



MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE *Spirulina maxima* PARA FINS NUTRACÊUTICOS

Mayra Oliveira Boyle

Projeto Final do Curso de Engenharia de Bioprocessos

Orientadores:

Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.* Escola de Química/UFRJ
Anita Ferreira do Valle, *D.Sc.* Instituto de Química/UFRJ

Julho de 2018

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE *Spirulina maxima* PARA FINS NUTRACÊUTICOS

Mayra Oliveira Boyle

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia de Bioprocessos.

Aprovado por:

Daniel Perrone Moreira, *D.Sc.*

Danielle da Silveira dos Santos Martins, *D.Sc.*

Ivaldo Itabaiana Junior, *D.Sc.*

Orientado por:

Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.*

Anita Ferreira do Valle, *D.Sc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2018

Ficha Catalográfica

Boyle, Mayra Oliveira.

Mapeamento tecnológico de *Spirulina maxima* para fins nutracêuticos/
Mayra Oliveira Boyle. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

xv, 94 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química,
2018.

Orientadores: Elcio Ribeiro Borges e Anita Ferreira do Valle

1. *Spirulina maxima*. 2. Mapeamento Tecnológico 3. Artigos científicos. 4.
Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Elcio Ribeiro Borges e Anita Ferreira
do Valle. I. Mapeamento tecnológico de *Spirulina maxima* para fins
nutracêuticos.

Às minhas mãe e avó pelo apoio e amor incondicional que desde o início
me conduziram até aqui.

“Não tente se tornar uma pessoa de sucesso, mas sim uma pessoa de valor”.

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Ana Lucia e à minha avó Maria Elza pelos valores ensinados, pela força, paciência, amor e motivação.

Ao meu esposo Mark pelo amor, por ter me motivado sempre e por ter permanecido ao meu lado mesmo com tantos imprevistos mantendo-nos fisicamente afastados.

Aos meus amigos por sempre terem a risada e o ombro disponíveis.

Ao LEAF por ser tão acolhedor, com profissionais e pessoas maravilhosas.

À minha co-orientadora Anita por ter me ajudado imensamente neste caminho do estágio obrigatório ao projeto final, sempre muito querida e atenciosa.

Ao meu orientador Élcio pela disponibilidade, profissionalismo e ótimo humor.

Aos participantes da banca pela disponibilidade e atenção que dispuseram.

A Deus por mais esse passo e tantos outros.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia de Bioprocessos.

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE *Spirulina maxima* PARA FINS NUTRACÊUTICOS

Mayra Oliveira Boyle

Julho, 2018

Orientadores: Elcio Ribeiro Borges, D.Sc.

Anita Ferreira do Valle, D.Sc.

Os suplementos alimentares formulados a partir de *Spirulina maxima* vem apresentando efeitos biológicos promissores, com elevado valor nutricional. Por apresentarem um amplo campo de aplicações como suplementos benéficos à saúde, são categorizados como produtos nutracêuticos. Desse modo, produtos oriundos do uso de *Spirulina maxima* são considerados uma alternativa nutritiva e saudável de alimentação, tanto humana quanto animal, se comparados à maioria dos alimentos disponível no mercado. Devido à essa relevância temática, o presente trabalho adotou a metodologia de mapeamento tecnológico, visando analisar a produção científica nesta área em âmbito global. O método consistiu primeiramente da análise de artigos da base SCOPUS, referentes aos anos de 2012 a 2018, correlacionando o uso da *Spirulina maxima* com fins nutracêuticos. Nas etapas posteriores, a coleta e o tratamento de dados foram úteis na identificação das tendências biotecnológicas com o uso da *Spirulina maxima* em nutracêuticos. Como resultados desta prospecção tecnológica, a partir de 136 artigos científicos selecionados e analisados, observaram-se maior atuação da Índia no cenário internacional de pesquisa e desenvolvimento, forte predominância da escala laboratorial nos documentos, foco nutracêutico dedicado ao mercado humano e muitos trabalhos dedicados a otimizações para melhorar performances e reduzir custos de processos produtivos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.1	MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE <i>SPIRULINA MAXIMA</i> PARA FINS NUTRACÊUTICOS.....	1
1.2	INTRODUÇÃO	2
1.3	JUSTIFICATIVA	3
1.4	OBJETIVO	5
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	MICROALGAS	6
2.2	<i>SPIRULINA MAXIMA</i>	10
2.2.1	<i>Estrutura e Composição</i>	10
2.2.2	<i>Cultivo e Produção</i>	14
2.3	<i>SPIRULINA MAXIMA</i> PARA FINS NUTRACÊUTICOS	18
2.3.1	<i>Indústria e Mercado</i>	18
2.3.2	<i>Produtos Comerciais</i>	23
2.4	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	29
CAPÍTULO 3	METODOLOGIA DE PESQUISA	32
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA	32
3.1.1	<i>Fase1: Preparatória</i>	33
3.1.2	<i>Fase 2: Pré-prospectiva</i>	33
3.1.3	<i>Fases 3 e 4: Prospectiva e Pós-Prospectiva</i>	34
3.2	ARTIGOS CIENTÍFICOS – FASE 1	35
3.2.1	<i>Estratégias de Busca de Artigos Científicos</i>	35
3.2.2	<i>Busca Prévia de Artigos Científicos</i>	35
3.3	ESTRATÉGIA DE BUSCA – FASE 2.....	37
3.3.1	<i>Definição das Taxonomias</i>	37
CAPÍTULO 4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	ANÁLISE MACRO DOS ARTIGOS.....	40
4.2	ANÁLISE MESO DOS ARTIGOS.....	49
4.3	ANÁLISE MICRO DOS ARTIGOS	50
4.3.1	MICROALGAS.....	51
4.3.1.1	<i>“Spirulina maxima” e “Outras microalgas”</i>	53
4.3.1.2	<i>“Cultivo” x “Comercial”</i>	56
4.3.1.3	<i>“Geneticamente Modificadas”</i>	57
4.3.2	TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO	58
4.3.2.1	<i>“Escalabilidade”</i>	60

4.3.2.2 “Estratégias/Otimização e Variações de aspectos físico-químicos”	61
4.3.2.3 “Modificação de Meio de Cultura e “Utilização de fontes alternativas como meio de cultivo”	62
4.3.2.4 Biossorção	63
4.3.3 “Obtenção de Biomassa”	64
4.3.4 “Obtenção de Bioproduto”	66
4.3.5 “Aplicação na Área Nutracêutica”	68
4.4 VISÃO PANORÂMICA GERAL DE PAÍSES E FORNECEDORES DE BIOMASSA DE <i>SPIRULINA MAXIMA</i>	71
4.5 AVALIAÇÃO TEMPORAL	73
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
5.1 CONCLUSÕES	76
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - RESUMO DOS PRODUTOS SINTETIZÁVEIS POR CEPAS DE MICROALGAS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS DE APLICAÇÃO. FONTE: ADAPTADO DE KOLLER ET AL., 2014.....	6
FIGURA 2 - MORFOLOGIA DE <i>S. MAXIMA</i> . (A) MICROGRAFIA DE LUZ. AMPLIAÇÃO ORIGINAL, 100X; (B) MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE VARREDURA. AMPLIAÇÃO ORIGINAL, 350X; (C) A LARGURA DOS TRICOMAS É DE 6 A 12 µM E O CORPO (P) É DE 12 A 72 µM, E O DIÂMETRO (D) É DE 30 A 70 µM. AMPLIAÇÃO ORIGINAL, 500X; (D) SEÇÃO LONGITUDINAL DO TRICOMA, ILUSTRANDO A FINA, FIBRILAR, BAINHA DE REDES QUE ENVOLVEM O TRICOMA. AS PAREDES TRANSVERSAIS REGULARMENTE ESPAÇADAS FORMAM UM SEPTO QUE DIVIDE O TRICOMA EM CÉLULAS. AMPLIAÇÃO ORIGINAL, 8600X. FONTE: LEE ET AL., 2017.....	12
FIGURA 3 - VISTA DO SISTEMA DE LAGOS DE PRODUÇÃO DE MICROALGAS DA <i>S. MAXIMA</i> NA PROVÍNCIA DE HAINAN. FONTE: CHEN ET AL., 2016.....	15
FIGURA 4 - SISTEMA DE LAGOS PARA A PRODUÇÃO DE MICROALGAS DO GÊNERO <i>SPIRULINA</i> NA MONGÓLIA INTERIOR. FONTE: CHEN ET AL., 2016.....	16
FIGURA 5 - IMAGEM ILUSTRATIVA DAS FORMAS DE CULTIVO DE <i>SPIRULINA</i> EM PEQUENA ESCALA COMERCIAL, EM BANGLADESH. FONTE: HABIB & PARVIN, 2008.	17
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE <i>S. MAXIMA</i> . FONTE: ISLAM ET AL., 2015.....	18
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DAS PRINCIPAIS COMPANHIAS PRIVADAS PRODUZINDO PRODUTOS DE COMIDAS E RAÇÕES COMERCIAIS DERIVADAS DE MICROALGAS. NÚMERO E LOCALIZAÇÕES DAS PLANTAS DE PRODUÇÃO NÃO DISPONÍVEIS. FONTE: VIGANI ET AL., 2015.	21
FIGURA 8 - MOTIVAÇÕES PARA O USO DE SUPLEMENTOS DE MICROALGAS, DE ACORDO COM DADOS DE PESQUISA REALIZADA NA POLÔNIA. FONTE: RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017.....	25
FIGURA 9 - CANAL DE INFORMAÇÃO DA BIOATIVIDADE DO SUPLEMENTO ALIMENTAR DE MICROALGAS, DE ACORDO COM DADOS DE PESQUISA REALIZADA NA POLÔNIA. FONTE: RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017.....	26
FIGURA 10 - PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA. FONTE: SECTES/CEDEPLAR, 2009.	30
FIGURA 11 - SEQUÊNCIA DE FASES A SEREM ADOTADAS PARA A EXECUÇÃO, ORGANIZAÇÃO E CONCLUSÃO DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA. FONTE: BAHRUTH ET AL., 2006.	32
FIGURA 12 - ARTIGOS RELEVANTES E DESCARTADOS. FONTE: BASE SCOPUS, PERÍODO 2012-2018.....	41
FIGURA 13 - QUANTIDADE DE ARTIGOS RELEVANTES PUBLICADOS POR ANO. FONTE: BASE SCOPUS, PERÍODO 2012-2018.	42
FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS PUBLICADOS POR PAÍSES. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	43
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS PUBLICADOS POR PAÍS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	45
FIGURA 16 – PARTICIPAÇÃO GLOBAL NAS PESQUISAS PARA DIFERENTES TIPOS DE INSTITUIÇÕES. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	46
FIGURA 17 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES PARA UNIVERSIDADES COM MAIS DE 1 CADA. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	47
FIGURA 18 - PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DAS TAXONOMIAS DA ANÁLISE MESO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012- 2018.	49

FIGURA 19 - PARTICIPAÇÃO QUANTITATIVA DAS TAXONOMIAS DA ANÁLISE MESO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	50
FIGURA 20 – QUANTIDADE DE DOCUMENTOS PRESENTES NAS TAXONOMIAS DE NÍVEL MICRO PROVENIENTES DE “MICROALGAS”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	52
FIGURA 21 - PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO DE CADA TAXONOMIA MICRO PROVENIENTE DA MESO “MICROALGAS”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	52
FIGURA 22 - PARTICIPAÇÃO DA <i>S. MAXIMA</i> E DE OUTRAS MICROALGAS NO TOTAL DE ARTIGOS ANALISADOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	53
FIGURA 23 - NOMES E A QUANTIDADE DE ARTIGOS REFERENTES ÀS “OUTRAS” MICROALGAS QUE APARECERAM EM MAIS DE 1 DOCUMENTO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	54
FIGURA 24 - PERCENTUAL PARTICIPATIVO DE MICROALGAS NA TAXONOMIA “OUTRAS” DA CLASSE MICRO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	54
FIGURA 25 - INCIDÊNCIA DO USO DE PLANTAS E FRUTAS EM ARTIGOS QUE AS COMPARAVAM COM A <i>S. MAXIMA</i> NO MERCADO NUTRACÊUTICO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	56
FIGURA 26 - COMPARAÇÃO ENTRE DUAS FORMAS DE OBTENÇÃO DE <i>S. MAXIMA</i> UTILIZADA EM ARTIGOS, “COMERCIAL” OU “CULTIVO”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	57
FIGURA 27 - PERCENTUAIS DE <i>S. MAXIMA</i> NATURALMENTE OCORRENTE E GENETICAMENTE MODIFICADA, DE ACORDO COM OS ARTIGOS ANALISADOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	58
FIGURA 28 - QUANTIDADE DE ARTIGOS EM QUE CADA TAXONOMIA ESTEVE PRESENTE REPRESENTANDO A MESO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	59
FIGURA 29 - PERCENTUAL DE CADA TAXONOMIA PERTENCENTE A MESO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	59
FIGURA 30 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE ESCALABILIDADE DE CULTIVO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	60
FIGURA 31 - FREQUÊNCIA DE APARIÇÃO EM ARTIGOS PARA OS METAIS UTILIZADOS EM BIOSSORÇÃO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	64
FIGURA 32 - FREQUÊNCIA DAS TAXONOMIAS DA MESO “OBTENÇÃO DE BIOMASSA”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	65
FIGURA 33 - QUANTIDADE DE ARTIGOS ENCONTRADOS PARA CADA TAXONOMIA MICRO DE “OBTENÇÃO DE BIOMASSA”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	65
FIGURA 34 - QUANTIDADE DE ARTIGOS DE CADA TAXONOMIA DA MESO "OBTENÇÃO DE BIOPRODUTO". FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	67
FIGURA 35 - COMPARAÇÃO PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO ENTRE AS TAXONOMIAS DA MESO “OBTENÇÃO DE BIOPRODUTO”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	67
FIGURA 36 – COMPARAÇÃO DA ATUAÇÃO DE CADA TAXONOMIA NA MESO “APLICAÇÃO NA ÁREA NUTRACÊUTICA”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	69
FIGURA 37 - QUANTIDADE DE ARTIGOS DE CADA TAXONOMIA DA MESO “APLICAÇÃO NA ÁREA NUTRACÊUTICA”. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	69

FIGURA 38 - COMPARAÇÃO ENTRE AS APLICAÇÕES FARMACÊUTICA E NUTRICIONAL DOS BIOPRODUTOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	70
FIGURA 39 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PÚBLICOS-ALVO HUMANO E ANIMAL PARA OS BIOPRODUTOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	71
FIGURA 40 - COMPARAÇÃO ENTRE PAÍSES QUANTO À QUANTIDADE DE FORNECEDORES DE <i>S. MAXIMA</i> . FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.....	72
FIGURA 41 - QUANTIDADE DE FORNECEDORES DE <i>S. MAXIMA</i> POR PAÍS DE ACORDO COM PESQUISAS NO RAMO NUTRACÊUTICO. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	72
FIGURA 42 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PAÍSES FORNECEDORES DE <i>S. MAXIMA</i> E A QUANTIDADE DE ARTIGOS PUBLICADOS POR ELES. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	73
FIGURA 43 - AVALIAÇÃO TEMPORAL DAS PESQUISAS CONSTITUINTES DOS ARTIGOS ESTUDADOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	74
FIGURA 44 - COMPARAÇÃO ENTRE AVALIAÇÃO TEMPORAL DAS PESQUISAS DOS ARTIGOS ANALISADOS. FONTE: BASE SCOPUS; PERÍODO 2012-2018.	74

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS DA BUSCA PRÉVIA DE ARTIGOS.	35
TABELA 2 - RESULTADOS DETALHADOS DA BUSCA DE ARTIGOS.	36
TABELA 3 - RESULTADOS TOTAIS DA BUSCA DE ARTIGOS.	36
TABELA 4 - PAÍSES COM APENAS 1 PUBLICAÇÃO.....	44
TABELA 5 - PARCERIAS DE PESQUISAS ENTRE PAÍSES.....	45
TABELA 6 - EMPRESAS PARTICIPANTES DAS PUBLICAÇÕES DE <i>S. MAXIMA</i> PARA FINS NUTRACÊUTICOS.	47
TABELA 7 - PRINCIPAIS CENTROS DE PESQUISA COM NÚMERO DE PUBLICAÇÕES SUPERIOR A UM.....	48
TABELA 8 - ESPECIFICAÇÃO DE “OUTRAS” MICROALGAS QUE APARECERAM APENAS EM UM ARTIGO.	55
TABELA 9 - MEIOS DE CULTURA UTILIZADOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE <i>S. MAXIMA</i>	63

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 - SUBSTÂNCIAS PRESENTES EM MICROALGAS.	7
QUADRO 2 PRINCIPAIS MICROALGAS COMERCIALIZADAS PARA NUTRIÇÃO HUMANA.	9
QUADRO 3 - COMPOSIÇÃO DE <i>S. MAXIMA</i>	13
QUADRO 4 - DADOS DE MERCADO DE PRODUTOS BASEADOS EM MICROALGAS.	20
QUADRO 5 - PREÇOS E VOLUME DE MERCADO GLOBAL DE PRODUTOS DE MICROALGAS.	22
QUADRO 6 - LISTA DE ALGUNS PRODUTOS DE MICROALGAS DO GÊNERO <i>SPIRULINA</i> E SEUS PAÍSES DE ORIGEM.	24
QUADRO 7 - CATEGORIAS DE QUALIDADE DE INGREDIENTES NUTRACÊUTICOS.	27
QUADRO 8 - REQUISITOS DE INFORMAÇÃO REGULAMENTAR.	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA – Califórnia
CAS – *Chinese Academy of Sciences*
GC – Cromatografia gasosa
CMIA – *Chinese Microalgae Institute Alliance*
CO₂ – Dióxido de Carbono
DHA – Ácido docosahexaenoico
DSHEA – *Dietary Supplement Health Education Act*
EPA – Ácido eicosapentaenoico
E.U.A. – Estados Unidos da América
FURB – Universidade Regional de Blumenau
FURG – Universidade Federal do Rio Grande
GLA – Ácido linoleico
GMO – Organismos Geneticamente Modificados
GRAS – Geralmente Reconhecido como seguro
ha – hectare
HPLC – Cromatografia líquida de alta eficiência
kg – quilo
kGy – quilo Gray
NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
OCDE – Organização de Cooperação e de Desenvolvimento
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PUFAs – Ácidos graxos poli-insaturados
RPLC – Cromatografia líquida de fase reversa
rpm – rotações por minuto
ROS – Espécies de Oxigênio Reativo
SOT – Sociedade de Toxicologia
t – tonelada
UFBA – Universidade Federal da Bahia
UFC – Universidade Federal do Ceará
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UHPLC – Cromatografia líquida de ultra eficiência

UNESP – Universidade Estadual Paulista

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo

USP – Universidade de São Paulo

US\$ – Dólar americano

Capítulo 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE *Spirulina maxima* PARA FINS NUTRACÊUTICOS

Para uma melhor sistematização do presente trabalho, o mesmo foi organizado em seis capítulos. São eles:

1. **INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA** – Traz uma breve apresentação sobre o tema, bem como os objetivos, justificativa e a organização do trabalho.
2. **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** – Apresenta uma visão ampla sobre o tema, abordando fundamentação teórica acerca da *S. maxima* e de sua correlação com a área nutracêutica, de tecnologias de produção, além de obtenção de biomassa e bioprodutos, e aspectos mercadológicos.
3. **METODOLOGIA DE PESQUISA** – Apresenta as estratégias utilizadas para a pesquisa na base SCOPUS, e o método de seleção dos artigos.
4. **RESULTADOS E DISCUSSÕES** – Este capítulo apresenta os resultados do mapeamento tecnológico e as discussões sobre os mesmos.
5. **CONCLUSÕES E SUGESTÕES** – Apresenta um desfecho para o trabalho e propostas de melhorias para trabalhos futuros.

1.2 INTRODUÇÃO

As microalgas são organismos unicelulares microscópicos capazes de converter energia solar em energia química via fotossíntese. O uso de suplementos alimentares baseados em microalgas torna-se algo amplamente popular em todo o mundo, devido aos efeitos biológicos promissores e ao elevado valor nutricional das microalgas, evidenciados através de estudos *in vitro* e *in vivo* (JAŚKIEWICZ & RZYMSKI, 2017).

Os nutracêuticos são alimentos fortificados ou suplementos dietéticos que visam proporcionar benefícios de saúde, podendo também ser chamados de alimentos funcionais (MERRIAM-WEBSTER, 2018). Dessa forma, os suplementos de microalgas têm sido classificados como produtos nutracêuticos, que são extratos e pós de microalgas usados para suplementação nutricional. De fato, esses produtos atraem muito os consumidores por terem sido comprovados como fonte rica em proteínas, ácidos graxos, pigmentos, minerais e vitaminas (CHRISTAKI et al., 2011; GELLENBECK, 2012; BUONO et al., 2014; WELLS et al., 2016). Nestes termos, produtos de microalgas são considerados uma alternativa mais nutritiva e saudável de alimentação, tanto humana quanto animal, se comparados a maioria dos alimentos (suplementos, biscoitos, etc.) disponível no mercado.

Apesar da existência de milhares de espécies de microalgas, apenas alguns gêneros e espécies são produzidos autotroficamente e comercializados. Dentre as reportadas pela literatura, as principais microalgas são: *Spirulina* (uma cianobactéria com duas espécies cultivadas comercialmente – *S. maxima* e *S. platensis*); *Chlorella vulgaris*; *C. pyrenoidosa*; *Dunaliella salina*; e *Haematococcus pluvialis* (GELLENBECK, 2012).

Cabe ressaltar que a *S. maxima* tem sido alvo de muitas pesquisas na área de nutrição devido à sua composição nutricional, que tem se mostrado útil no tratamento de diversos problemas relacionados à saúde (LEE et al., 2017).

Na maioria dos casos, os produtos provenientes de microalgas contêm biomassa pertencente ao gênero *Spirulina*, e o impacto positivo do consumo de microalgas e seus ingredientes tem chamado a atenção do mercado nutricional e farmacêutico, pois promovem efeitos antibacterianos, antioxidantes, antidiabéticos, antitumorais, antiobesidade, imunomodulatórios etc. Diversos

trabalhos envolvendo estudos de otimização, modelagem e ensaios clínicos randomizados reforçam a importância do uso da *S. maxima* (RAMAMOORTHY & PREMAKUMARI, 1996; YAMANI et al., 2009; ANWER et al., 2012, 2013; KWAK et al., 2012; TORRES-DURÁN et al., 2012; PANAHI et al., 2013; MAZOKOPAKIS et al., 2014; RYU et al., 2014).

Com tantas propriedades atrativas, pode-se afirmar que o uso de suplementos de microalgas tem um amplo campo de aplicações potencialmente favoráveis à saúde. Isso faz com que a *S. maxima* tenha sido cultivada em escala industrial desde 1970 na China, no México e nos Estados Unidos (BELAY, 1997; SPOLAORE et al., 2006). Neste contexto, durante os últimos 15 anos, a China se tornou a maior produtora de biomassa de microalgas do mundo e a biomassa do gênero *Spirulina* é o seu maior produto produzido por tonelada e valor (CHEN et al., 2016).

1.3 JUSTIFICATIVA

Microalgas vêm se tornando uma fonte sustentável de mercadorias, desde alimentos a possíveis fertilizantes, de fármacos a biocombustíveis, bem como de tecnologia de captação e reuso de dióxido de carbono (HOSSAIN et al., 2015). Além disso, as cianobactérias ou algas verde-azuladas são ricas em antioxidantes e ficobiliproteínas (NICOLETTI, 2016). Análises clínicas alimentares da *S. maxima*, indicam que ela é uma excelente fonte de macro e micronutrientes benéficos à saúde (HOSEINI et al., 2013).

Rápidas mudanças têm impactado o cenário alimentício mundial, envolvendo o aparecimento de muitos produtos novos. Nos últimos anos, uma inovação amplamente presente em artigos científicos é o produto nutracêutico, que influencia o mercado de forma profunda devido à sua proposta de alimento funcional (ZEISEL, 1999; SANCO, 2007). Concernente com essa realidade, a *S. maxima* é comercialmente produzida como alimento funcional sem altas taxas de toxicidade humana, além de ser altamente digerível (GUTIÉRREZ-SALMEÁN et al., 2015).

