



Mapeamento tecnológico de microalgas do gênero *Arthrospira* para fins alimentícios

Isabela Tinoco Oliver

Projeto Final em Engenharia Química

Orientadores:

Elcio Ribeiro Borges, *DSc.*

Anita Ferreira do Valle, *DSc.*

Fevereiro de 2020

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE MICROALGAS DO GÊNERO *Arthrospira* PARA FINS ALIMENTÍCIOS

Isabela Tinoco Oliver

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

Aprovado por:

Prof. Daniel Tinôco Campos Neto, *M.Sc.*

Suellen Paula de Souza da Silva, *B.Sc.*

Orientado por:

Prof. Elcio Ribeiro Borges, *DSc.*

Prof. Anita Ferreira do Valle, *DSc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fevereiro de 2020

Ficha Catalográfica

Oliver, Isabela Tinoco.

Mapeamento tecnológico de microalgas do gênero *Arthrospira* para fins alimentícios / Isabela Tinoco Oliver, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2020.

xiii, 88 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020.

Orientadores: Anita Ferreira do Vale e Élcio Ribeiro Borges. 1. Prospecção Tecnológica. 2. *Spirulina*. 3. *Arthrospira*. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Elcio Ribeiro Borges e Anita Ferreira do Vale. I. Mapeamento tecnológico de microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios.

Aos meus pais e minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Márcia e João, por todo apoio para realização da minha segunda graduação. Com eles o caminho árduo de trabalhar durante o dia e estudar a noite se tornou menos doloroso. Sou muito grata por terem me ajudado a tornar possível essa conquista.

A minha irmã e melhor amiga, Vivian, por sempre me incentivar a enfrentar os obstáculos que eu me envolvi e acreditar em mim.

Ao meu namorado, João Pedro, por me compreender e me acalmar quando preciso e sempre me apoiar na busca dos meus sonhos.

As minhas vinte e uma melhores amigas que sempre estiveram comigo, vibrando com as minhas conquistas e dando suporte sempre que necessário.

A minha amiga, Suellen, que desde o curso de Engenharia de Bioprocessos, esteve do meu lado e me ajudou a chegar até aqui.

Aos meus orientadores, Prof. Elcio Ribeiro Borges e Prof. Anita Ferreira do Vale, pelo auxílio, atenção e sabedoria.

Aos amigos e colegas que fiz durante a graduação que contribuíram para a conclusão do curso.

A todos que de alguma forma influenciaram na minha formação.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE MICROALGAS DO GÊNERO *Arthrospira* PARA FINS ALIMENTÍCIOS

Isabela Tinoco Oliver

Fevereiro, 2020

Orientadores: Prof. Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.*

Prof. Anita Ferreira do Vale, *D.Sc.*

O uso de microalgas do gênero *Spirulina* (*Arthrospira*) como fonte de nutrientes na alimentação tem sido cada vez mais abordado em pesquisas, devido a sua composição com elevado teor de proteínas e outros nutrientes e seus benefícios. A microalga do gênero *Spirulina* é amplamente usada para fins alimentícios e possui um caráter promissor que ainda pode ser mais explorado. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar as tendências tecnológicas para microalgas do gênero *Spirulina*, na área de alimentos, através da elaboração de um estudo de prospecção tecnológica. Com isso, artigos científicos referentes ao tema foram analisados, utilizando a base *SCOPUS*, no período de 2014 a 2019. Logo após, foi feita a análise de patentes concedidas através da base *USPTO* no período de 1980 a 2019, seguido da análise de patentes solicitadas pela base *USPTO* e *INPI* no período de 2003 a 2019. Como resultado foram analisados 141 artigos científicos e foram encontradas apenas poucas patentes sobre o tema, logo, 18 patentes concedidas e 33 patentes solicitadas foram analisadas. O Brasil apresentou posição de destaque nos artigos representando 15% dos documentos publicados. Nas patentes solicitadas apareceu em segundo lugar com 27%, após os Estados Unidos, que liderou as patentes concedidas. Como destaque nos artigos e patentes tem-se a Universidade Federal do Rio Grande. O resultado diversificado de aplicações de produtos encontrados mostra o potencial de inovação para o uso da microalga na alimentação. O resultado das análises das classes níveis Macro, Meso e Micro do presente trabalho representa um passo importante no campo da prospectiva tecnológica de uma abordagem estratégica para o desenvolvimento de trabalhos futuros acerca da temática abordada.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO FINAL	2
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. MICROALGAS	4
2.1.1. Microalgas do gênero <i>Spirulina</i>	6
2.1.1.1. Descrição	6
2.1.1.2. Composição.....	7
2.2. CONDIÇÕES DE CULTIVO DE MICROALGAS DO GÊNERO <i>Spirulina</i>	9
2.2.1. Meio de cultivo.....	10
2.2.2. Intensidade de luz.....	10
2.2.3. Temperatura	11
2.2.4. Agitação	12
2.2.5. Outros fatores de crescimento.....	12
2.3. PRODUÇÃO DE MICROALGAS DO GÊNERO <i>Spirulina</i>	13
2.3.1. Sistemas de Produção	13
2.3.2. Tecnologias de Produção	14
2.4. MICROALGAS E SUAS APLICAÇÕES	17
2.4.1. Microalgas como suplemento alimentar	18
2.4.2. Microalgas e Corante Alimentar	20
2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS	21
CAPÍTULO 3 - PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....	23
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA DE PESQUISA	26

4.1.	FASE 1: ETAPA PREPARATÓRIA.....	26
4.2.	FASE 2: ETAPA PRÉ-PROSPECTIVA.....	27
4.2.1.	Artigos Científicos.....	28
4.2.2.	Patentes.....	29
4.2.2.1.	Patentes Concedidas.....	29
4.2.2.2.	Patentes Depositadas/Solicitadas.....	30
4.3.	FASE 3 E 4: ETAPA PROSPECTIVA E PÓS-PROSPECTIVA.....	31
4.4.	ESTRATÉGIA DE BUSCA DE ACORDO COM AS CLASSES TAXONOMICAS.....	33
	CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1.	RESULTADOS DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS.....	37
5.1.1.	Análise Macro.....	37
5.1.2.	Análise Meso.....	45
5.1.3.	Análise Micro.....	46
5.1.3.1.	Suplemento alimentar.....	46
5.1.3.2.	Pigmentos.....	47
5.1.3.3.	Condições de cultivo.....	49
5.1.3.4.	Tecnologia de produção.....	51
5.1.3.5.	Aplicação de produto.....	55
5.1.3.6.	Características do produto.....	57
5.1.4.	Considerações finais da análise de artigos.....	58
5.2.	RESULTADOS DAS PATENTES CONCEDIDAS.....	60
5.2.1.	Análise Macro.....	60
5.2.2.	Análise Meso.....	63
5.2.3.	Análise Micro.....	64
5.2.3.1.	Suplemento alimentar.....	64
5.2.3.2.	Pigmentos.....	65

5.2.3.3.	Condições de cultivo	67
5.2.3.4.	Tecnologia de produção.....	68
5.2.3.5.	Aplicação de produto	70
5.3.	RESULTADOS DAS PATENTES DEPOSITADAS/SOLICITADAS.....	71
5.3.1.	Análise Macro	72
5.3.2.	Análise Meso.....	75
5.3.3.	Análise Micro	76
5.3.3.1.	Suplemento alimentar	77
5.3.3.2.	Pigmentos	78
5.3.3.3.	Condições de cultivo	80
5.3.3.4.	Tecnologia de produção.....	81
5.3.3.5.	Aplicação de produto	84
5.3.3.6.	Características do produto	86
5.3.4.	Considerações finais da análise de patentes.....	86
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....		88
6.1.	CONCLUSÕES.....	88
6.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS.....		90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A) Imagem da microalga <i>Spirulina platensis</i> e B) imagem microscópica da microalga <i>Spirulina maxima</i>	6
Figura 2 – Foto ilustrativa de sistemas de cultivo fechado e aberto. A) Fotobiorreatores do Centro de Pesquisa de microalgas na Embrapa de Brasília-DF e B) Lagoas de produção de <i>Spirulina</i> na província de Hainan, China.	14
Figura 3 - Diagrama de blocos das etapas envolvidas no processo de produção de peptídeos bioativos.....	16
Figura 4 - Fluxograma esquemático das etapas de produção de <i>Spirulina maxima</i>	17
Figura 5 - Suplemento nutricional comercial de <i>Spirulina</i>	20
Figura 6 - Sequência de fases a serem adotadas para a Prospecção Tecnológica.....	26
Figura 7- Gráfico de artigos relevantes e descartados gerado na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).	37
Figura 8 - Série histórica dos artigos relevantes gerada na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	38
Figura 9 - Distribuição de Países para os Artigos Analisados obtida na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	39
Figura 10 - Quantidade de artigos publicados por Universidade/Centro de Pesquisa, com mais de 1 publicação de acordo com a base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	43
Figura 11 - Distribuição dos artigos publicados de acordo com as taxonomias definidas gerada na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).	46
Figura 12 - Quantidade de documentos presentes nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	47
Figura 13 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Nível Micro I de "Pigmentos" obtida na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	48
Figura 14 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Nível Micro II de "Pigmentos" obtida na base <i>Scopus</i> (2014 – julho/2019).....	49

