



**FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

Efeitos da suplementação de taurina no exercício físico

Gustavo Pedrosa Rocha

Orientador:

Professor Doutor Carlos Fontes Ribeiro

Março, 2018

ÍNDICE

RESUMO	3
ABSTRACT	5
LISTA DE ABREVIATURAS.....	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS.....	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Taurina	9
1.2. Absorção, Metabolização e Excreção	12
1.3. Perspetiva histórica	13
1.4. Mecanismo de ação no exercício	13
1.4.1. Ação anti-inflamatória e anti-oxidante.....	13
1.4.2 Aumento da força de contração muscular.....	15
1.4.3. Regulação do metabolismo.....	16
1.4.4. Osmorregulação.....	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1. Estratégia de pesquisa	18
2.2. Critérios de inclusão	18
2.3. Critérios de exclusão.....	18
2.4. Pesquisa e seleção	19
2.5 Resultados da pesquisa e seleção.....	19
3.RESULTADOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM TAURINA	24
3.1. Desempenho aeróbio.....	24
3.1.1. Tempo total de exercício	25
3.1.2. Oxidação de gorduras	26
3.1.3. Resposta do sistema cardiovascular.....	27
3.1.4. Metabolismo lipídico (contributo dos sistemas de energia e lactato)	28
3.2.1. Performance muscular	30
3.2.2. Dano muscular	30
3.2.3. Capacidade anaeróbia	31
4. CONCLUSÃO	32
BIBLIOGRAFIA.....	33
AGRADECIMENTOS	39

RESUMO

Introdução: Taurina (ácido 2-aminoetanosulfônico) é o principal aminoácido intracelular livre da maior parte dos tecidos dos mamíferos. É essencial para diversos processos biológicos como no desenvolvimento do sistema nervoso central e da retina, modulação de cálcio, estabilização da membrana, reprodução e imunidade. Sendo a produção endógena insuficiente, há necessidade da obtenção de taurina através da ingestão de alimentos, preferencialmente de origem animal.

Objetivos: Há muitas lacunas quando se discutem os efeitos da Tau, tanto quando consumida de forma isolada ou quando se encontra contida em uma BE em relação ao dano muscular e ao desempenho físico em diferentes indivíduos e modalidades de exercícios. Assim, o objetivo desta revisão sistemática é explorar os efeitos da Tau no desempenho físico aeróbio e anaeróbio e descrever os seus mecanismos de ação.

Materiais e Métodos: Foi realizada uma revisão sistemática da literatura nas bases de dados PubMed/Medline e SportDiscus, tendo como critérios de inclusão artigos científicos de investigação, com forma de ingestão de taurina isolada, estudos “in vivo” em inglês, português ou espanhol, desde 2002.

Resultados: Foram selecionados 13 artigos dos quais 7 de exercício aeróbio e 6 de exercício anaeróbio. Observaram-se melhorias significativas nas atividades aeróbias (4 dos 7 estudos) e nas atividades anaeróbias (4 dos 6 estudos).

Conclusão: A ingestão de taurina pode contribuir para a melhoria de vários aspetos do desempenho aeróbio e anaeróbio. O principal efeito ergogénico observado no exercício aeróbio está centrado no aumento da capacidade cardiorrespiratória. Na atividade anaeróbia,

teve como principal efeito a melhoria no dano muscular. Contudo, um maior número de estudos é necessário para se poder obter conclusões mais robustas.

Palavras-chave: Taurina, via aeróbia, via anaeróbia, suplementação, exercício físico.

ABSTRACT

Introduction: Taurine (2-aminoethanesulfonic acid) is the major free intracellular amino acid of most mammalian tissues. It is essential for various biological processes such as central nervous system and retinal development, calcium modulation, membrane stabilization, reproduction and immunity. Since the endogenous production is insufficient, it is necessary to obtain taurine through the ingestion of foods, preferably of animal origin.

Objectives: There are many gaps when discussing the effects of Tau, both when consumed alone or when contained in a BE in relation to muscle damage and physical performance in different individuals and exercise modalities. So, the purpose of this systematic review is to explore the effects of Tau on aerobic and anaerobic physical performance and to describe its mechanisms of action.

Materials and Methods: A systematic review of the literature in the PubMed / Medline and SportDiscus databases was carried out. Inclusion criteria included scientific articles of investigation, with ingestion of taurine alone, in vivo studies in English, Portuguese or Spanish, since 2002.

Results: We selected 13 articles, 7 of which were aerobic exercise and 6 of anaerobic exercise. Significant improvements in aerobic activities (4 out of 7 studies) and anaerobic activity (4 of 6 studies) were observed.

Conclusion: Taurine intake may contribute to the improvement of various aspects of aerobic and anaerobic performance. The main ergogenic effect observed in aerobic exercise is centered on the increase in cardiorespiratory capacity. In anaerobic activity, the main effect

was the improvement in muscle damage. However, a greater number of studies are necessary to obtain more robust conclusions.

Key words: Taurine, aerobic performance, anaerobic performance, supplementation, physical exercise.

LISTA DE ABREVIATURAS

TAU - Taurina

BE - Bebida Energética

iNOS - Óxido Nítrico Sintase induzida

TNF- α - Fator de Necrose Tumoral α

VO₂ máx - Volume de Oxigênio Máximo

TBARS - Thiobarbituric Acid Reactive Substances

IRS - Insulin Receptor Substrate

GLUT - Glucose Transporter

PGC-1 α - Peroxisome Proliferator-activated Receptor Gamma Coactivator 1 alpha

PPAR - Peroxisome Proliferator-activated Receptor

RVD - Regulatory Volume Decrease

CDO - Cysteine Dioxygenase

CSAD - Cysteine Sulfinatodescarboxilase

TT - Time Trial

FC - Frequência Cardíaca

CK - Creatina Quinase

ROS - Reactive oxygen species

TAG - Triacilglicerol

ATP - Adenosina Trifosfato

MAOD - Maximal Accumulated Oxygen Deficit

RER - Respiratory Exchange Ratio

CHO - Carbohydrate

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Concentração de taurina nos vários tecidos11
- Tabela 2 – Artigos de exercício aeróbio.....21
- Tabela 3 – Artigos de exercício anaeróbio.....23

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Estrutura química da taurina10
- Figura 2 – Síntese da taurina10
- Figura 3 – Farmacocinética da taurina12
- Figura 4 – Esquema da taurina no processo inflamatório.....14
- Figura 5 – Pesquisa e seleção dos artigos.....20

1. INTRODUÇÃO

A procura da possibilidade de aumentar o desempenho no desporto, melhorar o potencial de exercício ou atenuar os mecanismos geradores de fadiga é intemporal. Devido às funções fisiológicas da taurina, este aminoácido tornou-se ingrediente funcional (1000-2000 mg) das bebidas energéticas (BE), alegando efeitos ergogénicos por parte dos fabricantes. Mais recentemente foi disponibilizado no mercado taurina (TAU) de uma forma isolada também prometendo melhoria no rendimento desportivo.

Existe uma literatura extensa apoiando a ingestão de Tau para melhorar o desempenho físico aeróbio e anaeróbio. Contudo, alguns estudos não apresentaram evidências de um efeito ergogénico. Além disso, não há um consenso na literatura em relação às doses necessárias de Tau para a prática desportiva.

Há muitas lacunas quando se discutem os efeitos da Tau, tanto quando consumida de forma isolada ou quando se encontra contida em uma BE em relação ao dano muscular e ao desempenho físico em diferentes indivíduos e modalidades de exercícios. Assim, o objetivo desta revisão sistemática é explorar os efeitos da Tau no desempenho físico aeróbio e anaeróbio e descrever os seus mecanismos de ação.

