



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

FRANCIELE CRISTINA PEREIRA DE OLIVEIRA

**DIFERENTES ESTRATÉGIAS NO MODELO DE TREINAMENTO DE FORÇA
GERAM DIFERENTES RESPOSTAS MORFOLÓGICAS EM MODELOS ANIMAIS**

SOBRAL

2023

FRANCIELE CRISTINA PEREIRA DE OLIVEIRA

**DIFERENTES ESTRATÉGIAS NO MODELO DE TREINAMENTO DE FORÇA
GERAM DIFERENTES RESPOSTAS MORFOLÓGICAS EM MODELOS ANIMAIS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito para obtenção do título de Mestre
em Biotecnologia.

Área de concentração: Biotecnologia.

Linha de Pesquisa: Fisiologia do
Exercício

Orientador: Profa. Dra. Valdevane Rocha
Araújo.

SOBRAL

2023

FRANCIELE CRISTINA PEREIRA DE OLIVEIRA

**DIFERENTES ESTRATÉGIAS NO MODELO DE TREINAMENTO DE FORÇA
GERAM DIFERENTES RESPOSTAS MORFOLÓGICAS EM MODELOS ANIMAIS**

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de Pesquisa: Fisiologia do Exercício.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Valdevane Rocha Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Juliana Osório Alves
Centro Universitário Estácio do Ceará (Estácio FIC)

Prof. Dr. Luiz Vieira da Silva Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O47d Oliveira, Franciele Cristina Pereira de.
DIFERENTES ESTRATÉGIAS NO MODELO DE TREINAMENTO DE FORÇA GERAM
DIFERENTES RESPOSTAS MORFOLÓGICAS EM MODELOS ANIMAIS / Franciele Cristina Pereira
de Oliveira. – 2023.
58 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Programa de Pós-Graduação
em Biotecnologia, Sobral, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Valdevane Rocha Araujo.

1. Treinamento resistido. 2. Carga de treino. 3. Bia. I. Título.

CDD 660.6

A Deus;

E em memória de Alex Soares Marreiros
Ferraz

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos que me concedeu nesta vida.

A minha família, Jonathan de Queiroz e Annabel Lee por ser amparo em minha exaustão e luz em meus dias mais sombrios.

A minha mãe, Raimunda da Conceição por ter acreditado que todo seu esforço em me dá uma educação de qualidade, pois saberia que valeria a pena.

Ao meu pai, Jacinto Wilson por todas as vezes que insistiu que eu seria tudo aquilo que eu quisesse ser.

À Rodrigo Leite Furtado, por tudo que fez para que eu não desistisse de um dos meus maiores sonhos. Em vida, jamais conseguirei demonstrar tamanha gratidão.

À Danytza Serra, por todas as vezes que me lembrou a força que uma mãe pode ter e o que posso conquistar.

À Prof.^a Dr.^a Valdevane Rocha Araújo pela orientação, paciência e confiança. Mas principalmente, por ter me aceitado grávida em condições tão delicadas e dolorosas.

Ao Prof. Dr. Alex Soares Marreiros Ferraz. Só sou quem sou pela sua passagem na minha vida. Você vive em todos os meus dias.

Aos membros da banca, Prof.^a Dr.^a Juliana Osório, Dr. Luiz Vieira, Dr.^a Vânia Marilande Ceccatto e Dr. José Roberto pelas observações, questionamentos, críticas e suporte.

A equipe do Laboratório de Fisiologia Da Reprodução *Fisiorep* da Universidade Estadual do Ceará pela colaboração nas análises e manejo dos animais.

Ao Laboratório de Bioquímica e Expressão Gênica *Labiex* da Universidade Estadual do Ceará pela concessão do espaço para realização dos exercícios físico e análises de estresse oxidativo.

À Universidade Federal do Ceará Campus Sobral e o Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia pela oportunidade de realizar o curso.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, em especial à Isabele Silva, que muito colaboraram e me incentivaram com sua amizade, apoio e afago.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agência financiadora que tornaram possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Tendo em vista que os protocolos de treinamento utilizados em animais de laboratório têm sido apenas replicados ao invés de serem ajustados este estudo teve como objetivo comparar a morfologia e a fisiologia da composição corporal em modelos animais submetidos a dois protocolos de treinamento de força. Para isto foram utilizados 15 ratos *Wistar* machos com 21 dias de vida. Estes foram distribuídos aleatoriamente em 3 grupos: Grupo Controle (GC, n=4); Grupo Força (GF, n=5); Grupo Resistência (GR, n=5). Os animais foram avaliados quanto a composição corporal e submetidos à familiarização ao exercício na escada durante uma semana. Após 24h da última sessão de adaptação foi realizado o Teste de Carga com coletas de lactato sanguíneo caudal. Os animais foram estimulados a realizarem o treinamento resistido durante 8 semanas. O GF utilizou o protocolo 25; 50; 75 e 100% + 30g de carga adicional na última série, 5x por semana com 2 minutos de intervalo para recuperação, enquanto que o GR foi submetido à 5 treinos semanais, com 6 subidas à 50% de intensidade e com intervalos de até 1 minutos e 30 segundos. 48hs após as semanas de intervenção, os animais foram submetidos ao último teste de carga máxima e avaliação da composição corporal. Após as análises e sob anestesia, os animais foram eutanasiados e os tecidos dos músculos gastrocnêmio, sóleo, tibia, flexor longo do hálux, além do fígado foram dissecados, pesados e medidos. Para análise estatística descritiva foram aplicados média e desvio padrão. Para estatística inferencial foram adotados one-way ANOVA para comparações pré e pós two-way ANOVA para comparação entre os grupos. Para análise pós hoc foi utilizado Bonferroni. Ao analisar a caracterização dos animais, foi possível observar que houveram diferenças significativas entre o GC e o GR e GF, sendo o GR quem teve maiores diferenças quanto ao peso da carcaça e do músculo TA; o GF teve maiores diferenças no peso da gordura. Ao avaliar os resultados bioelétricos notou-se que o GF teve maiores resultados de TBW e o GR em FFM. Nos resultados de teste de carga, o GR teve maiores ganhos de força; quanto a densidade do treino quando comparados com o início do experimento, o GF teve maiores diferenças nas semanas finais. Ambos os grupos exercitados apresentaram alteração na lactacidemia pós exercício, sendo o GF quem teve maiores diferenças. Os tecidos dos músculos FHL e TA apresentaram menor quantidade de enzimas oxidativas nos grupos exercitados. Os grupos submetidos ao exercício apresentaram maior AST da fibra muscular comparado ao GC, sendo o GF maior que GR. Em conclusão, é possível admitir que diferentes estratégias de treinamento geram diferentes respostas fisiológicas e morfológicas em animais submetidos a modelos distintos de TR.

Palavras chave: treinamento resistido; carga de treino; BIA.

ABSTRACT

Considering that the training protocols used in laboratory animals have only been replicated instead of being adjusted, this study aimed to compare the morphology and physiology of body composition in animal models submitted to two strength training protocols. For this, 15 male Wistar rats with 21 days of life were used. These were randomly distributed into 3 groups: Control Group (GC, n=4); Strength Group (GF, n=5); Resistance Group (GC, n=5). The animals were evaluated for body composition and subjected to familiarization with stair exercise for one week. After 24 hours of the last adaptation session, the Load Test was performed with caudal blood lactate collections. The animals were encouraged to perform resistance training for 8 weeks. The FG used protocol 25; 50; 75 and 100% + 30g of additional load in the last series, 5x a week with 2 minutes of recovery interval, while the RG was submitted to 5 weekly trainings, with 6 ascents at 50% of intensity and with intervals of up to 1 minute and 30 seconds. 48 hours after the intervention weeks, the animals were submitted to the last maximum load test and body composition evaluation. After the analyzes and under anesthesia, the animals were euthanized and the tissues of the gastrocnemius, soleus, tibia, flexor hallucis longus muscles, in addition to the liver were dissected, weighed and measured. For descriptive statistical analysis, mean and standard deviation were applied. For inferential statistics, one-way ANOVA was adopted for comparisons before and after two-way ANOVA for comparison between groups. For post hoc analysis Bonferroni was used. When analyzing the characterization of the animals, it was possible to observe that there were significant differences between the GC and the RG and GF, with the GR having the greatest differences in terms of carcass weight and TA muscle; GF had greater differences in fat weight. When evaluating the bioelectric results, it was noted that the GF had higher TBW results and the GR in FFM. In the load test results, the GR had greater strength gains; As for the training density when compared to the beginning of the experiment, the GF had greater differences in the final weeks. Both exercised groups showed changes in post-exercise lactacidemia, with the GF having the greatest differences. The tissues of the FHL and TA muscles showed a lower amount of oxidative enzymes in the exercised groups. The groups submitted to the exercise presented higher AST of the muscular fiber compared to the CG, being the GF greater than the RG. In conclusion, it is possible to admit that different training strategies generate different physiological and morphological responses in animals submitted to different models of RT

Keywords: resistance training; training load and BIA.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Imagem de aparato para desenvolvimento de membros posteriores adaptada a partir de Tamaki et al. (1992).

Figura 2 – Modelo proposto por Hormenberg & Farrar, (2004) com animal escalando o aparelho com 1,1m e 80° de inclinação, pesos presos a região caudal e no topo a câmara de alojamento.

Figura 4 – Imagem do modelo de escada disponível pelo nosso grupo de pesquisa lab³ex.

Figura 5 – Posicionamento dos eletrodos da impedância bioelétrica na região naso-anal dos animais. Imagem feita pelo nosso grupo de pesquisa lab³ex.

LISTA DE FIGURAS (RESULTADOS)

Figura 1 – Desenvolvimento do peso dos animais ao longo das semanas de intervenção.

Figura 2 – Impedância Bioelétrica subdividido em figura 2(A) para massa livre de gordura e figura 2(B) para água corporal total analisado por impedância bioelétrica.

Figura 3 – Índice de Lee, que representa a faixa de nutrição e obesidade de roedores.

Figura 4 – Peso da gordura através da pesagem dos coxins adiposos.

Figura 5 – Carcaça dos animais após a eutanásia.

Figura 6 – Peso dos músculos coletados. (A) Flexor Longo do Hálux; (B) Sóleo; (C) Tibial Anterior e (D) Gastrocnêmio.

Figura 7 – Teste de Carga. Teste de carga máxima para avaliação da evolução da sobrecarga levantada durante os testes.

Figura 8 – Densidade do treino. Equalização do trabalho total para cada sessão de treinamento.

Figura 9 – Lactato sanguíneo.

Figura 10 – Catalase do músculo Flexor Longo do Hálux.

Figura 11 – Malondialdeído do músculo Tibial Anterior.

Figura 11 (A) – Tiol de todos os tecidos coletados.

Figura 11 (B) – Superóxido desmutase de todos os tecidos coletados.

Figura 12 – Histologia Flexor Longo do Hálux.

Figura 13 – Histologia Gastrocnêmio.

Figura 14 – Distribuição de miofibrilas no músculo Flexor longo do Hálux.

Figura 15 – Distribuição de miofibrilas no músculo Gastrocnêmio.

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AST – Área de secção transversa

BIA – Impedância Bioelétrica

CAT – Enzima Catalase

FHL – Flexor Longo do Hálux

GASTRO - Gastrocnêmio

GC – Grupo controle

GF – Grupo força

GR – Grupo resistência

HE – Corante Hematoxilina Eosina

IMC – Índice de massa corporal

MDA – Malondialdeído

SOD – Enzima Superoxdesmutase

TA – Tibial Anterior

TIOL – Tióis

TR – Treinamento resistido

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Exercício físico	2
2.2 Modelos de exercícios em animais de laboratório	4
2.3 Fibras musculares	6
3. JUSTIFICATIVA	9
4. HIPÓTESES CIENTÍFICAS	11
5. OBJETIVOS	12
5.1 Objetivo Geral	12
5.2 Objetivos Específicos	12
6. MATERIAIS E MÉTODOS	13
6.1 Aspectos éticos e animais	13
6.2 Delineamento Experimental	13
6.3 Murinometria e Coletas de Tecidos	13
6.4 Familiarização ao exercício	14
6.4 Protocolo de teste de carga máxima	14
6.5 Protocolos de treinamento de força e resistência	15
7. Avaliações Bioquímicas e Moleculares	16
7.1 Lactato Sanguíneo	16
7.2 Conteúdo de Glicogênio	16
7.3 Superóxido Desmutase	16
7.4 Catalase	16
7.5 Peroxidação Protéica (TIOL)	17
8. Avaliação Morfométrica e Distribuição de tecido muscular	17
8.1 Determinação da Área de Secção Transversa (CSA) da fibra muscular	17
8.2 Distribuição do tecido muscular	17
9. ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
10. RESULTADOS	20
10.1 Composição Corporal Por Método Indireto	20
10.2 Composição Corporal Por Método Direto	20
10.3 Carga De Treinamento	20
10.4 Parâmetros Bioquímicos	21
10.5 Parâmetros Bioquímicos – Balanço Redox	21

10.6	Histologia Clássica.....	22
11.	DISCUSSÃO	22
	Legendas das figuras	Erro! Indicador não definido.
	Figuras.....	29
12.	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40
	ANEXO 1 – PARECER DO CEUA	45

1 INTRODUÇÃO

É bem documentado que a realização de exercícios físicos é uma estratégia não farmacológica capaz de atuar na mobilização da gordura, prevenção e tratamento de patologias (MOLINA-GARCIA et. al., 2019) A prática regular de exercícios e o aumento de massa muscular gerado por ele, pode reduzir ou evitar efeitos inflamatórios provocados pelo aumento da adiposidade e regulação da atividade redox, através da sua capacidade contrátil, desenvolvimento de força e massa muscular (ALVER, 2014; GHAZIZADEH DARBAND et. al., 2020; KRAUSE NETO & GAMA, 2017).

O desenvolvimento de força pode ser realizado em momentos distintos às estratégias para o desenvolvimento de massa e potência muscular, resistência de velocidade ou outras capacidades, através da modulação de algumas variáveis, tais como o volume, a intensidade, a recuperação e até mesmo, os tipos de equipamentos. Por esta razão, entender as diferentes respostas do treinamento frente aos estímulos dados é de grande importância (KUBO et al., 2019), uma vez que embora as metodologias para o desenvolvimento de massa muscular ou desenvolvimento de força seja uma ferramenta de prevenção de doenças e melhora da qualidade de vidas em humanos, ainda existem lacunas importantes em relação as condições clínicas do indivíduo e associação ao tipo de protocolo de treinamento eleito.