Figura 15 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Condições de cultivo" obtida na base Scopus (2014 – julho/2019).....	50
Figura 16 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" de acordo com a base Scopus (2014 – julho/2019).....	52
Figura 18 - Quantidade de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos obtida na base Scopus (2014 – julho/2019).....	53
Figura 18 - Quantidade de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento gerada na base Scopus (2014 – julho/2019).....	54
Figura 19 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Aplicação de produto" gerada na base Scopus (2014 – julho/2019).	56
Figura 20 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Características do produto" gerada na base Scopus (2014 – julho/2019).	57
Figura 21 - Série Histórica em Patentes Concedidas obtida através da base USPTO (1980 – novembro/2019).....	61
Figura 23 - Distribuição de Países em Patentes Concedidas obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	61
Figura 23 - Distribuição de Empresas em Patentes Concedidas obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	62
Figura 24 - Distribuição das patentes concedidas de acordo com as taxonomias definidas obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	64
Figura 25 - Quantidade de patentes concedidas nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019)	65
Figura 26 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Nível Micro I de "Pigmentos" obtidos na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	66
Figura 27 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Nível Micro II de "Pigmentos" obtidos na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	67

Figura 28 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a "Condições de cultivo" obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	68
Figura 29 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" obtidos na base USPTO (1980 – novembro/2019).....	69
Figura 30 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento obtida na base USPTO (1980 – novembro/2019).	70
Figura 31 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a "Aplicação de produto".	71
Figura 32 - Série Histórica em Patentes Depositadas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	72
Figura 33 - Distribuição de Países em Patentes Depositadas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).....	73
Figura 34 - Distribuição de Empresas em Patentes Depositadas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).....	74
Figura 35 - Distribuição de Universidades em Patentes Depositadas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019)	75
Figura 36 - Distribuição das patentes depositadas de acordo com as taxonomias definidas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019)76	
Figura 37 - Quantidade de patentes depositadas nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	77
Figura 38 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Nível Micro I de "Pigmentos" obtidos na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	79
Figura 27 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Nível Micro II de "Pigmentos" obtidos na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	79
Figura 40 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a "Condições de cultivo" obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	81

Figura 41 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" obtidos na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).....	82
Figura 42 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	83
Figura 43 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	84
Figura 44 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a "Aplicação de produto" obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países com 3 ou menos publicações.....	39
Tabela 2 - Parcerias de pesquisas entre países	40
Tabela 3 - Empresas envolvidas nos artigos publicados.....	44
Tabela 4 - Classificação das Empresas encontradas nas Patentes Concedidas por setor industrial.....	62
Tabela 5 - Classificação das Empresas encontradas nas Patentes Depositadas por setor industrial.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Substâncias presentes em microalgas.....	4
Quadro 2 - Teor de proteínas em diversos alimentos, incluindo microalgas.	5
Quadro 3 - Análise para uma quantidade equivalente a 100 gramas de <i>Spirulina pacifica</i> ®.	7
Quadro 4 - Composição química do meio Zarrouk.....	10
Quadro 5 - Principais microalgas comercializadas para nutrição humana	18
Quadro 6 - Combinações de palavras chaves e quantidade de documentos encontrados, repetidos, irrelevantes e analisados para Patentes Concedidas.	30
Quadro 7 - Combinações de palavras chaves e quantidade de documentos encontrados, repetidos, irrelevantes e analisados para Patentes Depositadas.	31
Quadro 8 - Taxonomias nível Meso e Micro da prospecção tecnológica.	35

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

As microalgas são um grupo de organismos fotoautotróficos que realizam fotossíntese para converter luz solar, água, CO₂ e nutrientes inorgânicos (N,P,K, etc) em O₂ e biomassa rica em proteínas, carboidratos, lipídeos, antioxidantes, vitaminas e outros nutrientes interessantes para humanos e animais (CHEN et al., 2016). Esses micro-organismos são capazes de produzir biomassas ricas em compostos biologicamente ativos. Além da sua importância na natureza, por converterem os gases da atmosfera, as microalgas também atraem a atenção em atividades econômicas devido aos compostos produzidos (PULZ e GROSS, 2004).

Esses micro-organismos são capazes de melhorar o conteúdo nutricional de alimentos convencionais e rações, devido à sua composição química original e também podem servir como uma fonte de corantes naturais para alimentos. As microalgas contribuem positivamente para a saúde humana e animal, podendo se tornar suplementos alimentares e nutracêuticos (BISHOP e ZUBECK, 2012). O termo nutracêutico se refere ao valor nutricional e farmacêutico das microalgas, que também se tornaram atraentes devido ao tratamento de diversos problemas relacionados à saúde (LEE et al., 2017). Produtos à base de microalgas têm, portanto, atraído consumidores, por se apresentarem como uma alternativa mais nutritiva e saudável para a alimentação.

Apesar de as microalgas serem conhecidas há décadas, seu potencial biotecnológico começou a ser explorado recentemente. Esses micro-organismos requerem uma extensa investigação a fim de explorar seu isolamento e desenvolvimento de novas moléculas de alto valor (SUBUDHI, 2017). Apenas alguns gêneros e espécies são comercializados, entre eles *Spirulina* (uma cianobactéria com duas espécies cultivadas comercialmente – *Spirulina maxima* e *Spirulina platensis*); *Chlorella Vulgaris*; *C. pyrenoidosa*; *Dunaliella salina*; e *Haematococcus pluvialis* (GELLENBECK, 2012).

Uma grande parcela de produtos provenientes de microalgas contem biomassa pertencente ao gênero *Spirulina*. Isso ocorre devido ao seu alto valor nutritivo, pois são ricas em proteínas e apresentam todos os aminoácidos essenciais. Além disso, também apresentam função terapêutica, pois promovem fortes efeitos antibacterianos,

antioxidantes, antidiabéticos, antitumorais, antiobesidade, imunomodulatórios, em perfis lipídicos etc (RAMAMOORTHY e PREMAKUMARI, 1996).

Por possuírem diversas propriedades atrativas, o uso de suplementos alimentares de microalgas tem um amplo campo de aplicações a serem explorados. Isso faz com que a *Spirulina maxima* tenha sido cultivada em escala industrial desde 1970 na China, no México e nos Estados Unidos (BELAY, 1997; SPOLAORE et al., 2006). Com isso, nas últimas décadas a China se tornou a maior produtora de biomassa de microalgas do mundo e a biomassa do gênero *Spirulina* é a maior tonelagem produzida comercialmente (CHEN et al., 2016).

1.2. OBJETIVOS

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é identificar e apresentar um estudo sistemático de prospecção tecnológica para microalgas do gênero *Arthrospira* (*Spirulina*), mais especificamente para o segmento alimentício. Para atingir esse objetivo, serão analisados documentos técnicos (artigos científicos e patentes), a fim de obter um panorama geral e identificar tendências referentes a produto, tecnologia e mercado.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO FINAL

Para atender aos objetos propostos, o presente está estruturado conforme descrito a seguir.

Neste Capítulo 1 foi apresentada uma breve introdução do assunto objeto de estudo, bem como dos principais objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 será apresentada uma visão geral acerca do tema, abordando fundamentação teórica sobre as microalgas do gênero *Spirulina*, seu cultivo e produção e sua aplicação na área de alimentos.