1.1. Taurina

Taurina (ácido 2-aminoetanosulfónico) é o principal aminoácido intracelular livre da maior parte dos tecidos dos mamíferos.¹

A sua estrutura química é $C_2H_7NO_3S$ e o seu peso molecular $MW=125.15$.²

O que difere a taurina dos restantes aminoácidos é a presença de um grupo sulfónico ($-SO_3$) ao invés do grupo carboxílico ($COOH$) (Figura 1). Apesar de apresentar características de um aminoácido, a taurina não participa na síntese proteica, no entanto é

essencial para diversos processos biológicos como no desenvolvimento do sistema nervoso central e da retina, modulação de cálcio, estabilização da membrana, reprodução e imunidade.^{2,3}

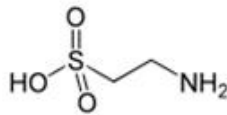


Figura 1 – Estrutura da taurina. Fórmula química: $C_2H_7NO_3S$.

A taurina é considerada um aminoácido "semi-essencial" em humanos, uma vez que pode ser sintetizado a partir de outros aminoácidos sulfurados, como metionina e cisteína através de reações de oxidação e transulfuração reguladas por enzimas, entre elas a enzima cisteína dioxigenase (CDO), a qual promove a oxidação de cisteína a cisteína sulfinato, a qual posteriormente será descarboxilada pela enzima cisteína sulfinato descarboxilase (CSAD) e convertida a taurina (Figura 2), sendo estas reações dependentes da presença de vitamina B6.⁴

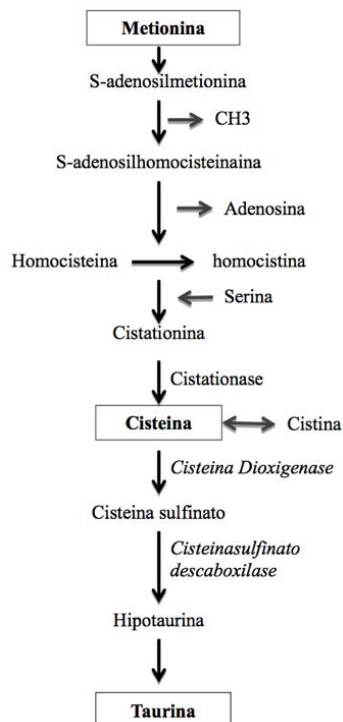


Figura 2 – Síntese da taurina

A expressão das enzimas CDO e CSAD está essencialmente localizada no fígado, embora já tenham sido identificadas noutros tecidos extra-hepáticos tais como o rim, astrócitos ou testículos.⁵ A taurina é mais abundante no coração, retina, cérebro em desenvolvimento e sangue. (Tabela1).⁶

Tabela 1 – Concentração de taurina nos vários tecidos.

Taurine Concentrations in Various Tissues	
Tissue Type	Taurine Concentration *
<i>Human</i>	
Brain	
Developing	4-20 $\mu\text{mol/g}$ (40)
Adult	1-9 $\mu\text{mol/g}$ (40)
Heart	6 $\mu\text{mol/g}$ (41); 15-25 $\mu\text{mol/g}$ (42)
Liver	2 $\mu\text{mol/g}$ (41)
Skeletal muscles	5 $\mu\text{mol/g}$ (41)
Retina	30-40 $\mu\text{mol/g}$ (41)
Plasma	50-80 $\mu\text{mol/L}$ (41, 42); 100 $\mu\text{mol/L}$ (43)
Leukocytes & platelets	13-17 $\mu\text{mol/L}$ (44); 10-50 $\mu\text{mol/L}$ (43)
<i>Rat</i>	
Brain	3 $\mu\text{mol/g}$ (41); 5 $\mu\text{mol/g}$ (45, 46)
Heart	20 (46); 30 $\mu\text{mol/g}$ (47)
Liver	3 $\mu\text{mol/g}$ (41); 4 $\mu\text{mol/g}$ (45, 46)
Skeletal muscles	7 $\mu\text{mol/g}$ (41); 16 $\mu\text{mol/g}$ (45)
Retina	27 $\mu\text{mol/g}$ (41); 50 $\mu\text{mol/g}$ (47)
Plasma	360 $\mu\text{mol/L}$ (45); 450 $\mu\text{mol/L}$ (41)
Kidney	7 $\mu\text{mol/g}$ (46); 9 $\mu\text{mol/g}$ (45)

* Units for some values have been changed from those originally published for uniformity

Sendo a produção endógena insuficiente, há necessidade da obtenção de taurina através da ingestão de alimentos, preferencialmente de origem animal. As maiores quantidades deste aminoácido encontram-se no marisco, especialmente vieiras, mexilhões e ameijoas. Grandes quantidades encontram-se também no peru e galinha. A cozedura não mostra nenhum efeito nos níveis de taurina. O aporte diário de um adulto humano não vegetariano foi estimado em 40 a 400 mg.⁷

1.2. Absorção, Metabolização e Excreção

Nos mamíferos, a quantidade total de taurina está dependente do balanço entre a sua síntese a partir da metionina/cisteína, a ingestão alimentar e absorção no intestino/reabsorção no rim e a sua excreção como ácido biliar (taurocólico) e como taurina não conjugada por via renal.⁸

A taurina obtida através da ingestão dos alimentos é absorvida pelo intestino delgado. Após absorção, o transporte ativo mediado por transportador na membrana das vilosidades intestinais desloca a taurina para os enterócitos, que a entregam à veia porta. A taurina é então transportada para o fígado e libertada na circulação, podendo entrar nas células através do seu recetor TauT, que responde à concentração de taurina nas células. Uma elevada concentração inibe o TauT e a taurina é excretada do corpo pela urina. Inversamente, quando a sua concentração é baixa, o TauT é ativado e a taurina é reabsorvida na circulação pelos túbulos renais.⁷ O estudo de Mohammadreza avaliou a farmacocinética da administração oral de 4 gramas de taurina em 8 indivíduos saudáveis. Constatou que a concentração de taurina plasmática era de 0.04 ± 0.0 mmol/L, o tempo para atingir a concentração máxima foi de 1.5 ± 0.6 hr. A concentração máxima foi de 0.57 ± 0.05 mmol/L. Os níveis de taurina voltaram aos valores basais após 8 h. (Figura 3).⁹

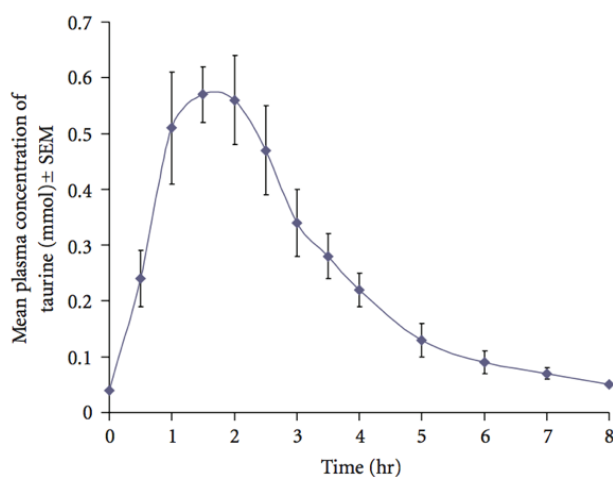


Figura 3 – Farmacocinética da taurina

Relativamente à sua excreção, a Tau não pode ser metabolizada pelos mamíferos pela falta de enzimas para a sua rutura. Por isso, ou é excretada pelo rim através da urina ou conjugada pelos ácidos biliares para ser excretada pelas fezes.⁸

