



## XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

# EQUIPAMENTO DE REFRIGERAÇÃO PARA CRIOTERAPIA: CONTROLE DE TEMPERATURA, TEMPO E COMPRESSÃO NO TRATAMENTO

## PAPER XX

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo projetar e montar um equipamento de refrigeração por compressão a vapor, para aplicação na fisioterapia, que promovesse os controles referente à temperatura, compressão e tempo no tratamento conhecido como crioterapia, que são orientados nos protocolos PRICE (*Protection, Rest, Ice, Compression and Elevation*) e POLICE (*Protection, Optimal Loading, Ice, Compression and elevation*). Foram utilizados os conhecimentos de processo inflamatório, da refrigeração, do ciclo de compressão a vapor e seguido os protocolos que são procedimentos realizados para o tratamento da lesão. A metodologia de pesquisa empregada foi a experimental, que se baseou em simular a carga térmica de um corpo de prova afim de qualificar e quantificar a performance do equipamento projetado. O corpo de prova onde estava sendo aplicado 80W de potência de aquecimento, atingiu temperaturas menores que 10 graus célsius em sua superfície antes de 20 minutos, portanto atingindo o objetivo do trabalho e permitindo que se abra novos campos de pesquisa sobre os equipamentos de refrigeração para crioterapia e técnicas de aplicação.

**Palavras-chave:** Crioterapia. Temperatura. Controle. Refrigeração.

### ABSTRACT

This work aimed to design and assemble a refrigeration equipment by vapor compression, for application in physiotherapy, that would promote the controls related to temperature, compression and time in the treatment known as cryotherapy, which are guided by the PRICE (*Protection, Rest, Ice, Compression and Elevation*) and POLICE (*Protection, Optimal Loading, Ice, Compression and elevation*). Knowledge of the inflammatory process, refrigeration, the steam compression cycle was used and the protocols that are performed for the treatment of the lesion were followed. The research methodology used was the experimental one, which was based on simulating the thermal load of a specimen in order to qualify and quantify the performance of the projected equipment. The specimen where 80W of heating power was being applied, reached temperatures below 10 degrees Celsius on its surface before 20 minutes, thus reaching the objective of the work and allowing the opening of new fields of research on the refrigeration equipment for cryotherapy and application techniques.

**Keywords:** Cryotherapy. Temperature. Control. Cooling.

## 1 INTRODUÇÃO

O Frio pode ser definido na termodinâmica segundo Moran e Shapiro (2011) como a sensibilidade do tato quando distingue um corpo (objeto) mais quente do que o outro, e "sempre que existir um gradiente de temperatura dentro de um sistema ou dois sistemas a diferentes temperaturas e forem colocados em contato, haverá transferência de energia" ou Transferência de calor (KREITH, F, 2003, p.1).

A crioterapia é uma modalidade de reabilitação utilizada em tratamento terapêutico através da transferência de energia térmica por condução ou convecção (ROENN; PAICE; PREODOR, 2008).

A crioterapia é uma técnica utilizada no tratamento de lesões e procedimentos cirúrgicos para controle da dor e tratamento pós operatório (SWENSON *et al.*, 1996), é a aplicação do frio de várias formas distintas possibilitando a diminuição da velocidade de condução dos sinais nervosos, hemorragias, edemas e inflamações sendo efetiva na redução de dor musculoesquelética, espasmo muscular e distinção do tecido conjuntivo (VERA *et al.*, 2015).

Os efeitos da crioterapia no local de aplicação são: vasoconstrição, diminuição da inflamação e da dor; maior relaxamento, redução de espasmos musculares e da rigidez muscular (YENG *et al.*, 2015).

Na fisioterapia a crioterapia tem sido utilizada de diferentes formas, como: aplicação de gelo ou compressas geladas, massagem com gelo, criocinética (aplicação de gelo e exercícios físicos), crioalongamento (utilização de gelo e alongamento muscular), banhos de água fria (piscina fria ou imersão em recipientes com gelo).

A lesão muscular é definida como sendo uma desorganização das miofibrilas, ruptura de mitocôndrias e retículo sarcoplasmático, interrupção da continuidade do sarcolema, autodigestão e necrose celular, além de disfunção microvascular progressiva e inflamação local (SCHASER *et al.*, 2007).

Os atletas de alto desempenho buscam técnicas para aumentar ou melhorar o desempenho físico em suas modalidades esportivas, desta forma a rápida recuperação muscular torna-se um diferencial para atletas que necessitam recuperar-se mais rapidamente de treinos exaustivos (FREITAS; LUZARDO, 2013).

As máquinas de refrigeração que surgiram a partir de 1921, utilizam componentes básicos de um sistema de refrigeração, compressor-motor, evaporador (resfriador de líquido), condensador e um dispositivo de expansão, que interligados e com acionamento por painel elétrico de controle, formam um circuito fechado de refrigeração, como por exemplo os sistemas de água gelada, são muito utilizados em diversos processos de resfriamento (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

Portanto a finalidade da utilização da crioterapia é conseguir os benefícios da utilização do frio promovendo o resfriamento corporal local de uma área lesionada, para isso é necessário manipular e controlar a temperatura do fluido a ser utilizado para a transferência de calor, utilizando os princípios da refrigeração. Visando implementar uma melhoria a este tratamento, este trabalho se propõe a projetar e desenvolver um protótipo que possibilite o monitoramento de temperatura, pressão e tempo.

## **1.1 Justificativa**

O uso sistêmico de medicamentos visando o combate a processos inflamatórios traz problemas colaterais, problemas cardiovasculares, bloqueio

das ações prostanóides na função renal e problemas no trato gastrointestinal, com tais limitações apontadas a intervenção através de medicamentos ficam inviáveis, levando a busca de novos tratamentos como a fisioterapia (SOUZA; UEDA, 2014).

Estudos apontam (SANTOS, 2015; LEVENTHAL, 2010) que o processo de crioterapia não mencionam o controle da temperatura do fluido refrigerante, apesar de indicarem as temperaturas de aplicação.

A indicação de uso de gelo na fisioterapia é seguida por protocolos como o PRICE que é a sigla em inglês para *Protection, Rest, Ice, Compression and Elevation* que foi recentemente atualizado para *Protection, Optimal Loading, Ice, Compression and elevation* (POLICE), onde Rest foi substituído por Optimal Loading (BLEAKLEY, GLASGOW; MACAULEY, 2011).