Os protocolos de treinamento de força apresentam objetivos que podem ser (1) ganhos de massa muscular, (2) ganho de força, (3) ganhos de potência muscular ou (4) ganhos de resistência muscular localizada, o uso de modelos de escada para roedores é considerado uma opção experimental para determinar protocolos ideias de treinamento para cada condição clínica apresentada. Estudos prévios verificaram que alguns grupos musculares apresentam graus de hipertrofia muscular, enquanto outros mostram desenvolvimento de força, sem necessariamente haver indícios hipertróficos (HORNBERGER e FARRAR, 2004). Isso pode estar relacionado a predominância de fibra muscular ou até mesmo a um viés de aferição associado a técnica de medição muscular (HORNBERGER e FARRAR, 2004). Recentes estudos observaram que a indução do treinamento na escada em roedores apresenta aumento de massa muscular (TIBANA et al., 2017; PADILHA et al., 2019), aumento na área de secção transversa, conteúdo miofibrilar, desenvolvimento de força (TIBANA et al., 2017) e ganhos similares de força (PADILHA et al., 2019). Além disso, a alteração do volume de treino tem associação com a produção de espécies reativas de oxigênio o que pode resultar em disfunção

mitocondrial e ativação de fatores relacionados ao estresse oxidativo e ao dano celular, como a diminuição das enzimas de defesas antioxidantes SOD, GPx e Catalase (LUCIANO et al., 2017; TIBANA et al., 2017).

Com base nisto, foi criada a hipótese que protocolos que visam ganho de força ou ganho de resistência, produzem desfechos diferentes em relação aos ganhos de força, massa muscular estresse oxidativo e morfologia. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi comparar estratégias de treinamento de resistência e força e suas respostas na composição corporal, atividade oxidativa e na morfologia do músculo esquelético.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Exercício físico

A atividade física é definida como todo e qualquer movimento corporal realizado pelos músculos que gere gasto energético. Este movimento pode ser a partir da execução de tarefas domésticas, atividades de lazer, jogos e prática laborais. Diferente de exercício físico, que é uma subclasse da atividade física, no entanto envolve o planejamento dos exercícios propostos com estrutura baseada em níveis de aptidão do indivíduo, além de ser realizada de forma crônica afim de manter ou melhorar o condicionamento. (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, 2014)

O desenvolvimento do condicionamento físico pode ser aprimorado com o treinamento físico prolongado, seja por meio do treinamento resistido e/ou capacidade aeróbia. Esta dinâmica permite que o indivíduo sofra adaptações que geram mudanças no fenótipo muscular, na dinâmica de armazenamento de macronutrientes e metabolização de algumas enzimas, além da quantidade de proteínas contráteis e rigidez do tecido conjuntivo (BROOKS, 2012).

Em linhas gerais, é possível observar que o exercício físico é geralmente separado em endurance e treinamento resistido, o endurance sendo classificado como exercícios contra uma carga relativamente baixa por longos períodos de tempo, e o treinamento resistido com altas cargas em um curto período de tempo (HUGHES et. al., 2018). O primeiro gera alterações como o aumento do débito cardíaco, biogênese mitocondrial, melhora do consumo de oxigênio, além de adaptações quanto a performance do indivíduo, como a economia de energia e melhora na aptidão cardiorrespiratória, permitindo que o indivíduo percorra maiores distancias em menores períodos de tempo. (FLETCHER et. al., 2010; GIBALA e MCGEE, 2008; HOLLOSZY e COYLE, 2016). Enquanto que o treinamento resistido apresenta adaptações como alteração da área de secção transversa muscular, miogênese, adaptações neuromusculares e aumento de

força muscular. (BROOKS, 2012; CARTEE e colab., 2016; FRY AC, 2004; HÄKKINEN et al., 1998)

Durante o processo de aquisição da capacidade física aeróbica, o treinamento de endurance é definido por volumes de treinos mais altos e intensidades perto do limiar aeróbico. Esta prerrogativa permite que o indivíduo se mantenha em períodos mais longos, o que favorece o metabolismo de gordura através de maior utilização de O₂ sem acúmulo de CO₂ (PERIC e et. al., 2016). À jusante do treinamento de endurance é a manutenção das concentrações de lactato estáveis por maior tempo possível, e isto ocorre devido ao fato de que este treinamento acelera a atividade das enzimas como a Citrato Sintase e succinate dehydrogenase (SDH) aumento da biogênese mitocondrial, por meio de numerosas interações moleculares através da PGC-1 α (co-ativador-1 α do receptor γ ativado por proliferador de peroxissoma), captação de oxigênio e por fim aumentando a quantidade de receptores H⁺ (JORNAYVAZ e SHULMAN, 2010).

Embora o treinamento resistido e o de endurance apresentem adaptações morfofisiológicas distintas, os estudos com treinamento de força também são usados como mecanismo de melhoria central e periférica que permitem aprimoramento da qualidade de vida, retardo de doenças relacionadas a idade, e combate à patologias e inflamações decorrentes de alterações do perfil metabólico. (BROOKS, 2012; CARTEE et al., 2016; NEWMAN et al., 2006) e pesquisas que aprofundem melhor estes conhecimentos são fundamentais para o melhor entendimento dos mecanismos fisiológicos desencadeados por cada tipo de exercício.

Por isto, a utilização de metodologias de treinamento em animais de laboratório é de fundamental importância para estudos que envolvem as respostas do exercício e suas modificações nos perfis fisiológico, biológico, morfológico; ou por aqueles que potencializam os efeitos dos diferentes modelos de exercício associado a algum fármaco ou condição clínica (DE ANGELIS et. al., 2017).

Outro ponto que deve ser considerado para além das capacidades físicas força e endurance, ao realizar pesquisas nessa área é entender o propósito por trás dos [métodos de treinamento](#), dos cinco principais componentes da força muscular a saber: Força máxima, força dinâmica, força explosiva, força isométrica e resistência de força. Este trabalho foca nos dois métodos mais utilizados, treinamento de Força e Treinamento de Resistência de Força.

Força é a valência física que usa da quantidade de força máxima aplicada que o indivíduo pode gerar em um padrão específico de movimento e zonas de baixas repetições, promovendo adaptações morfológicas e neurais, que são modificadas com o tempo e frequência de treinamento. (BARROSO et al., 2005).

Enquanto que, o treinamento de resistência de força envolve a habilidade do praticante de elevar percentuais de sobrecarga, baseado nos valores de força máxima, por um período específico de tempo ou de repetições. Estudos mostram que mudanças nestas zonas de sobrecarga através da modulação de volumes e intensidades do treinamento de força, podem gerar adaptações positivas ou negativas em diferentes tecidos e na sua dinâmica de distribuição e funcionamento. (FLECK & KRAEMER, 2006; NETO & PRESTES. 2015).

À essas variáveis de zonas de sobrecarga através do volume, intensidade e tempo de recuperação do treinamento, dar-se o nome de carga de treino. Em pesquisas que usaram a modificação da estrutura do treinamento pela variação da carga de treino em animais, observaram que maiores cargas de treino estavam associadas à maior índice de hipertrofia do sóleo, gastrocnêmio, flexor e extensor longo dos dedos, (KRAUSE NETO e GAMA, 2017; PADILHA et. al., 2019) enquanto estudos que se utilizaram de cargas de treino menores apresentaram menor tendência para hipertrofia. (DESCHENES et. al., 2015)

2.2 Modelos de exercícios em animais de laboratório

Entre os modelos de treinamento aeróbio envolvendo animais de laboratório os mais comumente utilizados são a esteira e a natação. Ambos são capazes de simular o stress e alterações fisiológicas, biomoleculares e bioquímicas geradas pelo exercício além de permitirem a utilização de medidas de intensidades variáveis em um exercício de longa duração. (CONTARTEZE et. al., 2008)

No entanto, devido aos benefícios apresentados pelo treinamento de força como diminuição de ambiente infamatório e adiposidade visceral, além de aumentar as concentrações de tecido conjuntivo associado aos ganhos de massa muscular, melhorar a capilarização sanguínea e atividade mitocondrial, o treinamento de força apresenta adaptações positivas no combate a perda de massa muscular em pacientes com doenças falciforme e melhora na capacidade regenerativa no hipocampo de idosos. (MERLET et al., 2020; NETO & PRESTES. 2015; PARRY et. al., 2020).

Com isso, estudos utilizando o treinamento de força nos músculos dos membros

posteriores de ratos começaram a valer-se de equipamento como escada ou modelo de levantamento de peso (figura 01) como mecanismos de indução do desenvolvimento de força e aumento de massa muscular em pesquisas experimentais. (HORNBERGER e FARRAR, 2004; TAMAKI, T., UCHIYAMA, S., & NAKANO, S.1992)

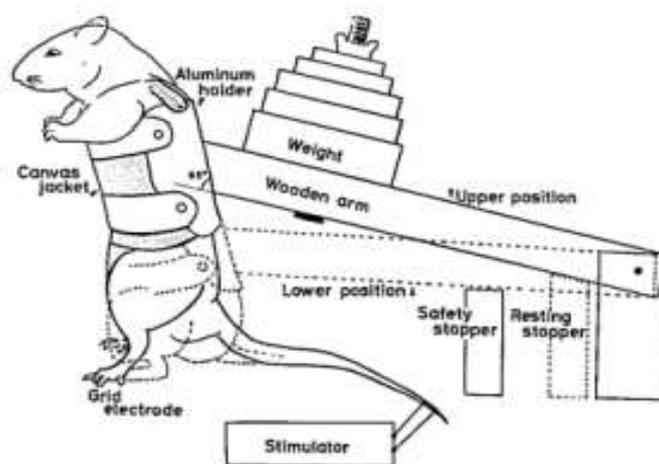


Figura 1: Imagem de aparato para desenvolvimento de membros posteriores adaptada a partir de Tamaki et al. (1992).

A partir de 2004, pesquisadores iniciaram investigações sobre a eficiência do modelo de escada para o treinamento de força muscular em roedores através de um protocolo de treinamento de 8 semanas que avaliou a área de secção transversa da fibra muscular, desenvolvimento de massa muscular e conteúdo proteico de alguns músculos (HORNBERGER e FARRAR, 2004). Apesar deste trabalho não ter apresentado significativo aumento no desenvolvimento de massa muscular, foi possível identificar o modelo da escada como equipamento capaz de gerar os efeitos do treinamento resistido. Em adição, trabalhos recentes mimetizaram o equipamento e mostraram resultados promissores quanto ao desenvolvimento de massa muscular no modelo proposto. (KRAUSE NETO e GAMA, 2017; LUCIANO et. al., 2017; TIBANA et. al., 2017.)

Neste modelo, animais familiarizados em treinamento de resistência foram colocados em escadas em uma escada com dimensões 1,1 0,18 m, grade de 2 cm e inclinação de 80° com um aparelho de carga preso à cauda, como é possível observar na figura 2. O comprimento da escada exigia que os animais realizassem de 8-12 movimentos dinâmicos por escalada. O aparelho de carga era consistido de tubos cônicos de 50ml com pesos presos a região caudal. No topo da escada, havia uma câmara de alojamento com dimensões 20x20x20cm onde os animais pudessem descansar pelo período de recuperação estabelecido no protocolo.

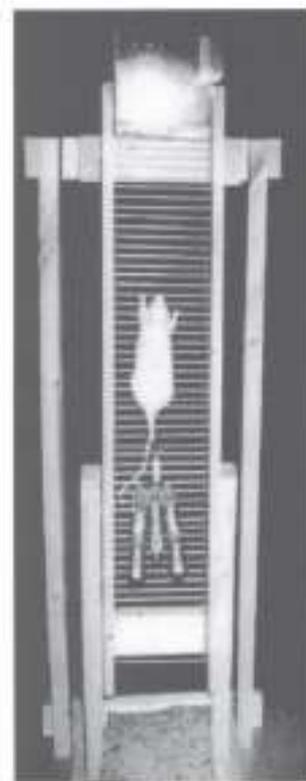


Figura 2: Modelo proposto por Hormenberg & Farrar, (2004) com animal escalando o aparelho com 1,1m e 80° de inclinação, pesos presos a região caudal e no topo a câmara de alojamento.

Além do modelo proposto, há prerrogativas nas estratégias usadas em laboratório para indução ou estimulação dos animais para realização dos exercícios, como choque ou pinçamento caudal. Esse manejo assemelha-se aos comandos verbais e/ou de cunho motor em humanos, estabelecido entre treinador/aplicador e praticante, documentado como métodos eficiente de estímulo do treinamento (SUCHOMEL et. al., 2019). No entanto, essa conduta de manipulação dos estímulos deve ser analisada com cautela para que os estímulos não interfiram na pragmática de execução do treinamento proposto.

2.3 Fibras musculares

A estrutura morfológica do músculo esquelético é composta por fibras musculares e camadas de tecido conjuntivo onde permeiam os componentes musculares. De maneira organizacional, as fibras musculares são orientadas em feixes e, através disto, é possível observar algumas características fenóticas e conseqüentemente, metabólicas, singulares à cada tipo de fibra muscular (JUNQUEIRA & CARNEIRO, 2017; p. 187).

Os tipos de fibras musculares podem variar de diversas formas, sendo elas, fibras do Tipo I, Fibras do Tipo II e as fibras intermediárias (Tipo Iix). As fibras podem ainda apresentar

uma coloração diferenciada: claras (Tipo I), escuras ou avermelhas (Tipo II) e/ou mistas. A coloração é determinada após o contato da enzima ATPase com o Ph alcalino. As diferentes funções desta enzima determinam a velocidade de utilização de ATP como substrato energético na região de cadeia pesada da miosina, e dessa forma, determina a velocidade de encurtamento do sarcômero. Também podem ser diferenciadas pela sua velocidade de contração: rápidas ou lentas; ou pelo seu perfil metabólico: glicolíticas, oxidativas, como também pela capacidade contrátil (baixa ou alta resistência a fadiga) (MCARDLE et al., 2015 p. 382-385).

Diante das possíveis identificações e diferenciações das fibras musculares, muito se estuda sobre sua ação e como se comporta dentro da arquitetura musculo-esquelético. Com isto, foi possível observar que sua caracterização tem ligação à sua responsividade ao estresse mecânico, como por exemplo, ao treinamento de força ou treinamento aeróbio (Thomson, 2018). Dessa forma, o tipo de atividade a ser estimulada é o que gerará adaptações que permitam que as fibras musculares possam se desenvolver frente ao estímulo imposto. Este desenvolvimento pode ser a nível metabólico e/ou morfológico (CHENG et al., 2004).