1.3. Perspetiva histórica

Foi inicialmente descoberta e isolada na bílis dos bovinos pelos pesquisadores austríacos Friedrich Tiedemanne e Leopold Gmelin em 1827, e sua denominação advém do nome em latim da espécie *Bos taurus*.¹⁰

Apesar de ter sido descoberta em 1827, a taurina foi considerada relevante somente em 1975 quando se observou que prematuros alimentados por nutrição parenteral total não apresentavam níveis plasmáticos e urinários de taurina adequados, diferentemente dos alimentados com leite materno.¹¹ De acordo com Ferreira¹², o leite materno contem em média 55 µg de taurina a cada litro de leite. A deficiência de taurina em recém-nascidos pode resultar em diversos processos patológicos como cardiomiopatias, degeneração da retina, risco de má-formação cerebral em recém-nascidos e retardo no crescimento, principalmente se esta carência de taurina ocorrer na fase de desenvolvimento infantil.¹³

1.4. Mecanismo de ação no exercício

1.4.1. Ação anti-inflamatória e anti-oxidante

Estudos têm demonstrado que a taurina apresenta ação anti-inflamatória^{3,14} e anti-oxidante.^{1,15,16} Estas funções estão relacionadas com presença de uma molécula de ácido sulfônico na sua estrutura química, a qual promove a conversão de íon cloro e ácido hipocloroso, que são substâncias altamente citotóxicas e oxidantes, em cloramina, uma substancia relativamente estável.^{1,16}

A figura 4³ apresenta o fluxo intracelular de taurina e possíveis mecanismos de ação

da taurina e mostra sua participação como imunomoduladora e componente de RNA.

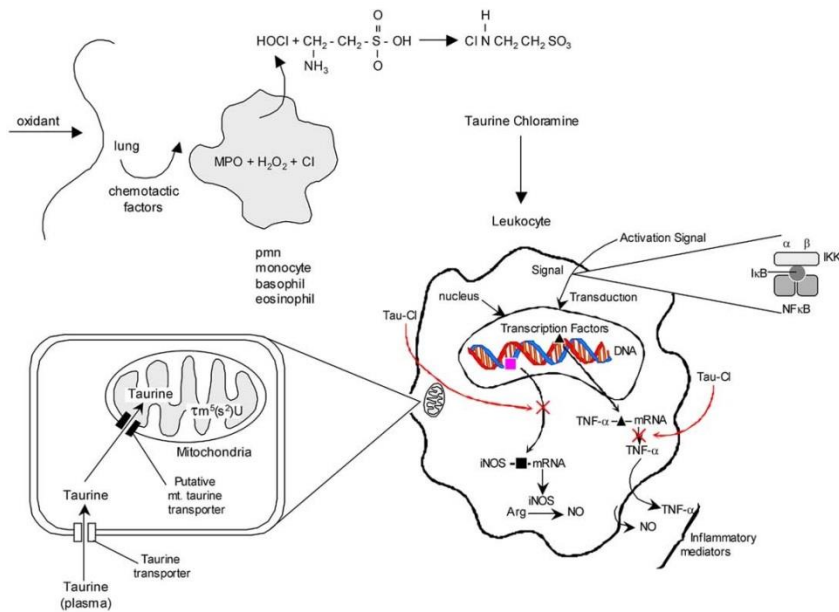


Figura 4 – Representação esquemática da produção de Tau-Cl durante o processo inflamatório, dos mecanismos utilizados pela Tau-Cl para inibir a produção de mediadores inflamatórios nos leucócitos.

A taurina encontrada no plasma é transportada para o citoplasma por meio de transportadores de taurina presentes na membrana celular, sendo que a taurina citoplasmática será transportada para o interior da mitocôndria por “supostos transportadores de taurina” (putative mitochondrial taurine transporter) para que seja incorporada no RNA mitocondrial.¹⁷ Em sequência, a figura demonstra a participação da taurina na modulação de processos inflamatórios. Durante a resposta inflamatória ocorre inicialmente a migração de leucócitos para a área da lesão, sendo que estes leucócitos irão produzir grandes concentrações de ácido hipocloroso. A presença de taurina irá possibilitar a conversão de ácido hipocloroso em taurina-cloramina (Tau-Cl), o qual será transportado ativamente para os leucócitos e conseqüentemente atenuará a produção de mediadores inflamatórios através do bloqueio da produção de iNOS (óxido nítrico sintase induzida) e de fator de necrose tumoral α (TNF- α).³ Zhang¹ avaliou o efeito protetor proveniente da suplementação de taurina (6 gramas)

sobre o *stress* oxidativo induzido pelo exercício físico em jovens ciclistas, no período de sete dias. Foram constatados aumentos significativos no volume máximo de oxigênio utilizado pelo organismo (VO₂ máx), no tempo de exaustão em ciclo ergómetro e na carga máxima de trabalho, reduzindo a produção de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).

Já o estudo de Silva¹⁸ foi investigado o efeito da suplementação de 300 mg/kg de taurina sobre marcadores de *stress* oxidativo após a realização de exercício extenuante em ratos. A suplementação foi realizada durante o período de 15 dias. Foi observado que a suplementação de taurina reduziu a produção de radicais superóxidos, lipoperoxidação e carbonilação, comprovando o efeito protetor da taurina.

Com relação à ação anti-inflamatória, Kato¹⁹ avaliou o efeito da administração aguda de taurina 1 hora antes da realização de exercício intenso em ratos durante 10 dias consecutivos. Os autores concluíram que os ratos que receberam taurina apresentaram menores concentrações de marcadores inflamatórios (interleucina-6 e CD 68).

1.4.2 Aumento da força de contração muscular

De acordo com Schaffer²⁰ a taurina está relacionada à regulação da capacidade de depósito de cálcio no retículo sarcoplasmático, além de estimular a taxa de bombeamento do mesmo, podendo favorecer a elevação da concentração de cálcio nas proteínas miofibrilares contráteis, resultando num aumento da força de contração muscular.

Baum e Weiss²¹ realizaram uma investigação ecocardiográfica antes e após a realização de protocolos de exaustão e consumo de BE contendo taurina ou placebo em treze atletas de endurance. Foi constatado aumento na contratilidade do átrio esquerdo, maior fração de encurtamento cardíaco (fractional shortening) e ejeção sanguínea após o consumo de 100 ml de bebida energética comercial contendo 1 grama de taurina.

O estudo realizado por Yatabe²² avaliou as concentrações de taurina no músculo esquelético de ratos após corrida de resistência e, após verificar o tempo de exaustão, constatou que o grupo que recebeu taurina (0,5 g/kg/dia) apresentou maior resistência física.

1.4.3. Regulação do metabolismo

Outro facto referenciado na literatura quanto à taurina é a regulação do metabolismo de hidratos de carbono. De acordo com Carneiro²³, a taurina auxilia no controle da homeostase da glicose através da regulação da expressão de genes necessários para estimular a secreção de insulina pelas células β , aumentando a sensibilidade periférica à insulina e a captação de glicose.

Vettorazzi²⁴ suplementou taurina a 5%, durante 8 semanas, em ratos e constatou que a taurina potencializou a ação da insulina no fígado e no músculo esquelético de camundongos. Foi constatada maior fosforilação de substratos de insulina (IRS) e ativação da cascata de insulina, conseqüentemente houve aumento da translocação de transportadores de glicose do tipo GLUT 4 para membrana citoplasmática, promovendo a entrada de glicose para o meio intracelular.

Considerando a ação da Tau sobre a insulina, e que esta hormona apresenta um importante papel para os atletas por regular o metabolismo dos hidratos de carbono, a utilização de taurina poderia favorecer o aumento da disponibilidade de glicose e conseqüentemente resultar em maior produção de energia, maior estímulo à síntese proteica e à re-síntese de glicogénio e possivelmente pode favorecer o desempenho físico de atletas.

