



"MEU MOTOR ESTÁ SUPERAQUECENDO!": ESTRATÉGIAS DE RESFRIAMENTO PARA PILOTOS DE FÓRMULA 1

[Publicado: Maio de 2026/ Autores: Peter J. McKnight, BSc, DiplILM, CSCS, ASCC e Jonah T. McKnight, BTEC L3 Dip/ Tópicos: Saúde do Atleta, Hidratação e Termorregulação, Treino e Performance]

Peter J. McKnight, BSc, DiplILM, CSCS, ASCC | Jonah T. McKnight, BTEC L3 Dip

ProPath – Departamento de Desenvolvimento de Atletas da Snö Performance, Abu Dabi, Emirados Árabes Unidos

PONTOS-CHAVE:

- Os pilotos de Fórmula 1 competem por 90 a 120 minutos em alguns dos ambientes mais quentes do mundo, com temperaturas no interior do macacão de corrida ultrapassando 50 °C; no entanto, o processo de resfriamento permanece como uma das áreas menos pesquisadas na ciência dos esportes automotores.
- A hipertermia prejudica a função cognitiva, a tomada de decisão e o controle motor, todos fatores críticos para uma condução segura e veloz em velocidades superiores a 300 km/h.
- O resfriamento do pescoço, do corpo e das mãos antes da corrida pode atenuar significativamente o estresse térmico e preservar a performance cognitiva no período que antecede a prova.
- A janela ideal de resfriamento no período pré-corrida parece situar-se entre 20 e 40 minutos antes do início da prova, sendo as estratégias combinadas de resfriamento (imersão em água gelada seguida do uso de roupas de resfriamento) mais efetivas do que qualquer estratégia isoladamente.
- A desidratação compõe a carga fisiológica do estresse térmico e, de maneira independente, prejudica a performance do piloto. A ingestão de líquidos durante a corrida, incluindo bebidas resfriadas ou geladas, constitui a principal ferramenta de resfriamento disponível após o início da prova.
- As opções de resfriamento durante a corrida são limitadas a um colete de resfriamento perfundido por água e à ingestão de líquidos, ambos autorizados pela FIA. As evidências científicas recentes indicam que a roupa de resfriamento pode não atenuar, por si só, o aumento da temperatura corporal central, ressaltando a importância das estratégias adotadas no período pré-corrida.
- Os pilotos, seus treinadores de performance e a equipe médica devem desenvolver protocolos de resfriamento individualizados e cientificamente embasados para cada final de semana de competição realizado em ambiente com altas temperaturas.

INTRODUÇÃO

Quando um carro de Fórmula 1 superaquece, seus engenheiros têm milissegundos para responder, ajustando os dutos do radiador, gerenciando a temperatura dos freios ou instruindo o piloto a criar uma lacuna em relação ao carro à frente. A ironia é que o ser humano sentado dentro do carro também pode estar superaquecendo. No entanto, na Fórmula 1, a ciência da termorregulação do piloto recebeu apenas uma pequena parcela da atenção dedicada ao carro. Isso está começando a mudar à medida que um corpo crescente de pesquisas vem caracterizando tanto as demandas fisiológicas impostas ao piloto quanto as estratégias com embasamento científico disponíveis para protegê-lo.

Uma corrida de Fórmula 1 dura entre 90 e 120 minutos, durante os quais o piloto permanece encapsulado em um cockpit de fibra de carbono rigorosamente ajustado, vestindo um uniforme multicamadas resistente ao fogo, luvas, balaclava e capacete. Esses equipamentos são exigidos pela Federação Internacional de Automobilismo (FIA) por razões cruciais de segurança, e o vestuário de proteção, por si só, não pode ser

modificado para incorporar tecnologias de resfriamento ou materiais de mudança de fase (PCMs, do inglês phase-change materials). Portanto, as propriedades de segurança do uniforme impõem um custo fisiológico inevitável e considerável, uma vez que reduzem substancialmente a principal via de dissipação de calor do corpo: a transpiração evaporativa. Mundialmente, as corridas esportivas incluem circuitos no Barein, Singapura, Arábia Saudita, Miami e Catar, onde as temperaturas ambientais rotineiramente excedem 30 °C e as temperaturas da superfície da pista podem ultrapassar 50 °C [Brearley & Finn, 2013]. Sob essas condições, as temperaturas medidas no interior do macacão de corrida podem exceder 50 °C [Brearley & Finn, 2013], criando um ambiente diferente de qualquer outro encontrado nos esportes de elite.

Diferentemente da maioria dos atletas, os pilotos de Fórmula 1 não podem desacelerar, remover as roupas, acessar toalhas geladas ou ir para um local com sombra quando se sentem enalorados. Uma vez iniciada a corrida, as opções para

gerenciar a carga térmica tornam-se extremamente limitadas. As consequências do superaquecimento se estendem além do desconforto físico. Elevações na temperatura corporal central prejudicam a função cognitiva, o tempo de reação, a tomada de decisão e o controle motor fino, todas habilidades das quais um piloto de Fórmula 1 depende para navegar com segurança pelo circuito em velocidades de até 340 km/h, frequentemente separado dos carros rivais por apenas centímetros [Gaoua et al., 2011]. Em casos extremos, o mal-estar relacionado ao calor pode resultar em perda de consciência e, no contexto de um carro de corrida, potencialmente em acidentes catastróficos. Este artigo do Sports Science Exchange examina o desafio térmico enfrentado por pilotos de Fórmula 1, a base científica das estratégias de resfriamento pré-corrida e durante a corrida, a contribuição da desidratação para o estresse térmico e as implicações reais de segurança do gerenciamento térmico inadequado. O objetivo é traduzir as evidências científicas disponíveis em direcionamentos práticos e executáveis para treinadores de performance, equipes médicas e os próprios pilotos.