As fibras do Tipo I (lentas-oxidativas) apresentam como característica a cor avermelhada, devido ao alto conteúdo de mioglobinas, mitocôndrias grandes e numerosas maior resistência a fadiga. Estas características permitem que as fibras tipo I sejam ideais para atividades de cunho aeróbio, podendo durar horas, com baixa produção de força, mas alta densidade capilar e, conseqüentemente, maior atividade oxidativa (ADAMS et al., 2022).

Enquanto as fibras do Tipo II são fibras que apresentam em sua morfologia uma coloração esbranquiçada, maior atividade da enzima ATPase, atividade glicolítica pela ação das enzimas Lactato desidrogenase (LDH) e fosfofrutoquinase (PFK); apresentam menor duração máxima de uso, quando comparada as do tipo I, mas em contrapartida produzem força, essencial para o treinamento de força (FITTS, et al., 1991).

Quando as fibras musculares passam por estimulação mecânica, através do treinamento resistido, sofrem processos de adaptações a nível fisiológico (como mencionado anteriormente), como também sofre adaptações morfológicas, como alteração do diâmetro da fibra muscular. A isto dar-se o nome de hipertrofia muscular (NEWMIRE & WILLOUGHBY, 2018).

A hipertrofia muscular é uma condição adaptativa da célula muscular (miócito), onde percebe-se que o diâmetro do miócito pode aumentar, desde que, haja alguns fatores que

favoreçam o ambiente para o anabolismo, como: sinalização proteica por ativação Mtor (THOMSON, 2018), estímulos mecânicos, reparação tecidual, ativação muscular (GEREMIAS MACEDO et al., 2020). Os meios necessários para alcançar hipertrofia da célula muscular ainda não está completamente elucidado. Várias estratégias são levantadas a partir de trabalhos que desenvolveram atividades nas diversas vertentes anabólicas, desde à processos químicos e cascatas de sinalização às proteínas sintetizadas após a estimulação, até influência do volume de treinamento e zonas de intensidades ideais (HORNBERGER & FARRAR, 2004; KRAUSE NETO & GAMA, 2017; LUCIANO et al., 2017; PADILHA et al., 2019). No entanto, quais estratégias podem ser melhor utilizadas para desenvolvimento muscular dentro do campo laboratorial ainda não foram completamente elucidadas.

3 JUSTIFICATIVA

As diferentes modalidades de exercício desempenham dinâmicas de respostas morfológicas e fisiológicas distintas no sistema biológico. Algumas dessas alterações são silenciosas, como a capacidade aprimorada que o exercício de endurance tem em atuar na prevenção ou reabilitação de doenças crônicas, como hipertensão. Além disto, este modelo de exercício é capaz de gerar adaptações morfológicas, tais como a transição de fibras musculares lentas (brancas) para rápidas (vermelhas), aumento da biogênese mitocondrial e diminuição do percentual de gordura. No entanto, a adaptação desencadeada no músculo esquelético por esse modelo não leva a ganhos significativos de massa muscular. Por outro lado, o exercício resistido leva ao desenvolvimento de força, resistência muscular e adaptações moleculares que geram hipertrofia, além de minimizar nos efeitos fisiopatológicos desencadeados pela inflamação, através da liberação de miocinas pelo músculo esquelético (ALVER, 2014; KRAUSE NETO e GAMA, 2017).

Dentro do paradigma do treinamento de resistência de força em animais de laboratório, observamos o uso da escada como o equipamento que serve como ferramenta para influenciar a modificação deste fenótipo, além de apresentar fácil manejo e adaptabilidade dos animais. Mas para que o treinamento seja executado neste e em qualquer outro equipamento, é necessário que variáveis como volume de treino, intensidade, tempo de recuperação e frequência semanal, sejam estruturalmente organizadas para o fim de cada estudo, seja ele o aumento da força e/ou desenvolvimento da massa muscular/hipertrofia. Por sua vez, a modulação destas variáveis, dentro do protocolo de treinamento, pode estar associada à diferentes desfechos metabólicos e morfológicos, tais como alteração do perfil oxidante, concentração de enzimas glicolíticas e/ou oxidativas, bem como síntese de proteínas que consequentemente reflitam na síntese de massa muscular.

Essa organização da estrutura de treinamento é determinada como carga de treino e parece estar associada ao desfecho dos ganhos hipertróficos ou ganhos de força, além de apresentar alterações na dinâmica hormonal, antioxidante; e apresentam graus de hipertrofia distintos em alguns músculos com características bioquímicas e morfológicas diferentes.

A distinção dos tipos de protocolos de treinamento escolhidos, além da carga de treino imposta aos animais sugerem diferentes respostas na morfologia muscular esquelética. Desta forma, a importância de estudos que evidenciem as diferenças nos protocolos de treinamento resistido, permitem que o pesquisador obtenha maior êxito na escolha do protocolo a ser

utilizado. Assim, o desafio desta proposta envolve a comparação de dois modelos distintos para o treinamento de força em escada para roedores. Um dos protocolos está associado a carga de treino menor para busca de desenvolvimento de força e o outro está associado a cargas maiores, quando o objetivo for aumento de massa muscular.

4 HIPÓTESES CIENTÍFICAS

Diante do exposto, formulou-se as seguintes hipóteses científicas:

- Protocolos de treinamento que envolvem cargas de treino mais altas levam a maiores ganhos hipertróficos, enquanto cargas de treinos menores levam ao desenvolvimento de força.
- A dinâmica de modulação nesses protocolos de treinamento apresenta diferentes desfechos na dinâmica de defesas antioxidantes e distribuição morfológica.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo Geral

Comparar a morfologia e a fisiologia muscular em modelos animais submetidos a dois protocolos de treinamento de força.

5.2 Objetivos Específicos

· Analisar o desenvolvimento de força no protocolo proposto em maiores intensidades e menores volumes de treinamento.

· Avaliar o desenvolvimento de massa muscular em um protocolo de resistência muscular proposto no presente estudo.

· Investigar se a carga de treinamento influencia nas respostas morfológicas do músculo esquelético de ratos da linhagem *Wistar*.

· Verificar a influência dos dois protocolos na atividade Oxidativa.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Aspectos éticos e animais

Foram utilizados 14 ratos machos da linhagem *Wistar* com 21 dias de vida, os animais foram mantidos em gaiolas coletivas contendo até 5 animais por gaiola com ração e água ad libitum. Todos os procedimentos foram conduzidos seguindo as recomendações do Código Brasileiro para utilização de Animais de Laboratório, e o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Estadual do Ceará sob número de processo: 02779640/2021.

6.2 Delineamento Experimental

Os grupos passaram por dois protocolos de treinamento distintos, por isto os animais foram inicialmente divididos em três grupos, sendo eles divididos em GC: Grupo controle; GF: Grupo força; GM: Grupo massa muscular. O desmame aconteceu aos 21 dias de vida. A partir dos 60 dias de vida, os animais foram submetidos a avaliação da composição corporal pré e pós intervenção dos protocolos de treinamento, afim de acompanhar o padrão de ganho de peso. Para cálculo da ingestão e eficiência alimentar, água e ração e as sobras foram pesadas 3 vezes por semana em balança digital com precisão de miligramas.

6.3 Murinometria e Coletas de Tecidos

A avaliação da composição corporal aconteceu pré e pós intervenção dos protocolos de treinamento, onde foram avaliados o acompanhamento do peso corporal em uma balança digital com precisão em miligramas, comprimento naso-anal usando estadiômetro adaptado para animais de experimentação, diâmetro da cabeça através da utilização de um paquímetro, circunferência abdominal utilizando trena milimétrica inextensível e avaliação Bioelétrica (BIA). Os dados coletados serão utilizados para determinação por Índice de Lee e Índice de massa corporal (FERRAZ e colab., 2016)

Vinte e quatro horas após o teste de carga máxima, os animais foram anestesiados por Tiopental sódico (150mg/kg) para decapitação e colhimento do sangue em tubos heparinizados. O sangue coletado será centrifugado (3000 rpm /10min), o plasma separado e armazenado à -80°C para análises posteriores. O músculo gastrocnêmio, sóleo, tibia, flexor longo do hálux e plantar foram cuidadosamente retirados, pesados e armazenados com nitrogênio líquido a -80°C. O coxim adiposo subcutâneo, abdominal, retroperitoneal e epididimal foram dissecados, pesados e utilizados como parâmetro para avaliação de gordura corporal e, por fim, pesado a carcaça do animal.

6.4 Familiarização ao exercício

Antes de iniciar os Testes de carga máxima, ambos os grupos passaram por um período de familiarização ao exercício, afim de minimizar o estresse causado por estes, da seguinte forma: os animais foram estimulados a subir a escada 4 vezes ao dia, durante 5 dias consecutivos, sem adição de carga e com leves estímulos na região caudal, quando o animal interromper o ciclo. A cada série, o animal descansou por 2 minutos na câmara de recuperação.

O equipamento de exercício foi uma escada com inclinação de 80°, medidas retiradas a partir de Hornberger e Farrar (2004). A escada permite que o animal realize de 8-12 movimentos dinâmicos por subida e no topo da escada há uma câmara de alojamento, com 20 x 20 x 20 cm, para compactar o animal nos intervalos de recuperação (Figura 4).

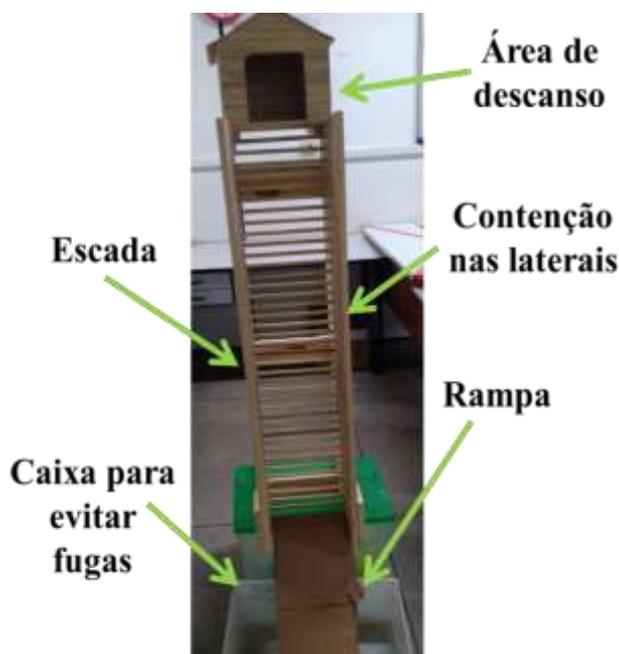


Figura 4: Imagem do modelo de escada disponível pelo grupo de pesquisa lab³ex.

6.4 Protocolo de teste de carga máxima

Ao fim da etapa de familiarização ao exercício, os animais foram submetidos ao teste de carga máxima estabelecido por Hornberger e Farrar (2004) que será detalhado no tópico a seguir, com a finalidade de descobrir as intensidades de treinamento e os ganhos de resistência ao fim do período de treinamento.

O teste de carga máxima foi iniciado com um frasco cônico fixado a região proximal da cauda do animal com o peso correspondente à 75% do peso corporal do animal. Este foi

estimulado a subir toda escada até a câmara 4 vezes com 2 minutos de intervalo entre as séries. A cada subida, foram acrescentados 30% de peso à cauda do animal. Esse incremento foi repetido até que o animal não tenha conseguido completar a subida por 3 tentativas consecutivas. A carga foi determinada pela aquela na qual o animal conseguiu executar a última subida completa. O protocolo de teste de carga máxima ocorreu de maneira quinzenal, afim de determinar os percentuais de força adquirida.

6.5 Protocolos de treinamento de força e resistência

Os protocolos de treinamento foram divididos em duas estruturas distintas, uma baseada no protocolo de treinamento de força, onde há uma estrutura com maiores intensidades e volumes de treino mais baixos; e o protocolo de treinamento de resistência muscular, proposto com volumes mais altos e intensidades moderadas, além da organização estrutural da densidade de treino a partir dos intervalos de descansos e frequência semanal, como descritos a seguir:

a) O protocolo de treinamento adotado foi proposto a partir do protocolo adotado por (HORNBERGER e FARRAR, 2004) onde os animais são submetidos à 8 semanas de intervenção com 3 sessões de treinos semanais, totalizando 24 sessões de treinamento. Na primeira escalada/série o animal subirá com 25% e nas próximas subidas serão aplicadas 50%, 75%, 90%, 100% peso corporal com subsequentes aumentos de 30g ou até a falha voluntária do animal. As séries terão 2 minutos de intervalo na câmara de concentração. Serão realizadas 5 subidas ou até ser determinado o cansaço do animal.

b) O protocolo de treinamento resistido foi adaptado a partir de (PASSOS NEVES et al., 2019) onde os animais foram submetidos a 8 semanas de treinamento com 5 sessões de treinos semanais, 8-12 movimentos (em torno de 1' de escalada), com 2' de intervalo entre as séries à 30% do peso corporal. O protocolo teve no total 40 sessões de treinamento e 22' minutos de duração por intervenção.

7 Avaliações Bioquímicas e Moleculares

Anteriormente a análise, os tecidos musculares foram homogeneizados (homogeneizador- modelo NT 136- Novatécnica- São Paulo/Brasil) com tampão KPE e centrifugados (centrífuga- modelo 243M- FANEM- São Paulo/Brasil), a 7500 rpm durante dez minutos. Todos os ensaios seguiram este protocolo, menos os realizados no plasma.

7.1 Lactato Sanguíneo

As amostras foram coletadas antes e após o teste de carga máxima e nas sessões de exercício físico. Foi realizado uma pequena incisão na extremidade caudal para coleta sanguínea e armazenado em tubo eppendorf (1,5 mL) contendo fluoreto de sódio (1%), sendo congeladas para posterior dosagem em lactímetro (Yellow Spring, modelo 1500). (BENEKE, 2013)

7.2 Conteúdo de Glicogênio

Foi usado método de extração e 100mg da porção vermelha e branca do músculo e 200mg do tecido hepático, pesados e o glicogênio extraído de acordo com a técnica de (DUBOIS e colab., 1956). Após o procedimento, os músculos foram armazenados no freezer e em seguida foi realizado análises de colorimetria. Para colorimetria foi usado Fenol Sulfúrico para em seguida analisar a glicose do tecido. As amostras foram lidas em espectrofotômetro a 490nm e a concentração determinada de acordo com a curva padrão de glicose a 1% com intervalo de concentração de 100,75,59,25 e 0 $\mu\text{g/mL}$.