Além do metabolismo de hidratos de carbono, a Tau atua também sobre o metabolismo lipídico.^{25,26} A taurina estimula a produção de RNA para expressão de proteínas PGC-1 α - Peroxisome Proliferator-activated Receptor Gamma Coactivator 1 alpha e PPAR - Peroxisome Proliferator-activated Receptor no tecido adiposo branco e promovendo aumento

do gasto energético. Para além disso, a Tau aumenta a expressão de genes relacionados a produção das enzimas lipase lipoproteica, acil-Coa oxidase, acil-CoA syntetase, e acil-CoA desidrogenase, as quais estão relacionadas ao metabolismo de substratos lipídicos. O PGC-1 α é um potente regulador do gasto energético e o aumento na sua expressão favorece a maior utilização de lipídios. E é por este motivo que a taurina pode ser considerada um “fat burner” e uma possível ferramenta para o tratamento de obesidade.

Martiniano²⁷ avaliou o efeito da suplementação de taurina (2%) associada a treinamento físico durante o período de 11 semanas em ratos obesos alimentados com dieta hiperlipídica. Os autores constataram que os animais que receberam taurina apresentaram menor quantidade de gordura visceral e menor peso de gordura epididimal, mostrando que a taurina beneficiou a composição corporal dos ratos.

1.4.4. Osmorregulação

Segundo Huxtable²⁸ a Tau parece regular a osmorregulação celular. Esta observação foi inicialmente estabelecida em animais marinhos invertebrados, onde foi demonstrado que uma elevada quantidade de taurina intracelular pode estar envolvida na pressão osmótica. Mais tarde, em condições de repouso, uma relação linear foi demonstrada entre a salinidade do meio externo e a concentração de taurina no equinodeno *Asteris Rubens*. Quando exposto a um ambiente hipoosmótico, as células respondem inicialmente com um rápido inchaço seguido de uma expulsão dos solutos intracelulares osmoticamente ativos, como iões inorgânicos ou moléculas orgânicas, incluindo taurina. Esta segunda fase, chamada processo de diminuição do volume regulatório (regulatory volume decrease - RVD process) é associado à saída de taurina de muitos tipos de células. Mais recentemente, Sejersted and Sjogaard²⁹ correlacionaram o inchaço muscular esquelético no início do exercício com o aumento da osmolaridade intracelular. Este fenómeno foi seguido subsequentemente pela

diminuição do volume regulatório, que é conseguido pela perda de íons cloreto e potássio, embora o mais importante mecanismo seja a perda de aminoácidos, onde se inclui o sulfoaminoácido Tau.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estratégia de pesquisa

Estudos foram identificados através de uma revisão sistemática da literatura, via PubMed/Medline e SportDiscus em Novembro de 2017, utilizando-se uma combinação das seguintes palavras-chave: “taurine and exercise”, “taurine and strength”, “taurine and power”, “taurine and resistance training” e “taurine and endurance”.

As referências bibliográficas dos estudos identificados pela pesquisa foram revisadas para detetar estudos adicionais.

2.2. Critérios de inclusão

- Artigos científicos de investigação
- Forma de ingestão de taurina isolada
- Artigos em inglês, português ou espanhol
- Estudos “in vivo”
- Artigos desde 2002

2.3. Critérios de exclusão

- Revisões sistemáticas
- Estudos “in vitro”
- Estudos em animais

- Estudos em que a ingestão de taurina não é feita de forma isolada (como o caso das BE's)
- Estudos com foco em doenças genéticas, reabilitação ou terapias cognitivas.

2.4. Pesquisa e seleção

Os artigos foram selecionados, inicialmente, através da leitura dos títulos e resumos. Apenas textos escritos em inglês, português e espanhol foram selecionados. Artigos com palavras-chave presentes no título e adequados ao objetivo do trabalho foram selecionados para leitura integral. Publicações sem resumo, mas com títulos sugestivos de interesse para a pesquisa foram também incluídos na seleção inicial. Após esta primeira seleção, os artigos foram lidos na íntegra e excluídos os que não obedeciam aos critérios de seleção.

2.5 Resultados da pesquisa e seleção

A pesquisa nas bases de dados PubMed-MEDLINE e SportDiscus resultaram num total de 214 artigos (Figura 5). A seleção por título e/ou resumos dos artigos que compreendiam palavras-chaves ou se relacionavam com o tema definido foram incluídos inicialmente obtendo-se 38 publicações. Após eliminar os artigos duplicados, 26 artigos foram selecionados para leitura integral. Em suma, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos foram selecionados um total de 13 artigos, dos quais 7 artigos de exercício aeróbio e 6 de exercício anaeróbio.

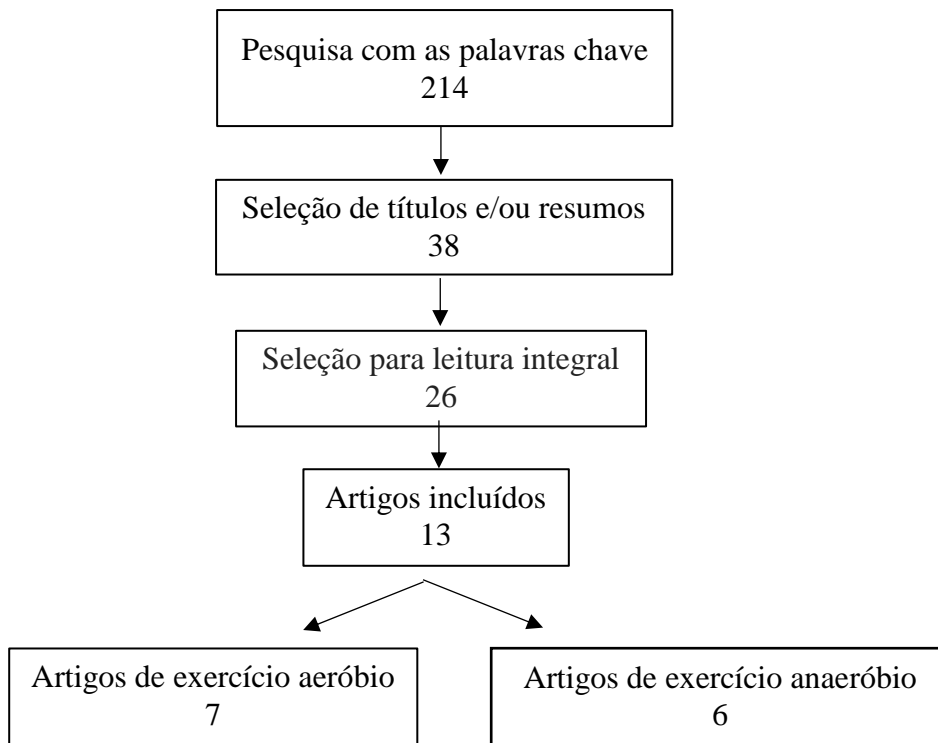


Figura 5 – Pesquisa e seleção dos artigos.

Os artigos considerados foram os seguintes: Tabela 2 (exercício aeróbio) e Tabela 3 (exercício anaeróbio).

Tabela 2 – Artigos de exercício aeróbio.