Há um crescente interesse global no consumo de especialidades oriundas de microalgas, como: produtos nutricionais humanos, agentes

colorantes e mercadorias de massa reduzida com progresso em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Quanto à indústria, a China tem sido a maior produtora de suplementos de *S. maxima* do mundo. A produção chinesa de microalgas do gênero *Spirulina* é estimada em dois terços de toda biomassa de microalga global, de onde 90% é vendida para consumo humano como produtos nutracêuticos e o menor mercado é destinado à alimentação da aquicultura marinha (CHEN et al., 2016). A *Chinese Microalgae Industry Alliance* (CMIA) foi criada visando unir indústria e pesquisa para avançar tecnologicamente na indústria de microalgas (CHEN et al., 2016). Em 2008, a *S. maxima* era vendida como biomassa seca de valor aproximado em US\$15–50 kg⁻¹, dependendo da variedade mercadológica e de produção (GELLENBECK, 2012).

O presente trabalho faz um mapeamento tecnológico da *S. maxima* focada na sua função nutracêutica, através de uma extensa pesquisa de artigos científicos encontrados desde 2012 até 2018 dentro da base de dados SCOPUS. A base SCOPUS da editora Elsevier é usada como a maior fonte referencial de literatura técnica e científica revisada por pares, permitindo uma visão ampla de tudo que está sendo publicado cientificamente sobre um tema. Mediante o uso dos mecanismos de busca, podem ser encontradas as informações publicadas por uma determinada instituição ou um determinado autor.

Os Estudos de Prospecção Tecnológica fornecem as principais tendências do estado da arte de um setor, produto e tecnologia em âmbito mundial ou corporativo/segmentado. Os estudos prospectivos auxiliam a identificação de tecnologias promissoras, úteis para uma determinada organização ou país, bem como apontam para possibilidades de parcerias e as tendências de mercado da área. Desse modo, define-se a análise prospectiva também como o conjunto de atividades e métodos utilizados para antever o comportamento de variáveis de interesse bem como o efeito de suas interações (CASTRO et al., 1998, 1999). Pode-se considerar que os estudos prospectivos são processos sistematizados de compreensão do futuro e podem ser de cunho social, econômico, político e tecnológico.

Desta forma, o mapeamento tecnológico por meio da gestão de informação é extremamente útil para gerar informações sobre a trajetória

passada, presente e sobre as tendências futuras de mercado de determinado setor. Neste contexto, o mapeamento visa congrega a busca de soluções adequadas para a identificação e priorização de uma agenda de P&D e de melhor alocação de recursos financeiros e políticas públicas.

1.4 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a coleta e o tratamento de informações sobre o atual cenário mundial da *S. maxima* no mercado nutracêutico, utilizando a metodologia de mapeamento tecnológico, a fim de elaborar análises sistemáticas para elucidar o estado da arte da presente temática. Adicionalmente, foram analisados os principais *players* industriais, os países líderes em pesquisa e o horizonte de implementação de novos produtos ou técnicas.

Capítulo 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MICROALGAS

As microalgas são organismos unicelulares microscópicos capazes de converter energia solar em energia química via fotossíntese. Apesar de existirem mais de 30.000 espécies catalogadas e classificadas, menos de 100 foram estudadas até o momento e há um número aproximado de apenas 20 espécies sob exploração comercial. Adicionalmente, as microalgas são responsáveis pela maioria da captura de energia solar e do oxigênio produzido no planeta, sendo a base da cadeia alimentar de sistemas aquáticos e um pilar fundamental para a sustentabilidade da Terra, reduzindo o aquecimento global de forma considerável (FERNANDEZ et al., 2017).

Com variada flexibilidade funcional, é proposto o uso de algas microscópicas em cosméticos, fármacos, aditivos alimentares, tratamento de águas residuais e na produção de biocombustíveis, o que promove o aumento da sustentabilidade das atividades industriais existentes. Nesse contexto, o uso de microalgas em larga escala é considerado uma revolução verde (FERNANDEZ et al., 2017). Correlacionando produtos provenientes de microalgas a suas respectivas áreas de atuação industrial, obtém-se a Figura 1 (KOLLER et al., 2014).

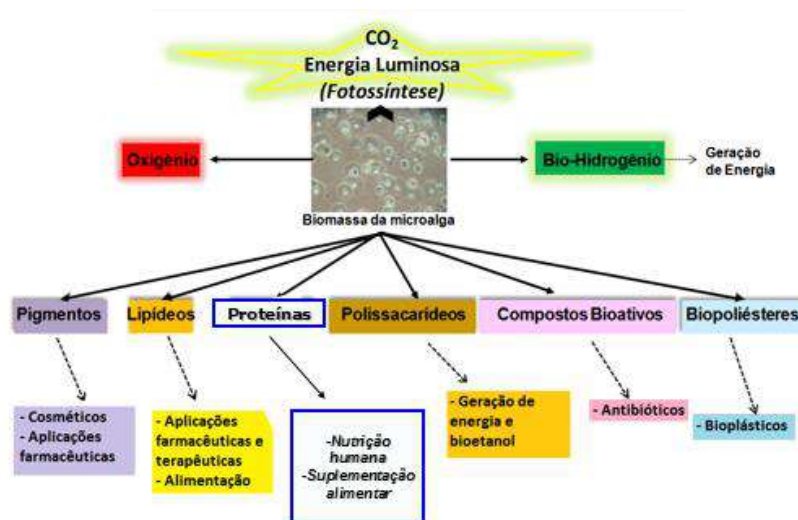


Figura 1 - Resumo dos produtos sintetizáveis por cepas de microalgas e suas respectivas áreas de aplicação. Fonte: Adaptado de KOLLER et al., 2014.

Há diversos compostos bioativos e metabólitos em forma de proteínas, lipídeos, carboidratos, carotenoides ou vitaminas de elevado valor comercial que podem ser extraídos de microalgas (PRIYADARSHANI & RATH, 2012). Fundamentado nesse cenário, o setor nutracêutico é o de maior potencial biotecnológico e os seus principais produtos são produzidos a partir da biomassa seca de microalgas concentrada em β -caroteno, astaxantina, ácido docosahexaenóico, ácido eicosahexaenóico e pigmentos de ficobilina (VIAGANI et al., 2015; PULZ & GROSS, 2004). O Quadro 1 mostra um resumo das principais categorias de substâncias extraídas de microalgas e seus exemplos mais comuns.

Quadro 1 - Substâncias presentes em microalgas.

SUBSTÂNCIAS	EXEMPLOS
Pigmentos/Carotenoides	β -caroteno, astaxantina, luteína, zeaxantina, cantaxantina, clorofila, ficocianina, ficoeritrina, fucoxantina
Ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs)	DHA (C22:6), EPA (C20:5), ARA (C20:4), GAL (C18:3)
Vitaminas	A, B1, B6, B12, C, E, biotina, riboflavina, ácido nicotínico, pantotenato, ácido fólico
Antioxidantes	Catalases, polifenóis, superóxido dismutase
Outros	Antimicrobianos, antifúngicos, agentes antivirais, toxinas, aminoácidos, proteínas, esteróis

Fonte: PRIYADARSHANI & RATH, 2012.

Há vantagens potenciais no uso de microalgas que são utilizadas pela indústria e pelo setor de P&D (PRIYADARSHANI & RATH, 2012):

- As algas são organismos que podem produzir de 1.000 a 4.000 galões de óleo vegetal/acre/ano, o que é significativamente maior do que a soja e outras oleaginosas;

- Não competem com a agricultura tradicional, pois não são alimentos/rações tradicionais e podem ser cultivadas em grandes lagoas abertas ou em fotobiorreatores fechados localizados em terras não aráveis;
- Podem crescer em uma ampla variedade de condições climáticas e aquáticas, sendo hábeis a sequestrar e utilizar CO₂ oriundo de diferentes fontes;
- Podem ser processadas em uma vasta gama de produtos para distintas funcionalidades e indústrias.

Quanto à versatilidade de produção, as microalgas são capazes de crescer das áreas mais quentes às mais frias do globo, sendo possível cultivá-las durante todo o ano. Dessa maneira, há séculos o homem faz uso desses microrganismos de caráter flexível e plurivalente (FERNANDEZ et al., 2017).

Segundo BOROWITZKA (2013), tentativas de desenvolver produtos comerciais a partir de microalgas não são algo novo. O primeiro uso de microalgas por humanos foi há 2.000 anos pelos chineses, que usaram microalgas do gênero *Nostoc* como alimento. Contudo, a biotecnologia de microalgas apenas começou a se desenvolver pelo meio do século passado (PRIYADARSHANI & RATH, 2012).

Em 1942, HARDER e VON WITSCH propuseram o uso de microalgas como fonte de lipídeos. Nos anos 50, BURLEW (1953) propôs o uso de algas como candidatas a fontes alternativas de proteína para suprir a demanda mundial de alimentos, focando na utilização de fotobiorreatores tubulares de 50 litros para a produção de microalgas do gênero *Chlorella* (FERNANDEZ et al., 2017). A seguir, nos anos 60, o Japão começou a primeira produção em escala industrial de microalgas do gênero *Chlorella* para consumo humano e KATHREIN (1964) sugeriu que as microalgas fossem usadas como fonte de carotenoides. Na década seguinte, anos 70, foram produzidas microalgas do gênero *S. maxima* em escala comercial com o uso de reatores *raceway* e houve um extenso trabalho para usar microalgas como fonte de proteína unicelular (SOEDER & PABST, 1970; VENKATARAMAN et al., 1977). Com o começo dos anos 80, começou a ser explorado o β -caroteno de microalgas do

gênero *Dunaliella* e facilidades para o aumento de escalabilidade de produção algal foram estabelecidas na Ásia, na Índia, nos Estados Unidos, em Israel e na Austrália (ENZING et al., 2014).

No presente contexto, microalgas dos gêneros *Spirulina*, *Chlorella* e *Dunaliella* ainda são amplamente utilizadas e fotobiorreatores são extensamente empregados pelo mundo, representando uma média de 20.000 t/ano de produção de biomassa. Nesse contexto, a produção de microalgas expressa valores reduzidos se comparada a de outros cultivos, todavia há uma ascensão anual aproximada de 10% de produtividade (BENEMANN, 2013). Além disso, nos últimos 20 anos outras cepas também se tornaram importantes e passaram a ser produzidas em escala comercial, como as dos gêneros *Haematococcus*, *Euglena* e *Nannochloropsis* (BENEMANN, 2013). O Quadro 2 ilustra exemplos de microalgas comercializáveis, seus produtores predominantes, produtos e produção mundial em toneladas ao ano.

Quadro 2 Principais microalgas comercializadas para nutrição humana.

MICROALGAS	PRINCIPAIS PRODUTORES	PRODUTOS	PRODUÇÃO GLOBAL (t/ano)
<i>Spirulina</i>	Hainan Simai Pharmacy Co. (China) Earthrise Nutritionals (CA. U.S.A.) Cyanotech Corp. (Havaí, E.U.A.) Myanmar <i>Spirulina</i> Factory (Myanmar)	pós, extratos tabletes, pós, extratos tabletes, pós, extratos, bebidas tabletes, salgadinhos, massa e extrato líquido	3.000
<i>Chlorella</i>	Taiwan Chlorella Manufacturing Co. (Taiwan) Klotze (Alemanha)	tabletes, pós, néctar Macarrões Pós	2.000
<i>Dunaliella salina</i>	Cognis Nutrition and Health (Austrália)	pós, β -caroteno	1.200
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Blue Green Foods (E.U.A.) Vision (E.U.A.)	cápsulas, cristais pós, cápsulas, cristais	500

Fonte: PRIYADARSHANI & RATH, 2012.

Atualmente, os produtos derivados de microalgas disponíveis no mercado alimentício são limitados em duas categorias relevantes (ENZING et al., 2014):

- Biomassa Seca (microalgas dos gêneros *Spirulina* e *Chlorella* predominam): elevado teor de nutrientes, especialmente de vitaminas B12, C e D2. Essa biomassa pode ser vendida como suplemento alimentar para uso direto do cliente ou para uso em produtos a granel como fonte de proteínas e carboidratos.
- Bioprodutos Extraídos de Microalgas: são produtos purificados a partir de microalgas a fim de melhorar o teor nutritivo de alimentos.

Com avanços como novo *design* para sistemas de produção e desenvolvimento biotecnológico de microalga, foram criados programas avançados de pesquisas que trouxeram a possibilidade de obter produtos através de métodos mais eficientes do que os atuais (BOROWITZKA, 2013). Soma-se a isso, o cenário de P&D de microalgas que está se tornando mais ativo em pesquisas na área de engenharia genética, setor imaturo em amplo desenvolvimento (ENZING et al., 2014). Em tal conjuntura biotecnológica surge o conceito de biorrefinaria, onde as microalgas são projetadas como fábricas de células vivas para produção de biocombustíveis e de vários produtos bioquímicos que prezam o conceito de sustentabilidade.

Conclui-se que as microalgas têm atributos que podem ser convertidos como vantagens técnicas e comerciais por apresentarem caráter genético variado. Nota-se que tais microrganismos compreendem um vasto e inexplorado grupo, o que os sugere como fonte de muitos produtos ainda a serem descobertos (PRIYADARSHANI & RATH, 2012).

2.2 *Spirulina maxima*

2.2.1 Estrutura e Composição

A *S. maxima* é uma microalga que cresce em água doce ou salgada e pode ser identificada também como *Arthrospira maxima*, pois ambas se referem à mesma microalga. Os locais mais comuns de se encontrar a *S. maxima* são águas tropicais e subtropicais, formando populações em elevados

níveis de pH, carbonato e bicarbonato (VONSHAK, 1997). Geralmente, a *S. maxima* é conhecida e chamada como microalga por realizar fotossíntese e ser de igual importância às comunidades aquáticas.

Conhecidas também como algas azul-esverdeadas, as microalgas *S. maxima* que habitam lagos ricos em carbonato têm atraído muita atenção por causa da sua utilização como fonte nutricional proteica para homens e animais. Isso ocorre, pois as microalgas do gênero *Spirulina* contêm de 65% a 75% em proteínas, 5% a 7% em lipídeos e de 12,5% a 17% em carboidratos (KATAOKA & MISAKI, 1983). Nesse contexto, cientistas e nutricionistas consideram o gênero *Spirulina* uma fonte alimentícia natural de conteúdo multinutriente equilibrado e terapêutico (BELAY et al., 1993; KHAN et al., 2005)

Em termos farmacológicos, as microalgas do gênero *Spirulina* possuem um sistema de defesa antioxidante capaz de remover espécies de oxigênio reativo (ROS) que podem danificar células ao induzir estresse oxidativo (TAKEDA et al., 1995; NOCTOR & FOYER, 1998). Acerca disso, o caráter antioxidante dessas microalgas está associado a algumas ficobiliproteínas, como a C-ficocianina e a aloficocianina (MIRANDA et al., 1998; WU et al., 2005).

Quanto à morfologia, a *S. maxima* é filamentosa e planctônica com arranjo de tricomas cilíndricos multicelulares em uma hélice ao longo de todo comprimento do corpo. Cabe ressaltar que o formato da hélice pode mudar com variações de condições ambientes, como a temperatura de crescimento, e o diâmetro das células vai de 1 a 3 μm nas menores espécies e de 3 a 12 μm nas maiores. A Figura 2 ilustra a morfologia de uma cepa de *S. maxima* extraída do México e cultivada em laboratório, em que o diâmetro de hélice variou de 50 a 60 μm e o do corpo mediu 80 μm . Quanto à dimensão celular, a *S. maxima* teve tamanho de 4 a 6 μm (CIFERRI, 1983).

Quanto à fisiologia, essas microalgas são autotróficas, mas podem desenvolver um metabolismo mixotrófico facultativo utilizando carboidratos. Nesses termos, na presença de pouca luz o crescimento mixotrófico resulta em rendimento celular de duas à três vezes maior do que o puramente fotoautotrófico (CIFERRI, 1983).

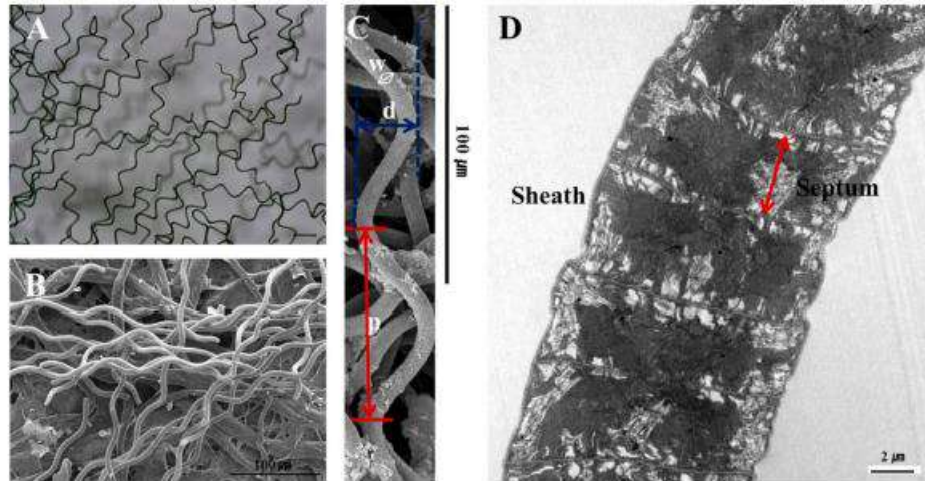


Figura 2 - Morfologia de *S. maxima*. (A) Micrografia de luz. Ampliação original, 100x; (B) Micrografia eletrônica de varredura. Ampliação original, 350x; (C) A largura dos tricomas é de 6 a 12 μm e o corpo (p) é de 12 a 72 μm , e o diâmetro (d) é de 30 a 70 μm . Ampliação original, 500x; (D) Seção longitudinal do tricoma, ilustrando a fina, fibrilar, bainha de redes que envolvem o tricoma. As paredes transversais regularmente espaçadas formam um septo que divide o tricoma em células. Ampliação original, 8600x. Fonte: LEE et al., 2017.

A composição bioquímica das microalgas do gênero *Spirulina* pode variar de acordo com a cepa, as condições de cultura e com os métodos de análise. O Quadro 3 mostra a composição bioquímica da biomassa seca de *S. maxima* de acordo com trabalho de LEE et al. (2017). Nota-se nesse quadro o alto teor de proteínas, vitaminas e minerais da *S. maxima* (CAMPANELLA et al., 2002; KHAN et al., 2005). Adicionalmente, observa-se no Quadro 3 que a *S. maxima* contém todos os aminoácidos essenciais, onde de 85% a 95% é facilmente absorvível pelo corpo humano (HABIB & PARVIN, 2008).

Quadro 3 - Composição de *S. maxima*.

Composição Geral	(%)	Aminoácidos	(g/kg)
Umidade	3,2	Alanina	50,1
Proteínas	63,1	Arginina	30,9
Lipídeos	7,2	Ácido aspártico	59,4
Carboidratos	22,1	Cistina	1,74
Minerais (cinzas)	4,4	Ácido glutâmico	93,4
Fibras	13,2	Glicina	28,3
		Histidina	8,91
		Isoleucina	23,2
		Leucina	46,7
		Lisina	24,0
		Metionina	10,1
		Fenilalanina	23,2
		Prolina	19,9
		Serina	32,2
		Treonina	28,3
		Triptofano	5,9
		Tirosina	17,0
		Valina	26,1
Vitaminas	(mg/kg)		
β-caroteno	1119		
Vitamina E	40		
Tiamina B-1	10		
Riboflavina B-2	10		
Niacina B-3	144		
Vitamina K-1	78		
Ácidos graxos essenciais	(g/kg)		
Ácido linoleico	13		
Ácido linoleico-γ	7,7		

Fonte: LEE et al., 2017.

As microalgas do gênero *Spirulina* contêm vitaminas solúveis em água e lipídios, com maior expressão quantitativa para a pró-vitamina A (β-caroteno). Adicionalmente, a presença da maioria dos minerais necessários à uma dieta humana diária está presente na *S. maxima*, vide o seu conteúdo de cálcio que é 1,8 vezes maior do que o do leite, e o de ferro é 10 vezes maior do que o teor presente no espinafre, por exemplo (MOORHEAD et al., 2005). Além disso, a biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* é rica em ácido linoleico (GLA) (DESAI & SIVAKAMI, 2004).

A ficocianina e a clorofila são os dois pigmentos responsáveis pela coloração da *S. maxima*, por isso a cor azul-esverdeada. A ficocianina é uma substância antioxidante, anti-inflamatória, hepatoprotetora, protetora de radicais de amplo espectro e estimulante da produção de glóbulos brancos e vermelhos no sangue (SELMI et al., 2011). A clorofila tem propriedades antissépticas, antibacterianas, aumenta a absorção de cálcio e é efetiva para remoção de odores (DESAI & SIVAKAMI, 2004).

Em suma, dentre as microalgas a *S. maxima* é geralmente reconhecida como biomassa segura e não tóxica (GRAS), por essa razão é liberada para o

uso como suplemento alimentar. Concernente com essa segurança, essa alga azul-esverdeada pode ser comercializada em forma de suplemento para humanos e animais ou como aditivos em cereais normais como o arroz, o trigo e o milho, já que esses cereais têm quantidade limitada de aminoácidos (ANDRADE & COSTA, 2008).

2.2.2 Cultivo e Produção

A produção de biomassa e a composição bioquímica da *S. maxima* são afetadas por diferentes condições de cultivo como temperatura, intensidade de luz, pH, agitação, métodos de cultura e componentes nutricionais que podem limitar a produção industrial (COLLA et al., 2004; TOYOSHIMA et al., 2015). Contudo, os fatores fundamentais para uma elevada produtividade são temperatura e luminosidade (TRABELSI et al., 2009; GAO et al., 2008). Por essa razão, muitos produtores têm utilizado estufas ou biorreatores para o cultivo dessas espécies (GUAN et al., 2017).

No cultivo em ambientes naturais, as microalgas estão sempre suscetíveis a repentinas variações físico-químicas de condições ambientes (TOMASELLI et al., 1993). A temperatura ótima de cultivo da *S. maxima* está descrita como sendo entre 30 e 35 °C, sugerindo o Brasil como um produtor adequado. Quando as temperaturas locais são menores que 30 °C, climatizadores tornam-se necessários para a geração de biomassa, o que aumenta os custos operacionais (BOMBART et al., 1993).

Visando a redução de custos e melhores condições de cultivo, os produtores de microalgas frequentemente cobrem os lagos de cultivo com polietileno transparente com o intuito de manter o meio aquecido e livre de contaminação. No entanto, na maioria dos casos o cultivo de monoculturas de microalgas em lagos é dificultado por contaminação com outras algas e com o zooplâncton (VONSHAK et al., 1983). A título de exemplificação, a baixas temperaturas o crescimento de microalgas do gênero *Chlorella* torna-se predominante frente a *S. maxima*, o que acarreta em uma substituição de espécies dentro dos sistemas de cultivo (RICHMOND et al., 1990).

Microalgas do gênero *Spirulina* foram cultivadas pela primeira vez na China nos anos 70, porém as limitações de tecnologia da época não permitiram

a produção em larga escala. A primeira empresa a produzir a biomassa comercial de *S. maxima* foi a Shenzhen Lanza Biotech Corporation, fundada em 1991, que continua a operar até o presente momento (LIANG et al., 2004). A primeira produção de biomassa dessa microalga com registros numéricos foi de 19.080 toneladas em 2003, aumentando para 41.570 em 2004, o que equivale a US\$ 7,6 milhões e US\$ 16,6 milhões, respectivamente (HABIB & PARVIN, 2008).

Um dos mais importantes centros comerciais de produção de microalgas do gênero *Spirulina*, com produção de 3.000 toneladas de biomassa em pó ao ano, se encontra na Mongólia Interior, norte da China. A *S. maxima* é cultivada em meio alcalino, normalmente 16 g L⁻¹ de bicarbonato, o que minimiza contaminações por outras algas e bactérias. As Figuras 3 e 4 ilustram o cultivo de *S. maxima* em “lagos-pista” a céu aberto e sob estufas de plástico (CHEN et al., 2016).



Figura 3 - Vista do sistema de lagos de produção de microalgas da *S. maxima* na província de Hainan. Fonte: CHEN et al., 2016.



Figura 4 - Sistema de lagos para a produção de microalgas do gênero *Spirulina* na Mongólia Interior. Fonte: CHEN et al., 2016.

Os meios de cultura mais usados para o cultivo dessas microalgas são o Zarrouk, Zarrouk modificado ou o da Sociedade de Toxicologia (SOT), os quais possuem alto custo pois requerem elevadas quantidades de NaHCO_3 , Na_2CO_3 , NaNO_3 e de metais traços. Na busca por meios de cultivo economicamente atrativos sem perder produtividade, alguns estudos conduziram culturas em água salgada enriquecida com alguns minerais diferentes (LAMELA & ROCHA, 2000; TREDICI et al., 1986). Nesses termos, é importante ressaltar que a *S. maxima* é a única microalga de seu gênero que cresce em água salgada (OLIVEIRA et al., 1999).