O Capítulo 3 apresentará a fundamentação teórica dos conceitos sobre prospecção tecnológica.

No Capítulo 4 serão apresentadas as estratégias utilizadas para a pesquisa de artigos científicos e patentes, e o método de seleção dos mesmos.

O Capítulo 5 irá abordar o os resultados do mapeamento tecnológico e as discussões sobre os mesmos.

No Capítulo 6 serão expostas as principais conclusões deste trabalho e as sugestões a serem implementadas em trabalhos futuros.

O Capítulo 7 apresentará as referências bibliográficas usadas no presente trabalho.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MICROALGAS

As algas são consideradas os vegetais mais antigos do mundo, com a sua primeira aparição a cerca de 3,5 bilhões de anos atrás. Essas espécies fotossintéticas podem ser encontradas como uma estrutura multicelular (macroalgas) com comprimento de até 60 m e como organismos unicelulares (microalgas) com tamanho de apenas 0,2 um (KOYANDE et al., 2019).

Diversos compostos metabólitos e bioativos em forma de proteínas, carboidratos, lipídeos, vitaminas ou carotenoides de elevado valor comercial podem ser extraídos de microalgas (PRIYADARSHANI e RATH, 2012). O Quadro 1 apresenta um resumo das principais categorias de substâncias extraídas de microalgas e seus exemplos mais comuns.

Quadro 1 - Substâncias presentes em microalgas.

SUBSTÂNCIA	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, tocoferóis
Outros	Antimicrobianos, antifúngicos, agentes antivirais, toxinas, aminoácidos, proteínas, esteróis

Fonte: SANTHOSH, DHANDAPANI e HEMALATHA (2016).

Além disso, as microalgas fazem parte de um grupo extremamente diverso, com número estimado de espécies chegando até 800.000. Com objetivo de extrair compostos bioativos para consumo humano e animal, para a indústria de cosméticos e de biocombustível, algumas dessas espécies são cultivadas em escala industrial. Várias espécies são reconhecidas por possuírem quantidades semelhantes ou maiores de proteínas em comparação com fontes tradicionais de proteínas, como carne, ovo, leite e soja (KOYANDE et al., 2019). O Quadro 2 mostra como o teor de proteínas das microalgas supera o de muitos alimentos.

Quadro 2 - Teor de proteínas em diversos alimentos, incluindo microalgas.

Origem do alimento	Teor de proteínas (% de massa seca)
Carne	17,4
Peixe	19,2-20,6
Frango	19-24
Amendoim	26
Germe de trigo	27
Queijo Parmesão	36
Leite em pós desnatado	36
Farinha de soja	36
Fermento de cerveja	45
Ovo inteiro	47
<i>Chlorella sp.</i>	50-60
<i>Spirulina sp.</i>	60-70

Fonte: KOYANDE et al. (2019).

A extração de proteínas de microalgas possui uma série de benefícios que variam desde termos de valor nutricional, até produtividade e eficiência. De acordo com Krimpen et al. (2013), O rendimento proteico das microalgas é 4-15 toneladas/hectare/ano, enquanto a produção de culturas terrestres é apenas 1,1 toneladas/hectare/ano, 1–2 toneladas/hectare/ano e 0,6–1,2 toneladas/hectare/ano para trigo, leguminosas e soja, respectivamente. Outro ponto importante, é que fontes de proteína animal consomem 100 vezes mais água em comparação com fontes vegetais para extração de proteína equivalente (KOYANDE, A. et al., 2019).

Outra vantagem das microalgas é que necessitam de meios de cultivo relativamente simples e são mais flexíveis a condições de estresse que plantas superiores. Elas podem ser produzidas das áreas mais quentes às mais frias, sendo possível cultivá-las o ano todo. A manipulação das condições de cultivo, assim como a presença, ausência ou concentração de certos nutrientes tendem a influenciar no crescimento celular e nos componentes da biomassa e produtos de interesse, como proteínas, pigmentos, lipídeos, ácidos graxos, entre outros (BARROS, 2010).

2.1.1. Microalgas do gênero *Spirulina*

2.1.1.1. Descrição

Microalgas do gênero *Spirulina*, também conhecidas como *Arthrospira* são unicelulares, azuis esverdeadas, pertencentes ao grupo das cianobactérias. O nome *Spirulina* foi baseado em sua forma de espiral, porém, microalgas *Arthrospira* de formato linear foram identificadas. As microalgas *Arthrospira platensis* e *Arthrospira maxima* são cultivados em todo o mundo (ANDRADE et al., 2018). Possuem filamentos helicoidais com comprimento entre 200-300 μm e 5-10 μm de largura, conforme representado na Figura 1.

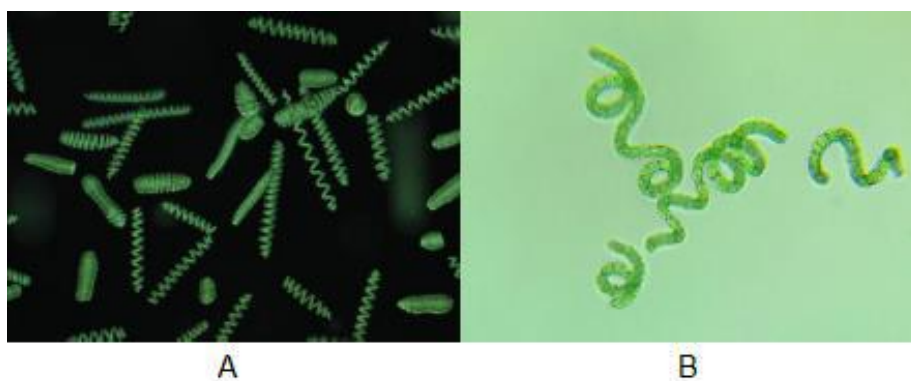


Figura 1 – A) Imagem da microalga *Spirulina platensis* e B) imagem microscópica da microalga *Spirulina maxima*.

Fonte: Richmond e Hu (2013).

Além disso, as microalgas crescem em água doce e salgada e têm alta tolerância a pH alcalino (pH entre 8,5 e 11,0) (CHRONAKIS et al., 2000). Atualmente, tais condições

existem em certos lagos da África Subsaariana e anteriormente no México e na América Central (CAPELLI e CYSEWSKI, 2010). Entretanto, a presença de microalgas do gênero *Spirulina* tem se estendido em outras zonas quentes do mundo, o que mostra a sua capacidade de adaptação em lugares onde não é possível o crescimento celular de outros organismos (LUPATINI, 2016).

Microalgas do gênero *Spirulina* são utilizadas como fonte de alimento há séculos e ainda são comumente consumidas no Chade e nos países vizinhos da África. Em tempos de fome, elas foram a única fonte de nutrição em algumas comunidades africanas (CAPELLI e CYSEWSKI, 2010). O micro-organismo é amplamente produzido em todo o mundo (3000 toneladas/ano) e amplamente utilizado em suplementos alimentares e alimentos (SOLTANI et al., 2016).

2.1.1.2. Composição

A biomassa das microalgas do gênero *Spirulina* é composta por cerca de 60% de proteína completa e altamente digerível; por possuir todos os aminoácidos essenciais, é facilmente absorvida pelo corpo. A biomassa também contém mais beta-caroteno do que qualquer outro alimento completo. É a melhor fonte alimentar completa de ácido gama linolênico (GLA); é rica em vitaminas do complexo B, minerais, oligoelementos, clorofila e enzimas; e é abundante em outros nutrientes, como carotenóides, sulfolipídios, glicolipídios, ficocianina, superóxido dismutase, RNA e DNA (CAPELLI e CYSEWSKI, 2010). O Quadro 3 apresenta a composição de nutrientes de um produto de biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* disponível comercialmente.

Quadro 3 - Análise para uma quantidade equivalente a 100 gramas de *Spirulina pacifica*®.