Autor	N	Sexo	População	Dose	Tipo de teste	Efeito ergogênico	Comentários
De Carvalho ³⁰	10	M	Treinados - triatletas	3g imediatamente após+3g 2h após exercício (8semanas)	Corrida controlada, início a 8km/h com aumento de 1km/h a cada 3min. 1% inclinação até à exaustão	Sim	Não aumentou significativamente parâmetros aeróbios. Porém, houve uma diminuição significativa da peroxidificação lipídica e um balanço azotado positivo.
Galloway ³¹	8	M	Não treinados	2 cápsulas 3x por dia com as refeições, num total de 4.98g por dia (7 dias)	Pedalar 120min (60% VO2pico)	Não	7 dias de Tau não aumentou o seu conteúdo muscular. Não houve efeito na FC, VO2, RER – Respiratory Exchange Ratio nem na taxa de oxidação de CHO – carboidrato e de gordura. Porém, induziu a um aumento pós exercício no conteúdo muscular de aminoácidos essenciais.
Balshaw ³²	8	M	Treinados – corredores de meia distância	1g (2h antes)	3km sem inclinação	Sim	A ingestão de 1g de taurina melhorou significativamente a performance de 7 dos 8 participantes, embora não haja efeito nos valores de VO2max, FC, RPE e concentração de lactato.
Kammerer ³³	14	M	Treinados – soldados das forças armadas	1g (45min antes)	Corrida até exaustão (1% inclinação)	Não	Sem diferenças significativas nos valores de VO2max, FC máxima ou Tempo de exaustão.
Rutherford ³⁴	11	M	Treinados	1.66g (1h antes)	Pedalar 90min a 65% do VO2max seguido de TT (5KJ/Kg) o mais rápido possível	Sim	Sem efeito ergogénico nem efeito na resposta fisiológica (FC e RPE). Mas produziu aumento significativo (16%) na oxidação de gordura.

Tabela 2 – Artigos de exercício aeróbio. *eqpv+

Autor	N	Sexo	População	Dose	Tipo de teste	Efeito ergogênico	Comentários
Zhang ³⁵	11	M	Não treinados	6g por dia (2gx3) durante 7 dias	Pedalar a 60rpm com aumento de carga de 20W por minuto até à exaustão	Sim	Aumento significativo no VO2max., tempo de exercício e work load máximo. Também reduziu a concentração sérica de TBARS antes do exercício, assim como diminui o dano do ADN 24 após exercício.
Ward ³⁶	11	M	Treinados – ciclistas	1g (2h antes)	Pedalar 4-Km time trial (TT)	Não	A ingestão de taurina não afetou a performance dos atletas. Também não alterou nenhuma das respostas do tamponamento sanguíneo antes ou após o exercício.

Tabela 3 – Artigos de exercício anaeróbio.

Autor	N	Sexo	População	Dose	Tipo de teste	Efeito ergogênico	Comentários
Da Silva ³⁷	21	M	Não treinados	50mg/Kg/dia (21dias)	Flexão e extensão do cotovelo	Sim	Foi demonstrado que a suplementação com taurina melhorou a performance muscular, o dano muscular, o stress oxidativo, mas não a sua inflamação, durante o período de recuperação após o exercício excêntrico.
De Carvalho ³⁰	9	M	Treinados	6g (120min antes)	Nadar 400m crawl em esforço máximo	Sim	Embora não tenha melhorado a performance dos nadadores, aumentou os níveis plasmáticos de glicerol e reduziu a contribuição do sistema anaeróbio do ácido láctico e lactato.
Kammerer ³³	14	M	Treinados	1g (45min antes)	-força isométrica do punho por 5s -salto vertical (altura)	Não	Não houve efeito na performance dos testes realizados.
Milioni ³⁸	17	M	Recreacionamente activos	6g (90min antes)	Corrida a 110% do VO2 máximo até à exaustão	Não	Não aumentou substancialmente a performance na corrida de alta intensidade e mostrou um efeito não claro no MAODalt.
McLeay ³⁹	10	M	Recreacionalmente ativos	0.1g/Kg/dia em duas tomas	60 contrações excêntricas do bicep braqueal no máximo esforço	Sim	Melhoria significativa no binário máximo excêntrico às 48h após as contrações comparado com o placebo. Sem alteração significativa nos valores de CK.
Ra ⁴⁰	29	M	Não	2g 3x por dia durante 14 dias antes do exercício, no próprio dia e nos 3 dias seguintes	2 sets de 20 repetições excêntricas de máximo esforço do braço não dominante	Sim	O aumento da rigidez arterial afetada pelo stress oxidativo induzido pelo exercício excêntrico e atenuado pela suplementação com taurina.

3.RESULTADOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM TAURINA

3.1. Desempenho aeróbio

Alterações no desempenho físico aeróbio envolvendo 7 estudos podem ser vistos na Tabela 1. A tabela apresenta um resumo dos desenhos das pesquisas, com o número de participantes, dose, tempo de ingestão, protocolo de exercício e principais resultados. Quatro dos sete artigos revelaram um efeito ergonómico significativo após a ingestão de Tau comparativamente com o placebo.

Alguns estudos revelaram aumento do tempo do tempo total de exercício³⁵, na oxidação de gordura³⁴, na capacidade cardiorrespiratória^{30,35} e diminuição do tempo de exercício³² e do *stress* oxidativo.³⁵

Em todos os estudos a Tau foi administrada de forma isolada, com doses de 1g^{32, 33 e 36}, 1.66g³⁴, 5g³¹ e 6g.^{30,35}

Relativamente à forma de administração da taurina, os estudos de Carvalho³⁰, Galloway³¹ e Zhang³⁵ foram feitos com uma suplementação crónica, o primeiro durante 8 semanas e os restantes durante 7 dias. Na forma aguda, a taurina foi administrada 45min³³, 1h³⁴ ou 2h^{32,36} antes do exercício.

As atividades envolvidas nos estudos foram corrida^{30, 32,33} e ciclismo.^{31,34,35,36}

A taurina apresenta inúmeras funções devido à sua estrutura molecular: osmorreguladora, reguladora do fluxo de cálcio intracelular, antioxidante e estabilizador da membrana celular.²⁸ Desta forma, é previsto que a taurina apresente um efeito benéfico sobre a performance física. Os vários mecanismos específicos que fazem explicar o seu efeito ergogénico vão ser explicados em vários tópicos.

3.1.1. Tempo total de exercício

De todos os artigos estudados, apenas um³¹ não abordou a questão do tempo total de exercício e em apenas dois (Balshaw³² e Zhang³⁵) houve um efeito positivo fruto da ingestão da taurina.

No estudo de Balshaw, houve uma diminuição do tempo de exercício pois era exercício de TT – time trial (contra-relógio) e no estudo de Zhang houve aumento do tempo porque era um exercício até à exaustão.

Segundo Balshaw, a performance dos 3km TT teve um aumento estatisticamente significativo, onde 7 dos 8 participantes melhoraram o seu tempo comparativamente com efeito placebo. Um estudo de investigação muito semelhante, realizado por Rutherford³⁴ com um TT com ciclistas treinados não demonstrou uma significativa diferença entre condições. Fatores como o tempo de ingestão e o protocolo do exercício podem ter contribuído para esta diferença de resultados. Rutherford utilizou um período de ingestão de 1h seguido de 1.5h de ciclismo sub-intenso antes de iniciar o seu TT. O período de ingestão de uma hora já tinha demonstrado ser insuficiente para atingir a concentração plasmática máxima de taurina, sendo o período de 2h prévias definido como o ideal para atingir o pico de concentração.³¹ Também tinha sido previamente demonstrado que a produção de força e a ativação neuromuscular diminuem 1h após ciclismo.³²

No estudo de Zhang, é relatado que a suplementação aumentou significativamente o tempo de exercício de endurance. Embora o “efeito de treino” no primeiro exercício de teste possa afetar a performance da segunda prova, a mudança na concentração de taurina no plasma após a suplementação foi positivamente correlacionada com as alterações no tempo de exercício do estudo, o que sugere que a performance está relacionada com os níveis de taurina.

3.1.2. Oxidação de gorduras

Em quatro do total de artigos selecionados, foi avaliada a oxidação de gorduras.