O AMBIENTE TÉRMICO NA FÓRMULA 1

Tyler et al. [2026] documentaram que, durante a temporada de Fórmula 1 de 2025, os pilotos enfrentaram estresse térmico moderado (definido pelo limiar do Índice Climático Térmico Universal) em pelo menos sete das 24 corridas do Grand Prix, incluindo eventos no Barein, Arábia Saudita, Miami e Singapura, com a superfície da pista excedendo 45 °C em diversos locais e as temperaturas do ar no cockpit registradas entre 36 e 66 °C [Tyler et al., 2026]. Embora os dados da temperatura corporal central dos pilotos de Fórmula 1 não estejam disponíveis devido a restrições logísticas e regulatórias, dados provenientes de cockpits fechados em esportes automobilísticos indicam que

ela pode aumentar entre 1,7 e 2,5 °C por hora durante a corrida [Brearley & Finn, 2013; Watkins, 1995].

Os carros de Fórmula 1 possuem cockpit aberto, o que significa que a cabeça do piloto permanece exposta ao fluxo de ar durante a corrida. O cockpit aberto fornece algum resfriamento por convecção enquanto o carro está em movimento. Esse resfriamento desaparece durante as paradas rápidas, pit stops, nos períodos com presença do carro de segurança [safety car] ou em circuitos de baixa velocidade, como em Mônaco. O macacão resistente ao fogo, as camadas das roupas embaixo do uniforme, as luvas e o capacete criam um microclima ao redor do corpo dos pilotos que limita severamente o resfriamento evaporativo, o mecanismo mais eficiente de dissipação de calor do corpo humano. Taxas de sudorese de aproximadamente 1 L/h foram relatadas em pilotos de Fórmula 1 [Watkins, 1995]. Quando o suor não consegue evaporar por meio da pele obstruída pela roupa, ele fornece pouco benefício de resfriamento e meramente contribui para a perda de líquidos. Além da carga ambiental, os pilotos geram calor endógeno considerável. Pilotos de corrida de elite operam em cerca de 65 a 75% de $VO_{2\text{máx}}$, e estima-se que em uma corrida da categoria open-wheel (rodas expostas) de 90 minutos exista um gasto energético de aproximadamente 540 kcal [Tyler et al., 2026]. Para um piloto de 70 kg com um pico de $VO_{2\text{máx}} \approx 62$ ml/kg/min, isso corresponde a uma produção constante de calor metabólico na faixa de 400 a 600 W [McKnight et al., 2019]. Como o uniforme e o capacete exigidos pela FIA restringem acentuadamente a dissipação evaporativa, essa carga endógena se combina ao ambiente térmico do cockpit, contribuindo para o rápido aumento da temperatura corporal central observado em esportes automobilísticos com cockpit fechado [Brearley & Finn, 2013].



Figura 1: Carga térmica e estresse térmico em um piloto de Fórmula 1. Carga térmica externa [1–3] age no corpo humano no qual o principal caminho de resfriamento está bloqueado pelo uniforme e capacete exigidos pela FIA [4]; Produção contínua de calor metabólico [5] e suor que em grande parte não evapora [6] compõe o desafio. As únicas contramedidas durante a corrida controladas pelo piloto são o resfriamento por convecção da cabeça, disponível apenas quando o carro está em velocidade [7] e a roupa de resfriamento irrigada com água autorizada pela FIA cobrindo apenas o tronco.

O CALOR, O CÉREBRO E O PERIGO DO SUPERAQUECIMENTO A 300 KM/H

O cérebro é altamente sensível a mudanças na temperatura corporal, e um corpo crescente da literatura demonstra que mesmo elevações modestas na temperatura corporal central podem prejudicar de maneira mensurável a performance cognitiva [Gaoua et al., 2011; Racinais & Oksa, 2010]. Isso representa uma preocupação vital na Fórmula 1, onde os pilotos devem gerenciar simultaneamente suas posições na pista, reagir aos movimentos dos pilotos rivais, operar um volante complexo com mais de 20 botões e interruptores, interpretar a comunicação da equipe pelo rádio, gerenciar a temperatura dos pneus, as estratégias de abastecimento e a utilização da bateria, além de manter a consciência espacial de carros que nem sempre conseguem ver, tudo isso enquanto pilotam em velocidades nas quais até mesmo um atraso de 100 milissegundos no tempo de reação se torna significativo.

Elevações na temperatura corporal central tão pequenas quanto 0,8 °C podem prejudicar a coordenação visomotora e a capacidade de tomada de decisão em motoristas de carros de passeio [Wyon et al., 1996]. Gaoua et al. [2011] observaram que a função executiva, a memória de trabalho, a atenção e a velocidade de processamento são todas vulneráveis ao comprometimento induzido pelo calor, particularmente quando a temperatura corporal central excede aproximadamente 38,5–39 °C. Essencialmente, esses comprometimentos podem ocorrer antes do início da fadiga voluntária ou do aparecimento de sintomas evidentes de mal estar relacionado ao calor. Isso significa que um piloto pode estar cognitivamente comprometido sem reconhecer plenamente essa condição. A exposição a ambientes quentes e o confinamento físico aumentam as sensações subjetivas de fadiga, desconforto e esforço mental [Hancock & Vasmatazidis, 2003]. Além disso, temperaturas corporais elevadas aumentam as incidências de erro tanto em ambientes laboratoriais quanto ocupacionais [Staal, 2004].