A crioterapia é indicada para tratamento de dores musculoesqueléticas traumáticas e inflamatórias, redução de edemas e indução de relaxamento muscular (YENG *et al.*, 2015), recentemente tem sido utilizado em várias áreas da medicina e odontologia (KESKIN *et al.*, 2017).

O objetivo da utilização terapêutica é o de mitigar as sequelas relacionadas ao processo de lesão (dor, edema, hemorragia e espasmos musculares) e diminuir as lesões secundárias, sendo a aplicação local a mais indicada para recuperar os tecidos lesionados (SANTOS, 2014).

Apesar de não ser encontrados trabalhos científicos que demonstrem o controle da temperatura do fluido refrigerante, no mercado foram localizados apenas dois equipamentos com sistema por compressão a vapor com controle. (QRYO, 2020. RECOVERY TUB, 2020)

## **2 OBJETIVO GERAL**

Projetar um equipamento de refrigeração, para o tratamento conhecido como crioterapia, com controle de temperatura, tempo e pressão.

### **2.1 Objetivos específicos**

Visando alcançar as conclusões. Este trabalho tem por objetivos específicos:

Pesquisar os parâmetros adotados na fisioterapia para a aplicação do tratamento crioterápico e os métodos de tratamentos de crioterapia local que se enquadram nas necessidades do projeto do equipamento;

Determinar a carga térmica necessária para aplicação de crioterapia local;

Determinar os componentes necessário do sistema para alcançar o controle ideal e a melhor eficácia da aplicação;

Construir um equipamento como protótipo afim de testar a aplicação através de corpo de prova;

Avaliar o desempenho de controle de temperatura, pressão e tempo de tratamento.

### **3 A CRIOTERAPIA**

A Crioterapia pode ser traduzida em sua etimologia como o “Tratamento com Frio”, um ramo da fisioterapia que abrange várias técnicas específicas utilizando o frio em lesões como tratamento imediato (VIANA, 2015). É definida como o uso de uma substância aplicada ao corpo para remover o calor corporal, diminuindo a temperatura dos tecidos (LEVENTHAL, 2010), portanto, é uma modalidade de reabilitação utilizada em tratamento terapêutico através da transferência de energia térmica por condução ou convecção (ROENN; PAICE; PREODOR, 2008).

Para Roenn (2008) a crioterapia é uma modalidade de reabilitação Física passiva para o tratamento em distúrbios dolorosos agudos e persistentes é utilizada em parte de um regime terapêutico intenso agudo ou constante para ter melhor resultado fisiológico em tecidos lesionados. A aplicação da crioterapia é empregada para atenuar a dor, alterar a distensibilidade dos tecidos e controlar a inflamação (STANOS, 2008)

#### **3.1 A Aplicação do Tratamento**

Santos (2015) relata que a crioterapia é muito utilizada por atletas amadores e de elite para tratamento de lesões musculoesqueléticas agudas e para ajudar na recuperação de um atleta após exercícios extenuantes.

Fernandes (2011) conclui que o uso precoce de crioterapia está associado a um hematoma significativamente menor no gap das fibras musculares rompidas, menor inflamação e regeneração acelerada.

Os principais objetivos de utilização da crioterapia são para minimizar sequelas relacionadas ao processo de lesão e reduzir a área de lesão secundária.

A aplicação de gelo é um dos princípios básicos de dois protocolos utilizados no gerenciamento de lesões de tecidos moles, devido à quantidade de pesquisas sobre crioterapia: protocolos PRICE, acrônimo em inglês de proteção, repouso, gelo, compressão e elevação, e POLICE que sugere alterar o repouso por carga otimizada. (BLEAKLEY, 2012).

Ha diversos trabalhos desenvolvidos para testar a eficácia e os métodos de aplicação da crioterapia, Stanos (2008) cita exemplos como aplicação de gelo direto na pele, compressas geladas e unidades de crioterapia-compressão que transferem energia térmica por condução, imersões em turbilhão de água gelada que faz o resfriamento por convecção e aerossol de vapor gelado onde é feito o resfriamento por evaporação. Os métodos mais comuns segundo Cerqueira (2013) são a compressa de gelo e bolsa de gel.

Cerqueira (2013, p.46) recomenda “para que o resfriamento seja terapêutico, é necessário que a temperatura tecidual alcance temperaturas específicas, para que os efeitos ocorram.”

Leventhal (2010) preconiza que no início da aplicação ocorre elevação do limiar da dor e redução do edema.

Santos (2015) recomenda a combinação do uso de gelo e compressão por turnos de 15 a 20 minutos, repetidos entre intervalos de 30 a 60 minutos, visto que este tipo de protocolo resulta em 3 °C a 7°C de decaimento da temperatura intramuscular e a 50% de redução do fluxo sanguíneo intramuscular.

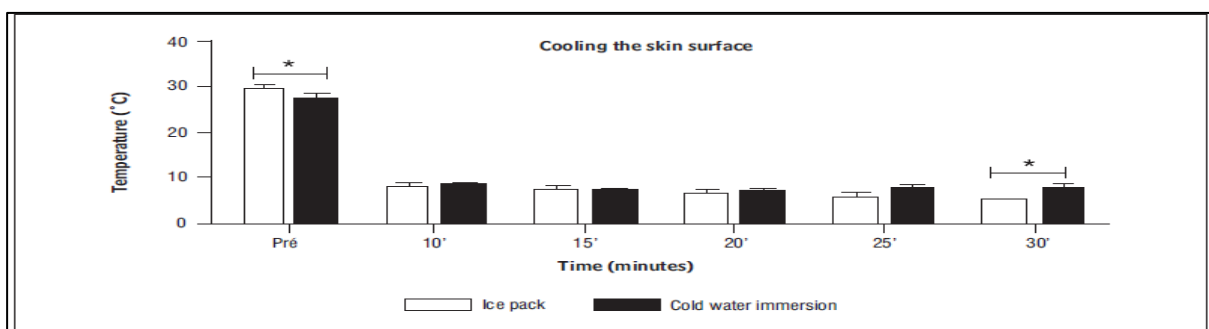
O tratamento com temperaturas entre 10 e 13,6 °C promovem os efeitos terapêuticos na recuperação de lesões do sistema musculoesquelético, sendo apontado que efeitos analgésicos podem ser obtidos pelo resfriamento da pele abaixo de 13,6 °C, a temperaturas cutâneas de 12,5 °C ocorre a reduções de 10% na velocidade de condução nervosa e ao atingir a temperaturas cutâneas de 10 °C é possível obter a reduções de 50 % da atividade enzimática tecidual (CERQUEIRA, 2013).