Geral	
Calorias totais (Kcal)	333
Calorias da gordura (Kcal)	50
Gordura total (g)	5
Gordura saturada (g)	2,2
Colesterol (mg)	0
Carboidratos totais (g)	16
Fibra alimentar (g)	7
Açúcares (g)	0
Proteína (g)	67

Vitaminas	
Vit A (como beta-caroteno) (UI)	375000
Vitamina E (UI)	7
Vitamina K1 (µg)	2000
Vitamina K2 (µg)	500
Tiamina (B1) (µg)	117
Riboflavina (B2) (µg)	4667
Niacina (B3) (µg)	13333
Vitamina B6 (µg)	1000
Folato (µg)	200
Vitmain B12 (µg)	300
Biotina (µg)	<33
Ácido pantotênico (µg)	150
Minerais	
Cálcio (mg)	333
Ferro (mg)	217
Fósforo (mg)	1100
Iodo (µg)	500
Magnésio (mg)	500
Zinco (mg)	3
Selênio (µg)	30
Cobre (m)	0,7
Manganês (mg)	13
Crômio (µg)	1333
Sódio (mg)	1000
Potássio (mg)	2000
Carotenóides e fitonutrientes	
Ácido gama-linolênico (GLA) (mg)	1067
Zeaxantina (mg)	300
Carotenóides totais (mg)	500
Clorofila (mg)	1000
Ficocianina C (mg)	8000
Superóxido dismutase (unidades)	36000

Fonte: CAPELLI e CYSEWSK (2010).

Além da biomassa das microalgas do gênero *Spirulina* possuir alto teor de proteínas e outros nutrientes já descritos, também é considerada uma das fontes mais ricas em pró-vitamina A (beta-caroteno) e ferro absorvível (HABIB et al. 2008). Por conta dessa sua composição, o consumo dessas microalgas possui efeitos terapêuticos como no tratamento da deficiência em vitamina A, capacidade anti-inflamatória contra a artrite reumatoide, redução do colesterol no sangue, aumento de resposta do sistema

imunológico a certos tipos de câncer, combate a obesidade, diabetes, supressão do nível sérico elevado de glicose, entre outros benefícios à saúde, auxiliando o bom funcionamento do organismo (KATO et al., 1984; VONSHAK, 1997; LIU et al., 2000; HABIB et al., 2008; AMBROSI et al., 2008). Com isso, microalgas do gênero *Spirulina* possuem propriedades antivirais, antibacterianas, anticâncer, anti-inflamatórias e antioxidantes (SOLTANI et al., 2016).

A presença em sua composição de ficocianina, a torna uma das principais fontes desse pigmento, que é usado como corante alimentar e cosmético natural (extrato de cor azul) e como marcador bioquímico em imunoenaios, entre outras aplicações (SOLTANI et al., 2016).

Outra vantagem a ser mencionada é que as microalgas do gênero *Spirulina* são espécies comestíveis raras, devido ao seu baixo conteúdo de purina, o que minimiza o risco de acúmulo de ácido úrico no organismo (PITTMAN et al., 2011). A biomassa também não apresenta nenhum nível de toxicidade, sendo, portanto, segura para o consumo humano. Esses efeitos já levaram ao seu uso em suplementos alimentares, na forma de comprimidos ou energia, isoladamente ou em conjunto com extratos vegetais, para uso humano ou animal. Além disso, a utilização como suplemento alimentar tem apresentado resposta positiva com relação as propriedades sensoriais (CHAMORRO et al., 1996; SALAZAR et al., 1998).

2.2. CONDIÇÕES DE CULTIVO DE MICROALGAS DO GÊNERO *Spirulina*

O cultivo de microalgas do gênero *Spirulina* para produção de biomassa deve ser feito em áreas com condições climáticas adequadas, com incidência de luz solar durante todo o ano. Porém, é difícil obter um crescimento celular ideal devido a diferentes fatores ambientais, como radiação solar, vento, chuva, flutuação de temperatura, entre outros (USHARANI, SARANRAJ e KANCHANA, 2012).

A produção da biomassa é diretamente influenciada por determinadas variáveis como: intensidade de luz; temperatura; volume de inoculação; velocidade de agitação; sólidos dissolvidos, pH; aeração; qualidade da água e presença de macro e

micronutrientes (C, N, P, K, S, Mg, Na, Cl, Ca e Fe, Zn, Cu, Ni, Co, Se) (HABIB et al., 2008).

2.2.1. Meio de cultivo

A produção de microalgas do gênero *Spirulina* exige mais nutrientes e concentrações de sal em comparação com outras microalgas, como *Scenedesmus* e *Chlorella*. Os meios de cultivo usados em grande maioria são apenas pequenas variações do primeiro meio desenvolvido, chamado de meio de cultivo de Zarrouk. As espécies do gênero *Spirulina* requerem meio de alta alcalinidade e com suprimento constante de bicarbonato, o que minimiza contaminações por outras algas e bactérias (USHARANI, SARANRAJ e KANCHANA, 2012). O Quadro 4 apresenta a composição do meio de cultivo Zarrouk.

Quadro 4 - Composição química do meio Zarrouk.

Componente	Quantidade
NaHCO ₃	16,8 (g.L ⁻¹)
K ₂ HPO ₄	0,5 (g.L ⁻¹)
NaNO ₃	2,5 (g.L ⁻¹)
K ₂ SO ₄	1,0 (g.L ⁻¹)
NaCl	1,0 (g.L ⁻¹)
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,2 (g.L ⁻¹)
CaCl ₂	0,04 (g.L ⁻¹)
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,01 (g.L ⁻¹)
EDTA	0,08 (g.L ⁻¹)
Solução A ₅ *	1 mL
Solução B ₆ **	1 mL

*Solução A₅ (g.L⁻¹): H₃BO₃: 2,86; MnCl₂.4H₂O: 1,81; ZnSO₄.7H₂O: 0,222; CuCO₄.5H₂O: 0,079; MnO₃: 0,015. / **Solução B₆ (g.L⁻¹): NH₄VO₃: 22,86; KCr(SO₄)₂. 12H₂O:192; NiSO₄. 6H₂O: 44,8; NaWO₄. 2H₂O: 17,94; TiOSO₄. H₂SO₄. 8H₂O: 61,1; CO(NO₃)₂. 6H₂O: 43,98. Fonte: TEDESCO (2010).

2.2.2. Intensidade de luz

A intensidade de luz é um dos fatores de maior importância no cultivo de microalgas e cianobactérias, pois os pigmentos capturam a energia para realizar o processo de fotossíntese (ATTA et al., 2013). Em larga escala, a maioria dos cultivos usa a luz solar como fonte de energia. No entanto, para a produção de biocompostos de alto valor agregado, como a ficocianina e os ácidos graxos essenciais, a luz artificial é mais comumente usada nos cultivos, com controle eficiente e padronizado da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos, resultando em altas produtividades (BLANKEN et al., 2013). As lâmpadas fluorescentes são as fontes de energia artificiais mais usadas em culturas de microalgas. Os diodos emissores de luz (LEDs) são considerados uma fonte de energia ecologicamente correta e uma tecnologia econômica (ATTA et al., 2013)

2.2.3. Temperatura

A temperatura ótima de crescimento celular das microalgas do gênero *Spirulina* está avaliada entre 30 e 35°C em condições de laboratório. Ao ar livre, parece que um aumento de temperatura de até 39°C por algumas horas não é prejudicial a microalga ou sua capacidade fotossintética, o que sugere condições de crescimento celular favoráveis em regiões como Norte e Nordeste do Brasil. As cepas termofílicas ou termotolerantes podem ser cultivadas a temperaturas entre 35 e 40°C. Essa propriedade tem a vantagem de eliminar contaminantes mesofílicos microbianos (HABIB et al., 2008). A temperatura mínima em que o crescimento celular das microalgas do gênero *Spirulina* ocorre é de cerca de 15°C durante o dia. À noite, pode tolerar temperaturas relativamente baixas. (Richmond, 1986). Por outro lado, quando as temperaturas locais são menores que 30°C, climatizadores tornam-se necessários para melhorar a produtividade para geração de biomassa, o que aumenta os custos operacionais. A temperatura influencia também na composição das microalgas, alterando a concentração de proteínas e lipídios (BOMBART et al., 1993).

2.2.4. Agitação

A agitação é um fator importante no cultivo da microalga, pois está relacionada com a distribuição das células, dos metabólitos, transferência dos gases e de calor, prevenção de sedimentação e auxílio no maior contato entre células e nutrientes. Tais fatores tem influência no crescimento celular, podendo causar diferentes efeitos na composição bioquímica, especialmente quanto ao teor de proteínas, polissacarídeos e clorofila. (RIVKIN, 1989).