A tolerância fisiológica de um indivíduo à aceleração gravitacional é significativamente reduzida na presença de hipertermia. O trabalho de referência de Nunneley e Stribley [1979] demonstrou que o estresse térmico reduziu a tolerância à força G em 0,3 G, um achado materialmente consistente com a acentuada debilitação cardiovascular (redução do débito cardíaco, volume sistólico e pressão arterial) que ocorre quando a desidratação é sobreposta à hipertermia [González-Alonso et al., 1997]. Um piloto com capacidade reduzida de resistir às forças G laterais e de frenagem nas curvas da Fórmula 1 pode ter dificuldade em manter a estabilidade da cabeça. Consequentemente, a visão e a função vestibular podem ser comprometidas, ambas essenciais para a segurança nas corridas [McKnight et al., 2019]. Além disso, um piloto

submetido a estresse térmico significativo não apenas sente desconforto, como também provavelmente será consideravelmente menos eficiente e menos seguro do que um piloto em condições termoneutras. Isso faz com que as estratégias de resfriamento cientificamente embasadas não sejam apenas uma otimização de desempenho, mas uma intervenção crucial para a segurança.

O RESFRIAMENTO PRÉ-CORRIDA: A JANELA DE OPORTUNIDADE MAIS EFETIVA

Como as oportunidades para o resfriamento durante uma corrida de Fórmula 1 são severamente limitadas, o período pré-corrida representa a principal janela na qual uma proteção térmica significativa pode ser estabelecida. Ao reduzir a temperatura corporal central antes do início da corrida, o piloto começa o evento com uma maior "reserva térmica" — uma margem de segurança antes que os limites críticos de comprometimento fisiológico e cognitivo sejam atingidos. [Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015].

Uma revisão abrangente sobre pré-resfriamento realizada por Tyler et al. [2015] demonstrou que estratégias combinadas, geralmente envolvendo imersão em água fria seguida do uso de vestimentas de resfriamento, são mais eficazes do que qualquer modalidade isolada. Especificamente, a imersão em água fria reduz a temperatura corporal central por meio da transferência de calor por condução, enquanto as vestimentas de resfriamento atenuam o subsequente aumento da temperatura da pele e reduzem a sensação de estresse térmico. Todos os três preparadores físicos de Fórmula 1 entrevistados por Tyler et al. [2026] pré-resfriavam seus pilotos antes de corridas em dias quentes. A imersão em água fria foi identificada como o método mais eficaz, geralmente realizada aproximadamente uma hora antes da corrida, descrita como "o mais tarde que podemos fazer, considerando o cronograma". [treinador 2, citado em Tyler et al., 2026].

Resfriamento do Pescoço. O resfriamento do pescoço é de particular interesse para pilotos de Fórmula 1. O pescoço é rico em termorreceptores e está próximo das artérias carótidas. Consequentemente, o resfriamento local dessa região apresenta um efeito desproporcionalmente maior no conforto térmico percebido em relação à redução realmente atingida na temperatura corporal central [Nunneley et al., 1971; Tyler et al., 2015]. Considerando a elevada massa do capacete e do sistema cabeça-pescoço (~6,4 kg; Tyler et al., 2026), combinada com as exigências de força G impostas à musculatura do pescoço durante as corridas, qualquer intervenção que reduza a fadiga neuromuscular e o desconforto térmico nesta região tem um potencial benefício duplo. Os profissionais devem observar, no entanto, que o principal mecanismo parece ser perceptivo, visto que um

ensaio cruzado randomizado descobriu que uma gola de gelo usada durante o exercício em calor de 35°C não produziu redução significativa na temperatura central, frequência cardíaca ou perda de suor, apesar de sensações térmicas de resfriamento significativamente percebidas [Ishizuka et al., 2025].

O Resfriamento Corporal por meio do Colete de Gelo ou Jaqueta de Resfriamento. Coletes de gelo e jaquetas de resfriamento são os principais recursos do gerenciamento térmico pré-corrida. Estudos com ciclismo, corrida e esportes coletivos demonstram consistentemente que o uso de coletes de gelo para o pré-resfriamento reduz a temperatura corporal central, diminui

o aumento da frequência cardíaca e da percepção de esforço durante exercício subsequente realizado no calor, além de poder prolongar o tempo até a exaustão [Chan et al., 2017; Quod et al., 2008; Tyler et al., 2015]. Os principais mecanismos envolvem uma maior margem da temperatura corporal central antes que limiares fisiológicos críticos sejam atingidos e uma taxa atenuada de deriva cardiovascular (cardiovascular drift) [Chan et al., 2017]. A duração recomendada do pré-resfriamento é de 20 a 40 minutos, sendo que períodos mais longos proporcionam mais benefícios, mas diminuindo os resultados à medida que a corrida se inicia [Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015].

