mistura final apresentou uma tonalidade consistente e uma textura que refletia a origem dos materiais, integrando visualmente o memorial ao ambiente circundante (Fig. 9).

### 3.2 Processos de produção e aplicação

Após a seleção dos materiais e a definição da dosagem, a produção do CRC foi realizada em condições controladas para garantir a qualidade e a uniformidade do material.

#### 3.2.1 CONTROLE DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO

Durante a produção, foram implementados rigorosos controles de qualidade, incluindo ensaios de consistência, resistência à compressão e absorção de água. Esses testes garantiram que cada lote de CRC atendesse aos padrões estabelecidos, minimizando variações que poderiam comprometer a uniformidade do revestimento.

#### 3.2.2 APLICAÇÃO E CURA DO REVESTIMENTO

A aplicação do CRC foi realizada em camadas controladas, com atenção especial à uniformidade da espessura e à aderência ao substrato. O processo de cura foi monitorado de perto para evitar retração e fissuração, que poderiam comprometer

**TABELA 1**

CONCRETOS CRC – CONCRETO RESÍDUO CIMENTÍCIO

Numeração	Identificação	Materiais utilizados	Proporção (Kg)
Estudo 1	Concreto CRC Referência	Cimento Portland, Resíduo	1: 3,6
Estudo 2	Concreto CRC 50%/50%	Cimento Portland, Cimento Branco, Resíduo	1: 1: 7,14
Estudo 3	Concreto CRC 100% Branco	Cimento Branco, Resíduo	1: 3,6
Estudo 4	Concreto CRC 10% de Resíduo	Cimento Portland, Resíduo, Areia artificial, Brita 0	1: 0,43: 1,6: 1,6
Estudo 5 Opção Final GPAA	Concreto CRC fck ≥ 20,0 MPa + adição de pigmentos	Cimento Portland CPIII, areia lavada, brita 1 e aditivos (lama + pigmentos + polímeros)	Concreto convencional de Fck ≥ 20, MPa com adição de mistura de lama + pigmentos + polímeros



**FIGURA 9**  
ESTUDO DE TONALIDADE CRC

a durabilidade do revestimento. O uso de técnicas avançadas de cura, como a aplicação de membranas de cura e o controle da umidade, foi fundamental para garantir que o CRC atingisse suas propriedades mecânicas e estéticas ideais.

### 3.2.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO A LONGO PRAZO

Ensaio de durabilidade foram conduzidos para avaliar o desempenho do CRC ao longo do tempo, considerando fatores como

a exposição a intempéries, variações de temperatura e ataques químicos. Esses ensaios demonstraram que o CRC possui excelente resistência à deterioração, mantendo suas propriedades mecânicas e estéticas mesmo em condições adversas.

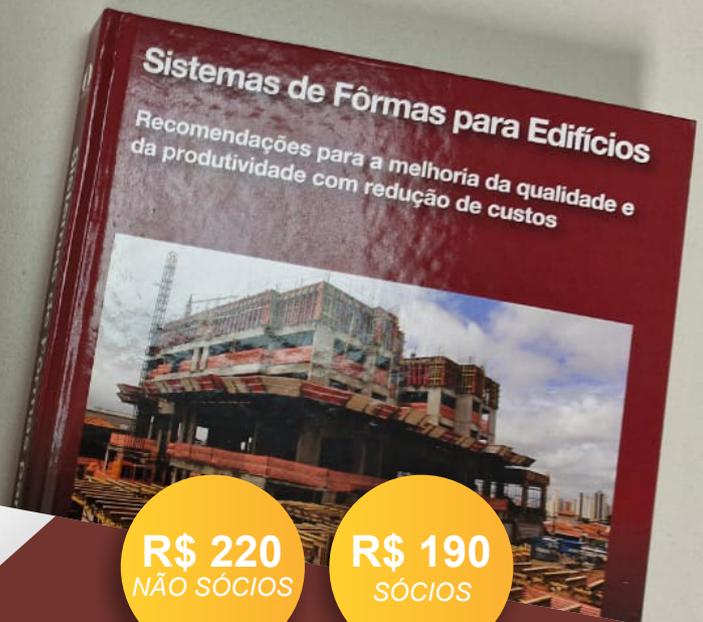
## 4. CONCLUSÃO

O projeto é uma obra que transcende a arquitetura convencional, transformando-se em um símbolo duradouro de memória, dor e esperança. A utilização do concreto, sob a perspectiva do arquiteto, do calculista e do pesquisador, mostra como este material, frequentemente associado apenas à funcionalidade, pode se tornar um veículo poderoso de expressão emocional e cultural.

O artigo apresentou uma visão técnica detalhada dos desafios e soluções envolvi-

dos na construção do projeto, destacando o papel crucial do cálculo estrutural e do desenvolvimento do concreto de revestimento. Através de um processo rigoroso de pesquisa, modelagem e execução, a equipe conseguiu criar um memorial que não apenas preserva a memória das vítimas, mas também serve como um exemplo de inovação e sustentabilidade na construção civil.

Este memorial não apenas preserva a história, mas também oferece um espaço para reflexão, lembrança e renovação. Ele demonstra como a engenharia e a arte podem se unir para criar algo verdadeiramente significativo, onde cada parede, cada superfície, cada detalhe arquitetônico serve como um lembrete constante da tragédia e da força resiliente daqueles que foram impactados por ela. Ao transformar os materiais do desastre em componentes da construção, o projeto não só honra as vítimas, mas também serve como um símbolo de esperança e continuidade, mostrando que, mesmo diante da devastação, é possível construir um futuro com base no respeito, na memória e na determinação de nunca esquecer. ☹



**COMBO**  
Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais + Sistemas de Fôrmas para Edifícios

**R\$ 220**  
NÃO SÓCIOS

**R\$ 190**  
SÓCIOS

[ibracon.org.br/loja](http://ibracon.org.br/loja)

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É QUEM RECEBE O PRESENTE!