7.3 Superóxido Desmutase

Após a dosagem a atividade da enzima antioxidante SOD foi analisada, por meio da inibição da auto-oxidação da adrenalina. Os homogenatos foram analisados em diferentes concentrações e a atividade detectada por espectrofotometria (Biomate 35, Thermoscientific. Wilmington, DE, USA), no comprimento de onda de 480nm. Os valores da enzima SOD foram normalizados pelo valor da proteína de cada amostra (U /mg proteína) (BANNISTER e CALABRESE, 1987)

7.4 Catalase

A análise da enzima antioxidante CAT foi mensurada de acordo com quantidade de peróxido de hidrogênio liberado (AEBI, 1984), em espectrofotômetro no comprimento de onda de 240 nm. Os valores de CAT foram normalizados pelo valor da proteína de cada amostra (U catalase/mg proteína)

7.5 Peroxidação Protéica (TIOL)

A peroxidação protéica foi analisada por quantificação dos grupamentos tióis livres, produtos da oxidação dos grupos tiólicos abundantemente presentes em proteínas celulares em homogenatos. As análises das amostras ocorreram em duplicata, no espectrofotômetro à 402nm. O preparado de tampão tris base, metanol e amostra homogeneizada, passou por vótex, foi incubada e o sobrenadante separado para posterior leitura.

8 Avaliação Morfométrica e Distribuição de tecido muscular

8.1 Determinação da Área de Secção Transversa (CSA) da fibra muscular.

Para análise de secção transversa da fibra muscular foram realizados cortes de 5 μ m que permitiram a observação transversal das fibras musculares ajustadas nas lâminas de vidro. Seis lâminas histológicas de cada animal onde foram coradas com hematoxilina eosina (HE) para avaliar a área de secção transversal (CSA).

Imagens de dez regiões musculares diferentes foram obtidas por sistema de captura e análise computadorizada de imagens com câmera digital em amplificação de 20X acoplada a microscópio binocular. A AST de 100 fibras foi escolhida aleatoriamente de cada imagem e medida por meio do software Image J. A normalização desses valores foi calculada pela média da AST dividida pela massa corporal do animal (AST / massa corporal). Todas as imagens foram analisadas pelo mesmo pesquisador em um design cego, no qual o analisador não teve conhecimento do grupo experimental.

8.2 Distribuição do tecido muscular

Para determinação da distribuição da massa muscular dos animais foi realizado análise da composição corporal por Impedância Bioelétrica realizadas através de equipamento tetrapolar da marca RJL SYSTEMS® modelo Quantum IV™ com dois eletrodos duplos de agulhas subdermais in vivo, e ao fim do estudo as avaliações por BIA foram comparadas ao peso dos tecidos coletados após a eutanásia para correlações de medidas de avaliação direta e duplamente indireta.

Os animais foram anestesiados cerca de 15 minutos antes da avaliação e retirados água e comida cerca de 3h antes do procedimento. Após anestesiados os animais foram deixados em uma superfície não condutora, os eletrodos foram inseridos subdermicamente à 90°. Os eletrodos superiores foram posicionados na linha média entre as orelhas e os inferiores em uma linha média imaginária entre os músculos da coxa e 2cm depois o vermelho como proposto por (HU Et al., 2012) (figura 5).

Todo o procedimento foi realizado sob anestesia Cetamina e Xilazina (90/10 mg/kg). Para análise da composição corporal, o parâmetro utilizado foi determinado pela massa isenta de gordura conforme equação generalizada para composição corporal. Para obtenção da massa gorda foi usado cálculo matemático utilizando regra de três simples a partir do peso corporal. Para os resultados em percentual de gordura foi utilizado regra de três simples em relação ao quanto que a massa gorda representa da massa corporal. (HALL et al., 1989). Para análise direta do peso muscular será realizada dissecação dos musculo gastrocnêmio, sóleo, tibia, flexor longo do hálux e plantar foram cuidadosamente retirados e pesados. A relação do peso muscular/comprimento da tibia e peso da gordura/comprimento da tibia foram aferidas para posterior cálculos de composição corporal por dissecação.

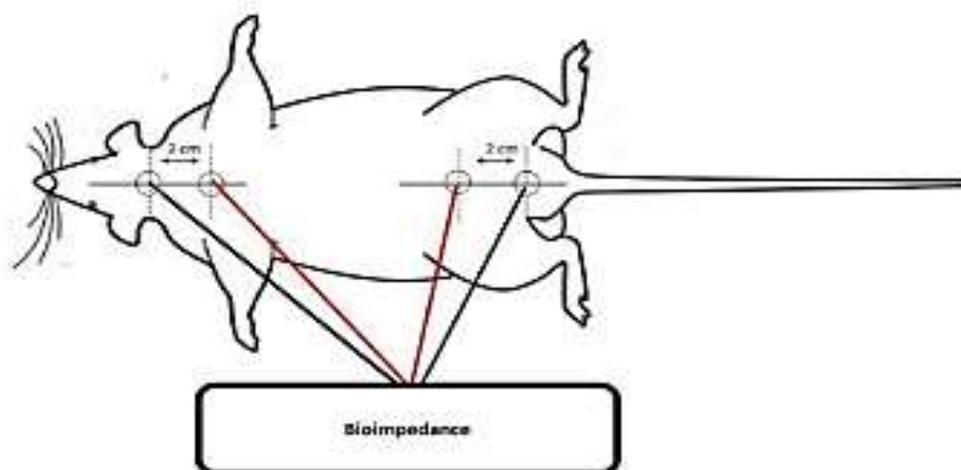


Figura 5: Posicionamento dos eletrodos da impedância bioelétrica na região naso-anal dos animais. Imagem feita pelo grupo de pesquisa lab³ex.

9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística descritiva foram aplicados média e desvio padrão. Para estatística inferencial foi adotado teste T independente e Analise de Variância (ANOVA) two-away para comparação entre os grupos e one-way para carcaça, quantificação da gordura e histologia. Para análise *pós hoc* utilizado Shapiro-Wilk ou Bonferroni.

Os dados referentes ao percentual de fibras musculares foram obtidos a partir do programa phyton, distribuídos em excel, com os tecidos nomeados de acordo com a musculatura: FHL (Flexor Longo do Hálux) e Gastrocnêmio. Posteriormente os valores foram carregados em tabela analítica onde são dados em precisão. Dessa forma, os valores foram criados em colunas vazias para todos os grupos experimentais e em seguida aplicar regras baseadas nos dois tecidos

musculares. Após contabilizar quantas fibras se encaixam em cada tecido, divide-se a mesma pelo número total de amostras, isso infere a proporção por fibra muscular, que conseqüentemente foi multiplicada por 100 para apresentar os valores em percentual.

A significância estatística foi considerada quando os resultados apresentaram probabilidade de ocorrência hipótese nula menor que 5% ($p < 0,05$).

10 RESULTADOS

10.1 Composição Corporal Por Método Indireto

Na figura 1 é possível observar que os animais não tiveram diferenças significativas entre si no início do treinamento. Todos os grupos apresentaram evolução no peso corporal a partir da segunda semana. Isto se deve ao fato de que todos os animais crescem em comprimento e massa corporal total durante o trabalho.

A figura 2A corresponde a massa livre de gordura (FFM) analisado pela equação $FFM = 0,38 \times BW + 13,8 \times L^2 + 70,9$. Nesta foi possível observar que os grupos GR apresentaram diferença significativa quando comparados ao GC, mas essa diferença não foi observada quando comparado GC com GF. Além disso, é possível observar que os grupos submetidos a diferentes estratégias de treinamento não tiveram diferenças entre si.

Na figura 2B é possível observar a determinação da água total (TBW) avaliado a partir das análises feitas por impedância bioelétricas. A equação utilizada para a geração desses resultados foram: $TBW = 309,9 \times L^2 / Zc + 30$. No gráfico é possível identificar que o GC foi o grupo que apresentou menor quantidade de água corporal total. O GF apresentou a maior quantidade de água corporal total, seguido pelo GR.

Quando avaliou-se o Índice de Lee, figura 3, é possível observar que de acordo com este parâmetro, todos os grupos GC e GR apresentaram diferença entre si no momento pós intervenção, incluindo o GC, que não passou pelo estímulo do programa de treinamento. E o GF não apresentou diferença significativa, apesar dos parâmetros bioelétricos.

10.2 Composição Corporal Por Método Direto

No entanto, quando avaliamos os componentes da composição corporal (figura 5), como a destruição de gordura, é perceptível que os animais que foram submetidos aos protocolos de treinamento de força apresentam coxins de gordura diferentes entre si e entre o GC. Tamanha distinção será melhor representada no tópico de avaliação e murimetria por BIA.

Após a eutanásia dos animais os tecidos foram cuidadosamente dissecados e pesados. O peso da carcaça coletado está exposto na figura 5. Os resultados de peso apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre o GC e GR; GR e GF.

Na figura 6 é possível observar o peso dos músculos coletados, FHL(A), Gastrocnêmio (B), Tibial Anterior (C) e Sóleo (D). Os resultados de peso apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) somente no tecido tibial anterior, sendo o GR (B) grupo que apresentou o peso desse tecido maior que o GC (A), sem diferenças entre GF.

10.3 Carga De Treinamento

A figura 7 representa os dados observados para o teste de carga dos animais submetidos ao TR e TF. Foi-se observado diferença significativas entre as semanas 7-8 e última semana de treinamento no grupo GR(A) com relação ao GF(B). Também houve diferença entre o GF(a) em relação a ele mesmo, com aumento significativos nas semanas 7-8(b) e na última semana(c)

de treinamento ($P < 0,05$), que apresentou ganhos de 359% em relação a sobrecarga inicial; como também 44,6% em relação ao GR. Quando analisado a evolução de força do GR não foi possível observar diferenças significativas.

Foi possível observar que a densidade do treino acompanhou a progressão dos animais em cada semana de treino, sendo o GF o grupo que apresentou maior densidade do treinamento nas semanas 6-7-8, quando comparado a ele mesmo, nas semanas finais. Conseqüentemente os animais tiveram que elevar maiores valores de sobrecarga

10.4 Parâmetros Bioquímicos

Após 8 semanas de intervenção, foi possível observar que GR e GF possuíam maiores níveis de lactacidemia após o treino ($P < 0,01$), sem diferenças significativas entre si ($P > 0,05$), porém maiores que o GC ($P < 0,01$).

Na figura pré e pós observa-se que GR(b) apresentou aumento nas concentrações de lactato pré e pós exercício ($0,2072 \pm 0,034$). O GF não teve alteração pré exercício ($0,339 \pm 0,06$), no entanto foi possível observar que houveram diferenças significativas pós exercício (b) ($0,7166 \pm 0,07$). Quando comparados os GR(B) e GF(C), foi possível observar que o GR ($P < 0,0043$) teve valores distintos nas concentrações de lactato em relação ao GF ($P < 0,0016$). Assim, os resultados mostraram que grupos submetidos ao treinamento com pesos tiveram aumento de lactato.

10.5 Parâmetros Bioquímicos – Balanço Redox

Na figura 10 há os dados referentes à catalase dos tecidos sóleo, tibial anterior (TA) e Flexor Longo do Hálux (FHL), nesta é possível notar que o único tecido que apresentou diferenças significativas em relação a atividade oxidativa foi o músculo FHL.

A figura 11 é referente à atividade oxidativa da MDA dos tecidos Sóleo, TA e FHL, nesta foi observar alteração enzimática nos tecidos Tibial anterior entre os grupos controle vs. resistência independente do protocolo de treinamento utilizado.

Na figura 11(B) as imagens gerais são referentes a análise da atividade oxidativa do Tiol e Superóxidesmutase (SOD) entre o GC, GR e GF dos tecidos Sóleo, TA e FHL. Como é possível observar não houve mudanças na atividade oxidativa em nenhum dos tecidos submetidos a qualquer protocolo de treinamento.

10.6 Histologia Clássica

Os valores correspondentes a avaliação da área de secção transversa (diâmetro) muscular do FHL está ilustrada na figura 12, nesta é possível observar que houveram diferenças significativas entre todos os grupos experimentais. O GC (A) foi o grupo que apresentou maiores diferenças significativas entre os demais grupos. Sendo ele o grupo com menor diâmetro muscular. O GF e o GR apresentaram diferenças entre si, sendo o GF(C) o grupo que apresentou discreto aumento da AST em relação ao GR(B).

Na figura 13 é observado que a AST do tecido Gastrocnêmio também foi diferente entre os grupos experimentais. Sendo ainda o GC (A) o grupo que mais obteve discrepância entre os resultados analisados.

A figura 14 abaixo é referente a distribuição de miofibrilas (células musculares) no tecido FHL dos grupos GC; GR e GF. Na imagem o aumento é de 20x da lâmina 9 dos grupos correspondentes. Nesta é possível observar maior distribuição de células musculares no tecido coletado dos grupos submetidos ao treinamento, corroborando para os dados da estatística inferencial.

A figura 15 abaixo é, como na imagem anterior, referente distribuição de miofibrilas (células musculares); está no tecido GASTRO (Gastrocnêmio) dos grupos GC; GR e GF. Na imagem o aumento é de 20x da lâmina 9 dos grupos correspondentes. É possível observar maior distribuição de células musculares no tecido coletado dos grupos submetidos ao treinamento, corroborando para os dados da estatística inferencial.

11 DISCUSSÃO

Os grupos partiram de uma mesma faixa de peso corporal (figura 1), por isto não houveram diferenças significativas entre os grupos na primeira semana. Após a segunda semana foi possível observar que todos os animais apresentaram uma progressão de peso corporal, visto que, os animais estavam em período de crescimento e recebendo ração *ad libitum* (FERRAZ et al., 2016)

Porém o GR e GF apresentaram aumentos significativos quando comparados com o GC. Este achado relaciona-se com as diferenças nas distribuições de massa muscular advindos do treinamento (OLIVEIRA et al., 2022) visto que os animais ao serem expostos ao treinamento com cargas maiores ou por mais tempo, apresentaram diferenças em relação ao grupo controle.

Como no trabalho de (FURTADO et al., 2021); os animais tendem a diferirem a massa corpórea quando submetidos a protocolos de treinamento.