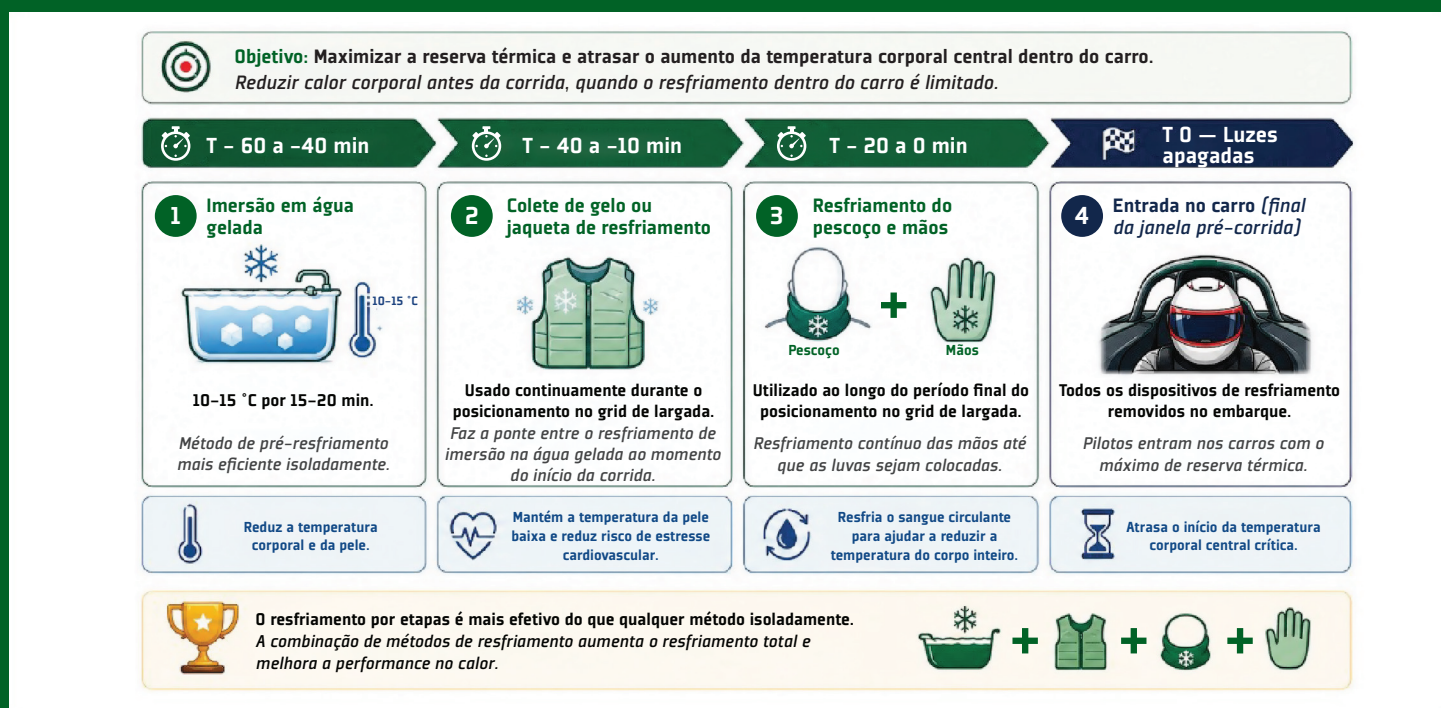


Figura 2: Cronograma recomendado para o protocolo de resfriamento pré-corrida. Aplicação em camadas de imersão em água fria, colete de gelo/jaqueta de resfriamento e resfriamento final do pescoço e das mãos, concluído à entrada do carro. Cada modalidade contribui com um efeito distinto na temperatura central ou da pele, no estresse cardiovascular ou no resfriamento de todo o corpo. O benefício cumulativo supera o de qualquer método isolado [Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015, 2026].

Resfriamento das Mãos. O resfriamento das mãos é menos intuitivo, mas constitui uma ferramenta valiosa. A superfície das palmas das mãos contém uma alta densidade de anastomoses arteriovenosas que permitem uma troca de calor eficiente, e o resfriamento das mãos por meio de luvas com água gelada ou aparelhos de imersão pode proporcionar um resfriamento sistêmico significativo e melhorias na performance de resistência [Bongers et al., 2015; Grahn et al., 2005]. De forma única, o resfriamento das mãos pode ser mantido até o momento em que o piloto coloca suas luvas, maximizando a duração do benefício térmico.

Protocolo Recomendado. O resfriamento pré-corrida deve ser concluído o mais próximo possível do início da corrida, dentro do que for logisticamente viável [Tyler et al., 2015]. Evidências científicas e práticas atuais respaldam uma abordagem em etapas:

- Imersão em água gelada (10-15 °C, 15-20 min), aproximadamente 45-60 min antes da corrida.
- Transição imediata para o colete de gelo e a gola de resfriamento do pescoço, utilizados até a entrada no carro.
- Resfriamento das mãos nos 10 a 20 minutos finais antes do embarque.

Essa abordagem combinada e consecutiva contempla a redução da temperatura corporal central, o gerenciamento contínuo da temperatura da pele e o resfriamento até o último momento possível.