Santos (2015) relata o estudo comparativo do tratamento por imersão em água fria que utilizou duas temperaturas diferentes 8 °C e 22 °C e nas duas houve redução significativa do fluxo sanguíneo, sendo a temperatura de 8 °C com os resultados mais significativos.

Para Leventhal (2010), o tratamento de crioterapia deve ser usado logo após a lesão e mantido durante a fase aguda do processo de cura por até 72 h com a duração da aplicação de no máximo 30 minutos e com intervalos de duas horas entre as aplicações.

Nos estudos comparativos desenvolvido por Santos (2015) entre os métodos de imersão e bolsa de gelo ficou constatado que as duas formas de aplicação de tratamento crioterápico são eficazes, pois atingem temperaturas baixas parecidas e em tempo muito próximo, como demonstrado na Figura 1, porém na comparação após aplicação é possível verificar que o efeito da imersão é mais duradouro, mantendo a temperatura em níveis mais baixos (Figura 2).

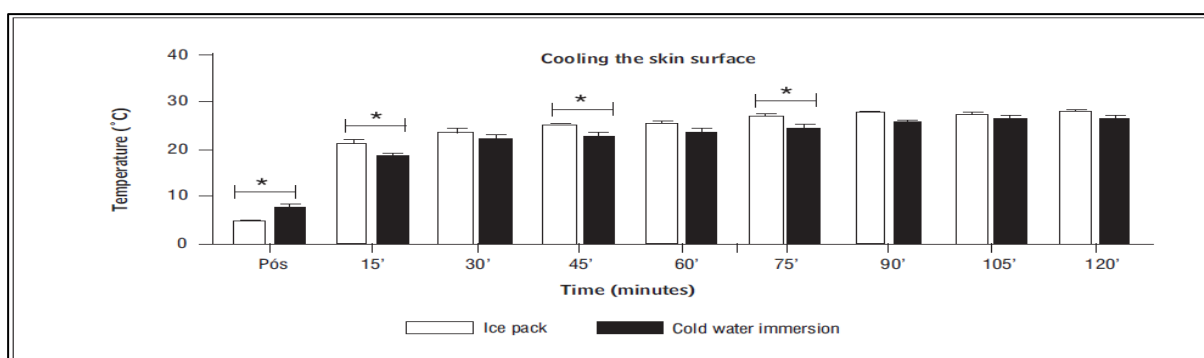
Figura 1 - Temperatura x tempo na superfície da pele durante o tratamento



Fonte: Santos (2015)

No estudo de Levhental (2010) há uma variação significativa da temperatura inicial e final das bolsas geladas que foi de 9 °C negativos a 2 °C com as bolsas de gelo mole, de 0 °C e 8 °C com gelo água e de 11 °C negativos a 2 °C para a bolsa de gelo gel (Tabela 1)

Figura 2 - Temperatura x tempo na superfície da pele após o tratamento



Fonte: Santos (2015)

TABELA 1 - Valores da média, desvio-padrão, mediana, mínimo e máximo da temperatura das bolsas segundo o tempo de aplicação

Grupo/Tempo	Temperatura da bolsa (°C)					
	N	Média	dp	Mediana	Mínima	Máxima
<b>T 0 min</b>						
Gelo mole	11	-2,5	3,4	-2,0	-9,0	2,0
Gel	10	-5,3	3,7	-6,5	-11,0	1,0
Gelo água	11	4,3	2,6	4,0	0,0	8,0
<b>T 5 min</b>						
Gelo mole	11	-3,5	2,8	-4,0	-9,0	0,0
Gel	10	-6,4	2,1	-7,0	-9,0	-1,0
Gelo água	11	2,7	2,1	2,0	0,0	6,0
<b>T 10 min</b>						
Gelo mole	11	-3,3	2,1	-3,0	-8,0	-1,0
Gel	10	-6,6	1,7	-7,0	-9,0	-3,0
Gelo água	11	2,2	1,8	2,0	0,0	5,0
<b>T 15 min</b>						
Gelo mole	11	-2,3	2,2	-1,0	-7,0	0,0
Gel	10	-5,5	2,8	-7,0	-9,0	1,0
Gelo água	11	2,3	1,8	2,0	0,0	6,0
<b>T 20 min</b>						
Gelo mole	11	-1,6	1,9	-1,0	-6,0	0,0
Gel	10	-4,4	3,4	-5,0	-7,0	3,0
Gelo água	11	2,4	1,8	3,0	0,0	6,0

Fonte: Leventhal (2010)

### 3.2 Os Efeitos da aplicação da Crioterapia

São muitos os fatores que determinam a eficácia da Crioterapia, como por exemplo o método e a duração da aplicação, a temperatura inicial da área tratada, a quantidade de gordura subcutânea, a temperatura ambiente e também a aplicação associada à compressão. (CERQUEIRA, 2013).

O efeito principal do resfriamento é diminuir a lesão hipóxica secundária o que é possível diminuindo o metabolismo local, desta forma reduzindo o consumo de oxigênio pelas células não lesionadas, gerando um equilíbrio entre a demanda e oferta do oxigênio, fazendo menos células morrerem. Como o metabolismo está relacionado com a temperatura do tecido, com a redução do metabolismo a temperatura local também reduzirá sem danificar as células. O resfriamento diminui a dor e o espasmo (KNIGHT, 2000).

Santos (2015) define as primeiras respostas do corpo à aplicação a frio que são a redução da temperatura dos tecidos superficiais acompanhados de

redução na velocidade de condução nervosa, das câibras musculares, dos níveis de atividade muscular de enzimas metabólicas, inibição nociceptores e redução de fluxo de sangue local. Para Santos o resultado fisiológico da utilização da crioterapia em lesões de tecidos moles está em reduzir a reação inflamatória após trauma, retardar a formação de edema, reduzir o metabolismo local e minimizar o grau da lesão secundária no tecido, a hipóxia à lesão secundária e a dor.

Dentre os efeitos fisiológicos considerados por Santos (2008), estão a vasoconstrição imediata com vasodilatação reflexa, redução das atividades metabólicas e enzimáticas locais, diminuição da demanda de oxigênio, da espasticidade e da defesa muscular.