Além disso, a agitação das culturas de algas apresenta vantagens na distribuição uniforme de CO₂ e prevenção de estratificação térmica. Dentre dispositivos USADOS para promover agitação e turbilhonamento já relatados na literatura, tem-se as turbinas com impelidores e pás agitadas mecanicamente, bombas de circulação, fluxo gravitacional e agitação manual (USHARANI, SARANRAJ; KANCHANA, 2012). Para o caso de lagos rasos em formato de pistas 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 et al., 2008).

2.2.5. Outros fatores de crescimento

Conforme descrito no trabalho de Dubey (2006), a aeração está relacionada a agitação, podendo ser alcançada pelos distribuidores de ar, cuja vazão de ar é controlada por rotâmetros, e assim fornecer a dispersão das células em crescimento em suspensão. Essa descoberta foi descrita como necessária para obter boa qualidade e melhores rendimentos das espécies de *Spirulina*.

Além disso, a qualidade da água também tem influência no crescimento celular e cultivo da microalga, afetando a solubilidade dos nutrientes adicionados no meio e também no acúmulo seletivo de certos metais pesados pelas algas durante a fase de crescimento (USHARANI, SARANRAJ e KANCHANA, 2012).

2.3. PRODUÇÃO DE MICROALGAS DO GÊNERO *Spirulina*

2.3.1. Sistemas de Produção

A maioria dos sistemas de produção de biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* são formas convencionais e simples, mas também podem envolver processos e equipamentos mais complexos e sua escolha depende dos produtos de interesse (biomassa, ácidos graxos, pigmentos, entre outros) que as microalgas podem sintetizar naquelas condições (BARROS, 2010).

As microalgas podem ser produzidas em diferentes sistemas de produção, variando desde cultivos a céu aberto em tanques com fundo de terra, com pouco ou até mesmo nenhum controle de parâmetros ambientais, até o uso de equipamentos específicos. Esses equipamentos são denominados fotobiorreatores, em que é possível realizar o controle de variáveis ambientais, obtendo uma melhor produtividade do cultivo (BARROS, 2010).

Nos tanques de cultivo abertos não é possível realizar controle de temperatura, iluminação e evaporação. Entretanto, permitem produzir grandes volumes de microalgas, mas ocupam uma área mais extensa e o índice de contaminação biológica por outras microalgas, bactérias e protozoários, é elevado (RICHMOND, 2004). A Figura 2 ilustra exemplos de sistemas de cultivo fechado e aberto, respectivamente.



Figura 2 – Foto ilustrativa de sistemas de cultivo fechado e aberto. A) Fotobiorreatores do Centro de Pesquisa de microalgas na Embrapa de Brasília-DF e B) Lagoas de produção de Spirulina na província de Hainan, China.

Fonte: LOPES (2017) e CHEN et al. (2016).

Já nos fotobiorreatores os parâmetros podem ser otimizados de acordo com as características fisiológicas e biológicas da espécie cultivada. No geral, apresentam vantagem em relação aos sistemas de produção abertos, pois oferecem melhor controle de parâmetros de crescimento celular, condições de cultivo (agitação, temperatura, pH) e de contaminação por micro-organismos competidores (RICHMOND, 2004). Entretanto, a produção nesses biorreatores apresenta limitações, como superaquecimento, entupimento, acumulação de oxigênio e custo. Apesar da produtividade por área de sistemas abertos ser maior, em sistemas fechados a produtividade volumétrica e concentração celular superam os sistemas abertos (MOHEIMANI, 2005 e SILVA, 2019).

2.3.2. Tecnologias de Produção

A utilização otimizada da biomassa de microalgas depende da definição de variáveis apropriadas de operação e projeto e deve-se levar em conta a escalabilidade e fatores de economicidade como consumo de energia. Além disso, tecnologias apropriadas devem ser estabelecidas para obter as frações desejadas da matéria-prima, seguidas pela caracterização e, em alguns casos, purificação. Todos esses detalhes

contribuem para a complexidade do processo, que aumenta com a eficiência necessária. Diferentes métodos de produção podem ser usados a depender se o interesse é obtenção de biomassa, de algum metabolito ou de pigmento (UEBEL et al., 2017).

Processos de produção com microalgas costumam ser onerosos e uma alternativa para torná-los mais viáveis é a inclusão dos conceitos de biorrefinaria, em que uma quantidade ampla de bioprodutos são obtidos da mesma cadeia produtiva, aumentando o valor agregado e tornando a produção economicamente viável. Para que isso seja possível, é necessário o desenvolvimento de tecnologias aplicáveis a múltiplos produtos finais, com volume e qualidades suficientes e estudos prévios de viabilidade técnica e econômica (GÓMEZ, 2015).

Quando o interesse é extrair proteínas, peptídeos, lipídeos, pigmentos, entre outros, a primeira etapa envolve um método de extração. Uma alternativa simples e clássica para extração de proteínas de microalgas é baseada na solubilidade de proteínas. Para a *Spirulina platensis*, realiza-se a ruptura celular para acessar as proteínas e solubilizá-las. Isso pode ser realizado com métodos, físicos, químicos, enzimáticos ou até combinação dos mesmos (GÓMEZ, 2015).

Alguns metabolitos, como peptídeos bioativos, são obtidos por hidrólise enzimática de proteínas de microalgas, por gerar menos resíduos. Sua recuperação é realizada através de tecnologias de purificação, como: ultrafiltração por membranas; cromatografia em gel; electroforese, entre outras (GÓMEZ, 2015). A Figura 3 mostra as principais etapas do processo de produção de peptídeos.

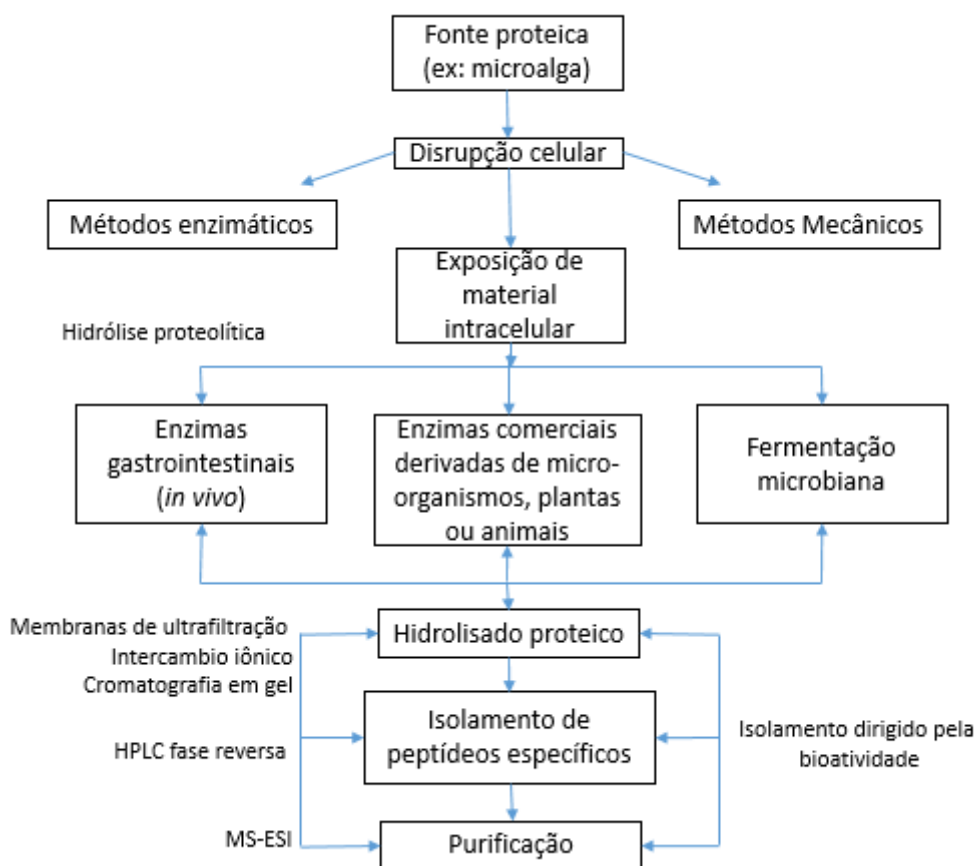


Figura 3 - Diagrama de blocos das etapas envolvidas no processo de produção de peptídeos bioativos.