A produção de *S. maxima* em pequena escala comercial é atrativa por requerer pouca energia e pouca água por quilo de biomassa, se comparada a cultivos tradicionais como o da soja, por exemplo. Por essa razão, a produção em pequena escala é considerada uma atividade de potencial geração de renda para domicílios ou coletivos de aldeias, conforme é ilustrado na Figura 5.

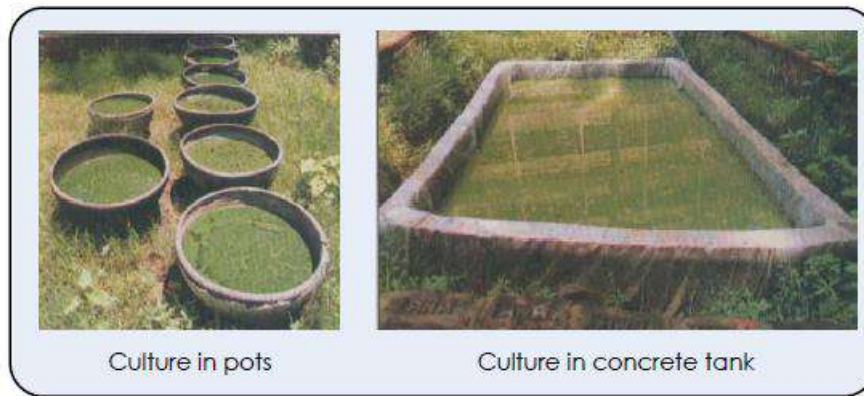


Figura 5 - Imagem ilustrativa das Formas de cultivo de *Spirulina* em pequena escala comercial, em Bangladesh. Fonte: HABIB & PARVIN, 2008.

Se o desejado é uma produção natural, a maioria dos sistemas de produção comerciais já o faz utilizando lagos rasos em formato de pistas, onde a cultura é misturada por uma roda de pás. Adicionalmente, as áreas superficiais das pistas comerciais variam de 0,1 a 0,5 hectares e a profundidade é mantida em 15-18 cm. O modo mais comum de agitação é o uso da roda com pás, que se for grande tem diâmetro de até 2 m e velocidade de 10 rpm, e se pequena tem diâmetro de 0,7 m e velocidade de três a duas vezes maior do que a da maior roda (HABIB & PARVIN, 2008).

Conclui-se que o estágio final de qualquer produção demanda a colheita, o processamento e a embalagem da microalga, conforme mostra a Figura 6. O processo do estágio final de produção pode ser resumido em 8 etapas (HABIB & PARVIN, 2008):

1. Filtração e limpeza: um filtro de *nylon* na entrada do lago de água é necessário;
2. Pré-concentração: lavagem de biomassa para reduzir a presença de sais;
3. Concentração: remove águas intersticiais localizadas entre os filamentos;
4. Neutralização: neutraliza a biomassa com a adição de solução ácida;
5. Desintegração: usa um moedor para quebrar os tricomas;
6. Desidratação com *spray* para secagem: essa operação tem importância econômica pois envolve de 20% a 30% de todo o custo de produção;

7. Embalagem: costuma usar sacos plásticos selados para evitar ação higroscópica na biomassa seca;
8. Estocagem: feita em local seco, fresco, apagado, higiênico e sem pestes para prevenir deterioração dos pigmentos presentes na biomassa (AYALA, 1998).

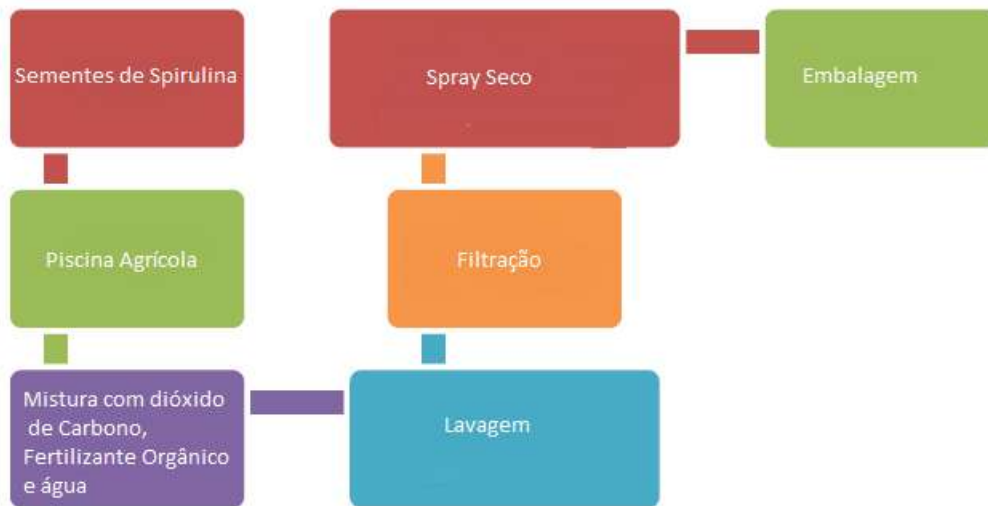


Figura 6 - Fluxograma de produção de *S. maxima*. Fonte: ISLAM et al., 2015.

Finaliza-se o processo de produção com o controle de qualidade incluindo testes microbianos, testes de composição química, testes para metais pesados, pesticidas e detectores de materiais estranhos como fragmentos de insetos, pelos de ratos e outros fragmentos (BELAY et al., 1993).

2.3 *Spirulina maxima* PARA FINS NUTRACÊUTICOS

2.3.1 Indústria e Mercado

As microalgas foram promovidas como substâncias potenciais no fornecimento de comida e rações na Europa (DRAAISMA et al., 2013), provocando a redução da insegurança mundial quanto a escassez de alimentos nutritivos (AHSAN et al., 2008; OECD, 2013). Atualmente, o cenário de P&D europeu está muito ativo em biotecnologia de microalgas, todavia os produtos presentes no mercado continuam limitados.

Analisando do ponto de vista regulatório, as regulações europeias que abrangem novos alimentos e ingredientes são rigorosas quanto à segurança alimentar, nutrição e saúde. Requerimentos regulatórios restritivos atrasam o ritmo de comercialização, pois requerem avaliações de toxinas, alérgenos e de outros componentes existentes em microalgas que em certas quantidades podem trazer malefícios à saúde (EC, 2002). Nesse contexto, as indústrias precisam de uma regulamentação sólida e clara quanto a *S. maxima* para assegurar a segurança da produção industrial em larga escala (ENZING et al., 2014).

Enquanto a indústria nutracêutica é avaliada como promissora, tem-se a realidade de mercado limitado destinado a *S. maxima*. Esse panorama é reflexo da baixa escala de produção e de custos superiores aos de produtos tradicionais. Compostos com potencial de tornar os produtos de *S. maxima* mais atrativos são aqueles em que a fonte tradicional tem custo elevado, como o ômega-3 de óleos de peixes.

Entre 2010 e 2012, os três principais países exportadores de microalgas foram China, Indonésia e Coreia do Sul, onde cada país desses obteve mais do que 125 milhões de dólares ao ano com produtos baseados em algas. No mesmo período os principais exportadores europeus foram Irlanda, França e Holanda, com lucros de uma ordem de magnitude menor frente a China (VIGANI et al., 2015). O Quadro 4 relata um resumo de dados de mercado quanto a produtos alimentícios oriundos de microalgas e a Figura 7 retrata a distribuição geográfica das maiores companhias que operam no setor de microalgas.

Quadro 4 - Dados de mercado de produtos baseados em microalgas.

PRODUTO BASEADO EM MICROALGA	VOLUME DE PRODUÇÃO (toneladas/ano de peso seco)	NÚMERO DE PRODUTORES	VALOR DE PRODUÇÃO (volume anual de negócios, milhões de US\$)	VALOR DE PRODUÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS (volume anual de negócios, milhões de US\$)
Microalga totalmente seca:				
<i>Spirulina</i>	5000 (2012) [a]	15	40 (2005) [b]	[ND]
<i>Chlorella</i>	2000 (2003) [a]	70	38 (2006) [c]	[ND]
Moléculas de alto valor:				
Astaxantina	300 (2004) [a]	8	10 (2004) [c]	200 (2004) [b]
Ficobiliproteína (inc. ficocianina)	[ND]	2	[ND]	50 (2004) [b] 14390 (2009)
ác. Graxos ômega-3	240 (2003) [b]	4	300 (2004) [b]	[d]
β-caroteno	1200 (2010) [c]	10	[ND]	285 (2012) [b]
<p>Nota: O ano entre parênteses é o da estimativa feita. [a] NOSKER et al., 2011. [b] MILLEDGE, 2012. [c] SPOLAORE et al., 2006. [d] ISMAIL, 2010. [ND] Não Disponível</p>				

Fonte: ENZING et al., 2014.

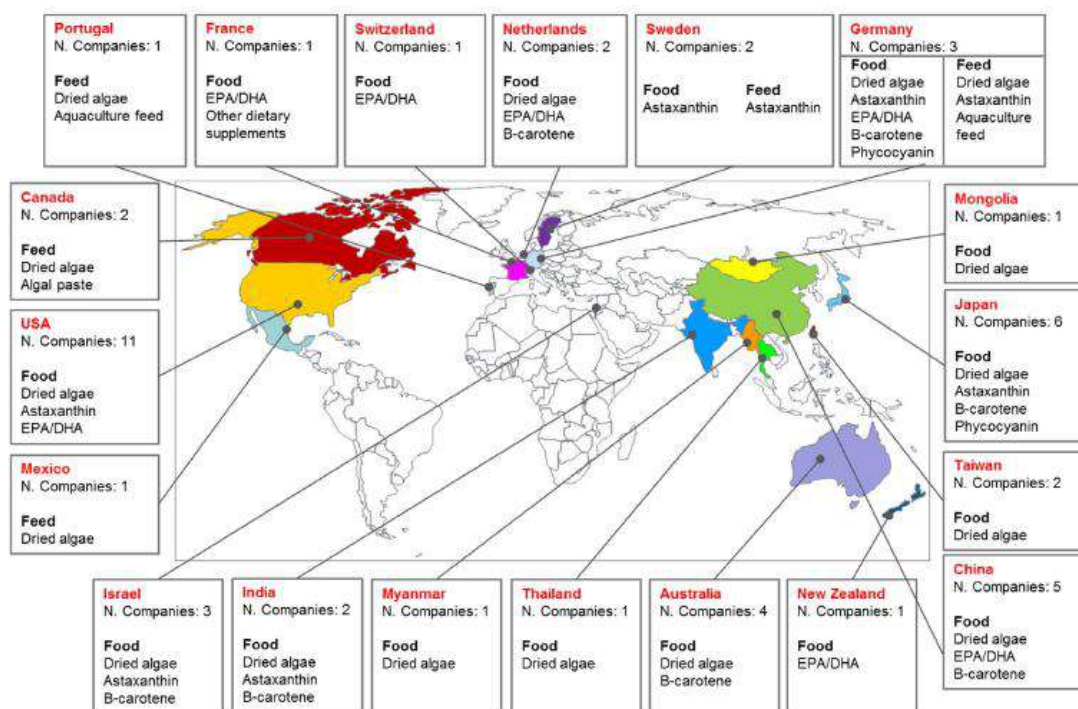


Figura 7 - Distribuição global das principais companhias privadas produzindo produtos de comidas e rações comerciais derivadas de microalgas. Número e localizações das plantas de produção não disponíveis. Fonte: VIGANI et al., 2015.

Analisando os volumes de produção na área nutracêutica segundo a Figura 7, nota-se que as indústrias estão concentradas principalmente na Ásia, na América do Norte e na Europa. De acordo com o Quadro 4, a estimativa global de volumes de produção da *S. maxima* é de 5.000 toneladas de biomassa por ano e o valor anual de produção é estimado em 40 milhões de dólares (MILLEDGE, 2012; SPOLAORE et al., 2006).

Estimativas de 2011 feitas por NORSKER et al. mostram que o custo de produção de 1 quilo (kg) de biomassa de microalga depende dos sistemas de produção e escala. Em plantas de superfície de 1 hectare (ha), 1 kg de biomassa de *S. maxima* é 44% mais custosa em lagos do que em fotobiorreatores. No entanto, em plantas de 100 ha os sistemas de fotobiorreatores são 30% mais custosos do que os de lagos, concernente com o maior consumo energético.

O preço do produto é dependente da área de produção da *S. maxima*, da real situação de mercado e da pureza obtida. Nesses termos, os preços de mercado são fortemente flutuantes e é necessário um elevado esforço para

isolamento e purificação de produto (KOLLER et al., 2014). O Quadro 5 expõe preços de produtos para fins informativos.

Quadro 5 - Preços e volume de mercado global de produtos de microalgas.

PRODUTO	Aproximação do PREÇO DE MERCADO por kg (US\$)	VOLUME DE MERCADO GLOBAL (US\$)	REFERÊNCIAS
Biomassa para nutrição	40-50	$1,25 * 10^9$	(PULZ & GROSS, 2004; SPOLAORE et al., 2006)
Biomassa para ração animal	10	$4 * 10^9$	(SPOLAORE et al., 2006)
Nutracêuticos de microalga para nutrição humana	120	$7 * 10^7$	(WIJFFELS, 2008)
Biodiesel	0,5 (preço geral de mercado para o biodiesel) 3-4 (preço de produção de origem de algas, estimativas muito flutuantes)	$1 * 10^9$	(HAAS et al., 2006; ROSENBERG et al., 2008; SUN et al., 2011)
β -caroteno	300-3.000	$2 * 10^8$	(BEN-AMOTZ, 2004; SPOLAORE et al., 2006)
Astaxantina	>2000	$2 * 10^8$	(LORENZ & CYSEWSKI, 2000)
Ficobiliproteínas	3.000-25.000	$5 * 10^7$	(SPOLAORE et al., 2006)
β -1,3-glucano	5-20	$1 * 10^8$ (estimado para os EUA)	-
Ácido docosahexaenóico (DHA)	50	$1 * 10^8$ (estimado para RP China); $4 * 10^8$ (estimado para os EUA)	(BRENNAN & OWENDE, 2010; CCM, 2011)
Ácido eicosapentaenóico (EPA)	4.600 (cultivo monosséptico de <i>Phaeodactylum tricornutum</i> , produto de alta pureza) 650 (de óleo de peixe)	$1,25 * 10^3$ (estimado para o Japão)	(BELARBI et al., 2000; GRIMA et al., 2003)

Fonte: Adaptado de KOLLER et al., 2014.

O preço de mercado para microalgas tem magnitude reversa ao seu volume. Nessa contextualização, a *S. maxima* é vendida como biomassa seca pelo valor de 40 a 50 US\$/kg com um volume de mercado global elevado de 1,25 bilhões de dólares (PULZ & GROSS, 2004; SPOLAORE et al., 2006). Compara-se a isso o preço dos produtos nutracêuticos que é tão elevado quanto 120 US\$/kg e o volume de mercado é reduzido a 70 milhões de dólares (WIJFFELS, 2008). No caso de rações animais, o preço do produto é estimado em 10 US\$/kg correspondente a um elevado volume de mercado que excede 4 bilhões de dólares.

As relações preço-volume são ainda mais exuberantes quando se tratam de químicos finos com alta pureza obtidos através de cultivo de *S. maxima*. No setor de pigmentos, as ficobiliproteínas provenientes da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* custam de 3.000 a 25.000 US\$/kg e o atual volume de mercado global não foi encontrado em registros, porém há uma estimativa proveniente do ano 1997 de 50 milhões de dólares ao ano (SPOLAORE et al., 2006).

Conclui-se que a produção em larga escala de proteínas e carboidratos oriundos de microalgas requer maiores volumes de produção e uma redução dramática de custos para competir com produtos tradicionais. Dessa forma, simulações baseadas em modelagem matemática e dados de produção em planta piloto podem preencher a limitação mercadológica da *S. maxima* através de otimizações (RUIZ et al., 2016). Nesse contexto, a tendência é que a expansão da indústria de microalgas gere uma maior competitividade fazendo os preços se ajustarem ao mercado.

2.3.2 Produtos Comerciais

Microalgas do gênero *Spirulina* são vendidas em lojas de produtos naturais e de ração para peixes (PRIYADARSHANI & RATH, 2012). As cápsulas de *S. maxima* têm promovido efeito de redução do nível lipídico do sangue e promovido aumento da função imunológica do corpo. Os suplementos de *S. maxima* são opções de comida saudável para crianças, adolescentes e adultos (BECKER, 1988; BOROWITZKA, 1988; RICHMOND, 1988; RUAN et al., 1988, 1990).

A título de exemplificação, o Quadro 6 mostra uma lista de 25 produtos em forma de tabletes e cápsulas, obtidos de lojas especializadas e com origem de fabricação em 7 países diferentes (AL-DHABI, 2013).

Quadro 6 - Lista de alguns produtos de microalgas do gênero *Spirulina* e seus países de origem.

Tipo de Produto	Empresa de Fabricação	País de Origem
Tablete	TAAU Australia Pvt Ltd, NT	Austrália
Cápsula	General Nutrition Corp, Pittsburgh	E.U.A.
Cápsula	Nature's Way Products, Inc, Springville, Utah	E.U.A.
Tablete	Good 'N Natural, New York	E.U.A.
Tablete	Now Foods, Bloomington	E.U.A.
Tablete	Nature Pure, Inc., Larkspur, California	E.U.A.
Tablete	Source Naturals, Inc, Santa Cruz, California	E.U.A.
Tablete	Jarrow Formulas, Los Angeles, CA	E.U.A.
Tablete	Earthrise Nutritionals LLC, Irvine, CA	E.U.A.
Tablete	Nutrex Hawaii Inc, Kailua-Kona, Hawaii	E.U.A.
Cápsula	Pure Planet Products, Inc, Long Beach, CA	E.U.A.
Tablete	Puritan's Pride, Inc, Oakdale, New York	E.U.A.
Cápsula	21st Century HealthCare, Inc, Arizona	E.U.A.
Tablete	Japan Algae Co., Ltd., Tokyo	Japão
Tablete	All Seasons Health, Hampshire	Reino Unido
Cápsula	Fushi Wellbeing Ltd., London	Reino Unido
Tablete	Biovea, London	Reino Unido
Cápsula	Parry Nutraceuticals, Chennai	Índia
Tablete	Lifestream International Ltd, Northcote, Auckland	Nova Zelândia
Tablete	Green Health, Auckland	Nova Zelândia
Tablete	RBC Life Sciences, Inc., Burnaby, British Columbia	Canadá
Tablete	Swiss Herbal Remedies Ltd, Richmond Hill, Ontario	Canadá
Cápsula	Herbal Select, Guelph, Ontario	Canadá
Cápsula	Gourmet Nutrition F.B. Inc, STE-Julie (Quebec)	Canadá
Cápsula	Terra Vita Fine Whole Herbs, Brampton, Ontario	Canadá

Fonte: AL-DHABI, 2013.

Como qualquer suplemento alimentar, os produtos originários de *S. maxima* são considerados pertencentes ao gênero alimentício e os seus registros não requerem estudos clínicos e pré-clínicos. Nesse contexto, os suplementos podem ser considerados como produtos com regulamentações bem menos rigorosas do que para fármacos (DSHEA 1994; COMMISSION DIRECTIVE 2002/46/EC). Além disso, suplementos alimentares são normalmente autoprescritos e não há responsabilidade de denunciar efeitos

colaterais associados ao seu uso. Conseqüentemente, a ocorrência de efeitos adversos é menos controlada para esses produtos.

O trabalho de RZYMSKI & JAŚKIEWICZ (2017) avaliou o perfil de 150 consumidores de produtos de microalgas dos gêneros *Spirulina*, *Aphanizomenon* e *Chlorella* através de um questionário online disponível pelo período de 1 ano na Polônia. Não houve restrição de público, sendo uma pesquisa mercadológica aberta a todos que já haviam consumido suplementos de microalgas. Ressalta-se que 57% dos consumidores participantes da pesquisa avaliaram a sua experiência com suplementos de *S. maxima*. Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas as razões que corroboraram para o uso de microalgas como suplementos alimentares e as principais fontes de informação utilizadas para obter conhecimento da bioatividade desses suplementos.

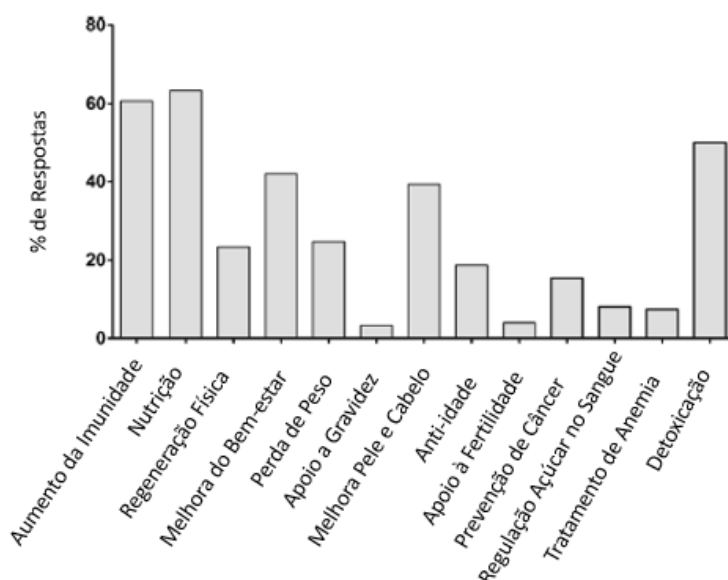


Figura 8 - Motivações para o uso de suplementos de microalgas, de acordo com dados de pesquisa realizada na Polônia. Fonte: RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017.

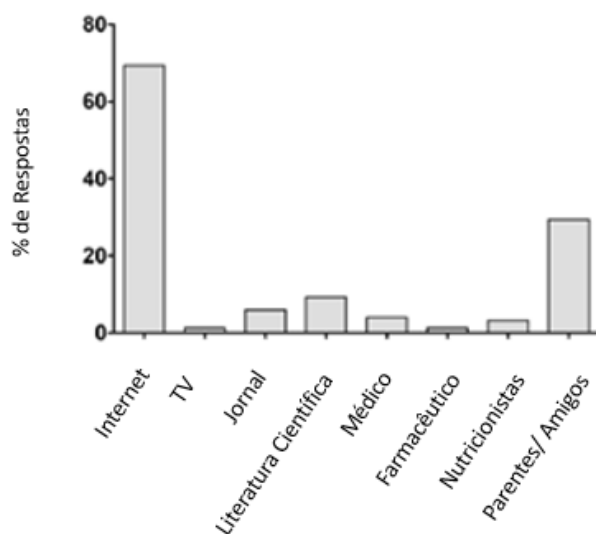


Figura 9 - Canal de informação da bioatividade do suplemento alimentar de microalgas, de acordo com dados de pesquisa realizada na Polônia. Fonte: RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017.

De acordo com os indivíduos participantes da pesquisa, os suplementos foram usados visando diferentes propósitos como auxiliar a função imune (60,7%), providenciar nutrientes (63,3%) e detoxicação (50,0%). Somam-se a isso os motivos principais que levaram ao consumo de suplementos de microalgas: bem-estar geral, qualidade de pele e cabelo, auxílio na perda de peso e regeneração física (Figura 8). Adicionalmente, a internet foi identificada como a fonte informativa mais utilizada e equivalendo a quase 70% dos consumidores, seguida de indicação de amigos/familiares e literatura científica (RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017).

É interessante avaliar os efeitos colaterais sofridos por consumidores de *S. maxima* como suplemento alimentar. Os resultados mostraram que de 85 consumidores poloneses, 22,4 % apresentaram efeitos colaterais, onde o mais recorrente foi a diarreia (RZYMSKI & JAŚKIEWICZ, 2017).

Nesse contexto, durante processo de produção de suplementos de *S. maxima* pode haver o envolvimento de um laboratório neutro para solidificar resultados qualitativos e superar diferenças analíticas, assegurando a qualidade do produto proveniente da microalga. O Quadro 7 dá em detalhes as maiores categorias de qualidade que precisam ser consideradas em um

produto nutracêutico e o Quadro 8 resume as áreas regulatórias que requerem atenção e verificação constantes (GELLENBECK, 2012).

Quadro 7 - Categorias de qualidade de ingredientes nutracêuticos.