### **3.3 Equipamento de refrigeração para crioterapia**

Segundo Qryo (2020) diversos sistemas profissionais para aplicação do tratamento de crioterapia são facilmente encontrados em empresas especializadas no tratamento de crioterapia.

A Capacidade de projetar muitos dispositivos médicos e desenvolver o protocolo apropriado para o seu uso depende da capacidade do engenheiro de prever e controlar a distribuição de temperaturas ao longo do tratamento térmico (INCROPERA, 2008, p. 20)

Os equipamentos de refrigeração com ciclo por compressão de vapor para esta finalidade, começaram a surgir nos últimos anos. Conforme pesquisa realizada, foram encontrados apenas dois equipamentos de refrigeração com ciclo de compressão, um desenvolvido na Itália e outro comercializado no Brasil, ambos comercializados a partir de 2015.

### **3.4 Carga térmica**

A transferência de calor ocorre quando dentro de um sistema há um gradiente de temperaturas ou dois sistemas com temperaturas diferentes são colocados em contato (KREITH, 2003).

Tanto para a engenharia quanto para a natureza, o processo de transferência de calor é importante, pois na biologia pode se revelar a doença quando ocorre o aumento ou abaixamento da temperatura (INCROPERA, 2008).

Para explicar sobre as dificuldades no tratamento por troca térmica em tecidos, Incropera (2008) relata que isto ocorre em função da morfologia dos tecidos por diversos pontos complexos, como os pares de veias arteriais que arrastam diferentes taxas de calor por conter sangue em diferentes temperaturas e cruzam com veias que fazem a função de troca de calor em contra a corrente, além do escoamento do sangue pelas redes capilares e venosas nas áreas tratadas que afetam a troca térmica.

Para estimar a área superficial do corpo, pode ser utilizada a equação (1) (RUAS, 1999)

$$As = 0,202 \cdot m_c^{0,425} \cdot a_c^{0,725} \quad (1)$$

Sendo:

$A_s$  = área superficial do corpo ( $m^2$ );

$m_c$  = massa do corpo (kg);

$a_c$  = altura da pessoa (m)

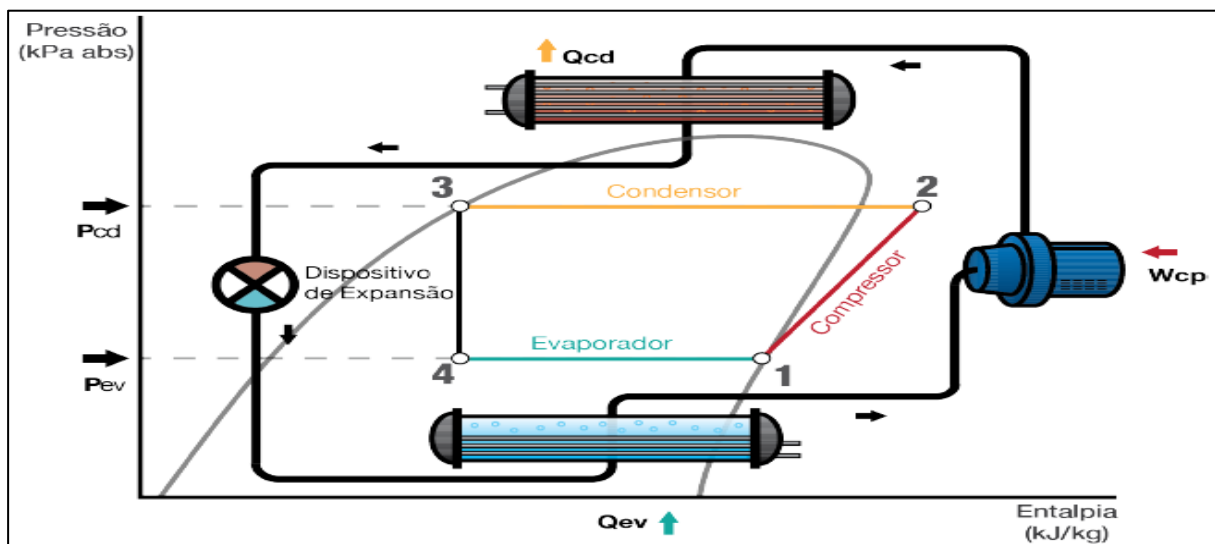
As taxas de calor liberadas pelo corpo humano é o resultado da energia por ele gerada, chamada de metabolismo, que não se transformou em trabalho mecânico externos, ou seja, atividade muscular e foi liberada em forma de calor. Para determinar as taxas de energia geradas pelo corpo, foi desenvolvida a unidade Met que representa a energia produzida no tempo por unidade de área superficial do corpo, que corresponde a  $58,2 \text{ W/m}^2$ .

### 3.5 Equipamento de refrigeração com ciclo por compressão de vapor

Stoecker (2002) compara sistema frigorífico com bomba de calor, tendo em vista que o princípio de funcionamento de ambos está em remover calor de uma região de baixa temperatura e transportar até outra de alta temperatura.

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor possui quatro processos, demonstrado na figura 3, onde a partir do ponto 1 ocorre a compressão isoentrópica até a atingir a pressão de condensação em 2, nesta região começa a reduzir a temperatura do vapor que em seguida condensa até atingir o estado de líquido saturado no item 3, então entre 3 e 4 ocorre a expansão isoentálpica no dispositivo de expansão até a pressão de evaporação e entre 4 e 1 acontece a evaporação até o estado de vapor saturado à pressão constante (STOECKER, 2002).

Figura 3 - Ciclo de compressão a vapor



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017)

O Ministério do Meio Ambiente (2017) relata que os sistemas de resfriamento de água são chamados de Chiller e que além dos principais componentes citados no ciclo por compressão de vapor, as máquinas de refrigeração podem incluir outros elementos como painel de controle, economizador,



turbina de expansão e sub-resfriador de líquido, resfriador de óleo, separador de óleo, dispositivo de retorno de óleo, bomba de óleo, unidade de purga de incondensáveis, dispositivos de alívio de pressão para fluido refrigerante e válvula de elementos de controle adicionais.

Através do diagrama p-h ilustrado pela figura 3, é possível ter melhor compreensão do ciclo padrão de compressão a vapor. Quando em um circuito com válvula de expansão termostática, o fluido na saída do evaporador deverá estar no estado de vapor superaquecido e normalmente na saída do condensador, como resultado da troca de calor, o estado do refrigerante seja de líquido sub-resfriado (STOECKER, 2002).