Fonte: Gómez (2015).

Para a purificação de ficobiliproteínas, usualmente tem-se as etapas de precipitação, centrifugação, ultrafiltração, sistema aquoso bifásico, cromatografia, diálise, cromatografia em gel de filtração ou pode-se combinar uma ou mais técnicas (LING et al., 2004).

De acordo com a empresa *Japan Algae Co.*, produtora de pó e tablets de biomassa de cepas do gênero *Spirulina*, o processo de produção inclui basicamente quatro etapas: cultivo; filtração; lavagem e desidratação e secagem. O cultivo é feito nas mesmas condições do habitat natural da microalga, em lagos de água salgada, na área subtropical. Uma solução alcalina com nutrientes é derramada no lago raso, que é agitado, permitindo a microalga realize a fotossíntese e se multiplique. Logo após, a microalga é separada da solução de cultivo por filtração. Após, separada do meio de cultivo, a biomassa é colocada no filtro de desidratação a vácuo e lavada com água limpa e desidratada. Por fim, a

biomassa desidratada é instantaneamente seca em um secador por *spray* e transformada em pó fino.

No trabalho de Islam et al. (2015) foi abordado o processo de produção da *Spirulina maxima*, conforme ilustra na Figura 4. É possível observar que no fluxograma foi considerada a etapa posterior de embalagem.

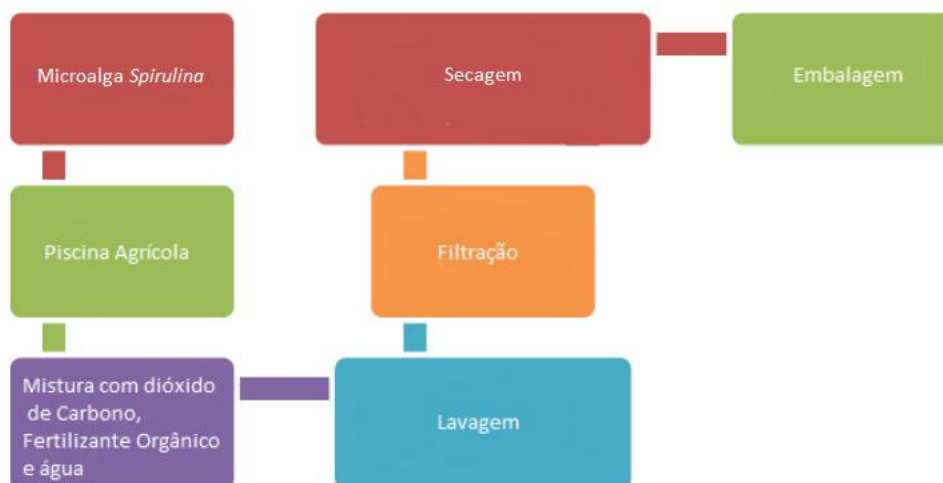


Figura 4 - Fluxograma esquemático das etapas de produção de *Spirulina maxima*.

Fonte: Adaptado de ISLAM et al. (2015).

Outra etapa final a ser considerada no processo de produção está relacionada com o controle de qualidade que inclui testes microbianos, testes para metais pesados e pesticidas, testes de composição química e detectores de metais estranhos e fragmentos de insetos, entre outros (BELAY et al., 1993).

2.4. MICROALGAS E SUAS APLICAÇÕES

As microalgas podem ser usadas em diversas aplicações comerciais, como aumento do valor nutricional de alimentos e rações animais; uso na aquicultura; incorporação aos cosméticos; uso como biocombustível, entre outros. Elas possuem três características que podem ser usadas como vantagens técnicas e comerciais. Primeiro, as microalgas fazem parte de um grupo geneticamente diversificado com ampla gama de atributos bioquímicos e fisiológicos, o que permite a produção de açúcares, gorduras e compostos bioativos diferenciados. Segundo, é possível fazer a incorporação em sua

biomassa, de forma econômica, de isótopos estáveis de ^{13}C , ^{15}N e ^2H , e com isso, em vários compostos produzidos por esses organismos. E por último, as microalgas compreendem um grupo grande pouco explorado em relação aos produtos (PRIYADARSHANI e RATH, 2012).

Apesar das várias aplicações que microalgas podem apresentar, o presente trabalho pretende centralizar nas aplicações voltadas para alimentação humana, logo, nos próximos tópicos será aprofundado apenas os dois principais usos das microalgas do gênero *Spirulina* na alimentação: como suplemento alimentar e como corante alimentar.

2.4.1. Microalgas como suplemento alimentar

Atualmente, a busca por alternativas alimentares mais saudáveis e que possam agregar valor nutricional a praticidade cotidiana estão cada vez maiores. Alimentos derivados de microalgas são uma opção saudável devido a sua composição química que é uma rica fonte de nutrientes e por isso já são comercializados como cápsulas, comprimidos, pós e líquidos. Eles também são misturados com doces, gomas, lanches, pastas, macarrão, cereais matinais, vinho e outras bebidas. Entre as espécies de microalgas amplamente utilizadas podem ser incluídas *Spirulina plantesis*, *Spirulina maxima*, *Chlorella sp.*, *Dunaliella terticola*, *Dunaliella salina* e *Aphanizomenon flos-aquae* devido ao seu alto teor de proteínas e valor nutricional (KOYANDE et al., 2019). O Quadro 5 apresenta alguns exemplos de microalgas e seus produtos usados para nutrição humana.

Quadro 5 - Principais microalgas comercializadas para nutrição humana

MICROALGAS	PRINCIPAIS EMPRESAS	PRODUTOS	PRODUÇÃO GLOBAL (t/ano)
<i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira</i>)	Hainan Simai Pharmacy Co. (China) Eartrise Nutritionals (CA. U.S.A.) Cyanotech Corp. (Havaí, E.U.A.) Myanmar Spirulina Factory (Myanmar)	pós, extratos tabletes, pós, extratos tabletes, pós, extratos, bebidas tabletes, salgadinhos, massa e extrato líquido	3000

<i>Chlorella</i>	Taiwan Chlorella Manufacturing Co. (Taiwan) Klotze (Alemanha)	tabletes, pós, néctar macarrões pós	2000
<i>Dunaliella salina</i>	Cognis Nutrition and Health (Austrália)	pós, beta-caroteno	1200
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Blue Green Foods (E.U.A.)	cápsulas, cristais	500

Fonte: PRIYADARSHANI & RATH (2012).

Entre as espécies citadas, uma das que mais vem sendo usada na alimentação são as microalgas do gênero *Spirulina*. Tornaram-se popularmente conhecidas como superalimento devido à grande diversidade e concentração de nutrientes. São consideradas a fonte de alimento integral mais nutritiva e concentrada encontrada na natureza. Microalgas do gênero *Spirulina* são comercializadas em todo o mundo como um complemento alimentar ou como ingrediente ativo em alimentos e bebidas funcionais. Atingiu uma aceitação considerável pelos benefícios de saúde que concede aos consumidores na Europa, América do Norte, partes da Ásia e Oceania. A concentração nutricional da biomassa a torna um complemento alimentar ideal para pessoas de todas as idades e estilos de vida (CAPELLI e CYSEWSKI, 2010). Em 2005, foi estimado o valor de mercado para a biomassa seca da microalga *Spirulina platensis* para nutrição em US\$ 40-50 milhões, com um volume de mercado global de 1,25 bilhão de dólares (PULZ & GROSS, 2004; SPOLAORE et al., 2006).

O uso da biomassa das microalgas do gênero *Spirulina* é principalmente devido ao seu alto teor de proteínas e facilidade de cultivo. A biomassa dessas microalgas é comercializada como comprimidos, cápsulas e líquidos que são utilizados como suplemento nutricional, conforme Quadro 4. As microalgas também são adicionadas a massas, salgadinhos ou bebidas como suplementos nutricionais (BECKER, 2004). A Figura 5 ilustra suplementos nutricionais como tabletes, pó e bebida.



Figura 5 - Suplemento nutricional comercial de *Spirulina*.

Fonte: "*Spirulina: para que serve e como usar*" (2018).