Os parâmetros bioelétricos foram avaliados com o objetivo de obter maior especificidade aos componentes da composição corporal. Neste é possível extrair valores relacionados a massa livre de gordura, popularmente chamada de massa magra; e a água corporal total (Smith et al., 2009). A (figura 2 A) mostra que a massa livre de gordura (FFM) do GR foi significativamente maior que o GC. Como este componente da composição corporal é dependente de estímulo mecânico para se desenvolver (CHOLEWA et al., 2014), é possível interpretar que a diferença entre os grupos experimentais está relacionada ao estímulo do treinamento resistido com maiores volumes (PADILHA et al., 2019).

Ao avaliarmos o segundo componente da BIA, TBW (água corporal total), (figura 2 B), o GC apresentou menor quantidade de água corporal total, sendo o GR o grupo de maior quantidade. Isto está relacionado ao fato de que ambos os grupos foram submetidos ao treinamento e tiveram alterações na dinâmica metabólica muscular devido ao estresse imposto pelo exercício (GIBALA & MCGEE, 2008; PERIC et al., 2016). Sabe-se que, a unidade muscular, ao ser recrutada pelo treinamento com pesos, utiliza-se da via glicolítica para geração de energia, por meio da contração muscular por fibras do tipo 1. Esta dinâmica de geração de energia, gera consequentemente, aumento de fluidos metabólicos para dentro do músculo, como, hiperemia, H⁺, glicogênio, Na²⁺ e água (JOYNER & CASEY, 2015). Essa dinâmica de nutrientes e componentes relaciona-se com o resultado exposto pela BIA, onde a água corporal total foi maior nos grupos submetidos ao treinamento.

Quando se avaliou o Índice de Lee isoladamente (figura 3), foi possível observar que houve diferenças entre os grupos inversamente proporcionais aos resultados da BIA (figura 2). Embora este parâmetro tenha se apresentado sensível aos ganhos de peso corporal em outros trabalhos (NOVELLI et al., 2007), quando se faz necessário discriminar os valores dos componentes corporais, este não parece ser uma alternativa eficiente (BERNARDIS & PATTERSON, 1968).

Esse resultado corrobora com trabalhos que avaliaram e/ou compararam o comportamento dos resultados desse índice com outros métodos de avaliação da composição corporal (BERNARDIS & PATTERSON, 1968; FERRAZ et al., 2016). Uma vez que, o Índice de Lee utiliza-se da relação entre o peso corporal dos animais e o

comprimento naso-anal, é possível identificar que mesmo colocando estes animais dentro de categorias faixa de nutrição de roedores, não é possível diferenciar o que é massa magra, gordura e água corporal.

Os animais do GR, grupo de menor carga e maiores número de séries, apresentou menor quantidade de gordura visceral (figura 4). Isto permite que trabalhos futuros que tenham como objetivo, avaliar a gordura visceral, que é fator recorrente para diversas patologias como: doenças coronarianas, resistência à insulina e insuficiência cardíaca; possam fazer uso desta metodologia para ser mais assertivo em seus protocolos com exercício com pesos e as respostas metabólicas associadas. O GR teve em sua metodologia maiores volumes de treino por sessão de treinamento, esta metodologia permitiu que os animais flutuassem por zonas de treinamento aeróbio, o que favoreceu para diminuição de gordura; como o treinamento resistido tem como principal característica o desenvolvimento de massa muscular, este grupo beneficiou-se tanto ganhos de massa muscular como também de diminuição de gordura, como pode ser observado na figura 2(A).

A massa magra é tudo aquilo que não é gordura e para avaliarmos a massa magra destes animais foi utilizado um método direto, o peso da carcaça do animal, que é tudo aquilo que sobrou depois de retirados órgãos, pele, cabeça e gordura. A diferença do peso desse componente da composição corporal relaciona-se com a densidade em que o tecido esquelético dos animais apresenta. (NOVELLI et al., 2007).

A prática de exercícios resistidos permite que haja desenvolvimento da densidade óssea e musculares (PORTIER et al., 2020; SINGULANI et al., 2017). O que compactua com o dado observado tanto por BIA (figura 2) como pelo método direto de avaliação da massa magra (figura 5) é possível observar ainda que o peso da carcaça do GR foi significativamente maior quando comparado ao GC mas não houve diferença significativa quando comparado ao GF. É possível que maiores volumes de treinamento tenham respostas mais positivas que maiores intensidade, mesmo quando equalizados pela densidade de treinamento. (PADILHA et al., 2019)

O músculo do Tibial Anterior do GR apresentou maior diferença significativa entre os demais grupos, e em maior quantidade comparado ao GC. Sendo a musculatura que apresentou maior densidade refletida no peso do tecido, isto sugere que o músculo dessa região esteve diretamente relacionado a dinâmica de recrutamento durante os estímulos de treinamento de

resistência. Este relaciona-se ainda com os benefícios do tipo de treinamento escolhido e suas respostas em relação a composição corporal de animais submetidos ao treinamento (PADILHA et al., 2019).

Ao avaliar o desenvolvimento de força, a partir dos testes de carga dos animais submetidos ao treinamento resistido (Figura 7), foi observado que o GF teve significativos ganhos de força entre as semanas 3-4 até a última semana, quando comparado a ele mesmo. Quando comparado ao GR foi possível observar que o GF teve ganhos percentuais em relação a progressão de força do GR nas últimas semanas. Sendo possível calcular cerca de 359% % em relação a sobrecarga inicial; como também 44,6% em relação ao GR. Estes valores correlacionam-se com a metodologia de treinamento aplicada entre grupos, como também nos trabalhos de (HORNBERGER & FARRAR, 2004; LOURENÇO et al., 2020).

O GF teve em sua metodologia a progressão de carga baseado em um sistema de pirâmide crescente, onde era-se aplicado inicialmente uma sobrecarga de 50% do seu peso corporal e em seguida, realizado uma progressão de 75%, 90% e 100% do mesmo. Esta metodologia permite que o animal reduza o volume de séries realizadas em virtude dos valores de sobrecarga elevados durante o exercício. Através disto, observamos que tal estratégia de treinamento permite que os animais explorem maiores cargas e conseqüentemente elevem sua força, tanto pelo número reduzidos de séries, como pelo maior tempo de descanso entre as séries. Diferente do proposto para o GR, onde foram aplicados maiores volumes de séries e menor de tempo de descansos, para que os dois protocolos estivessem equalizados.

Em termos práticos, a aplicabilidade do treinamento com foco em progressões de carga, proposto por (HORNBERGER & FARRAR, 2004) dar-se-á possibilidade de os animais, submetidos a este protocolo, desenvolverem força e gerarem adaptações morfológicas e fisiológicas pertinentes do treinamento com pesos. Quando necessária a avaliação de ganhos de força, este, quando comparado ao treinamento de resistência, parece ser uma estratégia mais assertiva. Uma vez que, o GR teve valores de sobrecarga inferiores ao GF, como também, não obteve diferenças significativas entre as semanas de treinamento.

Quanto aos valores de densidade de treino de cada grupo, foi possível observar que os valores de densidade acompanharam os resultados do teste de carga, isto verdadeira a equalização do protocolo de treinamento para ambos os grupos submetidos ao exercício. Quando analisado a densidade do treino de cada grupo experimental, foi possível observar que, assim como no

teste de carga, o GF apresentou maior progressão em densidade nas últimas semanas de treinamento, isto deve-se ao fato de que este grupo teve crescentes ganhos de força nas semanas finais. Tamanhos ganhos podem ser associados ao nível de treinabilidade que estes animais estavam alcançando, visto que, maiores níveis de treinabilidade correspondem a adaptações em parâmetros como: maior recrutamento de unidades motoras (fibras musculares) alcançados pela diminuição da ação dos órgãos tendinosos de Golgi, que agem com impulsos inibitórios que se opõem ao movimento, fenômeno conhecido por Facilitação Neural (desinibição), conforme MCARDLE et al., (2015. p.401); maior familiarização com a dinâmica de movimento e contato com aparato e meio de sobrecarga (LUCIANO et al., 2017), mais força gerada pelo aumento de massa corpórea e comprimento, o que ocorre no princípio da sobrecarga de treinamento, assim como também maiores níveis de performance, pelo princípio da continuidade (PEREIRA LIMA et al., 2020.).

Para avaliar se as diferentes estratégias de treinamento afetam o sistema aeróbio, as concentrações de lactato foram analisadas e observado que GR e GF não foram significativamente diferentes entre si e entre o GC na semana inicial ($P > 0,05$). Após 8 semanas, o GR e GF apresentaram maiores níveis de lactacidemia após o treino ($P < 0,01$), sem diferenças significativas entre si ($P > 0,05$), porém maiores que o GC ($P < 0,01$). Este resultado valida a hipótese de que ambas as estratégias de treinamento geraram impacto no sistema glicolítico dos animais submetidos ao TR. Em outras palavras, estratégias de treinamento com cargas mais leves ou mais elevadas, desde que equalizadas, modificam o padrão energético no organismo; transitando de uma via oxidativa para uma via glicolítica.

Os resultados referentes a atividade oxidativa (Figura 10) apresentaram similaridade no Sólido, TA e FHL. A catalase não apresentou diferenças significativas entre o GC e o GR no Sólido e TA, mas houveram diferenças no FHL, onde o GC (A) teve maior atividade oxidativa, seguindo para o GR(B) e em seguida GF(A). Este resultado corrobora com o resultado de (PASSOS NEVES et al., 2019; TIBANA et al., 2005.), onde a atividade da CAT apresentou maior diferença significativa quando os grupos eram sujeitos a exercícios de maiores volumes de treinamento, como o proposto pelo atual trabalho. Isso pode ser explicado pois, no sistema de defesas antioxidantes, é necessário que haja um estresse que seja capaz de impactar nesse sistema; sendo o exercício resistido um estresse imposto ao sistema antioxidante, este explica porque houveram menor atividade antioxidante nos grupos submetidos aos treinamentos.

Além disto, o músculo FHL mostrou ser um músculo envolvido na biomecânica da escalada, já que no trabalho de (HORNBERGER & FARRAR, 2004; LUCIANO et al., 2017), foi possível observar que esse grupamento muscular também apresentou modificação à nível metabólico após a estimulação com exercício resistido na escada.

O MDA (Malondialdeído) também apresentou diferenças significativas quando analisado no músculo Tibial anterior este resultado corrobora com o estudo citado anteriormente que avaliou o comportamento da oxidação de proteínas nos músculos após o TR na escada e apresentou resultados similares ao presente estudo. O que pode indicar que esse tecido também esteja diretamente relacionado ao padrão de movimento no aparato; e que o exercício foi capaz de diminuir a taxa de oxidação de proteína, o que contribui para a preservação da integridade da massa muscular esquelética.

As demais coletas não apresentaram diferenças significativas, isso é algo positivo, pois diferente do estudo de (TIBANA et al., 2005.) em que houveram alterações enzimáticas após a manipulação das cargas e volume de treino (Passos Neves et al., 2019); o presente trabalho conseguiu trabalhar em zonas responsivas positivamente ao treinamento, sem alterar a dinâmica de defesas antioxidantes.

A área de secção transversa da fibra muscular permitiu que as abordagens pudessem ser vistas na morfologia da célula muscular esquelética. Quando avaliado o FHL foi possível observar que o GC não obteve aumento de AST, e por isto apresentou diferenças significativas em relação aos demais grupos. O GR e o GF apresentaram aumento na AST, sendo o GF o grupo que se mostrou com maior diâmetro da célula muscular. Apesar da diferença significativa, ambos os grupos se mostraram responsivos aos respectivos protocolos, o que traz vantagens quando a escolha do tipo de treinamento tiver como metodologia de avaliação a histologia clássica, pois esta permitiu identificar que mesmo em protocolos diferentes, ambos os grupos responderam de forma positiva e similar ao desenvolvimento massa muscular.

Ao avaliar o músculo Gastrocnêmio também foi possível identificar o mesmo padrão de desenvolvimento muscular observado no músculo Flexor Longo do Hálux. O GC, como não induzido ao treinamento, apresentou menor diâmetro muscular quando comparado à ambos os grupos. Já o GR e o GF apresentaram diferenças significativas ainda mais estreitas que no FHL, reforçando a ideia de que ambas metodologias permitem que haja desenvolvimento muscular. Ao correlacionarmos estes resultados aos parâmetros bioelétricos avaliados, percebe-se que a

BIA foi sensível as mudanças de componentes corporais, como proposto pelo trabalho de (FERRAZ et al., 2016). Fazendo-se necessária a verificação e elaboração de equações de predição que especifique a população avaliada de maneira individualizada e precisa, como também proposto no trabalho de (HALL et al., 1989; LYONS-REID et al., 20).

Figuras

Fig. 1

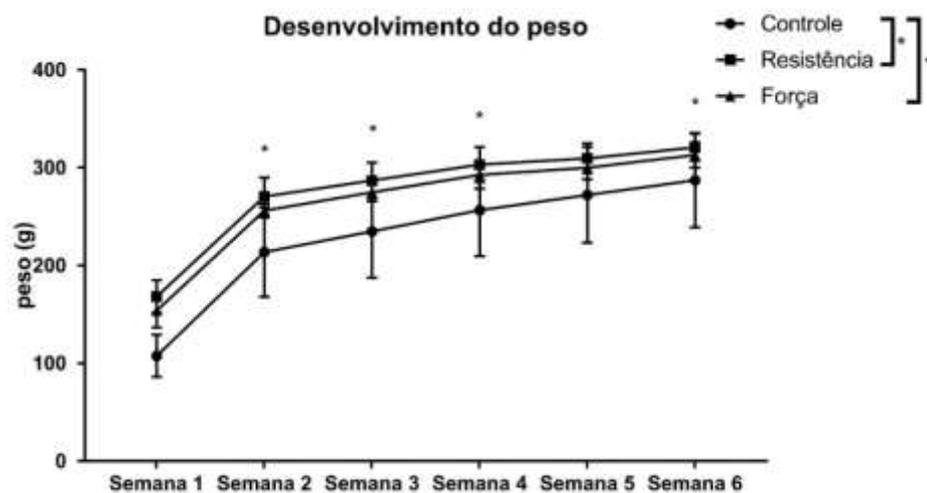


Figura 1: Desenvolvimento da massa corporal total de todos os grupos, antes e após o estímulo do treinamento de força. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. * indica diferença entre os grupos GC em relação ao grupo GR; GC em relação ao GF ($p < 0,05$ –ANOVA post hoc Teste Tukey's).

Fig 2.