Os principais componentes do sistema podem ser selecionados através de sua capacidade, adquirida pela equação da conservação da energia para um volume de controle em regime permanente, aplicada ao evaporador (2), compressor (3), condensador (4) e dispositivo de expansão (5):

$$Q_1 = m \cdot (h_1 - h_4) \text{ (kJ)} \quad (2)$$

$$W_2 = m \cdot (h_2 - h_1) \text{ (kJ)} \quad (3)$$

$$Q_3 = m \cdot (h_2 - h_3) \text{ (kJ)} \quad (4)$$

$$h_3 \text{ (kJ/kg)} = h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (5)$$

## 4 Procedimentos

O estudo foi dividido em três fases principais, a definição da carga térmica, a montagem do equipamento de refrigeração e o ensaio do tratamento, que serão apresentados nos tópicos a seguir.

### 4.1 Carga térmica

Para determinar a carga térmica necessária para o equipamento foi necessário definir o parâmetro energia dissipada em forma de calor pelo corpo, portanto foi considerado o metabolismo equivalente à atividade de uma pessoa sentada, quieta que é equivalente à 1MET ou 58,2 W/m<sup>2</sup>.

Para estabelecer a área superficial corporal, Ruas (1999) utiliza a equação (6) de Du Bois e descreve as características estabelecidas na norma ISO 8996 que são: altura: 1,7m e massa: 70 kg.

$$A_s = 0,202 \times 70^{0,425} \times 1,7^{0,725} = 1,8 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Sendo assim a carga total dissipada pelo corpo é expressada pela equação (7).

$$\text{Carga térmica} = 1,8 \text{ m}^2 \times 58,2 \text{ W/m}^2 = 105 \text{ W} \quad (7)$$

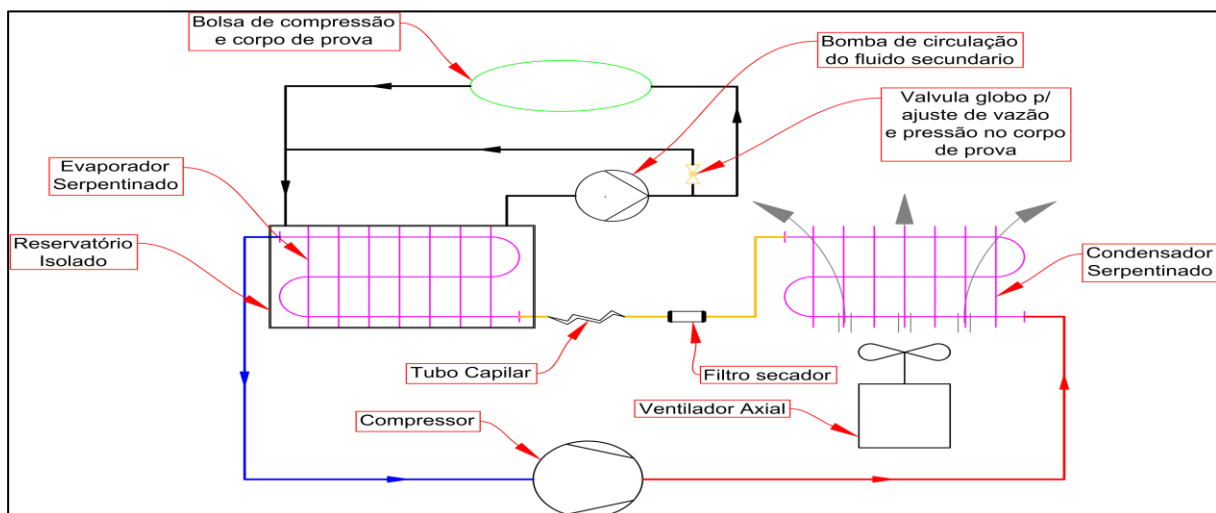
Tendo em vista que não era possível estabelecer a eficiência de troca de calor pela bolsa de água gelada, foi determinada que a carga térmica para

o equipamento de refrigeração deveria ser de cerca de 1000 W o que ainda garantiria que o equipamento fosse compacto atendendo assim uma das premissas estabelecidas para o projeto.

## 4.2 Montagem do Equipamento

O equipamento foi fabricado com base na carga térmica definida, sendo que os componentes permitiram alcançar cerca de 1139,5 W evaporando a 0°C com as dimensões de 0,35 m de altura, 0,41 m de largura e 0,70 m de comprimento. Para início da montagem foi elaborado o desenho de fluxograma (figura 4), em paralelo foi selecionado e adquirido os componentes, ferramentas e Equipamentos de Proteção Individual. A Construção do equipamento foi realizada através de cinco etapas: a montagem estrutural, elétrica, de refrigeração, hidráulica, conforme demonstrado na figura 5 e ensaios de funcionamento.

Figura 4 - Fluxograma de equipamento de refrigeração



Fonte: Os autores (2020)

Figura 5 – Equipamento de refrigeração



Fonte: Os autores (2020)

A montagem estrutural se deu a partir do posicionamento e fixação dos componentes (compressor, condensador, ventilador, evaporador em reservatório e bomba de água) em uma base de aço carbono.

A montagem elétrica foi dividida em duas etapas, a montagem do quadro elétrico e a interligação com os componentes de refrigeração e hidráulica.

Os componentes de refrigeração foram interligados através das linhas de sucção, descarga e líquido, seguindo desenho de fluxograma (figura 4), em seguida foi feito o ensaio de vazamento com pressurização de nitrogênio, a desumidificação do sistema utilizando uma bomba de vácuo e por fim realizado a carga de fluido refrigerante.

O circuito hidráulico foi construído e montado com tubulações em material PVC e PPR e alguns componentes de engate rápido e registro em um circuito entre o reservatório, a bomba d'água e a bolsa de água.