A comparação da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* com outros alimentos mostra seu perfil nutritivo elevado. Ela possui 180% mais cálcio que o leite integral; 670% mais proteína que tofu; 3100% mais beta-caroteno que cenoura; 5100% mais ferro que o espinafre e mais atividade antioxidante e anti-inflamatória em 3 g de *Spirulina* do que em cinco porções de frutas e legumes (CAPELLI e CYSEWSKI, 2010).

2.4.2. Microalgas e Corante Alimentar

Corantes possuem um papel fundamental nos alimentos. Em geral, eles são adicionados a diversos alimentos, especialmente, balas, gelatinas, doces, sucos, entre outros. Aditivos artificiais têm sido vistos cada vez mais como não saudáveis e capazes de gerar alergia, com isso, a demanda por produtos mais saudáveis e naturais tem aumentado cada vez. Além disso, os principais consumidores de muitos produtos que usam corantes são as crianças, que estão mais dispostas a comer quantidades excessivas desses aditivos, tornando ainda mais atrativo o uso de aditivos naturais como corantes (KALIL, et al., 2011).

Microalgas do gênero *Spirulina* são uma importante fonte de pigmentos, especialmente as ficobiliproteínas, que se dividem em três grupos: ficoeritrinas, ficocianinas e aloficocianinas. As ficocianinas são as mais abundantes dentre as ficobiliproteínas presentes nas microalgas do gênero *Spirulina*, podendo chegar a 20% da

massa seca de proteína e podem ser usadas como em alimentos (como sorvetes, geleias, produtos lácteos, chicletes) e em cosméticos (como delineadores e batom) (CAETANO, 2018).

A ficocianina apresenta características terapêuticas, anticâncer, propriedade antioxidante, antialérgico, anti-inflamatório, podendo ainda atuar como um agente hepatoprotetor, relaxante de vasos sanguíneos e controle nos níveis de colesterol, por isso é um aditivo atrativo em alimentos funcionais (KALIL, et al., 2011; CAETANO, 2018).

O valor de mercado da ficocianina varia de US\$ 3 – 25 por mg, para o pigmento bruto, e até US\$ 1500 por mg para o pigmento purificado, tornando a ficocianina um pigmento hidrossolúvel caro. (SILVA, 2008; CHAIKLAHAN et al., 2012).

Outro exemplo de pigmento obtido de microalgas é o beta-caroteno, que é usado como corante alimentar (com uma aplicação importante no fornecimento da cor amarela à margarina), como aditivo alimentar para melhorar a cor da polpa dos peixes e da gema dos ovos. O beta-caroteno natural é solúvel em gordura e anticarcinogênico; também é eficaz no controle do colesterol e na redução dos riscos de doenças cardíacas (PRIYADARSHANI e RATH, 2012).

2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tendo em vista a tendência atual pela busca de uma alimentação saudável; que as microalgas são organismos ainda pouco explorados quanto ao seu potencial biotecnológico e aos produtos possíveis de serem desenvolvidos; que a biomassa das microalgas do gênero *Spirulina* possui um caráter promissor e diversos benefícios quando aplicada na alimentação, o uso da sua biomassa para fins alimentícios se torna uma área interessante para estudo e pesquisa.

É importante entender quais suplementos alimentares são foco para alimentação; quais pigmentos podem ser usados como corantes alimentares naturais; quais condições de cultivo e tecnologias de produção favorecem a produção da biomassa e de pigmentos; quais aplicações de produto para alimentação pode ser observada e quais as características finais dos produtos após adição da microalga. Com isso, após essa análise, é possível entender quais novas tecnologias e processos podem ser explorados.

Nesse cenário, vislumbra-se a a necessidade e importância de utilizar ferramentas inteligentes de prospecção envolvendo o o mapeamento tecnológico global do uso de microalgas do gênero *Spirulina*, para fins alimentícios.

CAPÍTULO 3 - PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Os Estudos de Prospecção Tecnológica, também chamados de estudos de futuro, ou *forecast(ing)*, *foresight(ing)* ou *future studies*, fornecem as principais tendências de um setor, tecnologia, produto, seja no contexto mundial como em uma análise corporativa. Esses estudos são capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia e a sociedade como um todo devido ao mapeamento de desenvolvimentos científicos e tecnológicos (KUPFER & TIGRE, 2004). Sendo assim, é possível identificar tecnologias promissoras úteis para uma determinada organização ou país e também a possibilidade de parcerias para lançar-se à frente, garantindo a competitividade e a sobrevivência das instituições de P&D e dos usuários de seus resultados.

De acordo com Borschiver e Silva (2016), a análise prospectiva também pode ser definida como o conjunto de atividades e métodos utilizados para antever o comportamento de variáveis socioeconômicas, políticas, culturais e tecnológicas, bem como o efeito de suas interações. Assim, os estudos prospectivos tentam criar imagens do futuro, diminuindo a consideração do passado, porém nunca o eliminando.

Para processos de tomada de decisão para empresas e projetos os estudos de prospecção funcionam como uma ferramenta básica fundamental. O objetivo dos estudos de prospecção é delinear e testar visões possíveis e desejáveis que permitam melhores escolhas na construção do futuro (MAYERHOFF, 2008). Com isso, é possível realizar uma melhor alocação de recursos financeiros e de políticas públicas.

Portanto, a elaboração de estudos prospectivos traz benefícios como melhoria na forma de lidar com a incerteza; uma melhor compreensão do ambiente; visão global do ambiente e suas interligações; identificação de novas oportunidades de negócios e o desenvolvimento do pensamento estratégico da organização (RIBEIRO, 2018).

Os artigos científicos e documentos de patentes são importantes fontes de informação científica e tecnológica para esse estudo. A informação científica e tecnológica resume-se nos diferentes tipos de buscas que podem ser realizados para obter conhecimento sobre tecnologias disponíveis, orientar pesquisas, teses e constitui-se uma excelente base de dados para novos investimentos na indústria (QUADROS; VILHA, 2009).

Segundo a Federação Internacional de Documentação (FID) o termo Informação se refere a "todo conhecimento de natureza técnica, econômica, mercadológica, gerencial, social entre outros, que por sua aplicação, favoreça o progresso na forma de aperfeiçoamento e inovação".

O uso de artigos científicos tem um importante papel no que tange as informações científicas e tecnológicas. Os artigos servem como fonte de informações tecnológicas provenientes do meio científico e podem ser encontrados em uma série de banco de dados, entre eles a base *Scopus*, que será utilizada no trabalho em questão.

A publicação de artigos em periódicos científicos é um dos mecanismos mais utilizados pela comunidade científica para disseminação de resultados de pesquisas. Os resultados de uma pesquisa científica necessitam ser formalmente divulgados para assegurar a autoria de quem os desenvolveu (PIZZANI et al., 2008). Além disso, por serem um meio de transmissão do conhecimento produzido por pesquisadores, servem como literatura-base para corroborar os estudos já existentes e inspirar novas pesquisas.

Outra forma de verificar o desenvolvimento tecnológico sobre uma determinada tecnologia é através da análise dos documentos de patente. De acordo com a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), os pedidos de patente depositados em um determinado país são considerados como um indicador de avanço tecnológico desse país (MULLER, 2005). As patentes também são consideradas como indicadores de inovação, pois representam o resultado da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), produtividade e desenvolvimento de uma indústria/tecnologia específica. É possível fazer uma relação entre as atividades de P&D e o número de pedidos de patentes, para assim monitorar, comparar, e analisar as atividades de pesquisa de um novo setor ou de uma área temática específica. Quando realizada uma análise das tecnologias patenteadas, torna-se possível descobrir tendências sobre mudanças tecnológicas (ALENCAR et al., 2007).

É muito importante realizar uma análise de todos os dados coletados, sejam eles provenientes de artigos ou patentes, afim de verificar a sua relevância. Para compilação e análise de informações contidas na fonte, deve-se levar em conta o objetivo da organização em termos de atuação no mercado, de forma a realizar uma interpretação adequada e encontrar o valor agregado das informações.

Nestes termos, a prospecção tecnológica, por meio da gestão da informação, é extremamente útil para inferir o estado da arte de determinado setor, com o objetivo de gerar informações sobre a sua trajetória passada, presente e sobre as tendências futuras de mercado.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA DE PESQUISA

No presente trabalho é adotada a estratégia de prospecção tecnológica descrita por Bahruth, Antunes e Bomtempo (2006), que é composta por quatro fases bem definidas. A Figura 6 descreve de forma resumida cada uma dessas fases.