Marcador* químico	Medido por métodos aceitos como espectrofotométrico, HPLC, GC, etc.
Microbiologia	Contagem total de placas como indicador de limpeza do processo assim como de organismos não patogênicos ou insignificantes como <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Pseudomonas</i> , etc.
Metais Pesados	Algas e outras plantas podem acumular metais pesados e níveis de chumbo, arsênico, mercúrio, cádmio em particular devem estar mantidos abaixo dos limites regulatórios.
Contaminação	Material estranho pode incluir organismos naturalmente derivados (e.g. insetos) e aqueles derivados pelo processo (e.g. flocos metálicos da maquinaria)
Características físicas	Uma matéria-prima precisa ser adaptável ao processamento de produto final. Por exemplo, pós de tabletes devem ter baixo teor de umidade e características de fluxo confiáveis.
Estabilidade	O tempo processual de um produto da produção inicial e via inventário e distribuição pode levar mais de um ano e então deve ser estável por um longo período. As especificações devem permanecer dentro dos limites acordados ao longo desse período, quanto mais melhor.
*Um marcador químico pode ou não ser um ativo conhecido no material, embora seja preferível que seja. Muitas vezes a atividade de uma mistura natural é derivada de uma variedade de componentes sem um único condutor claro. Nesses casos, uma entidade confiável e quantificável é escolhida para medição e caracterização.	

Fonte: GELLENBECK, 2012.

Quadro 8 - Requisitos de informação regulamentar.

Fluxograma de Fabricação	Uma lista detalhada das operações unitárias e insumos para qualquer processo usado.
Solventes	Os produtos químicos usados em qualquer extração devem ser especificados, quantidade usada de matéria-prima, e quaisquer níveis residuais remanescentes no produto final.
Lista de Quantidade de Ingredientes	Uma lista detalhada dos componentes no produto final. Esta listagem-chave deve mostrar as porcentagens de cada material incluído, como o extrato principal e quaisquer excipientes adicionados para processamento e aparência final.
Características físicas	A aparência básica e as características de forma do produto devem ser divulgadas.
status GMO	Se as plantas utilizadas sofreram alguma modificação genética, elas devem ser divulgadas. Principais categorias são não-OGM, Identidade Preservada e Geneticamente Modificada
Certificações	Os documentos de certificação devem ser fornecidos para organizações de certificação de produtos como Kosher e Halal bem como para quaisquer outras áreas, tais como orientadas para o processo, e.g. ISSO
Radiação	O uso deste processo de esterilização recebeu considerável atenção recentemente. Qualquer uso ou teste de resultados deve ser divulgado.
Pesticida/Resíduo químico	Qualquer produto químico adicionado nas operações agrícolas deve ser divulgado juntamente com quaisquer resultados de testes para o produto final.
Contaminantes	Quaisquer níveis de contaminação esperados, especialmente níveis de metais pesados, devem ser anotados.
Microbiologia	Todos os níveis de especificação esperados devem ser divulgados juntamente com os resultados e métodos de teste representativos.
Alérgenos	Uma lista detalhada de todas as possibilidades de alérgenos com base na composição dos ingredientes, bem como qualquer material alergênico que entram em contato com equipamentos de processamento compartilhado.
Derivação animal	Deve ser divulgada qualquer inclusão de ingredientes derivados de animais, particularmente os de origem bovina suscetíveis à presença de BSE.
Segurança	Todas as informações em uma folha de dados de segurança do material padrão, juntamente com os resultados de qualquer toxicidade ou teste clínico.

Fonte: GELLENBECK, 2012.

2.4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Segundo COELHO (2003), no Brasil os termos *prospecção*, *estudos do futuro* e *prospectiva* são utilizados de forma parecida, enquanto que o equivalente na língua inglesa é mais abordado como *forecast(ing)*, *foresight(ing)* e *future studies*, e na língua francesa como *Veile Technologique*, *Futuribles* e *La Prospective*. De acordo com KUPFER & TIGRE (2004), “a prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo”. Dessa forma, quando as ações presentes alteram o futuro, como ocorre com a inovação tecnológica, não há um futuro único e, sim, possibilidades de futuros. Portanto, o uso da prospecção ajuda gestores/autores a melhor aproveitar ou enfrentar oportunidades ou ameaças futuras, visando atingir seus objetivos a partir desse estudo “antecipatório”.

A prospecção tecnológica permite que gestores se posicionem de modo a influenciar nas trajetórias tecnológicas, o que significa lançar-se à frente, garantindo a competitividade e a sobrevivência das instituições de P&D e dos usuários de seus resultados.

Outra definição apresenta a prospecção como um processo que se ocupa do exame sistemático do futuro de longo prazo da ciência, tecnologia, economia e sociedade, objetivando identificar áreas de pesquisas estratégicas e as tecnologias emergentes que tenham propensão em gerar maiores benefícios econômicos e sociais (SECTES/CEDEPLAR, 2009). De mesmo modo, COSTA (2011) definiu a prospecção tecnológica como um tipo de busca, a qual faz o mapeamento da evolução de uma tecnologia, a identificação de mercados, o rastreamento de capacitação tecnológica e a orientação para pesquisa.

De acordo com o projeto da SECTES/CEDEPLAR (2009), na Figura 10 tem-se os objetivos e potenciais benéficos de uma prospecção tecnológica:

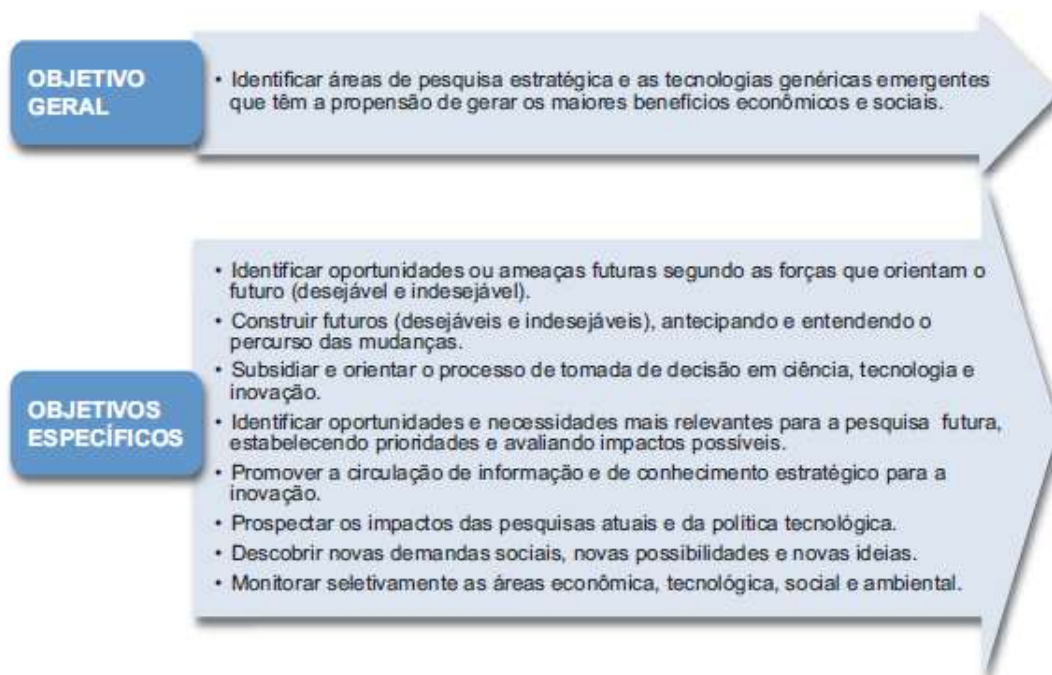


Figura 10 - Prospecção Tecnológica. Fonte: SECTES/CEDEPLAR, 2009.

O estudo prospectivo envolve o uso de múltiplos métodos ou técnicas, quantitativos e qualitativos, de modo a se compensar as possíveis deficiências trazidas pelo uso de técnicas ou métodos isolados. Uma vez que não faz sentido definir uma fórmula pronta para uma metodologia de prospecção, a escolha dos métodos e técnicas e seu uso dependem de cada situação (SANTOS et al, 2004).

Para processos de tomada de decisão de empresas e projetos, os estudos de prospecção funcionam como uma ferramenta básica fundamental. O propósito dos estudos de prospecção não é descobrir o futuro, mas sim delinear e testar visões possíveis e desejáveis para que sejam feitas escolhas que contribuirão da forma mais benéfica possível para a construção do futuro (MAYERHOFF, 2008). Tais visões podem ajudar a gerar políticas de longo prazo, além de estratégias e planos que dispõem circunstâncias futuras prováveis e desejáveis.

A decisão de inovar normalmente ocorre em um cenário de grande incerteza e tanto os desenvolvimentos futuros em conhecimento e tecnologia como mercados, demanda de produtos e usos tecnológicos podem ser

altamente imprevisíveis. Por isso, a adoção de novos produtos ou processos ou a implementação de novos métodos organizacionais e de marketing também trazem alta incerteza consigo. Além disso, a busca e coleta de informações relevantes podem consumir muito tempo e muitos recursos (MANUAL DE OSLO, 2005).

Os métodos de prospecção vêm sendo usados há várias décadas por organizações públicas e privadas de diversos países como uma ferramenta para orientar os esforços empreendidos para o desenvolvimento de tecnologias. A utilização mais sistemática desses métodos se deu a partir da década de 50, tendo se intensificado a partir da década de 80 (MAYERHOFF, 2008).

Capítulo 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

A proposta estratégica do presente trabalho é a de BHRUTH et al. (2006). A Figura 11 detalha essa metodologia que apresenta quatro fases distintas para o processo de Prospecção Tecnológica, considerando a execução, organização e conclusão dos estudos prospectivos.



Figura 11 - Sequência de fases a serem adotadas para a execução, organização e conclusão da prospecção tecnológica. Fonte: BHRUTH et al., 2006.

Ao considerar as diferentes estratégias de prospecção tecnológica descritas na literatura, o Monitoramento e Sistemas de Inteligência foi adotado como a estratégia adequada para a realização do presente trabalho. Nesses termos, a metodologia escolhida teve base no método prospectivo realizado por OLIVEIRA (2014) e descrito por BHRUTH et al. (2006).

Mediante o exposto, a Prospecção Tecnológica pode ser estimada como uma poderosa ferramenta norteadora capaz de indicar quais os passos a serem seguidos, decisões a serem tomadas e oportunidades a serem exploradas em rumo ao desenvolvimento de tecnologias de sucesso científico e mercadológico.

3.1.1 Fase1: Preparatória

A Fase 1 Preparatória consistiu na definição da metodologia de prospecção tecnológica e da busca das fontes de informação a serem empregadas para as análises e fases posteriores.

O aprofundamento no assunto “*Spirulina maxima* para fins nutracêuticos” iniciou-se a partir do processo de estudo e determinação de informações abrangentes sobre o tema de forma ampla e confiável, com o intuito de se formar uma visão técnica fundamentada sobre a temática do presente trabalho. Para isso, foi executada uma extensa revisão bibliográfica abrangendo metodologias de produção e suas aplicações nos mais diversos campos da ciência. Após o levantamento de um vasto número de dados a âmbito mundial, a estrutura da metodologia de prospecção tecnológica foi elaborada, separando também os artigos totais em relevantes e irrelevantes. De tal forma, as principais fontes de informação adotadas nesse estudo foram artigos científicos.

A metodologia de pesquisa empregada na fase de mapeamento de artigos científicos referentes a este projeto consistiu na busca por palavras-chave através da base de dados *SCOPUS*[®] (Elsevier, Amsterdã), que foi selecionada pela sua grande abrangência, facilidade de download de uma grande quantidade de documentos, alta relevância dos artigos científicos e análises Macro facilitadas pela própria estrutura do site. Além disso, a utilização de bases de dados padronizadas e com qualidade de informação permite tratar estatisticamente volumes de dados com reduzido risco de erros, o que agrega valor ao conhecimento disponível.

3.1.2 Fase 2: Pré-prospectiva

A Fase 2 Pré-Prospectiva foi a base de todo o trabalho, ou seja, foi uma etapa fundamental para a elaboração da prospecção tecnológica, pois se baseou em um detalhamento em torno do tema do trabalho onde os assuntos/campos relacionados ao estudo foram levantados. Isso foi feito criando taxonomias (*drivers*) dentro de níveis Macro, Meso e Micro,

especificando e associando cada artigo a esses pontos mais importantes e recorrentes quanto ao assunto do presente trabalho.

Essa fase detalhou bem o escopo do trabalho e consistiu no delineamento da prospecção da inovação bem como na análise da curva de crescimento da tecnologia. Dessa maneira, foram determinados os seguintes critérios:

- Elaboração da curva de crescimento da tecnologia através de artigos científicos;
- Levantamento das principais instituições detentoras de artigos científicos;
- Reconhecimento dos principais aspectos específicos que têm sido temas de artigos científicos relacionados ao tema do trabalho;
- Monitoramento da atuação comercial dos principais *players* utilizadores da microalga *S. maxima* dentro do contexto de mercado nutracêutico;

3.1.3 Fases 3 e 4: *Prospectiva e Pós-Prospectiva*

O método de prospecção tecnológica empregado neste estudo utiliza informações confiáveis e oriundas de documentos de artigos científicos. Esses artigos representam uma potente ferramenta e um instrumento bastante eficaz no apoio à tomada de decisão, tendo em vista o estado da arte disponível no seu conteúdo que permite identificar tecnologias relevantes, parceiros, concorrentes no mercado, rotas tecnológicas, inovações, processos, produtos, PD&I, dentre outras.

A fase 3 da prospecção objetiva coleta, tratamento e análise de dados relevantes obtidos pela fase 2, aqui discute-se e explicita-se graficamente os resultados do estudo prospectivo.

A fase 4 pós-prospectiva é a comunicação dos resultados analíticos obtidos pelo mapeamento feito na fase 3, objetiva-se implementar ações e monitoramento baseado em tendências históricas apresentadas pelo produto de interesse. As fases 3 e 4 serão abordadas e discutidas no capítulo 4.

3.2 ARTIGOS CIENTÍFICOS – FASE 1

Base: SCOPUS

Palavras-chave: *Arthrospira* AND *maxima*; *Spirulina* AND *maxima*; *Spirulina* AND food; *Arthrospira* AND food; *Spirulina* AND market; *Arthrospira* AND market.

Campo de Busca: *Article*

Justificativa: O campo de busca foi limitado a *article* em função do volume de documentos e da necessidade de recuperar estudos focados.

Período de busca: 2012 a 2018

3.2.1 Estratégias de Busca de Artigos Científicos

A busca de artigos foi realizada empregando como primeiro termo o gênero da microalga e como segundo termo uma palavra que especificasse melhor ou a finalidade da pesquisa dentro da área nutracêutica e de mercado ou o nome da espécie.

3.2.2 Busca Prévia de Artigos Científicos

A seguir, na Tabela 1, são apresentados os resultados gerais da busca prévia dos artigos de acordo com as palavras-chaves selecionadas.

Tabela 1 - Resultados da busca prévia de artigos.

Termo de busca	Número de documentos
<i>Spirulina + maxima</i>	241
<i>Arthrospira + maxima</i>	124
<i>Spirulina + Market</i>	22
<i>Arthrospira + Market</i>	4
<i>Spirulina + food</i>	291
<i>Arthrospira + food</i>	142

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Base SCOPUS, período 2012-2018.

Observação: as mesmas combinações foram feitas com *Spirulina* e *Arthrospira* visando coletar o máximo de informações existentes, pois a última é comumente utilizada como “sinônimo” de *Spirulina*.

A Tabela 2 apresenta os resultados de buscas de forma mais detalhada.

Tabela 2 - Resultados detalhados da busca de artigos.

Termo de busca	Número de documentos	Artigos com foco^a
<i>Spirulina</i> + <i>maxima</i>	241(2)	53
<i>Arthrospira</i> + <i>maxima</i>	124(3)	20
<i>Spirulina</i> + Market	22(1)	12
<i>Arthrospira</i> + Market	4	2
<i>Spirulina</i> + food	291(9)	85
<i>Arthrospira</i> + food	142(11)	21
TOTAL	824(26)	193

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Base SCOPUS, período 2012-2018. Os números entre parênteses são documentos repetidos. a: número de documentos com foco excluindo os repetidos.

Na Tabela 3 são apresentados os números globais da busca de artigos.

Tabela 3 - Resultados totais da busca de artigos.

Tipo de busca	Número de Documentos	Artigos RELEVANTES^a
<i>Arthrospira</i>	270(35)	32
<i>Spirulina</i>	554(58)	123
<i>Arthrospira</i>+<i>Spirulina</i>	824(205)	136

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Base SCOPUS, período 2012-2018. Os números entre parênteses são documentos repetidos. ^a: excluídos os repetidos.

Em função da diversidade de microalgas existentes, de outras espécies de microalgas do gênero *Spirulina* e de diferentes finalidades e focos para a *S. maxima*, houve um número muito superior de artigos considerados irrelevantes para este trabalho. Outro fator importante é que como os termos *Spirulina* e

Arthrospira são termos diferentes para se referir ao mesmo microrganismo, aconteceram repetições ao juntar os seus artigos relevantes, resultando em 200 artigos relevantes com repetições e, assim, 136 relevantes totais (excluídos os repetidos). Por essa razão, optou-se por realizar a análise de **136** artigos tidos como relevantes, utilizando-os como embasamento na construção da Prospecção Tecnológica focada em *S. maxima* para fins nutracêuticos.

3.3 ESTRATÉGIA DE BUSCA – FASE 2

Como definido na Fase 1, a metodologia de pesquisa abordada na fase de mapeamento de artigos científicos dentro do contexto de “*Spirulina maxima* para fins nutracêuticos”, consistiu em busca por palavras-chave na base de dados SCOPUS.

A SCOPUS é a maior fonte referencial de literatura técnica e científica revisada por pares, o que permite uma visão ampla de tudo que está sendo publicado cientificamente sobre um tema. Mediante o uso dos mecanismos de busca, podem ser encontradas as informações publicadas por uma determinada instituição ou um determinado autor.

O presente trabalho apresenta a prospecção tecnológica relacionada a artigos científicos na área de “*Spirulina maxima* para fins nutracêuticos”. Os artigos científicos obtidos a partir da temática abordada servirão como subsídios para a elaboração do mapeamento tecnológico, o que ocorre ao alocar tais artigos nos conceitos de mercado, produto e tecnologia ao longo do tempo e através das taxonomias identificadas.

3.3.1 Definição das Taxonomias

As taxonomias abordadas foram subdivididas em três classes: Macro (objetiva), Meso (subjetiva) e Micro (subjetiva). Em vista disso, as respectivas definições de cada taxonomia são explicitadas a seguir.

NÍVEL MACRO

Neste nível, os documentos são analisados de acordo com a distribuição histórica de publicações, a distribuição por países, por universidades, centros

de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia, parcerias (internacionais e com empresas).

NÍVEL MESO

Neste, os documentos são classificados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do tema. A seguir, as taxonomias identificadas são descritas.

- **MICROALGAS:** Esta taxonomia procurou identificar se o documento explicita a utilização da microalga *S. maxima* e se também há o uso de outras microalgas (categorizadas como “Outras”). Da mesma forma, esta categoria busca apontar se *S. maxima* é obtida por via de cultivo ou comercial, e se ela é geneticamente modificada ou não.
- **TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO:** Relacionada à identificação da ocorrência de etapas frequentes para tal processo de produção, como alterações quanto ao meio de cultivo e se houve biossorção. Incluem-se também ferramentas computacionais de otimização/estratégias, assim como classificação de escalabilidade.
- **OBTENÇÃO DE BIOMASSA:** visa identificar se há métodos de pré-tratamento, secagem e estocagem da biomassa nos documentos avaliados.
- **OBTENÇÃO DE BIOPRODUTO:** taxonomia relacionada à separação/purificação, à extração de proteína ou outra substância de interesse, e a métodos analíticos detectores do(s) elemento(s) de interesse na *S. maxima*.
- **APLICAÇÃO NA ÁREA NUTRACÊUTICA:** aqui procurou-se reconhecer o foco de aplicação da *S. maxima*. Assim, foi identificado se o artigo teve foco na atuação simplesmente nutricional, por ter elevado valor proteico etc., e/ou na área farmacêutica, focando em benefícios medicinais. Outro foco identificado foi se o artigo tinha por finalidade público-alvo humano ou animal.

NÍVEL MICRO

Nesta categoria são identificadas, detalhadas e analisadas as particularidades de cada taxonomia da análise Meso, visando explorá-la melhor.

As taxonomias da classe Micro são explicitadas a seguir de acordo com a taxonomia de classe Meso originária.

- **MICROALGAS:** *S. maxima*; Outros; Cultivo; Comercial; Células geneticamente modificadas.
- **TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO:** Escala laboratorial; Escala piloto; Escala industrial; Estratégias/Otimização; Modificação de meio de cultivo; utilização de fontes alternativas de meio de cultivo; Variações de aspectos físico-químicos; Biossorção.
- **OBTENÇÃO DE BIOMASSA:** Pré-tratamento; Secagem; Estocagem.
- **OBTENÇÃO DE BIOPRODUTO:** Extração da proteína de interesse; Extração de outra substância de interesse; Purificação; Métodos analíticos para quantificação/qualificação.
- **APLICAÇÃO NA ÁREA NUTRACÊUTICA:** Farmacêutica; Nutricional; Humana; Animal.

Ao fim do trabalho de prospecção, analisou-se o horizonte de implementação dos produtos com base na análise subjetiva da conclusão dos autores de cada documento, classificando-os com taxonomias denominadas por “longo prazo” e “curto prazo”. Essas taxonomias não possuem qualquer correlação com níveis Macro, Meso e Micro.

Capítulo 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo dar-se-á continuidade à cronologia da prospecção tecnológica adotada no presente trabalho. Nesse contexto, o Capítulo 3 apresentou e discutiu mais profundamente as fases 1 (Preparatória) e 2 (Pré-Prospectiva) da metodologia utilizada, onde foram definidos, expostos e detalhados os artigos relevantes para o mapeamento. Por conseguinte, o presente capítulo tratará dos resultados que integram as Fases 3 e 4, as quais consistem nas etapas Prospectiva e Pós-prospectiva, respectivamente.

Como descrito por BHRUTH et al. (2006), a Fase 3 consiste na coleta, tratamento e análise dos dados obtidos a partir da estratégia metodológica definida, suscitando a prospecção da inovação e a análise da curva de crescimento da tecnologia de utilização da *S. maxima* para fins nutracêuticos.

De maneira lógica, a etapa pós-prospectiva consiste na comunicação dos resultados obtidos em cada taxonomia dos níveis Macro, Meso e Micro. A partir disso, implementam-se ações e estratégias de monitoramento para a prospecção da inovação de acordo com análises passadas e presentes da *S. maxima* na área nutracêutica.

4.1 ANÁLISE MACRO DOS ARTIGOS

A Figura 12 mostra o percentual de artigos classificados como relevantes e como irrelevantes, sem considerar as repetições, relativos ao total obtido após a pré-seleção baseada nos critérios do método de pesquisa. Os artigos descartados ou irrelevantes foram aqueles sem foco relacionado à temática “*Spirulina maxima* para fins nutracêuticos”.

Resultado Geral da Busca

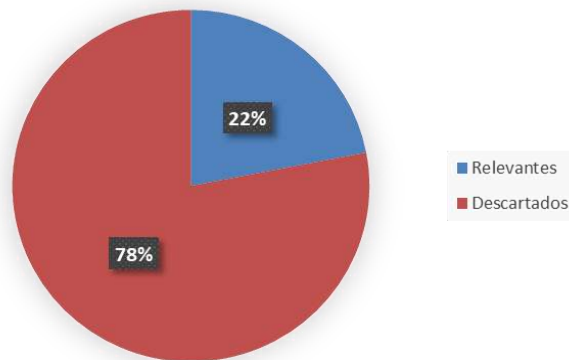


Figura 12 - Artigos Relevantes e Descartados. Fonte: base SCOPUS, período 2012-2018.

A partir do gráfico da Figura 12, observa-se que apenas 22% dos artigos pré-selecionados, aqueles de abordagem direcionada, foram relevantes para o mapeamento. 78% dos artigos foram considerados irrelevantes e descartáveis dado o elevado volume de artigos focados em *S. platensis*, em outras microalgas ou em utilizações irrelevantes da *S. maxima*. Desse modo, a partir dos artigos relevantes foi possível fazer um levantamento tecnológico em âmbito mundial dentro da área do presente trabalho.