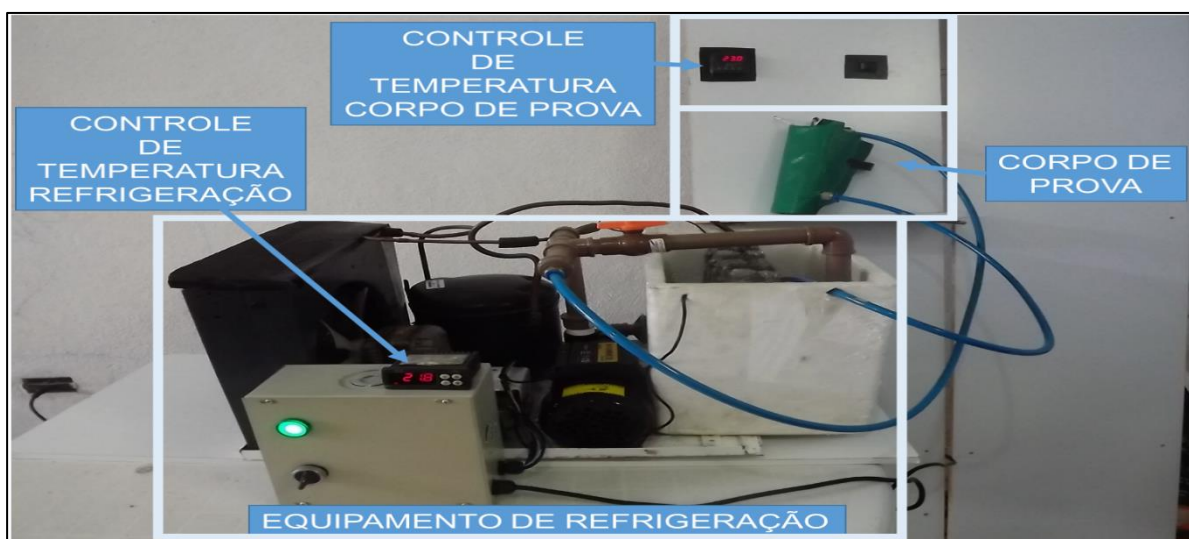
Para finalizar foram realizados os ensaios de funcionamento e ajustes no equipamento.

### 4.3 Metodologia de ensaio

O procedimento foi realizado em duas etapas, na primeira, a preparação do equipamento e componentes, conforme figura 6 e na segunda a realização dos ensaios.

Na primeira etapa, da preparação do equipamento, foi inserido água no reservatório e realizado a interligação da hidráulica com a bolsa de água e também foi verificado o funcionamento os sensores e controladores e então preparado o corpo de prova utilizando um recipiente de vidro com uma resistência interna com botão liga/desliga e um sensor de temperatura na superfície externa onde em uma posição estratégica para medir a temperatura de superfície do recipiente e estava posicionada a bolsa de água gelada o envolvendo.

Figura 6 – Equipamento de refrigeração, corpo de prova e componentes



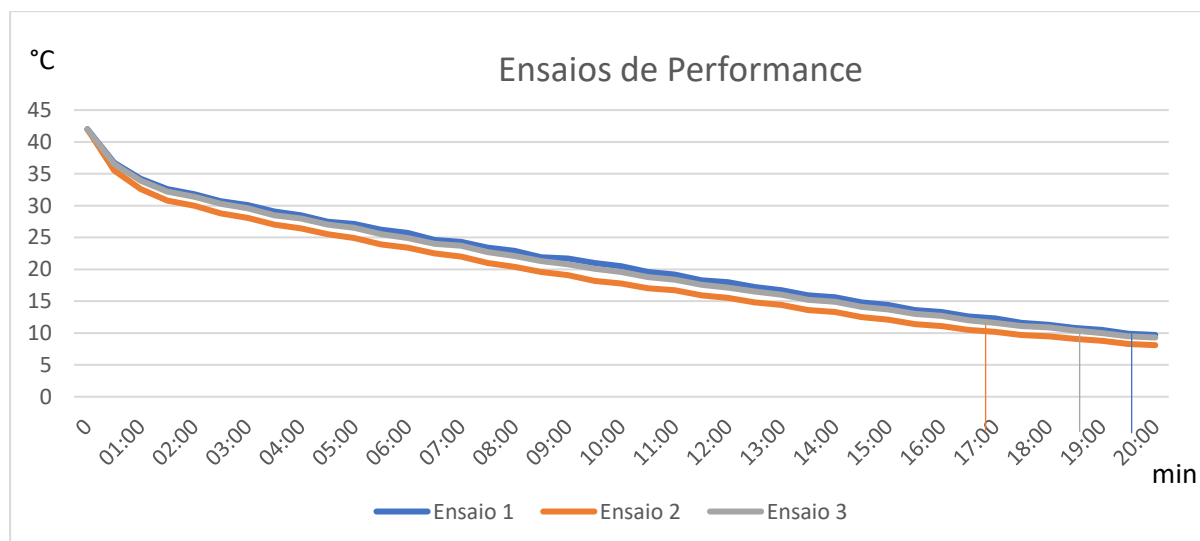
Fonte: Os autores (2020)

Na segunda etapa, foram realizados quatro ensaios em um método de aproximação e a verificação da vazão. O primeiro ensaio foi feito com a refrigeração e a resistência ligada em regime permanente por todo o período, as medições se iniciaram com a temperatura da água gelada em 19,0°C e a temperatura do corpo de prova em 42°C, sendo aferidas a cada 30 segundos, o tempo foi cronometrado a partir do momento onde foi pressurizada água na bolsa e ligado a refrigeração e a resistência. Do segundo ao quarto ensaios a refrigeração permaneceu ligada em regime permanente e a resistência foi desligada e religada em ciclos a cada 30 segundos, a temperatura da água gelada iniciou em torno de 19°C e a temperatura do corpo de prova cerca de 42°C, sendo aferida e registrada a cada 30 segundos, o ensaio iniciou quando a bolsa foi pressurizada com água e a refrigeração e a resistência foram ligadas. A última etapa foi para verificar a vazão do sistema afim de determinar o ponto de trabalho, para isso foram realizadas seis medições de volume, enchendo um copo graduado em um tempo cronometrado, sendo três no retorno da bolsa de água e outras três no by-pass e somando as vazões foi obtida a média da vazão total.

## 5 Resultados

Os ensaios, demonstrados na figura 7, foram realizados simulando a carga de 50% da resistência, ou seja, 80 W, pois a resistência ficou ligada apenas metade do tempo total do ensaio, sendo ligada por 30 segundos e desligada por 30 segundos ao longo do ensaio. Os três ensaios se comportaram de forma parecida, no primeiro instante houve uma redução expressiva de 42 °C para 32,6 °C, 30,0 °C e 32,2 °C nos primeiros 1 minuto e 30 segundos e posteriormente manteve uma diminuição da temperatura linear, com variação a cada 30 segundos entre 0,3 °C a 0,8 °C com a resistência ligada e entre 0,5 °C e 1,1 °C com a resistência desligada, chegando ao final do ensaio à 9,7 °C, 8,1 °C e 9,3 °C, consecutivamente, conforme TABELA 2.