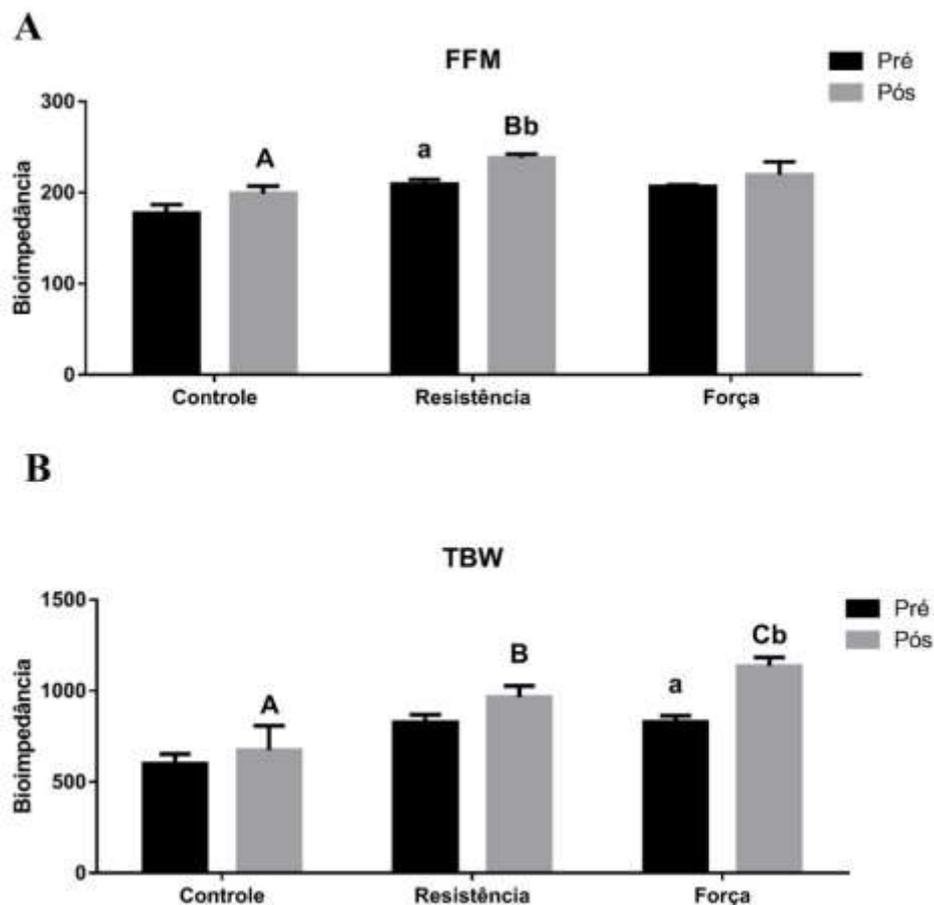


Figura 2: Na imagem A há relação da massa livre de gordura (FFM) por BIA entre os grupos GC; GR e GF. GC (A) apresentou menor quantidade de massa livre de gordura entre o GR (B). E o GR e GF não apresentaram diferenças entre si. GR apresentou diferença significativa nos momentos pré(a) e pós(b). Na imagem B é referente à relação da água corporal total por BIA entre os grupos GC(A); GR(B) e GF(B). O GF apresentou maior quantidade de água total entre os grupos. GF apresentou diferença significativa nos momentos pré(a) e pós(b). Os valores correspondem à média \pm erro padrão. ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Bonferroni).

Fig 3.

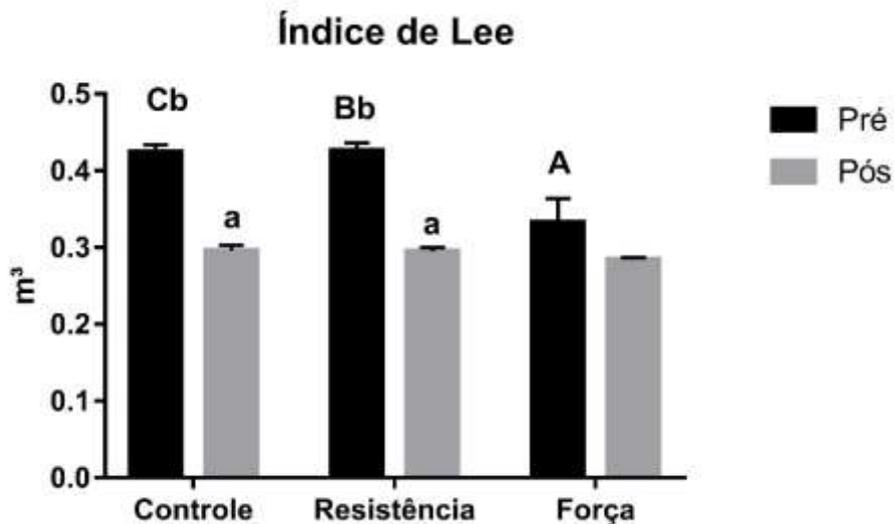


Figura 3: Gráfico representativo do Índice de Lee, índice que representa a faixa de nutrição e obesidade de roedores. Os valores correspondem à média \pm erro padrão, diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) foi indicado por (ABC), entre os grupos GC em relação ao grupo GR e GF ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Sidak's).

Fig 4.

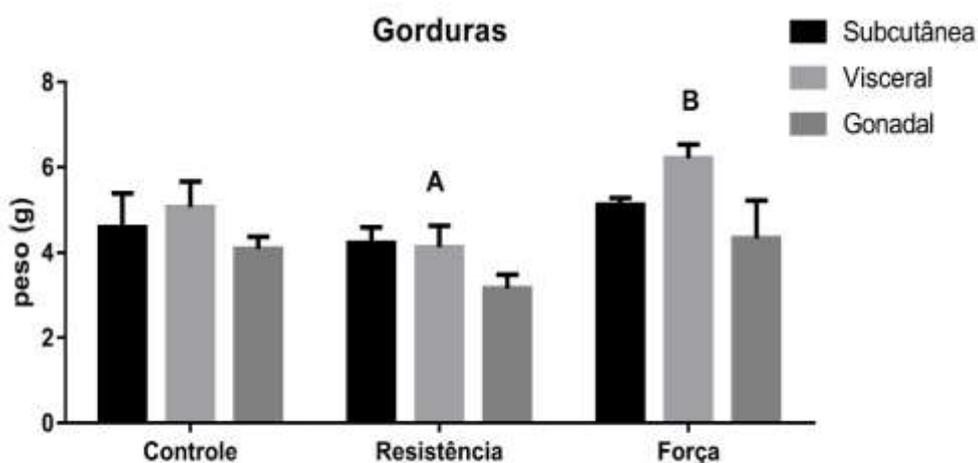


Figura 4: Relação dos coxins adiposos do GC; GR e GF. Neste gráfico é possível observar que os coxins adiposos apresentam singularidade de acordo com o protocolo de treinamento de cada grupo. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. (B) indica diferença entre os grupos

GF em relação ao grupo GR(A) ($p < 0,05$ – TWO WAY ANOVA post hoc Tukey's).

Fig 5.

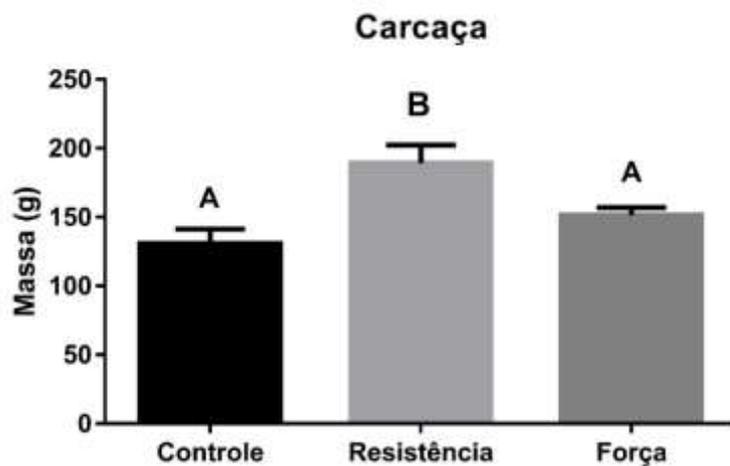


Figura 5: Relação do peso da carçaça dos grupos GC: Controle GF: Força e GR: Resistência. É possível observar que o GR teve o peso da carçaça superior ao GC e GF. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) foi indicado por (A), entre os grupos GC em relação ao grupo GR(B) e não entre o GF(A). ($p < 0,05$ – ONE WAY ANOVA post hoc Tuckey's).

Fig 6.

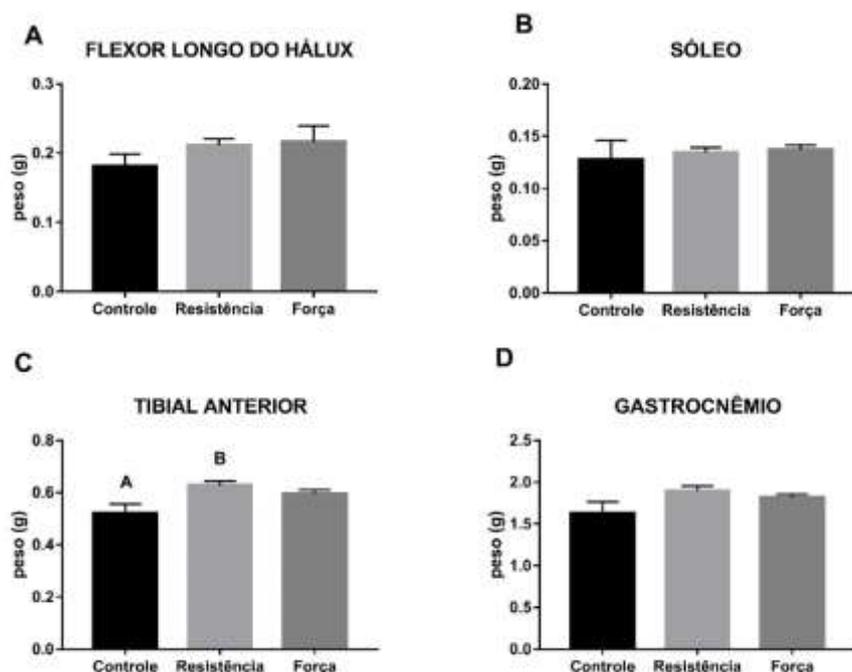


Figura 6: Relação do peso dos músculos dissecados grupos GC: Controle GF: Força e GR: Resistência. É possível observar que o Tibial anterior foi o único que teve o peso da carcaça superior ao GC e GF. O gráfico D apresenta diferença entre os grupos GC em relação ao grupo GR. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) foi indicado por (B), quando ($p > 0,05$) foi indicado por (A) ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Tuckey's).

Fig 7.

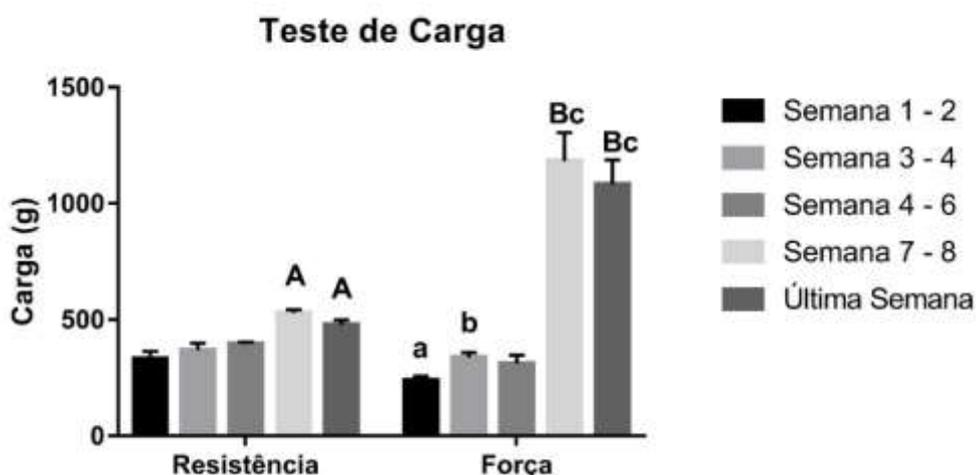


Figura 7: Gráfico de amostragem da evolução da sobrecarga levantada durante os testes de

carga realizados ao longo do protocolo de treinamento. O GF obteve resultados significativos quando comparados em momentos anteriores, e também quando comparado ao GR. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) foi indicado por (B), entre os grupos GF em relação ao grupo GR(A) ($p < 0,05$ – ANOVA post Tukey's).

Fig 8.

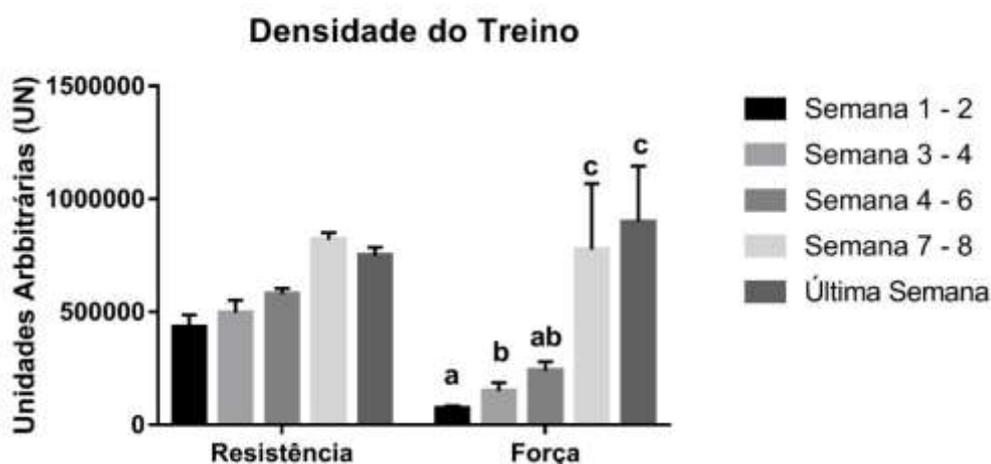


Figura 8: Densidade do treino a cada semana. Apesar de ambos os grupos apresentarem tendência para o aumento de densidade, o GF se destacou nas semanas finais quando comparados a diferentes momentos do mesmo grupo. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) foi indicado por (abc), para comparações entre si ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Tukey's).

Fig 9.