A título de exemplificação, o artigo britânico "*Enhanced methane yields from anaerobic digestion of Arthrospira maxima biomass in an advanced flow-through reactor with an integrated recirculation loop microbial fuel cell*" foi selecionado como irrelevante mesmo tendo a *S. maxima* como microalga em foco. Como o título deixa explícito, trata-se de um artigo onde a biomassa da microalga foi utilizada para a produção de biogás através de digestão anaeróbica de metano, o que foge ao escopo de "finalidade nutracêutica" do presente trabalho. Igualmente irrelevante, o artigo coreano "*Efficient recovery of nitrate and phosphate from wastewater by an amine-grafted adsorbent for cyanobacterial biomass production*" utilizou de um método indireto de uso de águas residuais no cultivo de *S. maxima* para evitar contaminações e ser um processo econômico e ambientalmente atrativo, não citando aspectos nutracêuticos em seu trabalho.

A Figura 13 apresenta um gráfico temporal em que há a comparação anual quanto à quantidade de publicações de artigos focados na *S. maxima* no

campo nutracêutico. Lembrando que esses artigos são oriundos da base SCOPUS e foram utilizados para a elaboração do mapeamento tecnológico.



Figura 13 - Quantidade de artigos relevantes publicados por ano. Fonte: base SCOPUS, período 2012-2018.

Ao analisar o gráfico acima, o auge de artigos com relevância para o mapeamento tecnológico ocorreu no ano de 2012, com 29 publicações para esse ano. Nos dois anos seguintes houve redução dramática do número de publicações, com aumento de aproximadamente 50% para o ano de 2015, com 22 publicações mundiais. Como a pesquisa e coleta de dados para este trabalho aconteceu no início do ano de 2018, o valor de 10 publicações não corresponde a um valor completo que contemple a realidade anual, por isso 2018 não é um bom comparativo. No entanto, como o primeiro trimestre do ano apresentou 10 publicações sugere-se uma tendência de um novo auge de publicações para 2018.

Em termos participativos associados aos países dos artigos, a Índia, o México, o Brasil, a Coreia e a Polônia foram os cinco países com maiores números de publicações, dentro do escopo do presente trabalho neste período de 2012 a 2018. Foram 16 (12%), 14 (10%), 13 (9%), 11 (8%) e 10 (7%) publicações, respectivamente, para esses países durante o período mencionado. Em sequência, a China teve 7 (5%) artigos publicados, os E.U.A. 6 (4%) e a Espanha 5 (4%). A Figura 14 ilustra o gráfico de distribuição por país.

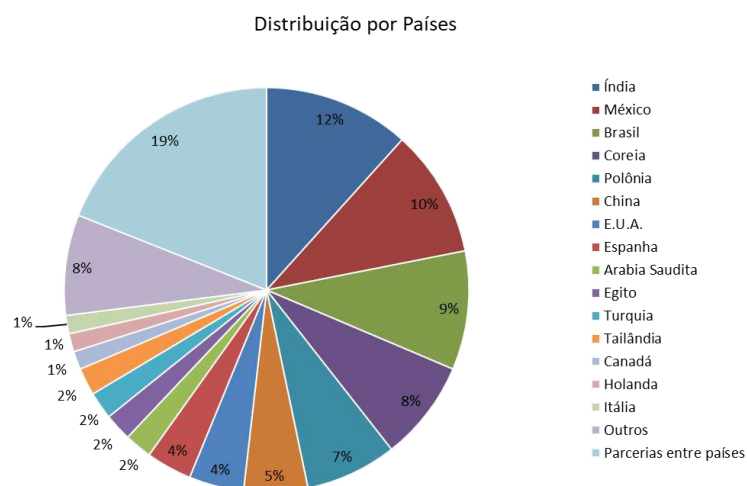


Figura 14 – Distribuição dos artigos publicados por países. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Embora a China seja a maior e mais antiga produtora de microalgas do gênero *Spirulina* (CHEN et al., 2016), o país contribuiu com apenas 5% dos trabalhos publicados no período analisado. Nesse contexto, a Índia mostrou-se uma crescente potência em P&D de posse de 12% dos artigos analisados e o México apresentou muitas pesquisas na área devido à abundância natural de *S. maxima* nesse país.

O Brasil em terceira colocação mostrou-se muito ativo em pesquisas com *S. maxima* para fins nutracêuticos, sustentando uma posição mundial de destaque. As instituições responsáveis por isso foram: Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP); Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade Regional de Blumenau (FURB); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade Federal do Ceará (UFC).

É importante destacar que, dentre todas as universidades brasileiras participantes deste mapeamento, a FURG participou de 9 em 13 publicações brasileiras totais, publicando desde o primeiro ano desta análise (2012) até o primeiro trimestre de 2018, enquanto nenhuma outra universidade brasileira apresentou mais de 3 artigos. Desse modo, a atividade da FURG se destacou

como muito intensa, contínua e importante para a posição do país no cenário mundial, como apresentado na Figura 14.

A contribuição de 8% de atuação ilustrada na Figura 14 é referente a “Outros” e é atribuída a países com apenas 1 publicação de 2012 a 2018 na área do presente trabalho. Os países com apenas 1 artigo estão identificados na Tabela 4.

Tabela 4 - Países com apenas 1 publicação.

Outros	Nº artigos
Argentina	1
Austrália	1
Bangladesh	1
Dinamarca	1
França	1
Grécia	1
Irã	1
Iraque	1
Sri Lanka	1
Taiwan	1
Venezuela	1
TOTAL	11

Fonte: SCOPUS; período 2012-2018.

Determinados artigos foram de autoria compartilhada entre países parceiros, o que ocupa 19% de participação na Figura 14 e é detalhado na Tabela 5 de parcerias internacionais em pesquisas da *S. maxima* com finalidade nutracêutica.

Tabela 5 - Parcerias de pesquisas entre países.

Parcerias	Nº artigos	Parcerias	Nº artigos
Alemanha/Arabia Saudita/Colômbia	2	Coreia/E.U.A.	1
Canadá/E.U.A.	2	Coreia/Indonésia	1
Alemanha/Itália	1	E.U.A./Itália/Japão	1
Alemanha/Suécia	1	E.U.A./Quênia	1
Arabia Saudita/Egito	1	Espanha/Finlândia	1
Austrália/Coreia	1	Espanha/Portugal	1
Austrália/Irã	1	França/México	1
Camarões/Espanha	1	Holanda/Itália	1
Canadá/México	1	Japão/Tailândia	1
Chade/França	1	Nova Zelândia/Tailândia	1
Chade/Itália	1	Polônia/Reino Unido	1
China/Tailândia	1	Polônia/Rússia	1

Fonte: SCOPUS; período 2012-2018.

Por apresentar grande variedade de países depositantes de artigos, a Figura 15 mostra a relevância de cada país no cenário mundial de pesquisa para o período analisado.

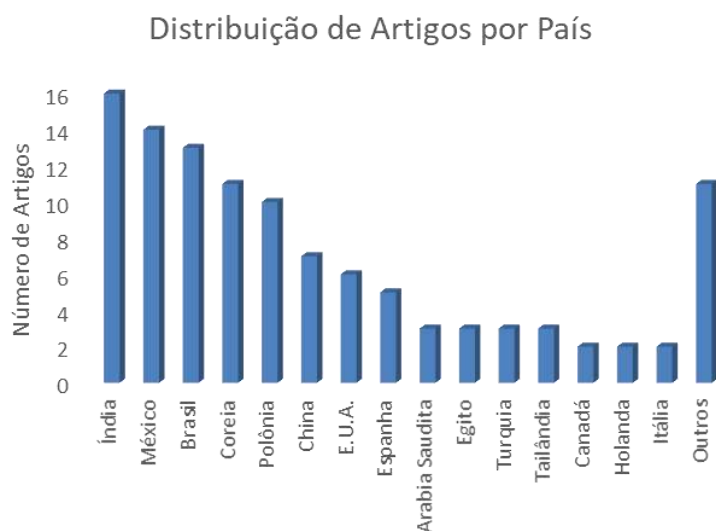


Figura 15 – Distribuição dos artigos publicados por país. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Dentre os 136 artigos utilizados na elaboração do mapeamento tecnológico, 126 foram depositados por Universidades, 45 por Centros de pesquisa e 9 por empresas. Determinados artigos foram publicados a partir de parcerias entre diferentes instituições, como no documento de CHEN et al.

(2016) “*Microalgal industry in China: challenges and prospects*” que relata os desafios e soluções para expandir a produção de microalga comercial na China. O documento de CHEN et al. (2016) foi elaborado a partir de uma parceria entre 2 universidades chinesas, 2 centros de pesquisa chineses e a empresa americana MicroBio Engineering, Inc. Nesse contexto, outra elucidação de parcerias institucionais é o “*Towards synthetic biological approaches to resource utilization on space missions*” produzido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em conjunto com a Universidade da Califórnia e o laboratório Lawrence Berkeley National Laboratory.

A Figura 16 apresenta uma comparação entre a participação de Universidades, Centros de Pesquisa e empresas, no desenvolvimento de pesquisas na área estudada. As universidades lideram as publicações com 70% de participação, enquanto os Centros de Pesquisa têm um percentual de 25% e as empresas participantes uma participação de 5%.

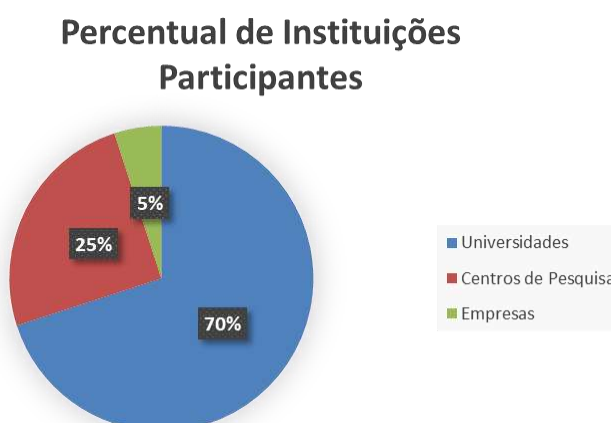


Figura 16 – Participação global nas pesquisas para diferentes tipos de instituições. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

As Universidades que publicaram mais de 1 artigo na área “*Spirulina maxima* para fins nutracêuticos” foram dispostas segundo a Figura 17. Essa figura mostra que a FURG foi a universidade que mais publicou artigos científicos sobre a temática em foco no presente trabalho. Foram nove publicações, sendo seis individuais e três em parceria com as UFRGS (2012), FURB (2017), UFBA e UFSC (2018). As universidades espanholas de Alcalá, Complutense de Madrid e o mexicano Instituto Politécnico Nacional

apresentaram as segundas maiores quantidades de documentos, com 5 publicações cada. Com terceira maior quantidade de publicações, a Pukyong National University da Coreia do Norte desenvolveu 4 trabalhos científicos.



Figura 17 - Quantidade de publicações para universidades com mais de 1 cada. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Tabela 6 - Empresas participantes das publicações de *S. maxima* para fins nutracêuticos.

Empresa	País
Catalytic Diplomacy Inc.	E.U.A.
Ecoflora SAS	Colômbia
FiToLife (Turin)	Itália
Food and Agriculture Organization of the United Nations	Itália
Hôpital de la mère et de l'Enfant	Chade
MicroBio Engineering, Inc.	E.U.A.
NASA	E.U.A.
Taicang Micro Algae Biotechnology Co., Ltd	China
USAID	E.U.A.

Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

A Tabela 6 ilustra os nomes das empresas envolvidas nas pesquisas do presente trabalho, assim como seu país de origem. A Tabela 7 apresenta os Centros de Pesquisa que obtiveram mais de uma publicação, sendo eles

originários da China, Coreia do Sul e Egito. Adicionalmente, a *Chinese Academy of Sciences* (CAS) foi eleita o melhor Centro de Pesquisa do mundo pela *Nature Publishing Index* 2017.

Tabela 7 - Principais centros de pesquisa com número de publicações superior a um.

Centro de Pesquisa	País
Chinese Academy of Sciences	China
Jeju International Marine Science Center for Research & Education (KIOST)	Coreia do Sul
National Research Center	Egito

Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Uma análise sobre o setor P&D mostra, nos últimos 15 anos, a tendência de associação empresa-universidade que tem acontecido em países desenvolvidos à medida em que as empresas começaram a se estabelecer localmente perto das universidades para produzirem inovação em parceria (LUTCHEN, 2018). Por exemplo, em 2016 a GE transferiu seu centro de operações mundial junto com 600 vagas de trabalho em tecnologia para Boston, visando “estar no centro de um ecossistema que dividisse aspirações” segundo o CEO Jeffrey R. Immelt. Não obstante, Boston foi escolhida por muitas empresas gigantes mundiais por sediar 55 instituições de ensino superior (LUTCHEN, 2018).

Nos países em desenvolvimento, uma distinção quanto à interação universidade-Indústria reside no baixo nível de atividades de P&D desenvolvidas pelas empresas. No Brasil, por exemplo, a maior parte das atividades de P&D é realizada pelo setor público, via empresas estatais, instituições de pesquisa e Universidades Federais. (SUTZ, 2000).

Nesse contexto, apesar de o Brasil ter apresentado a universidade que mais publicou artigos mundialmente de 2012 a 2018 no escopo do mapeamento, a integração empresa-universidade neste país é muito frágil e escassa. Como SUTZ (2000) citou em seu trabalho, o investimento vem de empresas públicas e os projetos não costumam sair de pauta e evoluir sem um sólido suporte financeiro que idealmente seria dado pelas empresas multinacionais privadas, como LUTCHEN (2018) citou que ocorre em Boston.

4.2 ANÁLISE MESO DOS ARTIGOS

Nesta fase foram adotadas algumas taxonomias para a realização da análise Meso, as quais também foram utilizadas posteriormente para a elaboração da fase de análise Micro. É importante enfatizar que um mesmo documento pode ter mais de uma classificação Meso, ou seja, um artigo pode abordar ao mesmo tempo mais de uma das taxonomias definidas como: **“Microalgas”**, **“Tecnologia de produção”**, **“Obtenção de Biomassa”**, **“Obtenção de Bioproduto”** e **“Aplicação na área nutracêutica”**.

A taxonomia de classe Meso mais presente nos artigos estudados foi **“Microalgas”**, conforme ilustrado nas Figuras 18 e 19. Dessa maneira, dos 136 documentos analisados 135 continham informações sobre **“Microalgas”**, número próximo ao de **“Aplicação na área nutracêutica”** que esteve presente em 132 artigos. Dentre os demais, o *driver* **“Tecnologia de Produção”** pôde ser observado em 122 artigos e **“Obtenção de Bioproduto”** em 121. **“Obtenção de Biomassa”** foi observado em 40 documentos.

Taxonomias do Nível Meso

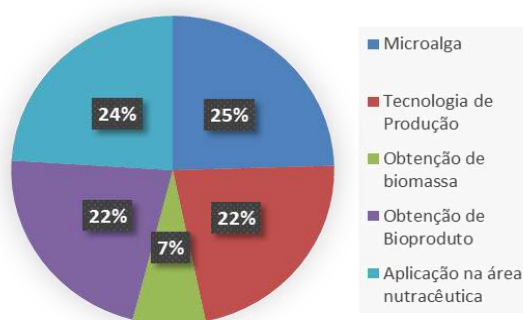


Figura 18 - Participação percentual das taxonomias da análise Meso. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Taxonomias do Nível Meso

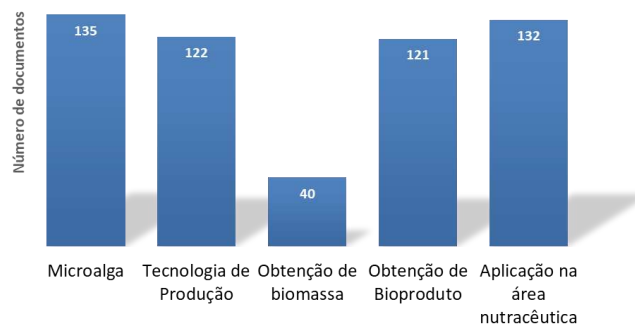


Figura 19 - Participação quantitativa das taxonomias da análise Meso. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Verifica-se que quase todas as taxonomias da análise Meso, exceto a **“Obtenção de Biomassa”**, apareceram com alta frequência nos documentos mostrando-se presentes em pelo menos 90% do total de artigos científicos analisados. As taxonomias **“Microalgas”** e **“Aplicação na área nutracêutica”** estiveram presentes em 99% e 97% dos artigos respectivamente, enquanto que cada *driver* **“Tecnologia de Produção”** e **“Obtenção de Bioproduto”** estiveram aproximadamente em 90% do universo de artigos. Com base nesses resultados, conclui-se que os artigos selecionados e analisados atenderam quase completamente todas as taxonomias propostas para a análise Meso, mas por outro lado apresentaram maior preocupação com as obtenção e aplicação do bioproduto do que com a obtenção da biomassa da microalga em si.

4.3 ANÁLISE MICRO DOS ARTIGOS

A última etapa da análise prospectiva é a Micro, que consiste em aprofundar os itens obtidos na análise Meso. Na análise Micro, cada taxonomia da análise Meso foi detalhada em subdivisões para melhor identificar e apontar as tecnologias utilizadas em *“Spirulina maxima com fins nutracêuticos”*. Além disso, é importante ressaltar que na análise Micro cada artigo pode estar presente em até mesmo todas as subdivisões de uma mesma Meso, ou seja, as taxonomias Micro não são necessariamente

excludentes. Dessa forma, as taxonomias Mesos e suas respectivas subdivisões Micros foram:

- **Microalgas:** “*Spirulina maxima*”; “Outras”; “Cultivo”; “Comercial”; “Células Geneticamente Modificadas”.
- **Tecnologia de Produção:** “Escala laboratorial”; “Escala piloto”; “Escala industrial”; “Estratégias/Otimização”; “Modificação de meio de cultivo”; “Utilização de fontes alternativas de meio de cultivo”; “Variações de aspectos físico-químicos”; Biossorção.
- **Obtenção de Biomassa:** “Pré-tratamento”; “Secagem”; “Estocagem”.
- **Obtenção de Bioproduto:** “Extração da proteína de interesse”; “Extração de outra substância de interesse”; “Purificação”; “Métodos analíticos para quantificação/qualificação”.
- **Aplicação na área nutracêutica:** “Farmacêutica”; “Nutricional”; “Humana”; “Animal”.

4.3.1 MICROALGAS

Nesta taxonomia de Classe Meso foi analisado se o artigo científico apresentava a *S. maxima* como a principal ou uma das principais microalgas de seu escopo, se o documento apresentava outras microalgas em sua pesquisa, quais seriam essas outras e a frequência em que apareciam. Adicionalmente, a forma de obtenção da *S. maxima* para cada artigo também foi observada, ou seja, se ela era cultivada ou adquirida comercialmente. Por fim, investigou-se também se a *S. maxima* havia sofrido ou não alguma modificação genética para atender ao objetivo da pesquisa (Figuras 20 e 21).

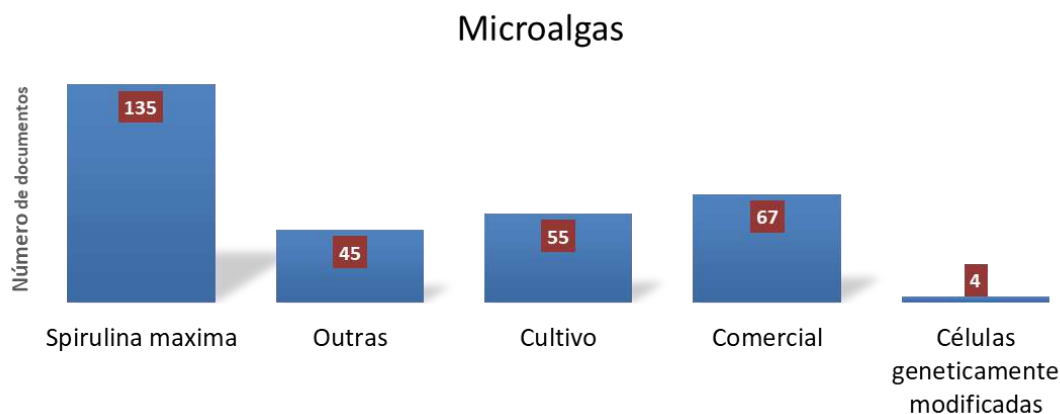


Figura 20 – Quantidade de documentos presentes nas taxonomias de Nível Micro provenientes de “Microalgas”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

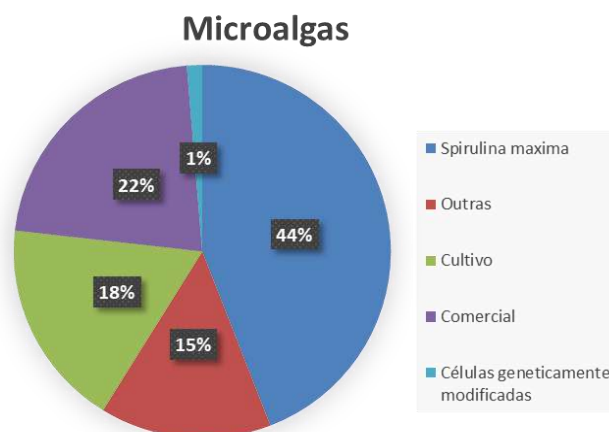


Figura 21 - Percentual de participação de cada taxonomia Micro proveniente da Meso “Microalgas”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

O fato de “*Spirulina maxima*” ter sido presente em 135 artigos mostra que o refinamento e seleção de artigos foi de acordo com o esperado para se obter uma análise confiável. No entanto, nota-se que quanto à sua obtenção, a de forma “Comercial” fez-se presente em 67 (22%) artigos enquanto a “Cultivo” (18%) em 55. Assim, pode ser observado que 13 artigos não citavam o termo obtenção da microalga, uma vez que se tratavam de discussões, pesquisas mercadológicas ou mapeamentos tecnológicos sobre essa microalga.

A taxonomia relativa a “*Outras*” microalgas como foco de pesquisas apareceu em 45 artigos, ocupando 15% da Meso “Microalgas”, o que é considerado dentro do esperado porque muitos estudos fazem trabalhos

comparativos. A taxonomia “Geneticamente modificados” foi encontrada em 1% dos trabalhos analisados, contemplando apenas 4 artigos dos 136 estudados. Isto aponta para o fato de que esse tema ainda não está sendo bem explorado na área do trabalho.

4.3.1.1 “*Spirulina maxima*” e “Outras microalgas”

A Figura 22 mostra que “*Spirulina maxima*” (75%) teve participação 3 vezes maior do que a de “Outras” microalgas (25%), o que significa que a maioria dos artigos citava apenas a *S. maxima* em seu foco de pesquisa.

Para ciência mais detalhada e completa desta análise Micro, foram explicitadas as “Outras” microalgas encontradas em estudos comparativos com a *S. maxima*. Observa-se que em “Outras” foram encontradas microalgas, plantas e frutas. Dessa forma, as microalgas serão avaliadas primeiramente, seguidas da avaliação de plantas e frutas.

***Spirulina maxima* e Outras microalgas**

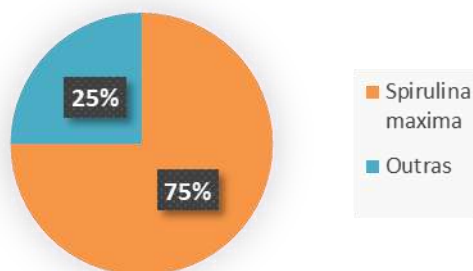


Figura 22 - Participação da *S. maxima* e de outras microalgas no total de artigos analisados. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Outras Microalgas

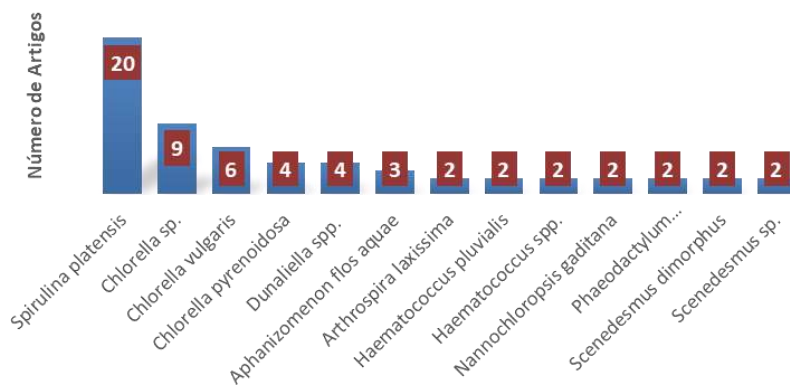


Figura 23 - Nomes e a quantidade de artigos referentes às “Outras” microalgas que apareceram em mais de 1 documento. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

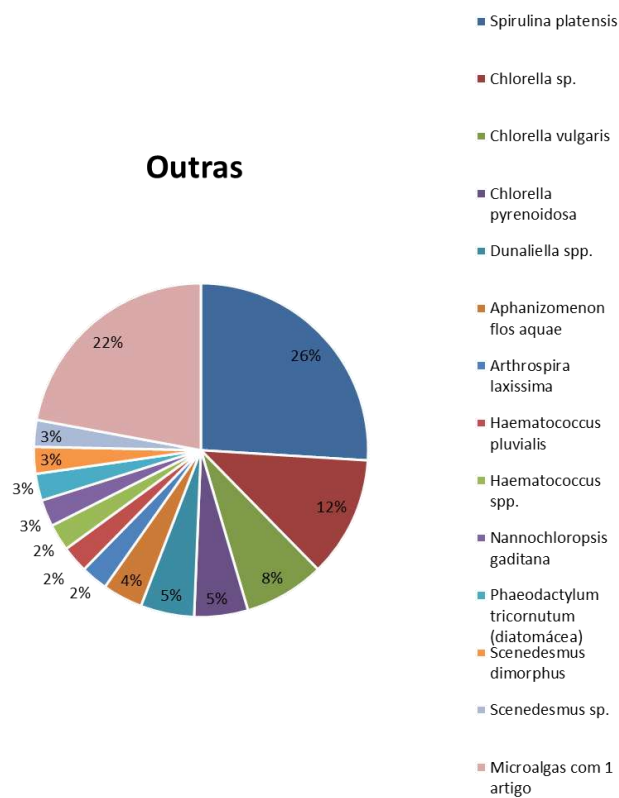


Figura 24 - Percentual participativo de microalgas na taxonomia “Outras” da Classe Micro. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Tabela 8 - Especificação de “Outras” microalgas que apareceram apenas em um artigo.