Figura 7 - Gráfico do primeiro ensaio



Fonte: Os autores (2020)

TABELA 2 - Medição de temperatura do corpo de prova

Temp (s)	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Temp (s)	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
	Temp (°C)				Temp (°C)		
0	42	42	42	10:30	19,6	17	18,8
00:30	36,7	35,5	36,5	11:00	19,2	16,7	18,4
01:00	34,2	32,6	33,9	11:30	18,3	15,9	17,6
01:30	32,6	30,8	32,2	12:00	18	15,5	17,1
02:00	31,8	30	31,4	12:30	17,2	14,8	16,5
02:30	30,7	28,8	30,3	13:00	16,7	14,4	16
03:00	30,1	28,1	29,6	13:30	15,9	13,6	15,2
03:30	29,1	27	28,5	14:00	15,6	13,3	14,9
04:00	28,5	26,4	28	14:30	14,8	12,5	14,1
04:30	27,5	25,5	27	15:00	14,4	12,1	13,7
05:00	27,1	24,9	26,5	15:30	13,6	11,4	13
05:30	26,2	23,9	25,5	16:00	13,3	11,1	12,7
06:00	25,7	23,4	24,9	16:30	12,6	10,5	12
06:30	24,6	22,5	24	17:00	12,3	10,2	11,6
07:00	24,3	22	23,7	17:30	11,6	9,7	11,1
07:30	23,4	21	22,7	18:00	11,3	9,5	10,9
08:00	22,9	20,4	22,1	18:30	10,8	9,1	10,4
08:30	21,9	19,6	21,3	19:00	10,5	8,8	10
09:00	21,7	19,1	20,8	19:30	9,9	8,3	9,5
09:30	21	18,2	20,1	20:00	9,7	8,1	9,3
10:00	20,5	17,8	19,6				

Fonte: Os autores (2020)

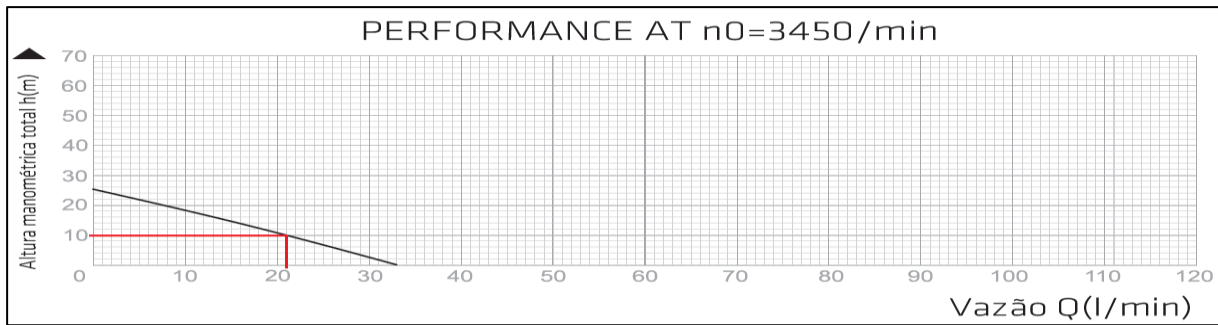
Afim de verificar o ponto de trabalho da instalação hidráulica nos ensaios, foram coletadas as seis amostras de água relacionadas na tabela 3 determinando a média da vazão total de 21,06 L/min, que ao ser inserida na figura 8 mostra a pressão de trabalho no sistema, em 10 m.c.a (metros de coluna d'água).

TABELA 3 - Vazão de água

Coleta	Local	Volume (L)	Tempo (s)	Vazão (L/min)	média (L/min)	Total (L/min)
1	Bolsa	0,65	10	3,9	3,76	21,06
2	Bolsa	0,63		3,78		
3	Bolsa	0,6		3,6		
4	By-pass	0,6	2	18	17,3	
5	By-pass	0,58		17,4		
6	By-pass	0,55		16,5		

Fonte: Os autores (2020)

Figura 8 - Vazão e pressão da bomba d' água



Fonte: adaptado Aulik (2017)

## 5.1 Conclusão

Conforme demonstrado nos resultados dos ensaios, o equipamento de refrigeração para uso em crioterapia atingiu o objetivo proposto, seguindo a premissa do objetivo específico de um equipamento compacto, atendendo os critérios dos protocolos PRICE e POLICE e as definições dos estudos de Santos (2015), Cerqueira (2013) e Leventhal(2010) que afirmam que para obter os efeitos da crioterapia, deve ser atingida a temperatura corporal abaixo de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  em um período igual ou menor que 20 minutos de tratamento.

Aplicando a carga de  $80\text{ W}$  ao corpo de prova, iniciando com a temperatura de  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , foi alcançado em 20 minutos uma temperatura menor que  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  na superfície do corpo de prova com o equipamento de refrigeração com capacidade de  $1139,5\text{ W}$ , portanto o tratamento está consumindo  $7,02\%$  da carga do equipamento, sendo assim, conclui-se que com a potência de refrigeração disponível é possível atender uma área superficial do corpo ainda maior desde que seja melhorada a eficiência de troca térmica da bolsa de resfriamento confeccionada para de tratamento local de crioterapia.

É difícil relacionar quanto do corpo humano pode ser tratado com este equipamento, pois como relatado por Incropera (2008), a morfologia dos tecidos tem diversos pontos complexos, que portanto dificultam esta análise, porém, a partir da configuração deste equipamento de refrigeração e da bolsa de resfriamento confeccionada para a aplicação local de crioterapia, o tratamento atendeu aos requisitos necessários em um corpo de prova com  $80\text{ W}$  de aquecimento, sendo que o corpo de um homem padrão em repouso, sentado e quieto, que tem uma estrutura mais complexa, segundo a equação 10, tem a carga gerada de  $105\text{ W}$ .

A compressão no corpo de prova foi possível devido ao efeito da pressurização da água na bolsa de resfriamento, podendo ser controlado dentro dos limites de pressão da bomba de água e do material da bolsa.