No estudo de Rutherford³⁴, um pequeno, mas significativo (16%) aumento da oxidação de gorduras foi verificado após a suplementação com 1.66g de taurina, uma hora antes do exercício, embora não tenha havido efeito na resposta fisiológica. Este pequeno aumento foi mais marcado nos primeiros 30min de um total de 90min.

Já Galloway³¹ analisou a suplementação de 4,98g/dia por um período de sete dias e verificou que durante o exercício contínuo não houve diferença significativa na taxa de oxidação de substratos.

Silva³⁷ demonstrou que a suplementação com taurina previne parcialmente um aumento da lipoperoxidação e dos marcadores de stress oxidativo comparado com o placebo. Estes valores revelados após o exercício excêntrico podem ser atribuídos à invasão de células fagocíticas no tecido muscular danificado, o que tipicamente acontece nos dias após o exercício e pode gerar uma quantidade substancial de ROS. Segundo o Huxtable²⁸, a taurina é um removedor de radicais livres e está concentrado nas células e tecidos que possuem um maior potencial de produção de oxidantes.

McLeay³⁹ estudou a rigidez arterial (através de a velocidade da onda de pulso arterial) e o stress oxidativo (pela medição do Malondialdeído). A rigidez arterial que aumentou até ao décimo nono dia pós exercício concêntrico foi atenuada no grupo da taurina. Similarmente, o malondialdeído aumentou após o exercício, mas foi significativamente inferior no grupo suplementado com taurina. Foi também discutido como a suplementação com taurina que, induziu a inibição do aumento da concentração de malondialdeído, contribuiu para a supressão da rigidez arterial ao mesmo tempo. O *stress* oxidativo leva a disfunção arterial e a uma produção alterada de óxido nítrico. O óxido nítrico provou ser um inibidor da vasoconstrição simpática que leva a uma rigidez arterial, e que é biologicamente inativada

pelas espécies de reativas de oxigénio - ROS.⁴¹

3.1.3. Resposta do sistema cardiovascular

A resposta do sistema cardiovascular ao exercício foi avaliada em todos os sete artigos, mas apenas em dois deles^{30,35} houve uma resposta positiva à suplementação com taurina. Algumas melhoras significativas foram relatadas na frequência cardíaca - FC¹ e no volume de oxigénio máximo -VO2 máximo.⁶

No estudo de Carvalho³⁰, houve um aumento ligeiro de 0.15km/h e uma diminuição na FC. O autor indica que, estas pequenas diferenças na performance, numa prova de longa duração, podem ser altamente relevantes e podem levar ao sucesso da corrida.

No trabalho de Zhang, é relatado um aumento significativo do VO2 máximo e do tempo de exercício até exaustão após uma semana de suplementação com taurina.

No estudo de Balshaw³², onde houve um aumento significativo no tempo da corrida de 3km, não houve no entanto alteração na FC, VO2máx. nem na perceção de esforço. Contudo, o autor refere que isto pode ser interpretado como um efeito positivo da ingestão da taurina em fatores centrais ou em coordenação muscular, independentemente da influência metabólica.

No estudo realizado por Baum e Weib²¹ com investigação ecocardiográfica, antes e depois do exercício, os autores relataram aumento na contratilidade do átrio esquerdo, maior fração de encurtamento cardíaco (*Fractional Shortening*), acompanhada de grande ejeção sanguínea após o consumo de Tau em combinação com cafeína. Estes aumentos não foram observados no grupo que ingeriu apenas cafeína.

Em estudo paralelo, Ahmedian⁴² concluiu que a suplementação com taurina melhorou o VO2 máx., atividade elétrica cardíaca, capacidade de exercício e níveis de taurina em resposta ao exercício em doentes cardíacos. Melhorar estes parâmetros é clinicamente

significativo, assim como melhorar a estrutura física, a qualidade de vida e a sobrevivência dos doentes cardíacos, que frequentemente apresentam vários sintomas físicos.

Essas respostas no sistema cardiovascular, se confirmadas, podem ter efeitos importantes, tanto em atletas submetidos de forma crónica e aguda ao treino, atuando como um fator de cardioproteção, quanto em cardíacos submetidos a um programa de treinamento, potencializando assim sua recuperação.

3.1.4. Metabolismo lipídico (contributo dos sistemas de energia e lactato)

No estudo de Carvalho³⁰ o impacto da ingestão aguda da taurina nos 400m de crawl em TT. A suplementação com 6g de taurina aumentou os níveis de glicerol após o esforço, indicando um aprimorar da oxidação lipídica. Está bem descrito na literatura⁴³ que os lípidos podem ser usados como fonte de energia durante o exercício, especialmente o triacilglicerol - TAG. De facto, quando o exercício é iniciado, a taxa de lipólise e de libertação dos ácidos gordos do tecido adiposo são aumentados devido à estimulação beta-adrenérgica. A quebra do triacilglicerol resulta numa libertação de ácidos gordos e glicerol. O glicerol livre não pode ser re-esterificado para o tecido devido à ausência da enzima glicerol cinase. Posto isto, os níveis de glicerol sanguíneo podem ser considerados como uma medida indireta da lipólise no corpo humano, visto que se mantem na circulação por um período superior relativamente aos ácidos gordos.

Uma das teorias propostas indica que esta fonte ergogénica pode diminuir a acumulação de lactato durante o exercício, o que influenciaria a quantidade de energia proveniente da via glicolítica durante o exercício de alta intensidade e por isso, a capacidade anaeróbia.³⁸ A contribuição aeróbia no grupo da taurina foi 12% superior comparativamente ao grupo de placebo, o que se considera ser um indicador de melhoramento metabólico. Esta possível maior participação do metabolismo oxidativo na síntese de ATP iria permitir um

nadar mais económico (resposta do consumo de oxigénio para o mesmo nível de intensidade) comparado com o grupo de placebo.

Embora neste estudo tenha havido este aumento no metabolismo oxidativo, não implica que haja uma melhoria na performance dos 400m crawl (como foi o caso).

3.2. Desempenho anaeróbio

Alterações no desempenho físico aeróbio envolvendo 5 estudos podem ser vistos na Tabela 3. A tabela apresenta um resumo dos desenhos das pesquisas, com o número de participantes, dose, tempo de ingestão, protocolo de exercício e principais resultados. Quatro dos seis artigos revelaram um efeito ergonómico significativo após a ingestão de Tau comparativamente com o placebo.

Alguns estudos revelaram aumento da performance muscular^{37,39}, na capacidade anaeróbia³⁸, e dano muscular^{37,39,40} e alteração na formação de lactato.³⁰

Em todos os estudos a Tau foi administrada de forma isolada, com doses de 50mg/kg³⁷, 0.1g/Kg³⁹, 1g³³, 2g⁴⁰ e 6g.^{30,38}

Relativamente à forma de administração da taurina, os estudos^{37,39,40} foram feitos com uma suplementação crónica. Na forma aguda, a taurina foi administrada 45min³³, 90min³⁸ ou 120min³⁰ antes do exercício.

As atividades envolvidas nos estudos foram flexão/extensão do cotovelo^{37,39,40}, corrida a alta intensidade³⁸, 400m crawl³⁰ e força de punho e salto vertical.³³

Os vários mecanismos específicos que fazem explicar o seu efeito ergogénico vão ser explicados em vários tópicos.

3.2.1. Performance muscular

No estudo de Silva⁸, após suplementação de 50mg/Kg por dia, fez aumentar força isométrica e concêntrica da flexão do cotovelo durante o período de recuperação pós exercício. O autor defende que esta melhoria na performance muscular seja devido a fatores induzidos pela taurina, tais como o aumento do limiar mecânico das contrações do músculo esquelético, a estabilização da membrana celular e o aumento da polarização da membrana.