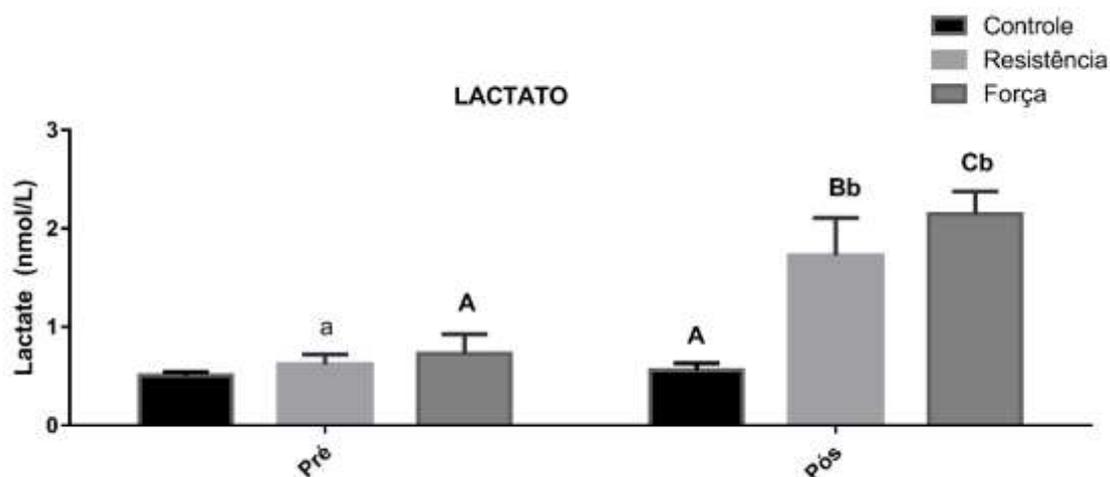


Figura 9: Na figura pré, que representa a coleta de lactato pós primeira sessão de treinamento.

Neste foi possível observar que não houve diferença entre os níveis de lactacidemia após a primeira sessão de treino. Na figura B representa a coleta de lactato após última intervenção com exercícios. Neste foi possível observar que GR(B) e GF(C) apresentaram maiores níveis de lactacidemia após o treino ($P < 0,01$) e também maior que GC (A) Também é possível observar que o GR (B) e GF (C) apresentaram diferenças significativas entre si pós exercício.

Fig 10.

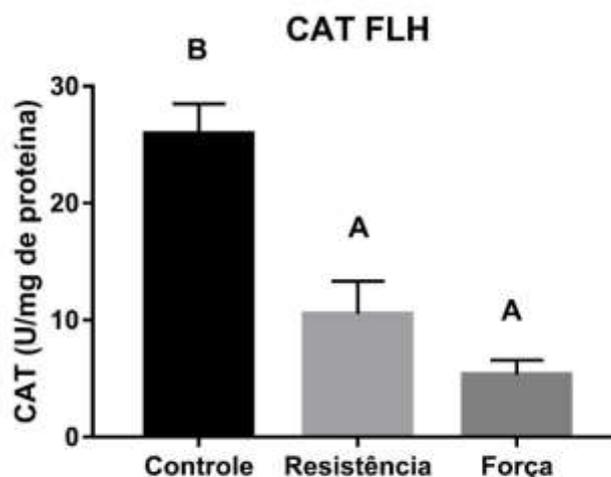


Figura 10: Gráfico geral que representa a atividade da catalase entre o GC, GR e GF dos tecidos Sóleo, TA e FHL. Como é possível observar, os tecidos apresentaram diferenças significativas entre si. FHL apresentou maior diferença significativa do que Sóleo e TA. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,005$) são indicadas por (A) e ($p < 0,0001$) foi indicado por (B) ($p < 0,05$) – ANOVA post hoc Tuckey)

Fig 11.

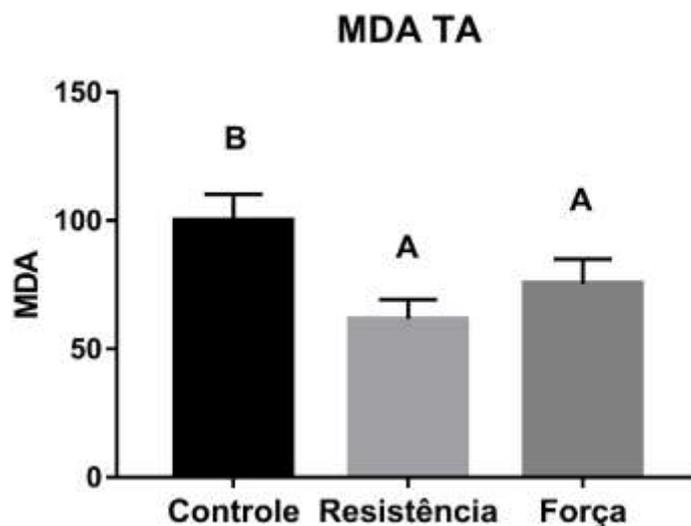


Figura 11(A): Gráfico geral que representa a atividade da MDA entre o GC, GR e GF dos tecidos Sóleo, TA e FHL. Como é possível observar, os tecidos apresentaram diferenças significativas entre si. GR(B) apresentou maior diferença significativa do que GC(A) e apresentou similaridade ao GF(B). Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,005$) são indicadas por (A) e ($p < 0,0001$) foi indicado por (B) ($p < 0,05$) – ANOVA post hoc Tuckey)

Fig 11.

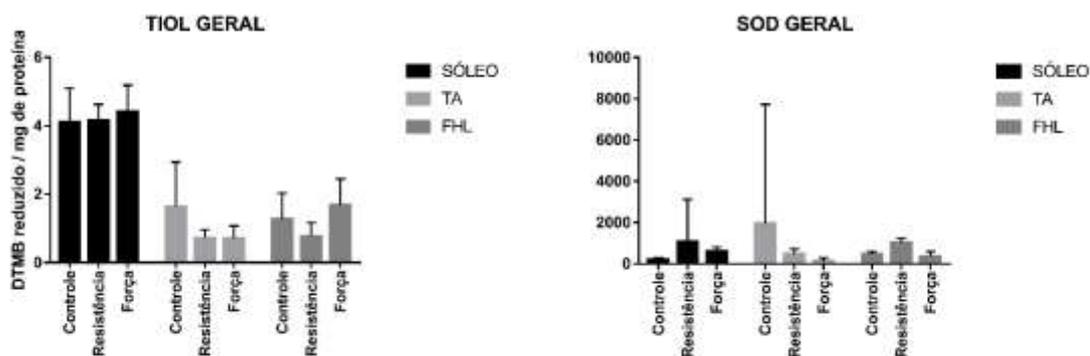


Figura 11 (B): Imagem geral que representa a atividade da Tiol e Sod entre o GC, GR e GF dos tecidos Sóleo, TA e FHL. Como é possível observar, os tecidos não apresentaram diferenças significativas entre si. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,005$) são indicadas por (A) e ($p < 0,0001$) foi indicado por (B) ($p < 0,05$) – ANOVA post hoc Tuckey)

Fig 12.

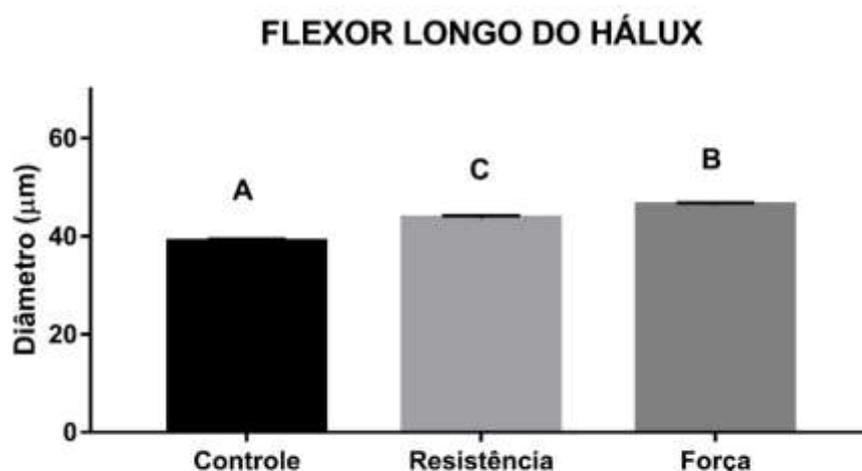


Figura 12: Gráfico representativo o diâmetro do flexor longo do halux entre o GC, GR e GF. Como é possível observar, os grupos apresentaram diferenças significativas entre si. GC apresentou maior diferença significativa entre os grupos do que GR e GF entre si. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,005$) são indicadas por (B) e ($p < 0,0001$) foi indicado por (C).. ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Kruskal-Wallis)

Fig 13.

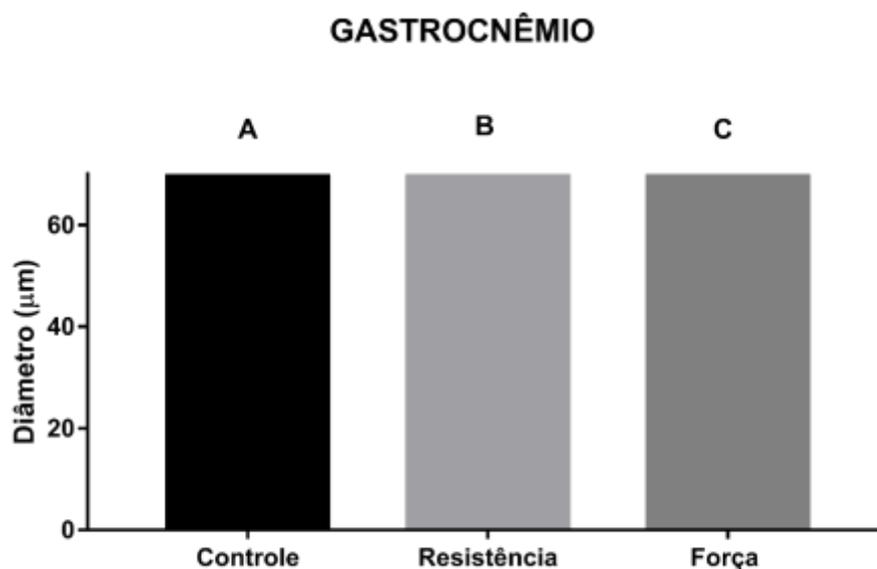


Figura 13: Gráfico representativo o diâmetro do flexor longo do Gastrocnêmio entre o GC, GR e GF. Como é possível observar, os grupos apresentaram diferenças significativas entre si. GC

apresentou maior diferença significativa entre os grupos do que GR e GF entre si. Os valores correspondem à média \pm erro padrão. Diferenças estatísticas significantes ($p < 0,005$) são indicadas por (B) e ($p < 0,0001$) foi indicado por (C). ($p < 0,05$ – ANOVA post hoc Kruskal-Wallis)

Fig 14.



Figura 14: Imagem capturada por microscopia óptica com aumento de 20x da lâmina 9 do GC; GR e GF. Como é possível observar, os grupos apresentaram diferenças significativas entre si.

Fig 15.



Figura 15: Imagem capturada por microscopia óptica com aumento de 20x da lâmina 9 do GC; GR e GF. Como é possível observar, os grupos apresentaram diferenças significativas entre si.

12 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados aqui discriminados foi possível notar que as diferentes estratégias de treinamento de força geraram diferentes respostas a nível bioquímico, fisiológico e morfológico na estrutura e composição corporal dos animais submetidos aos protocolos de treinamento de força.

Dessa forma, se faz necessário que, de acordo as abordagens metodológicas que pesquisadores usem para averiguar a influencia do treinamento de força em demais cenários, seja congruente ao parâmetro avaliado. Tendo em vista que, treinamentos com progressões de carga e treinamento com maiores volumes de repetições, no entanto, cargas reduzidas, podem ser aplicados em diferentes momentos, com respostas diferentes à depender da especificidade de cada estudo.

Declaração de interesse

Os autores declaram não haver interesses financeiros concorrentes.

Financiamento

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob o Processo nº 88887.601965/2021-00.

Declaração de contribuição do autor

Franciele, Alex e Rodrigo projetaram o trabalho, com informações de Alex. A eutanásia foi realizada por Rodrigo, João e Isabele. Experimentos e análises foram realizados por Franciele, Isabele e Alessandro (imuno-histoquímica e histologia) com apoio de Valdevane. Franciele e Alessandro realizaram análise do status redox, com suporte Isabele. O manuscrito foi escrito por Franciele, Rodrigo e Valdevane. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final

Reconhecimentos

F.C.P. Oliveira recebe bolsa do CNPq.

REFERÊNCIAS

ADAMS V, SCHAUER A, AUGSTEIN A, KIRCHHOFF V, DRASKOWSKI R, JANNASCH A, GOTO K, LYALL G, MÄNNEL A, BARTHEL P, MANGNER N, WINZER EB, LINKE A, LABEIT S. **Targeting MuRF1 by small molecules in a HFpEF rat model improves myocardial diastolic function and skeletal muscle contractility.** Journal Cachexia Sarcopenia Muscle. 2022 Jun;13(3):1565-1581. doi: 10.1002/jcsm.12968. Epub 2022 Mar 17. PMID: 35301823; PMCID: PMC9178400.

ALVER, Tine Norman. **A physiological strength exercise model for rats.** 2014. ARSLAN, Nur e ERDUR, Baris e AYDIN, Adem. **Hormones and cytokines in childhood obesity.** Indian Pediatrics, v. 47, n. 10, p. 829–839, 2010.

AYDIN, Suna e colab. **Cardiac, skeletal muscle and serum irisin responses to with or without water exercise in young and old male rats: Cardiac muscle produces more irisin than skeletal muscle.** Peptides, v. 52, p. 68–73, 2014.

BANNISTER, J. V. e CALABRESE, L. **Assays for superoxide dismutase.** Methods of biochemical analysis, v. 32, p. 279–312, 1987.

BARROSO, Renato e TRICOLI, Valmor e UGRINOWITSCH, Carlos. **Adaptações neurais e morfológicas ao.** R. bras. Ci. e Mov., v. 13, n. 2, p. 111–122, 2005.

BELLAMY, Leeann M. e colab. **The acute satellite cell response and skeletal muscle hypertrophy following resistance training.** PLoS ONE, v. 9, n. 10, p. 17–21, 2014.

BOSTROM, Pontus et Al. **A PGC1 α -dependent myokine that drives browning of white fat.** v. 481, n. 7382, p. 463–468, 2012.

BROOKS, George A. **Bioenergetics of exercising humans.** Comprehensive Physiology, v. 2, n. 1, p. 537–562, 2012.