O RESFRIAMENTO DURANTE A CORRIDA: TRABALHANDO COM O QUE SE TEM DISPONÍVEL

Uma vez iniciada a corrida, as opções para gerenciar o estresse térmico são extremamente limitadas pelas regulamentações de segurança. As regras de apoio da FIA proíbem a adição de ventiladores ou qualquer outro dispositivo de resfriamento ativo ao carro, e nenhuma intervenção externa de resfriamento é permitida enquanto a corrida está em andamento. Duas ferramentas permanecem disponíveis: a roupa de resfriamento com circulação de água, previamente instalada e utilizada sob o macacão, e a ingestão de líquidos. O sistema de resfriamento, frequentemente referido de maneira informal como “Colete de Resfriamento”, consiste em uma blusa com a base irrigada com água, cobrindo o tronco (peitoral, costas e parte superior dos braços). As pernas não são irrigadas, embora o design do sistema continue em evolução. Desde a temporada de 2025, a roupa de resfriamento com circulação de água é autorizada quando a corrida é declarada apresentando “risco térmico” (previsão de temperatura ambiental ≥ 31 °C). A partir de 2026, a roupa de resfriamento deverá ser colocada e utilizada por todos os pilotos em todos os eventos, independentemente da previsão da temperatura, embora sua ativação permaneça a critério do piloto [Tyler et al., 2026].

Ingestão de Líquidos: O Resfriamento de Dentro para Fora.

Ingerir líquidos frios ou gelados durante o exercício em clima quente proporciona uma redução significativa, ainda que modesta, na temperatura corporal central. O líquido ingerido, mais frio que a temperatura corporal, precisa ser aquecido, retirando energia térmica da região central [Siegel et al., 2010]. Bird et al. [2025] demonstraram isso diretamente com oito pilotos de corrida que completaram simulações de corridas de 120 minutos a 40°C e 50% de umidade, trajando o uniforme completo da FIA. A água fria (~5°C) produziu um aumento significativamente menor na temperatura corporal central em comparação com o líquido à temperatura ambiente (1,17°C vs. 1,69°C). Todos os oito pilotos completaram o teste com água fria, enquanto apenas dois completaram o teste com água à temperatura ambiente. Além disso, o volume de líquido frio consumido foi substancialmente maior, e o líquido em temperatura ambiente foi considerado desagradável ao paladar. A “raspadinha de gelo”, que absorve calor adicional ao derreter no intestino, reduziu a temperatura corporal central em cerca de 0,3 a 0,5 °C em comparação com a água fria e prolongou o tempo até a exaustão [Siegel et al., 2010; Tyler et al., 2013]. O sistema convencional manual de ingestão de líquidos tende a produzir um padrão irregular de consumo em dose bolus. Um

estudo usando simulador com 20 pilotos profissionais de elite constataram que isso resultou em maior hipohidratação e tempos de volta 4,1% mais lentos em comparação com um sistema de hidratação automática, apesar da ingestão de volumes de líquidos equivalentes [Ferguson et al., 2023]. Recomenda-se que treinadores e nutricionistas esportivos trabalhem com os pilotos para identificar formulações de líquidos palatáveis, otimizar a temperatura das garrafas de água e praticar a hidratação durante as sessões em simulador.

O “Colete de Resfriamento” autorizado levanta questões importantes. A primeira comparação controlada, revisada por pares, de tecnologias de resfriamento para pilotos, financiada pela equipe de Fórmula 1 Mercedes-AMG Petronas, produziu um resultado contraintuitivo. O “Colete de Resfriamento” não apenas falhou em reduzir a temperatura corporal central em relação à condição controle sem resfriamento, mas também foi associado a uma temperatura corporal central mais elevada (38,58 vs. 38,32 °C) após 60 minutos de exercício em ambiente de 32 °C e 80% de umidade, utilizando uniforme completo com especificações da FIA [Davis et al., 2026]. Um ventilador de uniforme produziu a menor temperatura corporal central (37,51 °C), embora atualmente não seja autorizado para uso na Fórmula 1. O colete de resfriamento atenuou a temperatura da pele, mas sua aparente exacerbação da carga central de calor, em comparação com a condição sem resfriamento, levanta questões importantes sobre sua adequação como única intervenção autorizada. O mecanismo por trás desse resultado paradoxal provavelmente envolve um efeito de feedback termorregulatório negativo. O resfriamento dos termorreceptores cutâneos sinaliza à área pré-óptica do hipotálamo a redução das respostas de perda de calor (vasodilatação cutânea e transpiração), potencialmente retraindo o calor metabólico endógeno na região central do corpo [Ishizuka et al., 2025]. Davis et al. [2026] observaram adicionalmente que os participantes relataram que a roupa “esquentava” após aproximadamente 30 minutos, sugerindo que a capacidade de resfriamento declina à medida que o reservatório do sistema é sobrecarregado pela carga térmica. A combinação da atenuação do resfriamento endógeno e do declínio da eficiência do dispositivo de resfriamento explica, de maneira plausível, a maior temperatura corporal central final observada na condição “Colete de Resfriamento”.