No estudo de McLeay³⁹, houve um aumento significativo da força excêntrica máxima medida num dinamómetro isométrico, sugerindo que a taurina pode acelerar a recuperação da força excêntrica, potencialmente atenuando o dano secundário reduzido pela inflamação.

3.2.2. Dano muscular

No trabalho de Silva, os resultados, através de uma escala analógica visual e da medição dos valores da creatina cinase - CK mostraram que a suplementação com taurina pode diminuir o dano muscular durante o período de recuperação. Segundo o autor, a suplementação com taurina atenua diferentes modelos de dor neuropática e estes efeitos parecem ser mediados pela ativação da neurotransmissão glicinérgica. A sobrecarga de cálcio induzida pelo exercício excêntrico induz alterações na função mitocondrial, libertação enzimática e rotura da membrana celular. É então possível que este efeito esteja associado com a capacidade da taurina em promover a proteção celular através da estabilização da membrana, reduzindo a quantidade de CK.

McLeay³⁹ verificou diminuições significativas das medidas da performance no braço exercitado 24h após exercício, indicando dano muscular. Os efeitos do suplementação com taurina foram significativos na recuperação da força excêntrica às 48h comparativamente com o placebo. Isto sugere que a taurina possa ter permitido a recuperação muscular,

potencialmente pela redução da inflamação secundária ao exercício.

Relativamente ao CK, este estudo não revelou alterações entre tratamentos. O autor considera ser possível que este resultado possa ter ocorrido devido ao grupo muscular utilizado, por ser demasiado pequeno e por isso liberta uma menor quantidade de CK comparativamente a um grupo muscular grande.

3.2.3. Capacidade anaeróbia

Millioni³⁸ estudou o efeito da ingestão de taurina na capacidade anaeróbia. Para avaliar a capacidade anaeróbia, o método do défice máximo acumulado de oxigénio - MAOD é considerado o teste mais aceite.⁴⁴ O MAOD representa a diferença entre a procura prevista de oxigénio acumulado de uma sessão de exercício submáximo (obtido da relação linear entre intensidades de exercício submáximo e o respetivo consumo de oxigénio) e a medida do consumo de oxigénio acumulado durante a sessão de exercício submáximo. Neste estudo foi tido em hipótese uma possível melhoria do MAOD devido a evidências anteriores de que a ingestão aguda de taurina diminuía a acumulação de lactato durante o exercício submáximo. Porém, neste estudo, para além de nenhuma melhoria na performance do exercício, observou-se um efeito incerto nos valores do MAOD.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste artigo sugerem que a ingestão de taurina pode contribuir para a melhoria de vários aspetos do desempenho aeróbio e anaeróbio. O principal efeito ergogénico observado no exercício aeróbio está centrado no aumento da capacidade cardiorrespiratória, onde, embora os mecanismos permaneçam por esclarecer, está relacionada com o inotropismo positivo do tecido muscular e com a melhoria nas propriedades contráteis e elétricas da membrana do músculo esquelético. Na atividade anaeróbia, teve como principal efeito a melhoria do dano muscular, efeito este associado com a capacidade da taurina em promover a proteção celular através da estabilização da membrana, reduzindo a quantidade de CK.

Porém, embora os mecanismos pelos quais a taurina melhorou a performance muscular estejam relacionados com o seu conteúdo muscular, está também relacionada com o nível de condicionamento físico, já que foi previamente demonstrado que indivíduos treinados têm maior conteúdo muscular de taurina. Para além disso, nos artigos em análise, há uma grande variabilidade quer em termos de dose (doses mais elevadas - 6g a serem preferíveis para exercícios de alta intensidade pois aumentam os níveis de glicerol, podendo poupar reservas de glicerol) e de tempo de administração (segundo a farmacocinética da Tau, o pico de concentração máxima é após 1.5h).

Os efeitos ergogénicos da taurina podem ser interessantes tanto na dinâmica diária de treino e competição de atletas profissionais, de populações que pratiquem exercício físico de uma forma recreativa e inclusive de certas populações específicas, a exemplo de obesos e doentes cardíacos.

Contudo, um maior número de estudos é necessário para se poder obter conclusões mais robustas.

BIBLIOGRAFIA

1. Zhang, M., Izumi, I., Kagamimori, S., Sokejima, S., Yamagami, T., Liu, Z., & Qi, B. (2004). Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids*, 26(2), 203–207.
2. Ripps, H., & Shen, W. (2012). Review: taurine: a “very essential” amino acid. *Molecular Vision*, 18(November), 2673–2686.
3. Schuller-Levis, G. B., & Park, E. (2003). Taurine: New implications for an old amino acid. *FEMS Microbiology Letters*, 226(2), 195–202.
4. Lourenço, R., & Camilo, M. E. (2002). Taurine: A conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease. *Nutricion Hospitalaria*, 17(6), 262–270.
5. Bouckennooghe, T., Remacle, C., & Reusens, B. (2006). Is taurine a functional nutrient? *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 9(6), 728–733.
6. Wójcik, O. P., Koenig, K. L., Zeleniuch-Jacquotte, A., Pearte, C., Costa, M., & Chen, Y. (2013). Serum taurine and risk of coronary heart disease: A prospective, nested case-control study. *European Journal of Nutrition*, 52(1), 169–178.
7. Wójcik, O. P., Koenig, K. L., Zeleniuch-jacquotte, A., Costa, M., & Chen, Y. (2011). The potential protective effects of taurine on coronary heart disease. *Artherosclerosis*, 208(1), 1–17.
8. Lambert, I. H., Kristensen, D. M., Holm, J. B., & Mortensen, O. H. (2015). Physiological role of taurine--from organism to organelle. *Acta Physiologica (Oxford, England)*, 213(1), 191–212.
9. Ghandforoush-Sattari, M., Mashayekhi, S., Krishna, C. V., Thompson, J. P., & Routledge, P. A. (2010). Pharmacokinetics of Oral Taurine in Healthy Volunteers. *Journal of Amino Acids*, 2010, 1–5.

10. Birdsall, T. C. (1998). Therapeutic applications of taurine. *Alternative Medicine Review*, 3(2), 128–136.
11. Chesney, R. W., Gusowski, N., & Dabbagh, S. (1985). Renal cortex taurine content regulates renal adaptive response to altered dietary intake of sulfur amino acids. *Journal of Clinical Investigation*, 76(6), 2213–2221.
12. Ferreira, S. E., De Mello, M. T., Vinicius Rossi, M., & Souza-Formigoni, M. L. O. (2004). Does an energy drink modify the effects of alcohol in a maximal effort test? *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 28(9), 1408–1412.
13. Wharton, B. A., Morley, R., Isaacs, E. B., Cole, T. J., & Lucas, A. (2004). Low plasma taurine and later neurodevelopment. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, 89(6), 497–499.
14. Ra, S.-G. G., Miyazaki, T., Ishikura, K., Nagayama, H., Komine, S., Nakata, Y., Ohmori, H. (2013). Combined effect of branched-chain amino acids and taurine supplementation on delayed onset muscle soreness and muscle damage in high-intensity eccentric exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 51.
15. Tappaz, M. L. (2004). Taurine Biosynthetic Enzymes and Taurine Transporter: Molecular Identification and Regulations. *Neurochemical Research*, 29(1), 83–96.
16. Sun, M., Zhao, Y. M., Gu, Y., & Xu, C. (2012). Therapeutic window of taurine against experimental stroke in rats. *Translational Research*, 160(3), 223–229.
17. Suzuki, T., Suzuki, T., Wada, T., Saigo, K., & Watanabe, K. (2002). Taurine as a constituent of mitochondrial tRNAs: New insights into the functions of taurine and human mitochondrial diseases. *EMBO Journal*, 21(23), 6581–6589.
18. Silva, L. A., Silveira, P. C. L., Ronsani, M. M., Souza, P. S., Scheffer, D., Vieira, L. C., Pinho, R. A. (2011). Taurine supplementation decreases oxidative stress in skeletal