CARTEE, Gregory D. e colab. **Exercise Promotes Healthy Aging of Skeletal Muscle.** Cell Metabolism, v. 23, n. 6, p. 1034–1047, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2016.05.007>>.

CHENG SW, FRYER LG, CARLING D, SHEPHERD PR. **Thr2446 is a novel mammalian target of rapamycin (mTOR) phosphorylation site regulated by nutrient status.** The Journal of biological chemistr. 2004 Apr 16;279(16):15719-22. doi: 10.1074/jbc.C300534200. Epub 2004 Feb 17. PMID: 14970221.

CHOI, K. M. e colab. **Serum adiponectin, interleukin-10 levels and inflammatory markers in the metabolic syndrome.** Diabetes Research and Clinical Practice, v. 75, n. 2, p. 235–240, 2007.

CONTARTEZE, Ricardo Vinícius Ledesma e colab. **Stress biomarkers in rats submitted to swimming and treadmill running exercises.** Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology, v. 151, n. 3, p. 415–422, 2008.

DE ANGELIS, Kátia e colab. **The importance of animal studies in Exercise Science.** Motriz. Revista de Educacao Fisica, v. 23, p. 1–7, 2017.

DESCHENES, Michael R. e colab. **Effect of resistance training on neuromuscular**

junctions of young and aged muscles featuring different recruitment patterns. *Journal of Neuroscience Research*, v. 93, n. 3, p. 504–513, 2015.

DUBOIS, Michel e colab. **Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances.** *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.

FELIPE, F e ANELENA, B e REGINA, Claudia. **Interleucina.** 2006. FERRAZ, Alex Soares Marreiros e colab. **Use of murinometrics indices and bioelectrical impedance (BIA) in the determination of experimental obesity in oophorectomized rats.** *Acta Scientiarum - Biological Sciences*, v. 38, n. 4, p. 451–456, 2016.

Fitts RH, McDonald KS, Schluter JM. **The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern.** *J Biomech.* 1991;24 Suppl 1:111-122. doi:10.1016/0021-9290(91)90382-w.

FLETCHER, Jared R. e ESAU, Shane P. e MACINTOSH, Brian R. **Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners.** *European Journal of Applied Physiology*, v. 110, n. 5, p. 1037–1046, 2010.

FRY AC. **The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations.** *Sports Medicine*, v. 34(10), n. 10, p. 663–79, 2004.

GALIC, Sandra e OAKHILL, Jon S. e STEINBERG, Gregory R. **Adipose tissue as an endocrine organ.** *Molecular and Cellular Endocrinology*, v. 316, n. 2, p. 129–139, 2010.

GHAZIZADEH DARBAND, Saber e colab. **The modulatory effects of exercise on the inflammatory and apoptotic markers in rats with 1,2-dimethylhydrazine induced colorectal cancer.** *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 98, n. 3, p. 147–155, 2020.

GIBALA, Martin J. e MCGEE, Sean L. **Metabolic adaptations to short-term high intensity interval training: A little pain for a lot of gain?** *Exercise and Sport Sciences Reviews*, v. 36, n. 2, p. 58–63, 2008.

GREGOR, Margaret F. e HOTAMISLIGIL, Gökhan S. **Inflammatory mechanisms in obesity.** *Annual Review of Immunology*, v. 29, p. 415–445, 2011.

HÄKKINEN, Keijo e colab. **Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men.** *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, v. 53, n. 6, p. 415–424, 1998.

HALL, C. B. e LUKASKI, H. C. e MARCHELLO, M. J. **Estimation of rat body composition using tetrapolar bioelectrical impedance analysis.** *Nutrition Reports International*. [S.l.: s.n.], 1989

HOLLOSZY, John O. e COYLE, Edward F. **Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences.** *Journal of Applied Physiology*, v. 121, n. 6, p. 831–838, 2016.

HORN, F. e HENZE, C. e HEIDRICH, K. **Interleukin-6 signal transduction and lymphocyte function**. *Immunobiology*, v. 202, n. 2, p. 151–167, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0171-2985\(00\)80061-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0171-2985(00)80061-3)>.

HORNBERGER, Troy A. e FARRAR, Roger P. **Physiological Hypertrophy of the FHL Muscle Following 8 Weeks of Progressive Resistance Exercise in the Rat**. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 29, n. 1, p. 16–31, 2004. HU, Lufei e colab. **Evaluation of bioimpedance spectroscopy for the measurement of body fluid compartment volumes in rats**. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, v. 65, n. 2, p. 75–82, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.vascn.2012.02.001>>.

HUGHES, David C. e ELLEFSEN, Stian e BAAR, Keith. **Adaptations to endurance and strength training**. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, v. 8, n. 6, p. 1–18, 2018.

ITO, Naoki e colab. **Activation of calcium signaling through Trpv1 by nNOS and peroxynitrite as a key trigger of skeletal muscle hypertrophy**. *Nature Medicine*, v. 19, n. 1, p. 101–106, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nm.3019>>. JORNAYVAZ, François R. e SHULMAN, Gerald I. **Regulation of mitochondrial biogenesis**. *Essays in Biochemistry*, v. 47, p. 69–84, 2010.

JOYNER MJ, CASEY DP. **Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs**. *Physiology Review*. 2015 Apr;95(2):549-601. DOI: 10.1152/physrev.00035.2013. PMID: 25834232; PMCID: PMC4551211.

JÚNIOR, Miguel Luiz Batista e colab. **Efeito antiinflamatório do treinamento físico na insuficiência cardíaca: Papel do TNF- α e da iL-10**. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 93, n. 6, p. 643–651, 2009.

KRAUSE NETO, Walter e GAMA, Eliane Florencio. **Strength Training and Anabolic Steroid Do Not Affect Muscle Capillarization of Middle-Aged Rats**. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 23, n. 2, p. 137–141, 2017.

KUBO, Keitaro e IKEBUKURO, Toshihiro e YATA, Hideaki. **Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes**. *European Journal of Applied Physiology*, v. 119, n. 9, p. 1933–1942, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>>.

LEE, Paul e colab. **Irisin and FGF21 are cold-induced endocrine activators of brown fat function in humans**. *Cell Metabolism*, v. 19, n. 2, p. 302–309, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2013.12.017>>.

LIMA, W. P.; JÚNIOR, J. dos R.; BANDEIRA, J. P. B. Treinamento esportivo: um estudo introdutório sobre suas bases científicas. *Itinerarius Reflectionis*, Goiânia, v. 16, n. 3, p. 01–10, 2020. DOI: 10.5216/ir.v16i3.58791.

LIRA, Fbio S. e colab. **Inflammation and adipose tissue: Effects of progressive load training in rats**. *Lipids in Health and Disease*, v. 9, p. 1–10, 2010. LUCIANO, T. F. e colab. **Responses of skeletal muscle hypertrophy in wistar rats to different resistance exercise models**. *Physiological Research*, v. 66, n. 2, p. 317–323, 2017.39

MACEDO, A. G.; DE OLIVEIRA, D. M.; SIMIONATO, A. R.; BERNARDINO DA SILVA,

A. .; FILHO, D. M. P. **Exercício resistido e hipertrofia regional da musculatura esquelética: revisão de literatura. Itinerarius Reflectionis**, Goiânia, v. 16, n. 3, p. 01–11, 2020. DOI: 10.5216/rir.v16i3.61864. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/rir/article/view/61864>.

MERLET, Angèle N. e colab. **Muscle structural, energetic and functional benefits of endurance exercise training in sickle cell disease**. *American Journal of Hematology*, v. 95, n. 11, p. 1257–1268, 2020.

MITCHELL, Cameron J. e colab. **Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men**. *Journal of Applied Physiology*, v. 113, n. 1, p. 71–77, 2012.

MOLINA-GARCIA, Pablo e colab. **Fatness and fitness in relation to functional movement quality in overweight and obese children**. *Journal of Sports Sciences*, v. 37, n. 8, p. 878–885, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1532152>>.

NEWMAN, Anne B. e colab. **Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort**. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, v. 61, n. 1, p. 72–77, 2006.

NEWMIRE DE, Willoughby DS. **Partial Compared with Full Range of Motion Resistance Training for Muscle Hypertrophy: A Brief Review and an Identification of Potential Mechanisms**. *Journal Strength Cond Res*. 2018 Sep;32(9):2652-2664. doi: 10.1519/JSC.0000000000002723. PMID: 29985227.

NIELSEN, Anders Rinnov e PEDERSEN, Bente Klarlund. **The biological roles of exercise-induced cytokines: IL-6, IL-8, and IL-15**. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, v. 32, n. 5, p. 833–839, 2007.

NIELSEN, Jakob Lindberg e colab. **Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction**. *Journal of Physiology*, v. 590, n. 17, p. 4351–4361, 2012. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Atividade Física**. World Health Organization, n. 385, p. 1–4, 2014. Disponível em:

<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/en/>>.

PADILHA, Camila S. e colab. **Moderate vs high-load resistance training on muscular adaptations in rats**. *Life Sciences*, v. 238, p. 116964, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.116964>>.

PARRY, Hailey A. e ROBERTS, Michael D. e KAVAZIS, Andreas N. **Human Skeletal Muscle Mitochondrial Adaptations following Resistance Exercise Training**. *International Journal of Sports Medicine*, v. 41, n. 6, p. 349–359, 2020. PASSOS NEVES, Rodrigo Vanerson e colab. **Dynamic, not isometric resistance training improves muscle inflammation, oxidative stress and hypertrophy in rats**. *Frontiers in Physiology*, v. 10, n. JAN, p. 1–14, 2019.

PERIC, Ratko e MEUCCI, Marco e NIKOLOVSKI, Zoran. **Fat Utilization During High-Intensity Exercise: When Does It End?** *Sports Medicine - Open*, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s40798-016-0060-1>>.

PORTIER H, BENAÏTREAU D, PALLU S. **Does Physical Exercise Always Improve Bone Quality in Rats?** *Life (Basel)*. 2020 Sep 23;10(10):217. doi: 10.3390/life10100217. PMID: 32977460; PMCID: PMC7598192.

SINGULANI MP, STRINGHETTA-GARCIA CT, SANTOS LF, MORAIS SR, LOUZADA MJ, OLIVEIRA SH, CHAVES NETO AH, DORNELLES RC. **Effects of strength training on osteogenic differentiation and bone strength in aging female Wistar rats.** *Scientific reports*. 2017. DOI: 10.1038/srep42878. PMID: 28211481; PMCID: PMC5314400.

SMITH, Lori W. e SMITH, John D. e CRISWELL, David S. **Involvement of nitric oxide synthase in skeletal muscle adaptation to chronic overload.** *Journal of Applied Physiology*, v. 92, n. 5, p. 2005–2011, 2002.

SPERETTA, Guilherme Fleury Fina e colab. **The effects of exercise modalities on adiposity in obese rats.** *Clinics*, v. 67, n. 12, p. 1469–1477, 2012.

STARKIE, R. L. e ROLLAND, J. e FEBBRAIO, M. A. **Effect of adrenergic blockade on lymphocyte cytokine production at rest and during exercise.** *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, v. 281, n. 4 50-4, p. 1233–1240, 2001.

STEENSBERG, Adam e colab. **Nitric oxide production is a proximal signaling event controlling exercise-induced mRNA expression in human skeletal muscle.** *The FASEB Journal*, v. 21, n. 11, p. 2683–2694, 2007.

STUPKA, N. e colab. **Cellular adaptation to repeated eccentric exercise-induced muscle damage.** *Journal of Applied Physiology*, v. 91, n. 4, p. 1669–1678, 2001. SUN, Kai e colab. **Adipose tissue remodeling and obesity Find the latest version : Review series Adipose tissue remodeling and obesity.** v. 121, n. 6, p. 2094–2101, 2011.41

TAKARADA, Yudai e SATO, Yoshiaki e ISHII, Naokata. **Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes.** *European Journal of Applied Physiology*, v. 86, n. 4, p. 308–314, 2002.

TIBANA, Ramires A e colab. **The Effects of Resistance Training Volume on Skeletal Muscle Proteome.** *International journal of exercise science*, v. 10, n. 7, p. 1051–1066, 2017. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29170706>%0A<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5685085>>.

THOMSON DM. **The Role of AMPK in the Regulation of Skeletal Muscle Size, Hypertrophy, and Regeneration.** *International Journal Molecular Science*. 2018 Oct 11;19(10):3125. DOI: 10.3390/ijms19103125. PMID: 30314396; PMCID: PMC6212977.

ANEXO 1 – PARECER DO CEUA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ</p>	<p>Comissão de Ética para o Uso de Animais Av. Dr. Silas Munguba, 1700 – Itaperi CEP 60740-903 – fone 3101-9890 ceua.uece@uece.br – www.uece.br/ceua</p>	 <p style="text-align: center;">GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ <small>Faculdade de Ciências, Tecnologia e Inovação Superior</small></p>		
CERTIFICADO				
<p>Certificamos que o Projeto intitulado “Diferentes estratégias no modelo de treinamento de força geram diferentes respostas morfológicas em modelos animais” registrado sob o número 02779640/2021, tendo como pesquisador principal Valdevane Rocha Araújo, está de acordo com os Princípios Éticos de Experimentação Animal adotados pela Comissão de Ética para o Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA – UECE). Este certificado expira-se em 31 de Dezembro de 2022.</p>				
CERTIFICATE				
<p>We hereby certify that the Project entitled “Different strategies in the strength training model generate different morphological responses in animal models” registered with the protocol 02779640/2021, under the supervision of Valdevane Rocha Araújo, is in agreement with Ethical Principles in Animal Experimentation, adopted by the Ethics Committee in Animal Experimentation of Ceará State University (CEUA – UECE). This certificate will expire on December 31st, 2022.</p>				
RESUMO				
Vigência do projeto	Início	Julho de 2021	Fim	31 de Dezembro de 2022
Espécie/Linhagem	Rattus norvegicus Wistar			
Número de animais	30	Peso	220g	Idade 21d
Sexo	Feminino		X	Masculino
Origem	Biotério da Universidade Estadual do Ceará			
Metodologia	X	Adequada		Não adequada
Cronograma	X	Adequado		Não adequado
Ofício de encaminhamento	X	Presente		Ausente
Orçamento	X	Adequado		Não adequado
Financiamento	Órgão de fomento	Recursos de pesquisa e parcerias		
	N. processo	-		

Fortaleza, 01 de Julho de 2021.



Vania Marilande Ceccatto
Presidente CEUA-UECE