Em função dos resultados obtidos no referido trabalho, conclui-se ainda que é possível chegar a concepção de um equipamento compacto e portátil que atenda ao tratamento de crioterapia, visto que o protótipo é pequeno, comparado aos equipamentos utilizados para o este tratamento.

A partir deste estudo, outros podem ser recomendados: em primeiro lugar, relacionado ao sistema de refrigeração, pode ser verificado se é possível aumentar a troca de calor, a partir da alteração das características bolsa de resfriamento confeccionada para de tratamento local de crioterapia, como por exemplo substituindo o material utilizado por materiais que tenham maior coeficiente de condução de calor, isolar o lado da bolsa que não está em contato a superfície a ser resfriada, aumentar a vazão do fluido que passa pela bolsa e alterar o diâmetro das mangueiras de interligação entre o equipamento e a bolsa de resfriamento; Em segundo lugar, relacionado ao tratamento de crioterapia, se há vantagens em alterar a temperatura inicial do fluido de resfriamento como por exemplo prover mais conforto à pessoa que está sendo tratada.

Considerando o aspecto da portabilidade, o equipamento dispensa a necessidade de estoques gelo necessários para a aplicação em clínicas de fisioterapia e competições esportivas.

O equipamento de refrigeração para crioterapia atende aos requisitos abordados nos protocolos PRICE e POLICE, pertinentes à aplicação de gelo e controle da compressão, e também pode ser usado para o avanço nos estudos dos benefícios do tratamento de crioterapia.

## REFERÊNCIAS

BLEAKLEY, C.M.; GLASGOW, P.; MACAULEY, D.C. PRICE needs updating, should we call the POLICE? **Br J Sports Med**, 7 de setembro 2011.

CERQUEIRA, Mikhail Santos et al. Comparação da temperatura local, após diferentes métodos de resfriamento tecidual. João Pessoa, PB: **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, ano 11, nº 36, abr/jun 2013.

FERNANDES, Tiago Lazzaretti; PEDRINELLI, André; HERNANDEZ, Arnaldo José. Lesão Muscular – Fisiopatologia, Diagnóstico, Tratamento e Apresentação Clínica. São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Ortopedia**, 2011.

FREITAS, C; LUZARDO, R. **Efeito sobre lesões musculares**. Revista Episteme transversalis, Rio de Janeiro, 2013.

INCROPERA, Frank P. *et al.* **Fundamentos de Transferência de Calor**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KESKIN, C. et al. **Effect of intracanal cryotherapy on pain after single-visit root canal treatment**. Aust Endod J, v. 43, n. 2, p. 83-88, aug 2016.

KNIGHT, Kenneth L et al. Muscle injury management with cryotherapy. **Athletic Therapy Today**, Human Kinetics. ATT 5(L). pp. 26-30, Julho 2000.

KREITH, FRANK. **Princípios de transferência de calor**. Pioneira Thomson Learnig. 2003.

LEVENTHAL, Lucila Coca; BIANCHI, Renata Cristina; OLIVEIRA, Sonia Maria Junqueira Vasconcellos de Oliveira. Ensaio Clínico comparando três modalidades de crioterapia em mulheres não grávidas. São Paulo, SP: **Revista da escola de enfermagem USP**, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SECRETARIA DE MUDANÇA DO CLIMA E FLORESTAS; DEPARTAMENTO DE MONITORAMENTO, APOIO E FOMENTO DE AÇÕES EM MUDANÇA DO CLIMA. **Ar Condicionado: Manual sobre sistemas de água gelada: conceitos sobre chiller e sistemas de água gelada.** Vol 1. Brasília, DF: MMA, 2017.

MORAN, MICHAEL J.; SHAPIRO, HOWARD N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, 6ªEd. LTC. 2011.

QRYO. Disponível em: <https://www.qryo.eu/it/vasca-fredda-portatile/>. Acesso em: 13 jun. 2020.

RECOVERY TUB. Disponível em: <https://www.maxrecovery.com.br/produtos/recovery-tub/>. Acesso em: 13 jun. 2020.

ROENN, Jamie H. Von; PAICE, Judith A.; PREODOR, Michael E. **Current Diagnóstico e tratamento da dor.** Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill Interamericana do Brasil, 2008.

RUAS, Alvaro César. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho.** São Paulo, SP: Fundacentro, 1999.

SANTOS, T. **Quantificação do uso da crioterapia na fase inicial de processos inflamatórios após lesão músculoesquelética.** 2014.

SANTOS, Vanessa Batista da Costa et al. **Efeito da crioterapia na temperatura do tornozelo de atletas: pacote de gelo e criomersão.** Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina, 2015.

SCHASER, KD; DISCH, AC; STOVER, JF; LAUFFER, A; BAIL, HJ; MITTLMEIER, T. **Prolonged superficial local cryotherapy attenuates microcirculatory impairment, regional inflammation, and muscle necrosis after closed softtissue injury in rats.** Am J Sports Med 2007.

SOUZA, J.C. De, & Ueda, T. K. **Os efeitos da crioterapia em processos inflamatórios agudos: um estudo de revisão.** Revista Amazônia Science & Health, 2(4), 37-41. 2014.

STANOS, Steven P.; TYBURSKI, Mark D. Aspectos da reabilitação: Controle da dor. In: ROENN, Jamie H. Von; PAICE, Judith A.; PREODOR, Michael E. **Current Diagnóstico e tratamento da dor.** Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill Interamericana do Brasil, 2008.

STOECKER, W.F; SAIZ JABARDO, J.M. **Refrigeração Industrial.** 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.

SWENSON, C.; SWEARD L, KARLSSON J. **Cryotherapy in sports medicine.** Scand J Med Sci Sports, v. 6, p. 193-200, aug 1996.

VERA, J. et al. **Effect of intracanal cryotherapy on reducing root surface temperature.** J Endod, v. 41, p. 1884-1887, nov 2015.

VIANA, Daiane Fabiula de Melo. Crioterapia: **História, Efeitos Fisiológicos e a Eficácia das suas Técnicas - Uma Revisão de Literatura.** TCC (Bacharelado em Fisioterapia) – Universidade Federal do Paraná, Matinhos, 2004.

YENG, L.T. et al. **Medicina física e reabilitação em doentes com dor crônica.** Rev Med, v. 80, n. esp2, p. 245-255, 2001.