Três achados adicionais de Davis et al. [2026] merecem atenção por parte das equipes de Fórmula 1. Primeiro, a efetividade do Colete de Resfriamento diminuiu após aproximadamente 30 minutos, uma limitação significativa para corridas com duração entre 90 e 120 minutos. Segundo, apesar de produzir valores mais elevados da temperatura corporal central e estresse fisiológico, mais participantes completaram a condição de “Colete de Resfriamento” do que a condição sem resfriamento, indicando que a sensação de

resfriamento pode mascarar a deterioração fisiológica; em um carro de corrida, essa dissociação representa um risco real à segurança. Terceiro, falhas no sistema foram observadas em aproximadamente 15% dos eventos automobilísticos ao longo de 15 anos de pesquisa de campo, embora isso se aplique principalmente ao sistema Rini utilizado em categorias da América do Norte. As equipes de Fórmula 1 utilizam roupas personalizadas, com confiabilidade potencialmente distinta, mas verificações rigorosas do sistema antes dos eventos são essenciais. As equipes devem tratar o “Colete de Resfriamento” exigido pelo regulamento como um padrão mínimo obrigatório, e investir na otimização da temperatura e da taxa de fluxo de líquido refrigerado, combinados com estratégias de resfriamento pré-corrida.

DESIDRATAÇÃO: UMA AMEAÇA AGRAVANTE

A desidratação e a hipertermia não são estressores independentes. As perdas de líquido reduzem o volume plasmático circulante, comprometendo a função cardiovascular e prejudicando a capacidade do corpo de direcionar sangue tanto para a musculatura contrátil quanto para a pele, a fim de promover a dissipação de calor [Sawka et al., 2015; Kenefick et al., 2010]. Perdas de massa corporal de 2% ou mais prejudicam a performance de endurance, e até mesmo uma desidratação leve (~1%) pode aumentar os erros ao dirigir em pilotos de elite não profissionais [Watson et al., 2015]. A desidratação também prejudica a performance neuromuscular, a capacidade aeróbica e a tolerância à aceleração gravitacional [Sawka et al., 2015], e o achado clássico de que a desidratação exacerba reduções na tolerância à força G induzidas pelo calor [Nunneley & Stribley, 1979] possui relevância direta. Um piloto que inicia a corrida desidratado enfrenta simultaneamente uma termorregulação prejudicada e uma redução na resiliência à força G. Quando a tolerância gastrointestinal permitir, os líquidos oferecidos durante a corrida devem conter carboidratos (~30–60 g/hora) e sódio (~0,5–0,7 g/L) para auxiliar na preservação do glicogênio e na retenção de líquidos, considerando a carga metabólica correspondente a um $\dot{V}O_2$ máx de ~65–75% relatado para a corrida [Tyler et al., 2026]. Todos os treinadores de performance entrevistados por Tyler et al. [2026] enfatizaram a importância da ingestão de carboidratos, apesar da ausência de recomendações específicas para esportes automotores.

Taxas de sudorese de ~1 L/hora foram relatadas em pilotos de Fórmula 1 [Watkins, 1995], indicando que, ao longo de uma corrida de 90 a 120 minutos, um piloto pode perder entre 1,5 e 2,0 L de líquido, aproximando-se do limiar de debilitação da performance. Os pilotos devem chegar ao circuito bem hidratados, monitorando a coloração da urina como indicador prático e consumindo entre 5–7 ml/kg de massa corporal pelo menos 4 horas antes do início da corrida. Além disso, devem realizar testes de taxa de sudorese em condições

representativas dos circuitos, a fim de estabelecer metas significativas de ingestão de líquidos durante a corrida.

SEGURANÇA: ALÉM DA PERFORMANCE, UMA QUESTÃO DE VIDA OU MORTE

Na Fórmula 1, onde um momento de lapso cognitivo ou hesitação física pode resultar em uma colisão em velocidades superiores a 300 km/h, o gerenciamento térmico inadequado não é apenas uma preocupação de performance, mas também uma ameaça potencial à vida. As doenças relacionadas ao calor apresentam-se em um espectro que varia de câibras induzidas pelo calor e exaustão térmica até o golpe de calor por esforço [Exertional Heat Stroke – EHS], caracterizado por temperatura corporal central acima de 40°C acompanhada de comprometimento do sistema nervoso central [Casa et al., 2015]. Em um carro de corrida, a resposta médica padrão — remover o piloto da fonte de calor e iniciar um resfriamento rápido — exige, primeiro, que ele consiga parar o carro com segurança, criando uma janela crítica de exposição contínua ao calor. O Grand Prix do Catar de 2023, no qual diversos pilotos necessitaram de atendimento médico e pelo menos um abandonou a corrida devido ao mal-estar relacionado ao calor, levou a FIA a iniciar uma revisão formal das condições de competição em ambientes de calor extremo e a autorizar melhores normas de resfriamento entre 2025 e 2026 [Tyler et al., 2026]. Os sintomas relatados ao longo do grid incluíram desidratação severa, vômitos dentro do capacete, visão turva e quase perda de consciência durante a pilotagem, constituindo um dos exemplos contemporâneos mais claros de estresse térmico sobrecarregando atletas de elite altamente condicionados em um ambiente controlado. A resposta regulatória, embora bem-vinda, não substitui a necessidade de um gerenciamento térmico individualizado em nível de equipe.

A equipe médica e os treinadores de performance devem manter atenção ao estado de hidratação de cada piloto, às condições ambientais e aos fatores de risco individuais para mal-estares relacionados ao calor — incluindo mal-estares recentes, distúrbios do sono e exigências da viagem — antes de cada fim de semana de corrida em clima quente.