OUTRAS com 1 artigo	
<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Microcystis sp.</i>
<i>Chlorococcum humicola</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>
<i>Diacronema vlkianum</i>	<i>Sargassum sp.</i>
<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>
<i>Gracilaria cliftonii</i>	<i>Tetradesmus obliquus</i>
<i>Isochrysis galbana</i>	<i>Tetraselmis impellucida</i>
<i>Leptolyngbya sp.</i>	<i>Tisochrysis lutea</i>
<i>Lyngbya sp.</i>	<i>Ulva sp.</i>
<i>Macrocystis sp.</i>	

Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

De acordo com as quantidades ilustradas na Figura 23 e na Tabela 8, foram encontradas 77 “Outras” incidências em artigos científicos para 30 espécies diferentes de microalgas. De acordo com as Figuras 23 e 24, há destaque para a microalga *S. platensis* por ter estado presente em 20 documentos e para a microalga *Chlorella sp.* por ter participado de 9 documentos, portanto participaram respectivamente de 26% e 12% das análises gerais comparando-as a todas as demais microalgas fora do escopo do presente trabalho. As microalgas muito incidentes em artigos comparativos com a *S. maxima* demonstraram ativa participação em suplementos e em pesquisas destinadas ao mercado nutracêutico. As espécies mais competitivas com a *S. maxima* foram a *S. platensis* e as microalgas dos gêneros *Chlorella* e *Dunaliella*, com 20, 19 e 4 artigos, nessa ordem.

Adicionalmente, a Figura 25 ilustra algumas plantas e frutas que foram observadas em 8 documentos comparando os seus efeitos nutracêuticos com os da *S. maxima*. Nesse contexto, sete organismos foram observados com dois documentos para a *Garcinia cambogia* (fruta oriunda do sul da África). Os artigos contendo *Garcinia cambogia* foram “*High-Throughput Methodology for the Determination of Carbamates in Food Supplements by UHPLC–MS/MS*” e “*Lead and cadmium in functional health foods and Korean herbal medicines*”, correlacionando-a como suplemento alimentar e discutindo comparações e análises que envolviam a *S. maxima*.

Outras: Plantas e Frutas

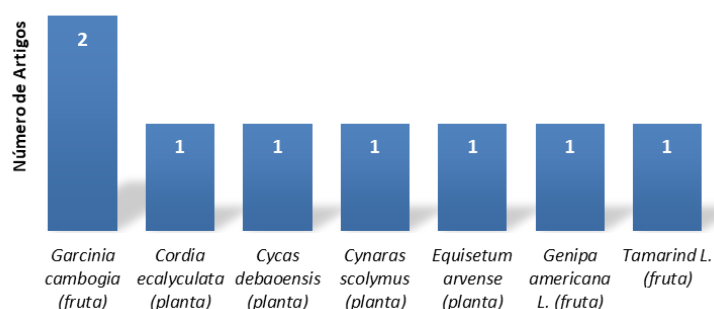


Figura 25 - Incidência do uso de plantas e frutas em artigos que as comparavam com a *S. maxima* no mercado nutracêutico. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

4.3.1.2 “Cultivo” x “Comercial”

As taxonomias “Cultivo” e “Comercial”, de Nível Micro, buscaram avaliar a procedência da *S. maxima* retratada em cada documento analisado. A análise comparativa dessas taxonomias está representada na Figura 26 e a taxonomia “Cultivo” apareceu com uma contribuição de 45%, enquanto que a taxonomia “Comercial”, com 55% dos documentos onde a procedência foi citada. Isso significa que, na maioria dos trabalhos analisados, as análises de qualidade e/ou quantificações do produto de *S. maxima* foram realizadas com a biomassa comercial. O maior uso de biomassa comercial em pesquisas ocorre devido à produção de biomassa em grandes escalas requisitar elevados volumes de produção e altos custos (RUIZ et al., 2016).

Obtenção da *Spirulina maxima*

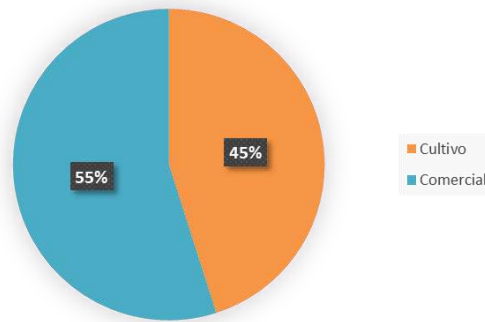


Figura 26 - Comparação entre duas formas de obtenção de *S. maxima* utilizada em artigos, “Comercial” ou “Cultivo”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

4.3.1.3 “Geneticamente Modificadas”

Com o objetivo de avaliar o uso da engenharia genética na transformação de cepas de *S. maxima* para utilização como produtos nutracêuticos, a taxonomia “Geneticamente Modicadas” de Nível Micro foi criada.

A Figura 27 mostra que dos 136 documentos analisados apenas 4 apresentaram modificação genética da microalga para otimizações desejáveis, o que representa 3% dos documentos.

O artigo “*Biomass and terpenoids produced by mutant strains of Arthrospira under low temperature and light conditions*” é um exemplo de artigo analisado onde houve modificação genética da *S. maxima* objetivando torná-la suscetível ao cultivo em região de baixas temperaturas, aumentar o tempo de cultivo sazonal e reduzir custos. Em outra vertente, o artigo “*Boosting the Food Functionality (In Vivo and In Vitro) of Spirulina by Gamma Radiation: An Inspiring Approach*” objetivou aumentar ao nível máximo possível propriedades físico-químicas da *S. maxima* de interesse utilizando dose de radiação de 15 kGy.

Naturais vs. Geneticamente Modificados

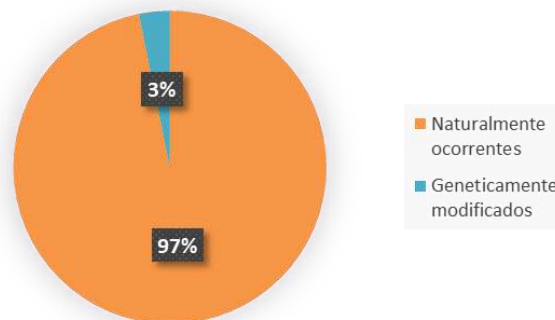


Figura 27 - Percentuais de *S. maxima* naturalmente ocorrente e geneticamente modificada, de acordo com os artigos analisados. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

4.3.2 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO

A taxonomia “Tecnologia de Produção” de Nível Meso abrange as taxonomias de Nível Micro: escalabilidade, estratégias de otimização, modificação do meio de cultivo, utilização de fontes alternativas como meio de cultivo, variações de aspectos físico-químicos e bioabsorção. Dentre essas taxonomias definidas, se destacam as “Escala laboratorial” e “Estratégias/Otimização”, sendo observadas em 87 (34%) e 90 (36%) documentos, respectivamente (Figuras 28 e 29).

Tecnologia de Produção

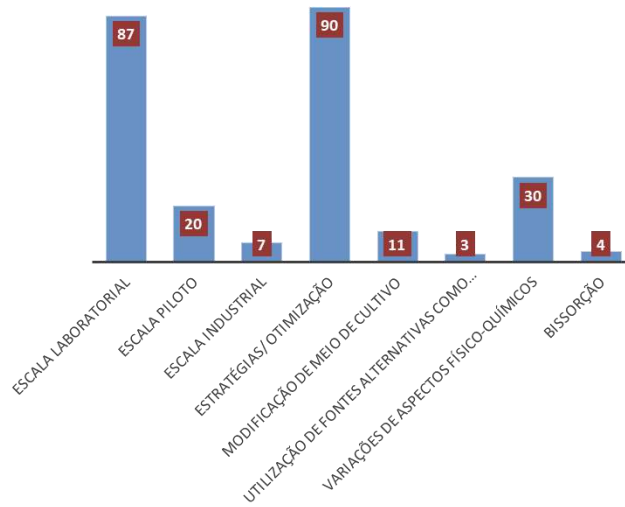


Figura 28 - Quantidade de artigos em que cada taxonomia esteve presente representando a Meso Tecnologia de Produção. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Tecnologia de Produção

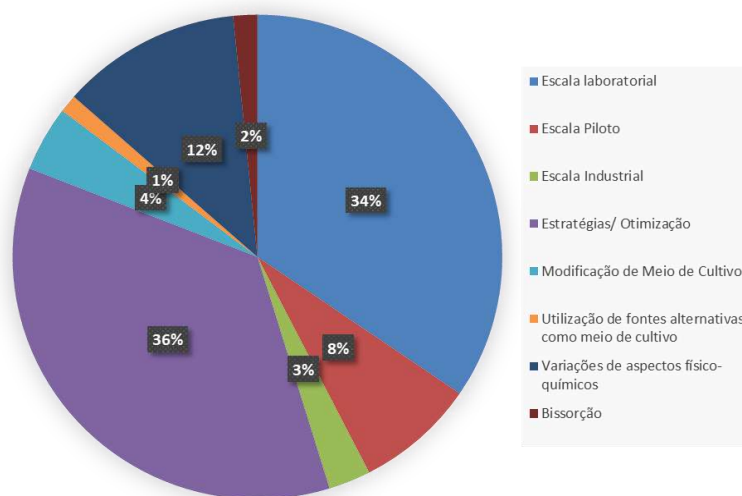


Figura 29 - Percentual de cada taxonomia pertencente a Meso Tecnologia de Produção. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Os resultados mostram que 34% das pesquisas realizadas ocorreram em escala laboratorial e que 8% ocorreram em escala piloto de produção. Além disso, apenas 3% dos trabalhos foram realizados em escala industrial, o que indica uma pequena integração entre P&D e empresas. Variações de aspectos físico-químicos do cultivo (pH, temperatura, luminosidade etc.) foram

observadas em 12% dos documentos analisados e estão associados a otimizações ou extrações de substâncias de interesse. As taxonomias Micro “Bissorção”, “Modificação de meio de cultivo” e “Utilização de fontes alternativas como meio de cultivo” foram observadas em 2%, 4% e 1% dos documentos analisados, respectivamente.

4.3.2.1 “Escalabilidade”

A Figura 30 mostra que a escala laboratorial de cultivo pode ser observada em 76% dos documentos analisados, seguida das escalas piloto e industrial, que foram observadas em 18% e 6%, respectivamente. Acredita-se numa tendência de aumento progressivo nas escalas piloto e industrial à medida em que as empresas estão tendendo a se aproximar das universidades nos últimos anos (LUTCHEN, 2018).

Um ponto forte deste mapeamento foi a obtenção da predominância de artigos em escala laboratorial, pois vê-se o quão nova ainda está esta área no mercado. Isso refletiu em outras taxonomias, como na pouca quantidade estudos de *S. maxima* geneticamente modificada e no horizonte de implementação de produtos discutido ao fim deste trabalho.

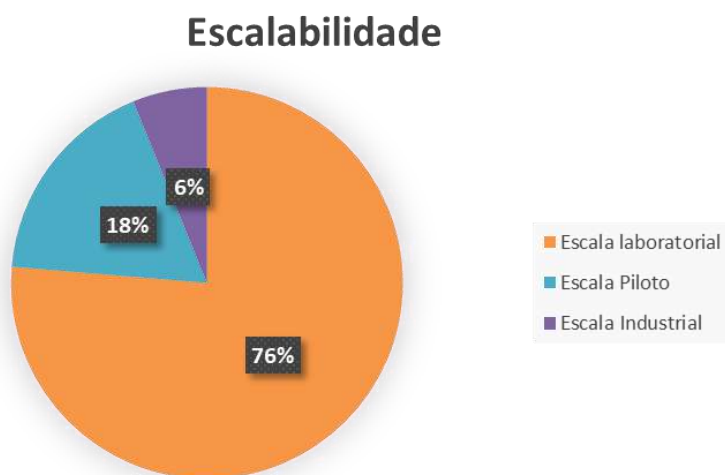


Figura 30 - Comparação entre os tipos de escalabilidade de cultivo. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Além da escala de cultivo, cinco equipamentos se destacaram por aparecerem com constância nos documentos analisados: Frascos erlenmeyers;

Tanques “lagos-pista” (*raceway*) abertos; Tanques circulares; Fotobiorreatores e Lagos em estufas. Embora documentos apontem a utilização de fotobiorreatores industriais como produtores de biomassa de microalgas de maior qualidade devido ao controle de contaminações e variáveis físico-químicas, normalmente o seu custo de operação é mais elevado do que o de produção em lagos e tanques de cultivo, isso ocorre principalmente devido a gastos energéticos (NORSKER et al., 2011).

Como exemplificação de Planta Piloto tem-se o documento “Effect of *Spirulina* addition on the physicochemical and structural properties of extruded snacks” da FURG que utilizou *S. maxima* isolada da lagoa Mangueira e produzida na Planta Piloto do Laboratório de Engenharia Bioquímica, localizado no Rio Grande do Sul. O objetivo do trabalho foi a adição de *S. maxima* em biscoitos.

4.3.2.2 “Estratégias/Otimização e Variações de aspectos físico-químicos”

Na taxonomia “Estratégias/Otimização” da classe Micro, estratégias com o objetivo de melhorar alguma característica desejada foram observadas em 90 documentos analisados. Os documentos apresentaram otimizações matemáticas, através de modelagens e algoritmos, ou estratégias físico-químicas diversas para obter otimização de certo aspecto almejado e/ou redução de custos do processo produtivo. As principais estratégias utilizadas foram baseadas em variações de Aeração, Agitação, pH, luminosidade, fluorescência, condutividade, temperatura, etc. (COLLA et al., 2004; TOYOSHIMA et al., 2015). Seguem alguns exemplos de estratégias de condução de cultivo, citados nos artigos que englobam este trabalho:

- Bateladas repetidas (MASSA et al., 2017)
- Modo semicontínuo (MORAIS et al., 2009)
- Cultivo em bolsas de polietileno de 70 L, colhido durante a metade da fase estacionário (PLANAS et al., 2017)
- Secagem em bomba de calor ou em esteiras aquecidas (COSTA et al., 2015)
- Adição de 0,03% CO₂ sob agitação (BAKY & BAROTY, 2016)

- Uso de bolsas de polietileno com baixa luminosidade ($150 \mu\text{moles de f\u00f3tons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e sob temperatura \u00f3tima para a *S. m\u00e1xima* ($34 \text{ }^\circ\text{C}$) (BATISTA et al., 2013).
- Luz natural e bombas submersas 24h/dia (JESUS et al., 2018)
- Tanque agitado coberto por estufa, equipada com sistema de separa\u00e7\u00e3o de biomassa (6 filtros-bolsa, tamanho m\u00e9dio de poro igual a $6 \mu\text{m}$ (Desjoyaux Co, Ltd.), sistema de mistura com bombas, mais 6 lâmpadas (300W Astral Pool, Poland) (SAEID et al., 2016).

O artigo chin\u00eas “*Detection in situ of carotenoid in microalgae by transmission Spectroscopy*” de SHAO et al. (2015) utilizou otimiza\u00e7\u00e3o por modelagem matem\u00e1tica para o desenvolvimento de um novo m\u00e9todo algor\u00edtmico mais preciso de detec\u00e7\u00e3o de carotenoides em *S. maxima*.

O trabalho “*Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products*” de BATISTA et al. (2013) explicita a estrat\u00e9gia de cultivo de *S. maxima* para obten\u00e7\u00e3o de melhor biomassa. O cultivo come\u00e7ou em biorreator Airlift de 1L e foi escalonado para bolsas biorreatores de polietileno ($40 \text{ cm } \varnothing$) de 25 L de capacidade com aera\u00e7\u00e3o de ar filtrado sem adi\u00e7\u00e3o de CO_2 , a baixa luminosidade ($150 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e temperatura \u00f3tima de 34°C .

Embora apenas 30 documentos tenham abordado a taxonomia Micro “*Varia\u00e7\u00f5es de Aspectos f\u00edsico-qu\u00edmicos*”, pode-se observar o quanto esses aspectos s\u00e3o essenciais para a obten\u00e7\u00e3o de um cultivo com caracter\u00edsticas desej\u00e1veis, fator evidenciado atrav\u00e9s das estrat\u00e9gias estabelecidas para otimiza\u00e7\u00e3o e condu\u00e7\u00e3o (COLLA et al., 2004; TOYOSHIMA et al., 2015).

4.3.2.3 “*Modifica\u00e7\u00e3o de Meio de Cultura e “Utiliza\u00e7\u00e3o de fontes alternativas como meio de cultivo”*”

O meio de cultura utilizado para cultivo e produ\u00e7\u00e3o de biomassa de *S. maxima* foi relatado como um dos aspectos mais custosos do processo de produ\u00e7\u00e3o. Embora o meio de cultura mais utilizado seja o Zarrouk, outros meios de cultura e novas composi\u00e7\u00f5es t\u00eam sido testados visando reduzir os

custos do processo de produção (TARKO et al., 2012). A Tabela 9 mostra outras opções de meio utilizadas pelos artigos.

Tabela 9 - Meios de Cultura utilizados para a produção de biomassa de *S. maxima*.

Meio de Cultura	Referência
Zarrouk culture médium	GIORGIS et al., 2017
Schlösser médium	SAEID et al., 2013
SOT medium (sterile Society of Toxicology)	KIM et al., 2015
BG11	CHAORUANGRIT et al., 2018
RM6 medium	TARKO et al., 2012
1/2 SWES	MASSA et al., 2017
CHU13	MASSA et al., 2017

Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018

As taxonomias “*Modificação de Meio de Cultura*” e “*Utilização de fontes alternativas como meio de cultivo*” foram observadas em 11 e 3 documentos, respectivamente. Embora a frequência do aparecimento dessas taxonomias tenha sido baixa, as modificações de meio de cultura que foram observadas foram em termos de: variações da concentração de NaNO_3 (1,25; 2,50 e 5,0 g/L) no meio de cultura; estresse salino; efeito da presença de silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{Si}$) no meio de cultura.

A taxonomia “*Utilização de fontes alternativas como meio de cultivo*” foi observada na pesquisa “*Pretreatment of brewery effluent to cultivate Spirulina sp. for nutrients removal and biomass production*” de LU et al. (2017). O trabalho deste autor tratava de mudar o perfil nutritivo de efluente de cervejaria através de diferentes concentrações de nitrato e digestão anaeróbica de *S. maxima*.

4.3.2.4 Biossorção

As microalgas são ótimas matrizes para biossorção, possibilitando a manipulação de seu valor nutricional na medida em que micronutrientes podem se ligar a sua superfície celular. Essa taxonomia foi observada em quatro trabalhos com o objetivo de se obter novos aditivos para rações animais. Nesse sentido, a administração de uma ração formulada a partir de *S. maxima* enriquecida para animais de corte resultaria em enriquecimento de produtos

alimentícios para humanos (SAEID et al., 2016). Na Figura 31 é ilustrada a proporção em que os micronutrientes foram utilizados nos trabalhos de bioissorção. Os metais encontrados são Co(II), Fe(II), Cu(II), Mn(II) e Zn(II), normalmente usados em combinações.

**Metais Comuns em Bioissorção
com *Spirulina maxima***

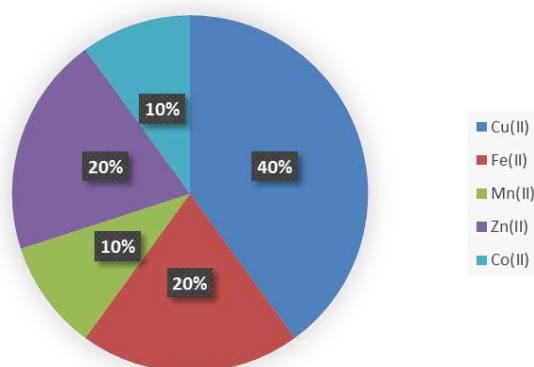


Figura 31 - Frequência de aparição em artigos para os metais utilizados em bioissorção. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

A utilização do metal Cu(II) foi a mais relevante, sendo observada em 100% dos trabalhos analisados que apresentavam esse tema. A utilização de Fe(II) e Zn(II) foi observada em 50% dos documentos e a utilização de Co(II) e Mn(II), em 25% dos trabalhos. Também foi observado a utilização de mais de um metal para bioissorção na superfície da microalga (SAEID et al., 2013a, 2013b, 2016; DMYTRYK et al., 2014).

4.3.3 “Obtenção de Biomassa”

A Figura 32 ilustra a divisão e participação das três taxonomias oriundas da presente Meso. A taxonomia “Secagem” foi observada em 54% dos documentos presentes em “Obtenção de Biomassa”, enquanto que as taxonomias “Estocagem” e “Pré-tratamento” foram observadas em 37% e 9% dos documentos, respectivamente. A Meso “Obtenção de Biomassa” foi observada em 40 documentos e as suas taxonomias de Nível Micro “Secagem”, “Estocagem” e “Pré-tratamento” foram observadas em 38, 26 e 6

documentos, respectivamente. Nota-se que “*Secagem*” esteve presente em 95% dos documentos da presente Meso.

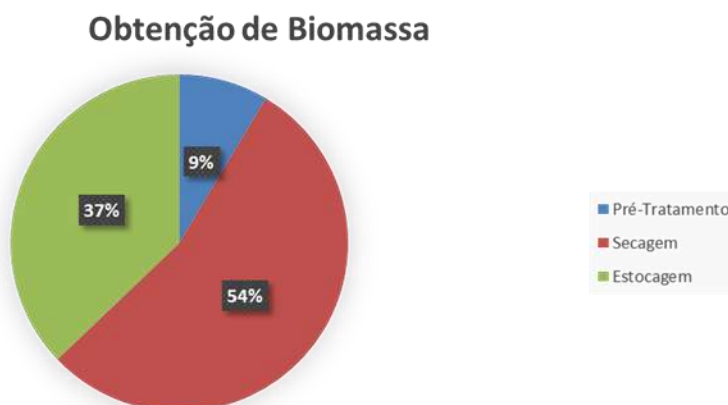


Figura 32 - Frequência das taxonomias da Meso “Obtenção de Biomassa”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

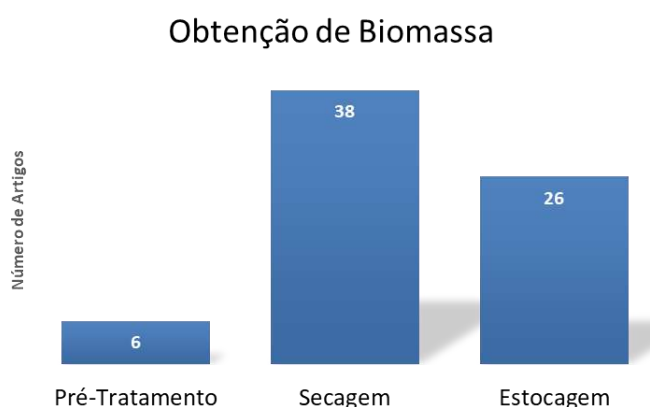


Figura 33 - Quantidade de artigos encontrados para cada taxonomia Micro de “Obtenção de Biomassa”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

As etapas de secagem e estocagem da biomassa são fundamentais para a obtenção do produto, já que a *S. maxima* é comercializada em pó, na maioria dos casos. A etapa de pré-tratamento foi utilizada nos casos onde o meio de cultura apresentava em sua composição água de lagos, efluentes de cervejarias e biocombustíveis (HOSSAIN et al., 2016; SOLTANI et al., 2016; MARTINEZ-PALMA et al., 2016). Os tipos de pré-tratamentos observados foram filtração, eliminação de polifenóis através de extrações com acetona, cromatografia para separação de ácidos graxos, e diluição com adição de nitrato e digestão anaeróbia (CARCEA et al., 2015; LU et al., 2017).