- muscle after eccentric exercise. *Cell Biochemistry and Function*, 29(1), 43–49.
19. Takahashi, Y., Tamura, Y., Matsunaga, Y., Kitaoka, Y., Terada, S., & Hatta, H. (2016). Effects of Taurine Administration on Carbohydrate Metabolism in Skeletal Muscle during the Post-Exercise Phase. *J Nutr Sci Vitaminol*, 62, 257–264.
 20. Schaffer, S. W., Ju Jong, C., Kc, R., & Azuma, J. (2010). Physiological roles of taurine in heart and muscle. *Journal of Biomedical Science*, 17(SUPPL. 1), 1–8.
 21. Baum, M., & Weiß, M. (2001). The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids*, 20(1), 75–82.
 22. Yatabe, Y., Miyakawa, S., Miyazaki, T., Matsuzaki, Y., & Ochiai, N. (2003). Effects of taurine administration in rat skeletal muscles on exercise. *Journal of Orthopaedic Science*, 8(3), 415–419.
 23. Carneiro, E. M., Latorraca, M. Q., Araujo, E., Beltrá, M., Oliveras, M. J., Navarro, M., Martín, F. (2009). Taurine supplementation modulates glucose homeostasis and islet function. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 20(7), 503–511.
 24. Vettorazzi, J. F., Ribeiro, R. A., Santos-Silva, J. C., Borck, P. C., Batista, T. M., Nardelli, T. R., Carneiro, E. M. (2014). Taurine supplementation increases KATP channel protein content, improving Ca²⁺ handling and insulin secretion in islets from malnourished mice fed on a high-fat diet. *Amino Acids*, 46(9), 2123–2136.
 25. Tsuboyama-Kasaoka, N., Shozawa, C., Sano, K., Kamei, Y., Kasaoka, S., Hosokawa, Y., & Ezaki, O. (2006). Taurine (2-Aminoethanesulfonic Acid) deficiency creates a vicious circle promoting obesity. *Endocrinology*, 147(7), 3276–3284.
 26. Murakami, S. (2015). Role of taurine in the pathogenesis of obesity. *Molecular Nutrition and Food Research*, 59(7), 1353–1363.

27. Carolina, A., Martiniano, D. A., Carvalho, F. G. De, Marchini, J. S., Garcia, S. B., Júnior, J. E., Freitas, E. C. De. (2015). Taurine 9, 803, 707–714.
28. Huxtable RJ (1992) Physiological actions of taurine. *Physiol Rev* 72:101–163.
29. Sejersted, O. M., & Sjøgaard, G. (2000). Dynamics and consequences of potassium shifts in skeletal muscle and heart during exercise. *Physiological Reviews*, 80(4), 1411–1481.
30. De Carvalho, F. G., Barbieri, R. A., Carvalho, M. B., Dato, C. C., Campos, E. Z., Gobbi, R. B., de Freitas, E. C. (2017). Taurine supplementation can increase lipolysis and affect the contribution of energy systems during front crawl maximal effort. *Amino Acids*, 50(1), 189–198.
31. Galloway, S. D. R., Talanian, J. L., Shoveller, A. K., Heigenhauser, G. J. F., & Spriet, L. L. (2008). Seven days of oral taurine supplementation does not increase muscle taurine content or alter substrate metabolism during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 105(2), 643–651.
32. Balshaw, T. G., Bampouras, T. M., Barry, T. J., & Sparks, S. A. (2013). The effect of acute taurine ingestion on 3-km running performance in trained middle-distance runners. *Amino Acids*, 44(2), 555–561.
33. Kammerer, M., Jaramillo, J. a, García, A., Calderón, J. C., & Valbuena, L. H. (2014). Effects of energy drink major bioactive compounds on the performance of young adults in fitness and cognitive tests : a randomized controlled trial. *International Journal of Sports Nutrition*, 1–7.
34. Rutherford, J., Spriet, L. L., & Stellingwerff, T. (2010). The Effect of Acute Taurine Ingestion on Endurance Performance in Well Trained Cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 322–329.

35. Zhang, M., Izumi, I., Kagamimori, S., Sokejima, S., Yamagami, T., Liu, Z., & Qi, B. (2004). Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids*, 26(2), 203–207.
36. Ward, R., Bridge, C. A., McNaughton, L. R., & Sparks, S. A. (2016). The effect of acute taurine ingestion on 4-km time trial performance in trained cyclists. *Amino Acids*, 48(11), 2581–2587.
37. da Silva, L. a, Tromm, C. B., Bom, K. F., Mariano, I., Pozzi, B., da Rosa, G. L., Pinho, R. A. (2014). Effects of taurine supplementation following eccentric exercise in young adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquée, Nutrition et Métabolisme*, 39(1), 101–104.
38. Milioni F, Malta Ede S, Rocha LG, Mesquita CA, de Freitas EC, Zagatto AM (2016) Acute administration of high doses of taurine does not substantially improve high-intensity running performance and the effect on maximal accumulated oxygen deficit is unclear. *Appl Physiol Nutr Metab* 41(5):498–503.
39. McLeay, Y., Stannard, S., & Barnes, M. (2017). The Effect of Taurine on the Recovery from Eccentric Exercise-Induced Muscle Damage in Males. *Antioxidants*, 6(4), 79.
40. Ra, S.-G., Choi, Y., Akazawa, N., Ohmori, H., & Maeda, S. (2016). Taurine supplementation attenuates delayed increase in exercise-induced arterial stiffness. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(6), 618–623.
41. Amiya, E., Watanabe, M., Takeda, N., Saito, T., Shiga, T., Hosoya, Y., Maemura, K. (2013). Angiotensin II impairs endothelial nitric-oxide synthase bioavailability under free cholesterol-enriched conditions via intracellular free cholesterol-rich membrane microdomains. *Journal of Biological Chemistry*, 288(20), 14497–14509.
42. Alamdari, K. A., Kordi, M., Choobineh, S., & Abbasi, A. (2007). Acute effects of two energy drinks on anaerobic power and blood lactate levels in male athletes. *Facta*

Universitatis-Series: Physical Education and Sport, 5, 153–162.

43. Saponaro, C., Gaggini, M., Carli, F., & Gastaldelli, A. (2015). The subtle balance between lipolysis and lipogenesis: A critical point in metabolic homeostasis. *Nutrients*, 7(11), 9453–9474.
44. Noordhof, D. A., De Koning, J. J., & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method: A valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Medicine*, 40(4), 285–302.

AGRADECIMENTOS

Antes que me torne mestre,
Escrevo um poema para que mostre,
Em algumas palavras e sentimentos,
Os meus mais sinceros agradecimentos

Aos meus pais e irmã,
Quem mais quero enaltecer,
São o meu grande talismã,
Sem eles tudo se iria desvanecer

Em Coimbra, na minha Universidade,
Vivi tempos saudosos,
Num grupo de enorme cumplicidade,
Falo dos amigos perigosos!

Ainda ontem cheguei aqui menino,
E já escrevi a minha tese, imagina.
Podia aqui dizer que quis o destino,
Que eu escrevesse sobre a taurina

E sem que caia no esquecimento,
Um enorme obrigado ao Prof. Fontes Ribeiro,
Por ser meu orientador e conselheiro,
Tendo partilhado comigo o seu conhecimento

Não cabendo em mim de felicidade,
E para que não demasiado orgulhoso ficasse,
‘Deus quer, o homem sonha, a obra nasce’.