

Aula 15 - Sustentabilidade e Materiais Alternativos

Objetivos da aula

- Conhecer adições minerais (sílica ativa, cinza volante, escória) e seus efeitos no concreto.
- Avaliar materiais reciclados em pavimentos (RAP, RCD) e limitações.
- Discutir pegada de carbono e estratégias de mitigação.

Conteúdo da aula (texto base)

- 1) Adições minerais em concreto Sílica ativa, cinza volante e escória: substituições parciais de cimento para desempenho e menor CO₂.

Sílica Ativa (Silica Fume): Subproduto da indústria de silício e ferro-silício com partículas muito finas ($<1\ \mu\text{m}$), reage com Ca(OH)_2 formando C-S-H (gel de silicato de cálcio e hidrato), melhorando resistência (20-30%), impermeabilidade e durabilidade. É usada em 5-10% da massa de cimento Portland, mas aumenta a viscosidade da mistura.

Cinza Volante (Fly Ash): Subproduto da queima de carvão em usinas termelétricas, classificada em Classe C (alto CaO, com reação hidráulica e pozolânica) ou Classe F (baixo CaO, com reação pozolânica). Reduz o calor de hidratação, melhora trabalhabilidade e permeabilidade. Usada em 15-30% da massa de cimento Portland, com reação pozolânica mais lenta que a sílica ativa, cujos benefícios aumentam com o tempo de cura.

Escória de Alto Forno (GGBFS): Subproduto da produção de ferro-gusa em altos fornos, apresenta reação hidráulica e pozolânica quando ativada com alcalis e sulfatos. Melhora durabilidade, resistência final e reduz permeabilidade e calor de hidratação. Tipicamente substitui 30-70% da massa de cimento Portland, com reação mais lenta e ganhos de resistência mais pronunciados com tempo (90 dias).

- 2) Materiais reciclados RAP e RCD como alternativas; cuidados com dosagem e desempenho.

RAP (Reclaimed Asphalt Pavement): Material proveniente da reciclagem de pavimentos asfálticos existentes, contém agregado reciclado e ligante asfáltico antigo. As vantagens incluem redução de custos, conservação de recursos naturais e menor impacto ambiental. As limitações envolvem qualidade variável, envelhecimento do ligante e necessidade de aditivos rejuvenescedores. Teores típicos

em misturas novas variam de 10-30%. Requer ajustes na dosagem do ligante novo.

RCD (Resíduos de Construção e Demolição): Material proveniente da demolição ou reforma de estruturas, podendo ser processado para produzir agregados reciclados. As vantagens incluem redução de resíduos em aterros e economia de recursos naturais. As limitações envolvem absorção de água superior, forma irregular e resistência à compressão inferior. Pode exigir ajustes no aumento de água de amassamento e possível redução de resistência.

- 3) Pegada de carbono Estratégias de redução em concreto e asfalto.

Ciclo de Vida (LCA): Avaliação sistemática dos impactos ambientais ao longo de todas as etapas de um produto, incluindo extração de matérias-primas, fabricação, transporte, uso e fim de vida. Importância: base científica para comparação de impactos e tomada de decisões sustentáveis.

Pegada de Carbono do Concreto: O principal contribuinte é a produção de cimento Portland, responsável por 40-50% das emissões globais de CO₂. Os processos envolvem calcinação do calcário ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) e combustão para atingir altas temperaturas. Estratégias de mitigação incluem substituição parcial de cimento (CV, GGBFS, metacaulim, fíler de calcário), LC3 (cimento de baixo teor de carbono), otimização da dosagem e uso de aditivos superplastificantes.

Pegada de Carbono do Asfalto: O principal contribuinte é a extração, processamento e transporte de agregados e ligantes. As temperaturas elevadas de produção e compactação (150-180°C) consomem energia. Estratégias de mitigação incluem RAP (reutilização de agregados e ligantes existentes), WMA (redução da temperatura de produção para 100-130°C), reciclagem in loco e ligantes modificados com polímeros.

- 4) Exemplo de redução de CO₂ Substituição de 30% do cimento por sílica ativa resulta em redução de ~20% de CO₂.

Considerando um concreto convencional com 350 kg/m³ de cimento Portland: - CO₂ referência = 350 kg/m³ × 0.9 t/t = 0.315 t CO₂/m³ - Substituindo 30% do cimento por sílica ativa: - Cimento: 350 × 0.7 = 245 kg/m³ - Sílica ativa: 350 × 0.3 = 105 kg/m³ - CO₂ alternativo = (245 × 0.9) + (105 × 0.3) = 0.2205 + 0.0315 = 0.252 t CO₂/m³ - Redução de CO₂ = 0.315 - 0.252 = 0.063 t CO₂/m³ (20% de redução)

Atividade prática Calcular redução de CO₂ com adições minerais e analisar uso de RAP em pavimentos.

Considerar um concreto convencional com 400 kg/m³ de cimento Portland. Propor um traço alternativo com 20% de substituição de cimento por cinza volante Classe F ou escória de alto forno (GGBFS) e calcular a redução de CO₂ para cada alternativa.

Para pavimento asfáltico, considerar 5% de ligante asfáltico em uma mistura com 1000 kg de agregado, e propor um traço com 20% de RAP, calculando a quantidade de ligante novo necessária.

Links suplementares da Aula 15

- Fly ash (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash
- Ground granulated blast-furnace slag: https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_granulated_blast_furnace_slag
- Reclaimed asphalt pavement (em Road surface): https://en.wikipedia.org/wiki/Road_surface_reclaimed_asphalt_pavement