Como a “Secagem” foi uma taxonomia de elevada relevância devido à sua incidência em 95% dos artigos desta Meso, vale citar o artigo brasileiro de COSTA et al. (2015): “*Physicochemical characteristics of the Spirulina sp. dried in heat pump and conventional tray dryers*”. Essa pesquisa comparou a biomassa de *S. maxima* obtida entre dois métodos de secagem: o secador de bomba de calor e secador convencional de bandeja. Concluiu-se que o secador de bomba de calor é mais eficiente em preservar as características químicas da *S. maxima* como biomassa e apresenta maiores teores de produtos de alto valor após a purificação. Desse modo, tal estudo comprova que o método de secagem é decisivo na qualidade do produto desidratado.

4.3.4 “Obtenção de Bioproduto”

Esta Meso foi dividida em quatro taxonomias de classe Micro: "Extração de proteína de interesse", "Extração de outra substância de interesse", “Purificação” e “Métodos Analíticos de Quantificação/Qualificação”. De acordo com a Figura 35 essas taxonomias compartilharam a sua participação na presente Meso em taxas de 17%, 19%, 16% e 48%. A Meso “Obtenção de Bioproduto” foi observada em 127 documentos e as taxonomias Micro foram observadas em 44 para "Extração de proteína de interesse", 51 para "Extração de outra substância de interesse", 43 para “Purificação” e 127 documentos para “Métodos Analíticos de Quantificação/Qualificação”, como demonstra a Figura 34. Dessa forma, a taxonomia “Métodos Analíticos de Quantificação/Qualificação” esteve presente em 100% dos artigos desta Meso.

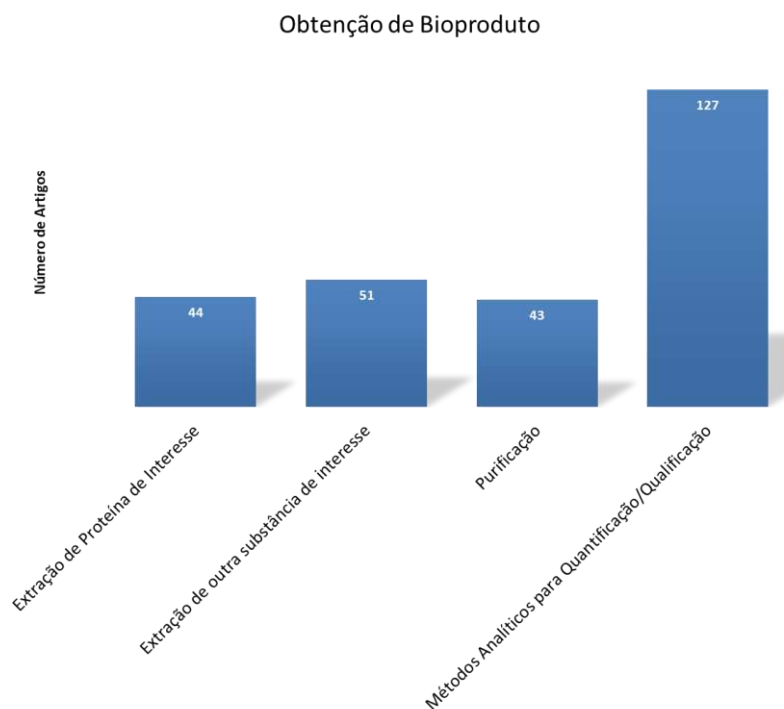


Figura 34 - Quantidade de artigos de cada taxonomia da Meso "Obtenção de Bioproduto".
 Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

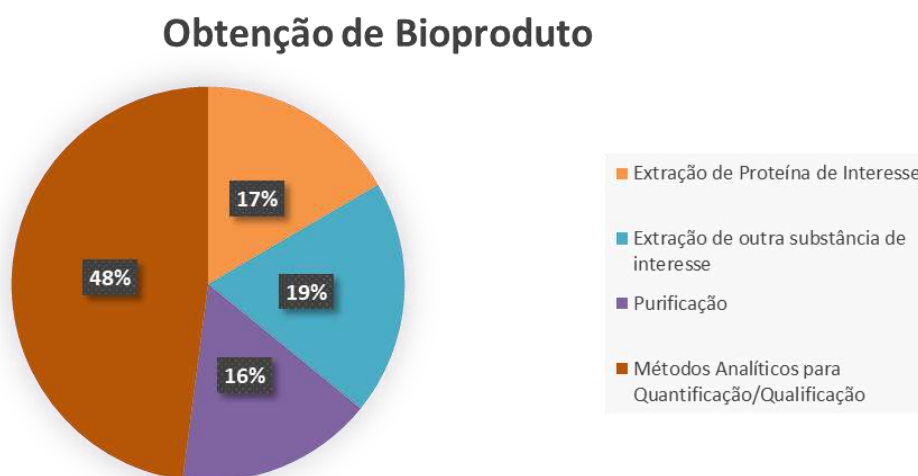


Figura 35 - Comparação percentual de participação entre as taxonomias da Meso "Obtenção de Bioproduto". Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Em geral, a purificação é uma etapa diretamente associada com as taxonomias de extração, pois garante a segurança e a qualidade do produto que foi extraído da biomassa. Alguns dos métodos para purificação mais encontrados foram as cromatografias RPLC (*Reversed Phase Chromatography*) e a Cromatografia por troca iônica e GC (*Gas*

Chromatography) (WOJCIESZEK et al., 2016; SATORA et al., 2015; LI et al., 2017).

Um dos trabalhos do mapeamento que retratam a extração e a purificação da ficocianina, pigmento utilizado como corante alimentício altamente presente em *S. maxima*, é o “*Stability of phycocyanin extracted from Spirulina sp.: Influence of temperature, pH and preservatives*”. CHAIKLAHAN (2012) buscou condições ótimas de pH e temperatura para atingir a estabilidade da ficocianina após extração. A extração em si foi feita utilizando 100 mM de tampão fosfato (pH 7,0) à uma concentração de 1:100 (w/v) com contínua agitação a 300 rpm sob temperatura ambiente durante 4 horas. A amostra foi centrifugada a 4800 x g durante 15 minutos para remover resíduos celulares. O extrato obtido foi filtrado três vezes por membranas de diferentes tamanhos sob diferentes fluxos até obtenção de ficocianina em pó após liofilização.

A taxonomia “*Métodos Analíticos de Quantificação/Qualificação*” esteve presente em 94% de todos os artigos analisados no presente mapeamento, mostrando-se uma taxonomia importante. O trabalho “*Quantification of Phytochemicals from Commercial Spirulina Products and Their Antioxidant Activities*” realizado na Arabia Saudita visou traçar o perfil de ácidos graxos poli-insaturados, açúcares, aminoácidos livres e polifenóis de 37 microalgas comerciais diferentes do gênero *Spirulina* usando cromatografia gasosa e cromatografia líquida de alta eficiência (AL-DHABI & ARASU, 2016).

4.3.5 “*Aplicação na Área Nutracêutica*”

Nutracêuticos são suplementos alimentares formulados a partir de microalgas de elevado valor nutricional e amplo campo de aplicações, sendo considerados produtos benéficos à saúde. Dentro desse escopo, a *S. maxima* vem apresentando efeitos biológicos bastante promissores (JAŚKIEWICZ & RZYMSKI, 2017; GELLENBECK, 2012).

A presente Meso foi dividida em quatro taxonomias de classe Micro: “Farmacêutica”, “Nutricional”, “Humana” e “Animal”. De acordo com as Figuras 36 e 37, as taxonomias compartilharam a participação na presente Meso com 82 (26%) arquivos para “Farmacêutica”, 102 (32%) para “Nutricional”, 113

(35%) para “Humana” e 24 (7%) para “Animal”. Os critérios de seleção determinaram que o produto poderia ter foco único “Nutricional” ou “Farmacêutico”, além de foco em ambos sendo considerado “Nutracêutico”.

Aplicação na Área Nutracêutica

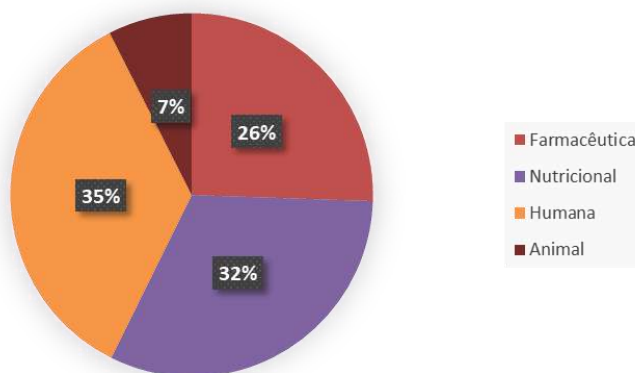


Figura 36 – Comparação da atuação de cada taxonomia na Meso “Aplicação na área Nutracêutica”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Aplicação na Área Nutracêutica

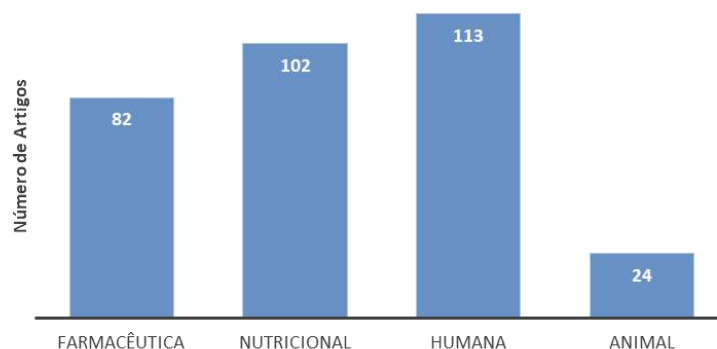


Figura 37 - Quantidade de artigos de cada taxonomia da Meso “Aplicação na área Nutracêutica”. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Como ilustrado na Figura 37, a avaliação de produto mostrou que as aplicações nas áreas nutricional e farmacêutica foram observadas em 55% e 45% dos documentos, respectivamente, como ilustrado na Figura 36. Esse resultado está dentro do esperado devido à tendência de unir os conceitos “Farmacêutico” e “Nutricional” no de “Nutracêuticos”, fazendo com que as categorias separadas tenham pesos participativos similares. Outra análise é

que alguns artigos focaram apenas nos perfis nutricionais da *S. maxima*, por isso percentual maior para este.

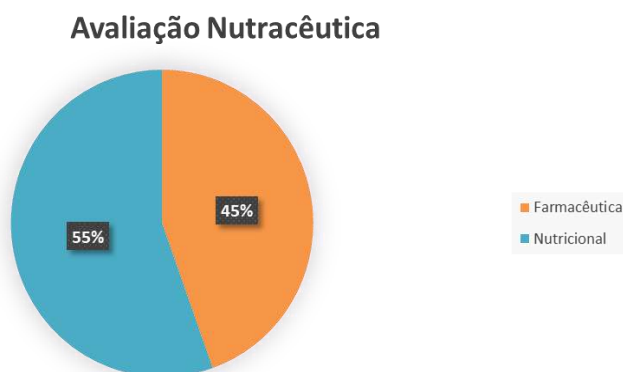


Figura 38 - Comparação entre as aplicações farmacêutica e nutricional dos bioprodutos. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Um documento com foco nutracêutico foi a pesquisa indiana “*Spirulina maxima and its effect on antioxidant activity in fructose induced oxidative stress with histopathological observations*” que administrou oralmente suplementos de *S. maxima* em ratos diabéticos sob estresse de glicose durante período de 30 dias. Os resultados mostraram que a administração de *S. maxima* teve efeitos protetores e terapêuticos contra anormalidades de indução de glicose em ratos diabéticos. Outro efeito dessa pesquisa foi que a suplementação de *S. maxima* mostrou-se efetiva em reestabelecer atividade antioxidante além de efeito antidiabético em ratos com diabetes tipo 2 (JAROULIYA et al., 2015). Pesquisas como essa mostram como a *S. maxima* tem importante potencial nutracêutico.

Embora as áreas de “Avaliação Nutracêutica” tenham ocorrido com pouca diferença percentual entre “Nutricional” e “Farmacêutico”, a avaliação do público-alvo mostrou que 82% de artigos científicos se referiram ao consumo humano e 18% ao consumo animal (Figura 39).

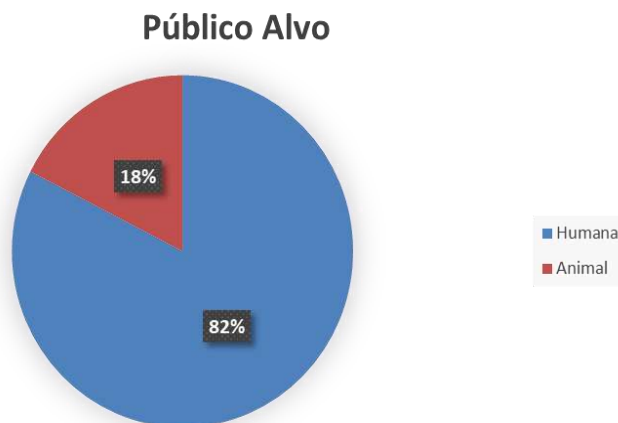


Figura 39 - Comparação entre os públicos-alvo humano e animal para os bioprodutos. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

A maior participação em pesquisas humanas se dá pois elas possuem maior valor comercial e importância financeira do que o mercado animal. O preço dos produtos nutracêuticos é tão elevado quanto 120 US\$/kg e o volume de mercado é reduzido a 70 milhões de dólares (WIJFFELS, 2008). No caso de rações animais, o preço do produto é estimado em 10 US\$/kg correspondente a um elevado volume de mercado que excede 4 bilhões de dólares (WIJFFELS, 2008).

Nesse contexto, o setor de P&D tem buscado novos métodos de produção e redução de custos dos atuais processos de obtenção de *S. maxima*, visando torná-la competitiva com produtos tradicionais, que além de já estabelecidos no mercado possuem preço reduzido (RUIZ et al., 2016).

4.4 Visão Panorâmica Geral de Países e Fornecedores de biomassa de *Spirulina maxima*

De acordo com o presente trabalho, a produção de biomassa de *S. maxima* para o mercado nutracêutico foi liderada pela Índia, que contribuiu com 26% da produção distribuída por 11 fornecedores. A China contribuiu com 16% da produção distribuída por 7 fornecedores e os Estados Unidos contribuíram com 9% da produção distribuída por 4 fornecedores (Figuras 40 e 41). A Figura 42 mostra que a Índia se destacou tanto na produção de biomassa quanto no

padrão de publicações na área. Dessa forma, a Índia pôde ser considerada como o principal país no processo de integração entre empresa e P&D.

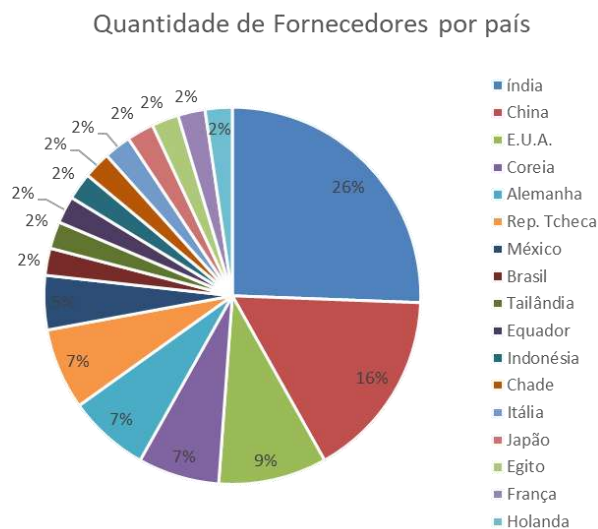


Figura 40 - Comparação entre países quanto à quantidade de fornecedores de *S. maxima*.
Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

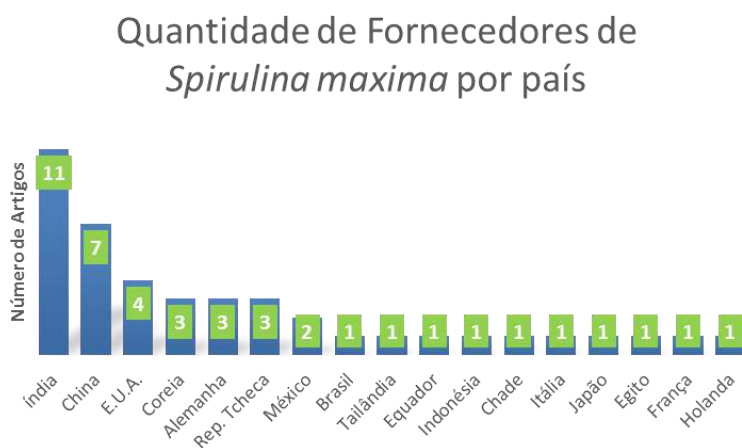


Figura 41 - Quantidade de fornecedores de *S. maxima* por país de acordo com pesquisas no ramo nutracêutico. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

Países fornecedores de *Spirulina maxima* versus Frequência em Artigos

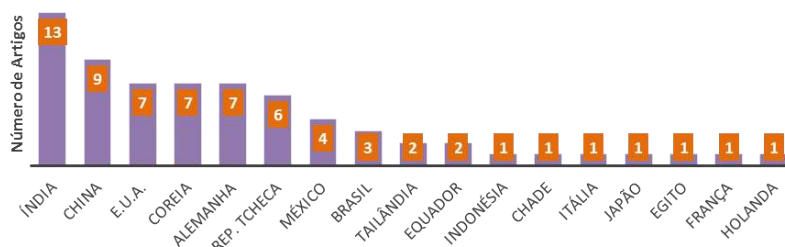


Figura 42 - Correlação entre os países fornecedores de *S. maxima* e a quantidade de artigos publicados por eles. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

4.5 Avaliação Temporal

O levantamento da avaliação temporal das pesquisas foi realizado com base em critério subjetivo de acordo com análises das conclusões finais dos autores de cada artigo. Com isso, pôde-se classificar o horizonte de implementação dos bioprodutos de cada artigo como longo ou curto prazo. Artigos que não tratavam de desenvolvimento de bioprodutos ou de novos processos, ou seja, aqueles que tratavam apenas de análises bioquímicas de produtos já existentes por exemplo, não foram classificados nestas taxonomias.

Aproximadamente 61% das pesquisas selecionadas foram avaliadas num estágio de desenvolvimento de longo prazo, enquanto que aproximadamente 39% foram de curto prazo (Figura 44). As avaliações de longo prazo e curto prazo foram observadas em 72 e 45 documentos, respectivamente (Figura 43). A distribuição apresentada aponta para o fato de que a maioria das pesquisas ainda se encontram nos estágios iniciais de desenvolvimento, seja na área tecnológica, de processos ou inovação.

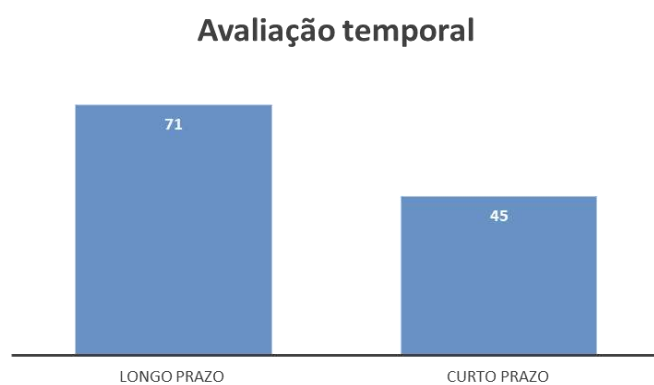


Figura 43 - Avaliação temporal das pesquisas constituintes dos artigos estudados. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

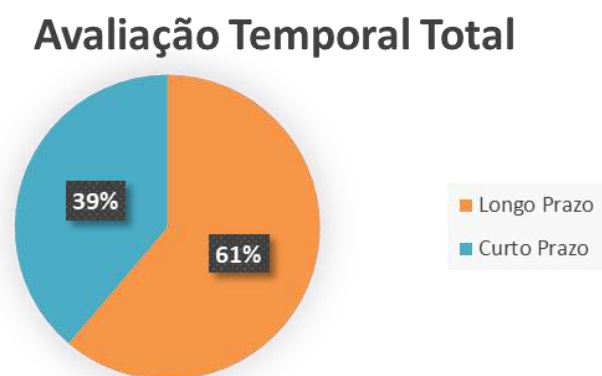


Figura 44 - Comparação entre avaliação temporal das pesquisas dos artigos analisados. Fonte: base SCOPUS; período 2012-2018.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao caráter promissor da biomassa de *S. maxima* é esperado que os profissionais atuantes em diversos setores como Indústrias, Universidades e Centros de Pesquisa, demonstrem interesse em desenvolver novas tecnologias e processos utilizando este microrganismo. De acordo com o cenário atual, pesquisadores de diferentes países têm se preocupado em ampliar o desenvolvimento desta área através de publicações, com o intuito de elucidar e esclarecer características não só da microalga como de processos que a envolvam para o desenvolvimento de bioprodutos e técnicas de produção mais promissoras.

Com base na análise das taxonomias Micro dos documentos, novas estratégias visando o melhoramento de tecnologias envolvidas no cultivo, no tratamento da biomassa e do produto, e técnicas de controle de qualidade e segurança foram observadas. Além da utilização da biomassa na área nutracêutica, esta análise apontou que o público-alvo preferencial é o humano.

Estratégias visando um processo de produção com menor custo-benefício têm sido desenvolvidas com o objetivo de tornar o processo atrativo para o investimento de empresas. Pesquisas de inovação, que envolvem longo prazo, estão ainda em curso, porém, ainda há poucas pesquisas relacionadas à manipulação genética das cepas, que tende a aumentar juntamente com o avanço das pesquisas que estão em curso.

Capítulo 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

- Desde 2015 o número de pesquisas na área de “*Spirulina maxima para fins nutracêuticos*” tem aumentado;
- Focos Principais dos Artigos: Otimizações de produção visando melhoramento e inovação de produto, estratégias de extração de biomassa e purificação de nutrientes de elevado valor;
- Nota-se a ascensão da Índia em P&D nesta área do presente trabalho, além das posições de destaque do Brasil e do México, deixando para trás a gigante China;
- A Índia liderou o *ranking* de quantidade de fornecedores de *S. maxima* por país, deixando a China em segunda posição;
- A escala laboratorial é predominante neste estudo, sendo utilizada em aproximadamente 80% dos trabalhos avaliados, o que sugere a imaturidade presente nesta área do presente mapeamento.
- Quanto aos equipamentos utilizados pela maioria dos estudos pilotos e industriais, se destacaram os tanques *raceway*, abertos ao ar livre ou sob estufa, e tanques circulares;
- O maior público-alvo foi humano. Os artigos tratavam-se tanto de fins nutritivos para aumentar a imunidade quanto de trabalhos focados em diabetes, AIDS e câncer;
- Em animais, seja na aquicultura como ração ou em produtores de alimento humano utilizando a biossorção para enriquecimento nutricional, houve significativo desenvolvimento e preocupação com a otimização do uso da biomassa de *Spirulina*;
- A maioria das pesquisas estudadas foram de longo prazo, por ainda estarem escala laboratorial e se tratarem de otimizações e produtos inovadores.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Alicerçado no presente trabalho pode-se distinguir as lacunas tecnológicas a serem exploradas em pesquisas futuras, como por exemplo: exploração da engenharia genética, estratégias de produção de meios de cultivo e equipamentos industriais de reduzido custo, otimização de métodos de separação e purificação etc.

Além dos déficits no setor P&D citados acima, sugere-se desenvolver um mapeamento tecnológico das patentes concedidas e solicitadas, ou um *roadmap* tecnológico verificando tendências entre os principais fornecedores e fabricantes da *S. maxima* no mercado nutracêutico mundial.

REFERÊNCIAS

2017 tables: Institutions | 2017 tables | Institutions | Nature Index.

Disponível em: <<https://www.natureindex.com/annual-tables/2017/institution/all/all>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

AHSAN, N. et al. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 12, p. 1062–1070, 2008.