Apesar desses estressores, incidentes graves relacionados ao calor na Fórmula 1 permanecem raros. Três fatores explicam plausivelmente esse cenário. Primeiro, os pilotos apresentam elevada capacidade aeróbica (pico de $\dot{V}O_2$ ~62 ml/kg/min em pilotos de elite; McKnight et al., 2019), o que lhes confere maior tolerância ao calor e uma reserva termorregulatória mais ampla do que a da população geral. Segundo, todos os pilotos de elite atualmente realizam programas estruturados de aclimação ao calor (normalmente sessões de 60 minutos, durante 5 a 10 dias antes de corridas em ambientes quentes), além de estratégias de resfriamento pré-corrida e protocolos

de hidratação amplamente praticados [Tyler et al., 2026]. Terceiro, o desenho de cabine aberto proporciona resfriamento por convecção da cabeça sempre que o carro está em movimento. O Grande Prêmio do Catar de 2023 ilustra o que pode ocorrer quando essas camadas de proteção são insuficientes. A combinação de umidade excepcionalmente elevada, um cronograma apertado e uma proporção incomumente alta de voltas disputadas sem intervenções do carro de segurança levou diversos pilotos além de sua reserva térmica, motivando a resposta regulatória subsequente. Além de proteger os pilotos corrida após corrida, os avanços nas tecnologias e nos protocolos de resfriamento têm implicações para o próprio esporte. Um gerenciamento térmico mais eficaz amplia as opções da FIA para a definição dos horários e locais das corridas, reduzindo a necessidade de programar eventos fora dos meses mais quentes ou dos períodos mais quentes do dia.

RESUMO E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Os pilotos de Fórmula 1 enfrentam um desafio térmico que pode ser considerado único nos esportes de elite: calor ambiental extremo, um uniforme fechado e isolante, corridas com duração de 90 a 120 minutos e praticamente nenhuma oportunidade de resfriamento durante a prova além da ingestão de líquidos. As consequências de um gerenciamento térmico inadequado — comprometimento cognitivo, redução da tolerância à força G e aumento do risco de mal-estares relacionados ao calor — possuem implicações diretas para a segurança no mais alto nível do automobilismo.

As evidências científicas disponíveis respaldam as seguintes recomendações práticas:

Pré-corrida:

- Realizar imersão em água gelada (10–15 °C, 15–20 minutos) aproximadamente 45–60 minutos antes da corrida.
- Utilizar um colete de gelo ou uma roupa de resfriamento com material de mudança de fase imediatamente após a imersão em água gelada, mantendo seu uso até a entrada no carro.
- Utilizar uma gola de resfriamento para o pescoço ou um colar de gelo durante todo o período de espera no grid de largada antes da corrida.
- Aplicar estratégias de resfriamento das mãos (luvas resfriadas ou dispositivo de imersão das mãos) nos 10–20 minutos finais antes da entrada no carro.
- Chegar ao circuito adequadamente hidratado, visando uma coloração amarelo-clara da urina, e consumir 5–7 ml/kg de massa corporal pelo menos 4 horas antes do início da corrida.

Durante a corrida:

- Encher a garrafa de bebida com líquido resfriado ou gelado. Considerar o uso de raspadinha de gelo para maximizar a capacidade de resfriamento térmico.
- Garantir que o “Colete de Resfriamento” autorizado pelo regulamento esteja funcionando adequadamente e que o sistema seja rigorosamente verificado antes de cada corrida realizada em condições de calor. Embora reduza a temperatura da pele, as evidências atuais indicam que ele pode não reduzir — e potencialmente até aumentar — a temperatura corporal central em comparação com a ausência de resfriamento, com seus benefícios diminuindo após aproximadamente 30 minutos [Davis et al., 2026]. Portanto, deve ser considerado um requisito regulatório mínimo e utilizado em combinação com estratégias de resfriamento pré-corrida.
- Praticar a ingestão de líquidos durante a corrida, em sessões com simulador e dias de teste.

Após a corrida:

- Inicie um resfriamento ativo imediatamente – remova o capacete, macacão e luvas e vá para um ambiente resfriado.
- Reidrate imediatamente com volume de líquido equivalente às perdas de suor estimadas.

A ciência do resfriamento na Fórmula 1 ainda está em seus estágios iniciais. Os profissionais da área devem recorrer à literatura mais ampla sobre estresse térmico e pré-resfriamento, bem como à experiência acumulada dos treinadores de performance de elite, para proteger a saúde e o desempenho desses atletas extraordinários. Na Fórmula 1, o piloto não é apenas o componente mais caro do carro; ele é também o único que não pode ser substituído durante uma corrida.

Os pontos de vista expressos aqui são dos autores e não refletem necessariamente a posição ou políticas da PepsiCo, Inc.

LEITURA RECOMENDADA

Setembro de 2025

SSE #268 Potencializar a Performance Começa com o Sono: como a perda de sono prejudica os objetivos nutricionais