AL-DHABI, N. A. Heavy metal analysis in commercial *Spirulina* products for human consumption. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 20, n. 4, p. 383–388, 2013.

AL-DHABI, N. A.; VALAN ARASU, M. Quantification of Phytochemicals from Commercial *Spirulina* Products and Their Antioxidant Activities. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, p. 1–13, 2016.

ANDRADE, M. DA R.; COSTA, J. A. V. Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1551–1556, 2008.

ANWER, R. et al. *Spirulina*: possible pharmacological evaluation for insulin-like protein. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, n. 3, p. 883–889, 2013.

ANWER, R.; KHURSHEED, S.; FATMA, T. Detection of immunoactive insulin in *Spirulina*. **Journal of Applied Phycology**, v. 24, n. 3, p. 583–591, 2012.

AYALA, F. Guía sobre el cultivo de *Spirulina*. In: **Biología de Microorganismos Fotoautótrofos**. Motril, Granada, España. p. 3-20, 1998.

BAHRUTH, E. B.; ANTUNES, A. M. S.; BOMTEMPO, J. V. Prospecção tecnológica na priorização de atividades de CeT. In: **Gestão em Biotecnologia**. Editora E-papers. Rio de Janeiro. p. 300–324, 2006.

BAKY, H. H. A. E.; BAROTY, G. S. E. Optimization of Growth Conditions for Purification and Production of L-Asparaginase by *Spirulina maxima*. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, p. 1–7, 2016.

BATISTA, A. P. et al. Comparison of Microalgal Biomass Profiles as Novel Functional Ingredient for Food Products. **Algal Research**, v. 2, n. 2, p. 164–173, 2013.

BECKER, E.W. Microalgae for human and animal consumption. In: M.A. Borowitzka, M. A.; Borowitzka, L. (Eds). **Micro-algal Biotechnology**. Cambridge, Cambridge University Press. p. 222–256, 1988.

BELARBI, N.; MOLINA, N.; CHISTI, N. A. process for high yield and scalable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 26, n. 7, p. 516–529, 2000.

BELAY, A. et al. Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. **Journal of Applied Phycology**, v. 5, n. 2, p. 235–241, 1993.

BELAY, A. Mass culture of *Spirulina* outdoors - the earthrise farms experience. **Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology**, 1997.

BEN-AMOTZ, A. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species: *Dunaliella*. In: RICHMOND, A. (Ed). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, p.273–280, 2004.

BENEMANN, J. Microalgae for biofuels and animal feeds. **Energies**, v. 6, n. 11, p. 5869–5886, 2013.

BOMBART, P.; BROUERS, M.; DUJARDIN, E.; SIRONVAL, C. *Spirulina* cultures in temperate climates. In: Doumenge, F.; Durand-Chastel, H.; Toulemont, A. (Eds). **Spirulina Algae of Life**. Bulletin de l'Institut océanographique, Spécial. 12, Monaco. p. 97–102, 1993.

BOROWITZKA, M. A. Vitamins and fine chemicals from micro-algae. In: BOROWITZKA, M. A.; BOROWITZKA, L. J. (Eds.). **Micro-algal Biotechnology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 153–196, 1988.

BOROWITZKA, M. A. High-value products from microalgae — their development and commercialisation. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, n. 3, p. 743–756, 2013.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae — A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557–577, 2010.

BUONO, S.; LANGELLOTTI, A. L.; MARTELLO, A.; RINNA, F.; FOGLIANO, V. Functional ingredients from microalgae. **Food Funct.**, v. 5, n. 8, p. 1669-1685, 2014.

BURLEW, J. S. (Ed.) **Algal Culture from Laboratory to Pilot Plant**. Carnegie Institution of Washington. Washington. v. 600, p. 37-54, 1953.

CAMPANELLA, L.; RUSSO, M. V.; AVINO, P. Free and total amino acid composition in blue-green algae. **Annali Di Chimica**, v. 92, n. 4, p. 343–352, 2002.

CARCEA, M. et al. Nutritional Characterization of Traditional and Improved Dihé, Alimentary Blue-green Algae from The Lake Chad Region in Africa. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 753–763, 2015.

CASTRO, A.M.G. de et al. **Cadeias produtivas e sistemas naturais – prospecção tecnológica**. Brasília: Embrapa. p. 564, 1998.

CASTRO, A.M.G. de; LIMA, S.M.V.; FREITAS FILHO, A. Estratégias para a institucionalização de prospecção de demandas tecnológicas na Embrapa. Organizações Rurais e Agroindustriais. **Revista de Administração da UFLA**. v.1, n.2, 1999.

CHAIKLAHAN, R.; CHIRASUWAN, N.; BUNNAG, B. Stability of Phycocyanin Extracted from *Spirulina sp.*: Influence of Temperature, pH and Preservatives. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 4, p. 659–664, 2012.

CHEN, J. et al. Microalgal industry in China: challenges and prospects. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 2, p. 715–725, 2016.

CHRISTAKI, E.; FLOROU-PANERI, P.; & BONOS, E. Microalgae: a novel ingredient in nutrition. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 62, n. 8, p. 794-799, 2011.

CIFERRI, O. *Spirulina*, the edible microorganism. **Microbiological Reviews**, v. 47, n. 4, p. 551–578, 1983.

COELHO, G. M. Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais. Rio de Janeiro: INT, 2003.

COLLA, L. M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Fatty acids profile of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations. **Zeitschrift Fur Naturforschung. C, Journal of Biosciences**, v. 59, n. 1–2, p. 55–59, 2004.

COSTA, B. R. et al. Physicochemical Characteristics of the *Spirulina sp.* Dried in heat pump and conventional tray dryers. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 12, p. 2614–2620, 2015.

COSTA, E. S. Tutorial de busca de informação tecnológica em bases de patentes. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 86 slides (acompanha texto), 2011.

Definition of NUTRACEUTICAL. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/nutraceutical>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

DESAI, K.; SIVAKAMI, S. *Spirulina*: The wonder food of the 21st century. **Asia-Pacific Biotech News**, v. 08, n. 23, p. 1298–1302, 2004.

Dietary Supplement Health Education Act (DSHEA) of 1994. Public Law 103–417, disponível em **FDA Website**: <http://www.fda.gov>.

Directive 2002/46/EC of the European Parliament and of the Council of 10 June 2002 on the approximation of the laws of the Member States relating to food supplements. **Official Journal of the European Communities**. n. 183, p. 51–57, 2002. Disponível online: <http://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC037787/>.

DMYTRYK, A.; SAEID, A.; CHOJNACKA, K. Biosorption of Microelements by *Spirulina*: Towards Technology of Mineral Feed Supplements. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–15, 2014.

DRAAISMA, R. B. et al. Food commodities from microalgae. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 24, n. 2, p. 169–177, 2013.

ENZING, C. et al. **Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe**. Luxembourg: Publications Office, 2014.

FERNANDEZ, F. G. A.; SEVILLA, J. M. F.; GRIMA, E. M. Microalgae: the basis of mankind sustainability. In: MOYA, B. L.; DE GRACIA, M. D. S; MAZADIEGO, L. F. (Eds.). **Case Study of Innovative Projects - Successful Real Cases**. [s.l.] InTech, 2017.

GAO, C. et al. Rapid quantitation of lipid in microalgae by time-domain nuclear magnetic resonance. **Journal of Microbiological Methods**, v. 75, n. 3, p. 437–440, 2008.

GELLENBECK, K. W. Utilization of algal materials for nutraceutical and cosmeceutical applications — what do manufacturers need to know? **Journal of Applied Phycology**, v. 24, n. 3, p. 309–313, 2012.

GERSHWIN, M. E.; BELAY, A. (EDS.). ***Spirulina* in human nutrition and health**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

GRIMA, E. M. et al. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. **Biotechnology Advances**, v. 20, n. 7–8, p. 491–515, 2003.

GUAN, J. et al. Biomass and terpenoids produced by mutant strains of *Arthrospira* under low temperature and light conditions. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 2, 2017.

GUAN, X. et al. Safety and efficacy of megakaryocytes induced from hematopoietic stem cells in murine and nonhuman primate models: study of ex vivo induced MKs in mice and primates. **STEM CELLS Translational Medicine**, v. 6, n. 3, p. 897–909, 2017.

GUTIÉRREZ-SALMEÁN, G.; FABILA-CASTILLO, L.; CHAMORRO-CEVALLOS, G. Aspectos nutricionales y toxicológicos de *Spirulina* (*Arthrospira*). **Nutricion Hospitalaria**, n. 1, p. 34–40, 2015.

HABIB, M. A. B.; PARVIN, M. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2008.

HARDER, R; VON WITSCH, H. Über Massenkultur von Diatomeen. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft**, v. 60, n. 11, p. 146–152, 1942.

HOSSAIN, M. F. et al. Antioxidant Properties in Some Selected Cyanobacteria Isolated from Fresh Water Bodies of Sri Lanka. *Food Science & Nutrition*, v. 4, n. 5, p. 753–758, 2016.

HOSSAIN, M. N. B.; BASU, J. K.; MAMUN, M. The production of ethanol from microalgae *Spirulina*. **Procedia Engineering**, v. 105, p. 733–738, 2015.

HOSSEINI, S. M.; KHOSRAVI-DARANI, K.; MOZAFARI, M. R. Nutritional and medical applications of *Spirulina* microalgae. **Mini Reviews in Medicinal Chemistry**, v. 13, n. 8, p. 1231–1237, 2013.

INGLESBY, A. E.; FISHER, A. C. Enhanced Methane Yields from Anaerobic Digestion of *Arthrospira maxima* biomass in an Advanced Flow-through Reactor with an Integrated Recirculation Loop Microbial Fuel Cell. **Energy & Environmental Science**, v. 5, n. 7, p. 7996, 2012.

ISLAM, J. M. M. et al. Boosting the food functionality (in vivo and in vitro) of *Spirulina* by gamma radiation: an inspiring approach. **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 4, 2015.

JAROULIYA, U. et al. *Spirulina maxima* and Its Effect on Antioxidant Activity in Fructose Induced Oxidative Stress with Histopathological Observations. **Acta Facultatis Pharmaceuticae Universitatis Comenianae**, v. 62, n. 2, 2015.

JESUS, C. S. De et al. Outdoor Pilot-scale Cultivation of *Spirulina sp.* LEB-18 in Different Geographic Locations for Evaluating Its Growth and Chemical Composition. **Bioresource Technology**, v. 256, p. 86–94, 2018.

KATAOKA, N.; MISAKI, A. Glycolipids isolated from *Spirulina maxima*: structure and fatty acid composition. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 47, n. 10, p. 2349–2355, 1983.

KATHREIN, H. R. Production of carotenoids by the cultivation of algae. **U.S. Patent 3.142.135** (to Grain Processing Corp.). 1964.

KHAN, Z.; BHADOURIA, P.; BISEN, P. Nutritional and therapeutic potential of *Spirulina*. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 6, n. 5, p. 373–379, 2005.

KIM, J. et al. Efficient Recovery of Nitrate and Phosphate from Wastewater by an Amine-grafted Adsorbent for Cyanobacterial Biomass Production. **Bioresource Technology**, v. 205, p. 269–273, 2016.

KIM, W.; LEE, K. G. Lead and Cadmium in Functional Health Foods and Korean Herbal Medicines. **Food Additives and Contaminants: Part B**, v. 6, n. 2, p. 146–149, 2013.

KOLLER, M.; MUHR, A.; BRAUNEGG, G. Microalgae as versatile cellular factories for valued products. **Algal Research**, v. 6, p. 52–63, 2014.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Prospecção tecnológica. In: **Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico**. CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (Coord.) Montevideo: CINTERFOR/OIT (Papeles de la Oficina Técnica, 14). p. 77, 2004.

KWAK, J. H. et al. Beneficial immunostimulatory effect of short-term *Chlorella* supplementation: enhancement of Natural Killer cell activity and early inflammatory response (Randomized, double-blinded, placebo-controlled trial). **Nutrition Journal**, v. 11, n. 1, 2012.

LAMELA, T.; MARQUEZ-ROCHA, F. J. Phycocyanin production in seawater culture of *Arthrospira maxima*. **Ciencias Marinas**, v. 26, n. 4, p. 607–619, 2000.

LEE, J. et al. *Spirulina* extract enhanced a protective effect in type 1 diabetes by anti-apoptosis and anti-ros production. **Nutrients**, v. 9, n. 12, p. 1363, 2017.

LI, X. et al. Determination of different arsenic species in food-grade spirulina powder by ion chromatography combined with inductively coupled plasma mass spectrometry. **Journal of Separation Science**, v. 40, n. 18, p. 3655–3661, 2017.

LIANG, S. et al. Current Microalgal Health Food R & D Activities in China. **Hydrobiologia**, v. 512, n. 1–3, p. 45–48, 2004.

LORENZ, R. T.; CYSEWSKI, G. R. Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. **Trends in Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 160–167, 2000.

LU, Q. et al. Pretreatment of Brewery Effluent to Cultivate *Spirulina sp.* for Nutrients Removal and Biomass Production. **Water Science and Technology**, v. 76, n. 7, p. 1852–1866, 2017.

LUCAS, B. F. et al. Effect of *Spirulina* Addition on the Physicochemical and Structural Properties of Extruded Snacks. **Food Science and Technology**, v. 37, n. spe, p. 16–23, 2017.

LUTCHEN K. R. **Why Companies and Universities Should Forge Long-term Collaborations**. Disponível em: <https://hbr.org/2018/01/why-companies-and-universities-should-forge-long-term-collaborations>. Acesso em: 02 jun. 2018.

MANJULA, K.; RAJ, M.; KRISHNA, R. Feed Efficiency and serobiochemical profile of wistar rats fed with *Spirulina* as functional food. **Current Research in Nutrition and Food Science Journal**, v. 4, n. 2, p. 135–140, 2016.

MARTINEZ-PALMA, N. et al. Chemopreventive and antioxidant effect of polyphenol free *Spirulina maxima* and its hydrolyzed protein content:

Investigation on azoxymethane treated mice. **Pharmacognosy Magazine**, v. 13, n. 50, p. 164, 2017.

MASSA, M. et al. Evaluation of anaerobic digestates from different feedstocks as growth media for *Tetradesmus obliquus*, *Botryococcus braunii*, *Phaeodactylum tricornutum* and *Arthrospira maxima*. **New Biotechnology**, v. 36, p. 8–16, 2017.

MAYERHOFF, Z.D.V.L. **Uma análise sobre os estudos de Prospecção Tecnológica**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Propriedade Industrial, 2008.

MAZOKOPAKIS, E. E. et al. The hypolipidaemic effects of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation in a Cretan population: a prospective study. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 3, p. 432–437, 2014.

MENEZES, A. A. et al. Towards synthetic biological approaches to resource utilization on space missions. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 12, n. 102, p. 20140715–20140715, 2014.

MORAIS, M. G. et al. Pilot Scale Semicontinuous Production of *Spirulina* Biomass in Southern Brazil. **Aquaculture**, v. 294, n. 1–2, p. 60–64, 2009.

MIRANDA, M. S. et al. Antioxidant activity of the microalga *Spirulina maxima*. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 31, n. 8, p. 1075–1079, 1998.

MOORHEAD, D.; SCHMELING, J.; HAWES, I. Modelling the contribution of benthic microbial mats to net primary production in Lake Hoare, McMurdo Dry Valleys. **Antarctic Science**, v. 17, n. 1, p. 33–45, 2005.

NANTIA, E. A. et al. High-throughput Methodology for the Determination of Carbamates in Food Supplements by UHPLC–MS/MS. **Chromatographia**, v. 80, n. 1, p. 63–70, 2017.

NICOLETTI, M. Microalgae nutraceuticals. **Foods**, v. 5, n. 4, p. 54, 2016.

NOCTOR, G.; FOYER, C. H. Ascorbate and Glutathione: keeping active oxygen under control. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 49, n. 1, p. 249–279, 1998.

NORSKER, N. H. et al. Microalgal production – a close look at the economics. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 1, p. 24–27, 2011.

OCDE, **Manual de Oslo**: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. 3ª Edição, OECD Publications, Paris, 2005.

OECD, **OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-being**, OECD Publishing. Disponível online: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264191655-en>, 2013.

DE OLIVEIRA, M. A. C. L. et al. Growth and chemical composition of *Spirulina maxima* and *Spirulina platensis* biomass at different temperatures. **Aquaculture International**, v. 7, n. 4, p. 261–275, 1999.

DE OLIVEIRA, S. D. Prospecção tecnológica da produção do ácido succínico a partir de fontes renováveis: perspectivas e desafios. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2014.

PANAHI, Y. et al. Investigation of the effects of *Chlorella vulgaris* supplementation on the modulation of oxidative stress in apparently healthy smokers. **Clinical Laboratory**, v. 59, n. 5–6, p. 579–587, 2013.

PLANAS, M. et al. Ongrowing and Enhancement of n-3 HUFA Profile in Adult Artemia: Short- vs Long-time Enrichment. **Journal of Applied Phyvology**, v. 29, n. 3, p. 1409–1420, 2017.

PRIYADARSHANI, I.; RATH, B. Commercial and industrial applications of microalgae – A review. **J. Algal Biomass Utln.**, v.3, n. 4, p. 89–100, 2012.

PULZ, O.; GROSS, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 65, n. 6, p. 635–648, 2004.

RAMAMOORTHY, A.; PREMAKUMARI, S. Effect of supplementation of *Spirulina* on hypercholesterolemic patients. **JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY -MYSORE-**, v. 33, n. 2, p. 124–127, 1996.

RICHMOND, A. et al. Quantitative assessment of the major limitations on productivity of *Spirulina platensis* in open raceways. **Journal of Applied Phycology**, v. 2, n. 3, p. 195–206, 1990.

RICHMOND, A. *Spirulina*. In: BOROWITZKA, M.A.; BOROWITZKA, L.J. (Eds). **Micro-algal biotechnology**. Cambridge: Cambridge University. p.85-121, 1988.

RUAN, J. S.; LONG, C. S.; GUO, B. J. *Spirulina* prevented damage induced by radiation. **J. Genetics**, v. 10, p. 27–30, 1988. (In Chinese).

RUAN, J. S.; GUO, B. J.; SHU, L. H. Effect of *Spirulina* polysaccharides on changes in white blood corpuscles induced by radiation in mice. **J. Radiation Res. & Technol**, V. 8, p. 210–213, 1990. (In Chinese).

RUIZ, J. et al. Towards industrial products from microalgae. **Energy & Environmental Science**, v. 9, n. 10, p. 3036–3043, 2016.

RYU, N. H. et al. Impact of daily *Chlorella* consumption on serum lipid and carotenoid profiles in mildly hypercholesterolemic adults: a double-blinded, randomized, placebo-controlled study. **Nutrition Journal**, v. 13, n. 1, 2014.

RZYMSKI, P.; JAŚKIEWICZ, M. Microalgal food supplements from the perspective of Polish consumers: patterns of use, adverse events, and

beneficial effects. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 4, p. 1841–1850, 2017.

SAEID, A. et al. Biomass of *Spirulina maxima* Enriched by Biosorption Process as a New Feed Supplement for Laying Hens. **Algal Research**, v. 19, p. 342–347, 2016.

SAEID, A. et al. Biomass of *Spirulina maxima* Enriched by Biosorption Process as a New Feed Supplement for Swine. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, n. 2, p. 667–675, 2013a.

SAEID, A. et al. Effect on Supplementation of *Spirulina maxima* Enriched with Cu on Production Performance, Metabolical and Physiological Parameters in Fattening Pigs. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, n. 5, p. 1607–1617, 2013b.

SANCO directorate general European Commission the use of substances with nutritional effect other than vitamins and minerals in food supplements. SANCO. **Study undertaken for European Advisory Services (EAS)**, Brussel, Belgium, 2007.

SANTOS, M.; COELHO, G.; SANTOS, D. M.; FELLOWS FILHO, L. Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. **Parcerias Estratégicas**, n. 19, p. 189-229, 2004.

SATORA, P. et al. Strain-dependent production of selected bioactive compounds by Cyanobacteria belonging to the *Arthrospira* genus. **Journal of Applied Microbiology**, v. 119, n. 3, p. 736–743, 2015.

SECTES/CEDEPLAR. **Metodologia de Prospecção Tecnológica** – Projeto oportunidades ao desenvolvimento sócio-econômico e desafios da ciência, tecnologia e da inovação em Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2009.

SELMI, C. et al. Environmental pathways to autoimmune diseases: the cases of primary biliary cirrhosis and multiple sclerosis. **Archives of Medical Science**, v. 3, p. 368–380, 2011.

SHAO, Y. et al. Detection *in situ* of Carotenoid in Microalgae by Transmission Spectroscopy. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 112, p. 121–127, 2015.

SOEDER, C. J.; W. PABST. Aspects for the use of microalgae in feeding humans and animals. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft**, v. 83, n. 11, p. 607-25, 1970.

SOLTANI, N. et al. Biochemical and Physiological Characterization of Tree *Microalgae* spp. as Candidates for Food Supplement. **Journal of Applied Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 377-381, 2016.

SPOLAORE, P. et al. Commercial applications of microalgae. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 101, n. 2, p. 87–96, 2006.

SUTZ, J.; AROCENA, R. Looking at National Systems of Innovation from the South. **Industry and Innovation**, v. 7, n. 1, p. 55–75, 2000.

TAKEDA, T.; YOKOTA, A.; SHIGEOKA, S. Resistance of photosynthesis to hydrogen peroxide in algae. **Plant and Cell Physiology**, v. 36, n. 6, p. 1089–1095, 1995.

Tarko T., Duda-Chodak A., Kobus M. (2012): Influence of growth medium composition on synthesis of bioactive compounds and antioxidant properties of selected strains of *Arthrospira* cyanobacteria. *Czech J. Food Sci.*, 30: 258–267.

TOMASELLI, K. J. et al. Expression of beta 1 integrins in sensory neurons of the dorsal root ganglion and their functions in neurite outgrowth on two laminin isoforms. **The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience**, v. 13, n. 11, p. 4880–4888, 1993.

TORRES-DURÁN, P. V. et al. Effect of *Spirulina maxima* on postprandial lipemia in young runners: a preliminary report. **Journal of Medicinal Food**, v. 15, n. 8, p. 753–757, 2012.

TOYOSHIMA, M. et al. A pilot-scale floating closed culture system for the multicellular cyanobacterium *Arthrospira platensis* NIES-39. **Journal of Applied Phycology**, v. 27, n. 6, p. 2191–2202, 2015.

TRABELSI, L. et al. Partial characterization of extracellular polysaccharides produced by cyanobacterium *Arthrospira platensis*. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 14, n. 1, p. 27–31, 2009.

TREDICI, M.; PAPUZZO, T.; TOMASELLI, L. Outdoor mass culture of *Spirulina maxima* in sea-water. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 24, n. 1, 1986.

MILLEDDGE, J. J. Microalgae - commercial potential for fuel, food and feed. **Institute of Food Science & Technology**, v. 26, n. 1, p. 28–30, 2012.

VENKATARAMAN, G.S. Algal biofertilizer for rice. **Indian Agricultural Research Institute**, New Delhi, p. 3, 1977.

VIGANI, M. et al. Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. **Trends in Food Science & Technology**, v. 42, n. 1, p. 81–92, 2015.

VONSHAK, A. et al. Production of *Spirulina* biomass: Maintenance of monoalgal culture outdoors. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 25, n. 2, p. 341–349, 1983.

VONSHAK, A. (Ed.). *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology, and biotechnology*. London; Bristol, PA: **Taylor & Francis**, 1997.

WELLS, M.; POTIN, P.; CRAIGIE, J.; RAVEN, J.; MERCHANT, S.; HELLIWELL, K.; SMITH, A., CAMIRE, M.; BRAWLEY, S. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 2, p.949-982, 2016.

WIJFFELS, R. H. Potential of sponges and microalgae for marine biotechnology. **Trends in Biotechnology**, v. 26, n. 1, p. 26–31, 2008.

WOJCIESZEK, J. et al. Comparison of copper and zinc in vitro bioaccessibility from cyanobacteria rich in proteins and a synthetic supplement containing gluconate complexes: LC–MS mapping of bioaccessible copper complexes. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 408, n. 3, p. 785–795, 2016.

WU, L. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of *Spirulina* and *Chlorella* water extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4207–4212, 2005.

YAMANI, E. et al. Use of *Spirulina* supplement for nutritional management of HIV-infected patients: study in Bangui, Central African Republic. **Medecine Tropicale: Revue Du Corps De Sante Colonial**, v. 69, n. 1, p. 66–70, 2009.

ZEISEL, S. H. HEALTH: Regulation of & quot; Nutraceuticals & quot; **Science**, v. 285, n. 5435, p. 1853–1855, 1999.