Setembro de 2025

SSE #267 Ingredientes Funcionais para o Atleta

Agosto de 2025

SSE #266 Crononutrição: Implicações para a Saúde do Atleta e Performance

REFERÊNCIAS

- Bongers, C.C., T.M. Hopman, and T.M. Eijssvogels (2015). Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature* 2:60–78.
- Bird, S.R., O. Troynikov, C. Watson, M. Cohen, and S. Sostaric (2025). Cold water ingestion ameliorates increase in core temperature and discomfort during simulated motor racing in a hot environment: a randomized trial. *Front. Sports Act. Living* 7:1514963.
- Brearley, M., and J. Finn (2013). Responses of professional racing drivers to high speed racing in hot conditions. *J. Sci. Med. Sport* 16:26–31.
- Casa, D.J., B.P. DeMartini, M.F. Bergeron, D. Csilan, E.C. Eichner, R.M. Lopez, M.S. Ferrara, K.M. Miller, F.G. O'Connor, M. Sawka, and S.A. Yeargin (2015). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional heat illnesses. *J. Athl. Train.* 50:986–1000.
- Chan, A.P.C., Y. Yang, W.F. Song, and D.P. Wong (2017). Hybrid cooling vest for cooling between exercise bouts in the heat: effects and practical considerations. *J. Therm. Biol.* 63:1–9.
- Davis, A.R., J. Breach-Teji, A.L. Faltus, A.E. Boettcher, G.D. Gulbransen, S. Marchal, G.M. Pluszczynski, S. Khaja, and D.P. Ferguson (2026). Driver cooling strategies to mitigate heat illness in motorsports: physiological impacts and recommendations. *Med. Sci. Sports Exerc.* Online ahead of print. PMID 41774482.
- Ferguson, D.P., P.R. Alex, J.M. Castrucci, A.M. Akouri, G.R. Januszewski, J.D. Danes, and F.L. Houck (2023). Prompted hands-free drinking improves simulated race car driving in a hot environment. *J. Sports Sci.* 41:1093–1106.
- Gaoua, N., C. Grantham, S. Racinais, and F. Ihsan (2011). Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. *J. Environ. Psychol.* 31:158–163.
- González-Alonso, J., R. Mora-Rodríguez, P.R. Below, and E.F. Coyle (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J. Appl. Physiol.* 82:1229–1236.
- Grahn, D.A., V.H. Cao, and H.C. Heller (2005). Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *J. Appl. Physiol.* 99:972–978.
- Hancock, P.A., and I. Vasmatazidis (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. *Int. J. Hypertherm.* 19:355–372.
- Ishizuka, K., C. Nagano, M. Togawa, K. Kado, K. Tajima, K. Mori, and S. Horie (2025). Inefficacy of neck cooling in suppressing core body temperature elevation during exercise in a hot environment: a randomized cross-over trial. *Environ. Health Prev. Med.* 30:60.
- Kenefick, R.W., S.N. Cheuvront, L.J. Montain, and M.N. Sawka (2010). The effects of fluid regulation on cognitive and physical performance. In: Stellingwerff, T., and R.J. Maughan (eds.), *Nutrition and the Athlete*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- McKnight, P.J., L.A. Bennett, J.J. Malvern, and D.P. Ferguson (2019). V02peak, body composition, and neck strength of elite motor racing drivers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51:2563–2569.
- Nunneley, S.A., S.J. Dowd, and P. Dennis (1971). Facial cooling: Effects on physiology and comfort during hyperthermia. *Aerosp. Med.* 42:148–152.
- Nunneley, S.A., and R.F. Stribley (1979). Fighter index of thermal stress: Guidance for hot-weather operations. *Aviat. Space Environ. Med.* 50:639–642.
- Periard, J.D., S. Racinais, N. Timpka, J. Dahlström, J. Sprenger, A.R. Mortensen, and R. Budgett (2021). Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: A cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships. *Br. J. Sports Med.* 55:56–62.
- Quod, M.J., D.T. Martin, P.B. Laursen, A.S. Gardiner, S.L. Halson, F.E. Narino, M.T. Pate, D.E. Mainwaring, C.J. Gore, and A.G. Hahn (2008). Practical pre-cooling: effect of cycling time trial performance in warm conditions. *J. Sports Sci.* 26:1477–1487.
- Racinais, S., and J. Oksa (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scand. J. Med. Sci. Sports Exerc.* 20(Suppl 3):1–18.
- Sawka, M.N., W.A. Latzka, S.J. Montain, B.S. Cadarette, S.N. Kolka, K.K. Kraning, and R.R. Gonzalez (2015). Physiologic tolerance to uncompensable heat stress: Effects of exercise intensity, protective clothing, and climate. *J. Appl. Physiol.* 77:216–222.
- Siegel, R., J. Mate, M.B. Brearley, G. Watson, K. Nosaka, and P.B. Laursen (2010). Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42:717–725.
- Staal, M.A. (2004). Stress, cognition, and human performance: A literature review and conceptual framework. NASA Technical Memorandum TM-2004-212824.
- Tyler, C.J., J. Wild, and C. Benson (2013). Practical cooling method efficacy and comfort in an athletic setting. *J. Sports Sci.* 31:1014–1024.
- Tyler, C.J., C. Sunderland, and S.S. Cheung (2015). The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: A meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 49:7–13.
- Tyler, C.J., L. Felton, A. Ferrari, K. Keedle, R. Manwaring, and A. Buoite Stella (2026). Physiological and health demands of Formula 1 motor racing: a comprehensive review with driver performance coach insight. *Br. J. Sports Med.* Online ahead of print. PMID 41708274.
- Watkins, E.S. (1995). The physiology and pathology of formula one Grand Prix motor racing. *Clin. Neurosurg.* 46:288–300.
- Watson, P., A. Whale, S.A. Mears, L.A. Reyner, and R.J. Maughan (2015). Mild hypohydration increases the frequency of driver errors during a prolonged, monotonous driving task. *Physiol. Behav.* 147:313–318.
- Wyon, D.P., I. Wyon, and F. Norin (1996). Effects of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle. *Ergonomics* 39:61–75.