Figura 6 - Sequência de fases a serem adotadas para a Prospecção Tecnológica.

Fonte: Bahruth, Antunes e Bomtempo (2006).

Cada fase mencionada na figura acima será explicada de forma mais detalhada nos próximos tópicos.

4.1. FASE 1: ETAPA PREPARATÓRIA

A Fase 1, Etapa 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.

Para que pudesse dar início ao trabalho sobre microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios, foi realizada uma busca geral sobre o assunto objeto de estudo, para identificar os principais aspectos conceituais, definir a abordagem do estudo e a estratégia de busca de documentos para a próxima etapa. Para isso, foi executada uma revisão bibliográfica acerca do tema e após levantamento de um vasto número de dados a âmbito mundial, a estrutura de prospecção tecnológica foi elaborada.

4.2. FASE 2: ETAPA PRÉ-PROSPECTIVA

A Fase 2, “Etapa Pré-Prospectiva”, é baseada em uma metodologia definida com base nas informações da fase anterior, com palavras-chave específicas (busca mais direcionada) e buscas de documentos técnicos (artigos científicos e patentes), acompanhada de uma análise detalhada, em que os documentos encontrados são analisados segundo critérios, tais como ano de publicação, país de origem, tipo de autor e foco sobre o objeto de estudo.

A metodologia de pesquisa, empregada na fase de mapeamento de artigos científicos dentro do contexto de microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios, consistiu em busca por palavras-chave na base de dados *Scopus* (<http://www.scopus.com/>).

A base de dados *Scopus* 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.

O levantamento de informações, dentro do escopo do trabalho, oriundas de documentos de patentes consistiu em busca por palavras-chave na base de dados *USPTO* (*United States Patent and Trademark Office*) – <http://www.uspto.gov/> e no escritório brasileiro de patentes, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI - (www.inpi.gov.br).

A base de dados *USPTO* foi escolhida, pois a maior parte das instituições publicadoras de patentes deposita suas pesquisas nessa base, possuindo assim, ampla abrangência e possibilitando grande diversidade de resultados.

A base de dados do INPI permite o acesso a documentos de patente depositados no Brasil. A busca online pode ser feita através da combinação de palavras-chave ou Classificação Internacional de Patentes. A base também disponibiliza a busca de patentes em aniversário, isto é, documentos de patente de invenção (PI) completando 20 anos a partir da data de depósito e documentos de modelo de utilidade (MU) completando 15 anos a partir da data de depósito, prazos estes que correspondem aos prazos de vigência dos mesmos, constituindo, portanto, uma indicação de patentes provavelmente já em domínio público.

A combinação de palavras-chave e sua posterior busca nas bases de dados ocorreu através da seleção de combinações que possuem maior relevância com o tema e objetivos do presente trabalho. Pretende-se mapear os desenvolvimentos científicos na área estudada e identificar inovações tecnológicas capazes de promover possíveis influências no mercado de microalgas.

No presente trabalho será apresentada a prospecção tecnológica relacionada a artigos, patentes concedidas e patentes depositadas/solicitadas, através das taxonomias (*drivers*) identificadas e que serão alocadas aos conceitos de Mercado, Produto e Tecnologia, ao longo do tempo.

4.2.1. Artigos Científicos

Foram realizadas buscas de artigos científicos na base de dados *Scopus* através do uso das seguintes palavras-chave (limitadas a *title*, *abstract* e *keyword*) combinadas e devidamente associadas. O período de busca escolhido foi nos últimos 5 anos. A seguir, são descritas as combinações das palavras-chaves utilizadas e a quantidade de documentos obtidas:

- *Spirulina* AND *food*: 986 documentos e com os seguintes filtros, o foco ficou em 347 documentos:
 - ✓ Document Type: Articles
 - ✓ Source Type: Journals, Conference Proceedings;
 - ✓ Language: English, Portuguese
 - ✓ Filter by year: 2014 até 2019

- *Arthrospira* AND *food*: 286 documentos e com os seguintes filtros, o foco ficou em 166 documentos:
 - ✓ Document Type: Articles
 - ✓ Source Type: Journals, Conference Proceedings;
 - ✓ Language: English, Portuguese
 - ✓ Filter by year: 2014 até 2019

Artigos que não foram considerados relevantes (não havia relação direta com o foco *Spirulina* na alimentação) foram desconsiderados, assim como os repetidos, totalizando 141 artigos analisados (35% do total).

Todas as pesquisas foram ordenadas por relevância. O uso dessas palavras-chave se deu devido à priorização dos temas escolhidos para a construção do projeto e em muitas combinações, os documentos se repetiam.

4.2.2. Patentes

O número de patentes encontradas foi baixo e por isso foram analisadas apenas 18 patentes concedidas e 34 patentes depositadas/solicitadas. Para que fosse possível obter o maior número possível de patentes, para as patentes concedidas o horizonte temporal foi de 1980 a 2019/11 e para as patentes solicitadas de 2003 a 2019/12.

4.2.2.1. Patentes Concedidas

Foram realizadas buscas de patentes concedidas na base de dados *USPTO* (*United States Patent and Trademark Office*) através do uso das seguintes palavras-chave combinadas e devidamente associadas. Vale lembrar que as pesquisas nessa base de dados contemplam todos os resultados desde 1976, sendo que foram priorizados documentos que possuíssem relação com o tema deste trabalho, portanto, foram retirados os que se encontravam fora desse tópico.

A seguir, são descritas as combinações das palavras-chaves utilizadas e a quantidade de documentos obtidos, assim como a quantidade de documentos repetidos, irrelevantes (que não tem relação com o tema do trabalho em questão) e a quantidade de documentos que foram de fato analisados:

Quadro 6 - Combinações de palavras chaves e quantidade de documentos encontrados, repetidos, irrelevantes e analisados para Patentes Concedidas.

Palavras-chave	Documentos encontrados	Repetidos	Irrelevantes	Analisados
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” no Title</i>	2	0	0	2
<i>“Arthrospira” no Abstract AND “Food” no Title</i>	0	0	0	0
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” no Abstract</i>	4	2	2	0
<i>“Arthrospira” no Abstract AND “Food” no Abstract</i>	0	0	0	0
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” All Fields</i>	33	2	17	14
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Dietary” All Fields</i>	13	9	2	2
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Supplement” All Fields</i>	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria a partir do banco de dados *USPTO*.

4.2.2.2. Patentes Depositadas/Solicitadas

A busca de patentes depositadas também foi realizada na base de dados *USPTO* (*United States Patent and Trademark Office*) através do uso das seguintes palavras-chave combinadas e devidamente associadas. Também foram desconsideradas patentes que não possuíam relação com o foco deste trabalho.

A seguir, são descritas as combinações das palavras-chaves utilizadas e a quantidade de documentos obtidos, assim como a quantidade de documentos repetidos, irrelevantes e a quantidade de documentos que foram de fato analisados:

Quadro 7 - Combinações de palavras chaves e quantidade de documentos encontrados, repetidos, irrelevantes e analisados para Patentes Depositadas.

Palavras-chave	Documentos encontrados	Repetidos	Irrelevantes	Analisados
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” no Title</i>	7	4	0	3
<i>“Arthrospira” no Abstract AND “Food” no Title</i>	0	0	0	0
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” no Abstract</i>	9	8	0	1
<i>“Arthrospira” no Abstract AND “Food” no Abstract</i>	0	0	0	0
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Food” All Fields</i>	50	0	34	16
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Dietary” All Fields</i>	31	22	4	5
<i>“Spirulina” no Abstract AND “Supplement” All Fields</i>	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria a partir do banco de dados USPTO.

Já no caso da busca por patentes depositadas no Brasil na base de dados do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), foram usadas as seguintes palavras-chave:

- *(Spirulina* OR Arthrospira*) AND (aliment*)* no Resumo: 12 documentos encontrados, nos quais 9 estavam dentro do escopo.

4.3. FASE 3 E 4: ETAPA PROSPECTIVA E PÓS-PROSPECTIVA

Conforme descrito anteriormente, o método de prospecção tecnológica empregado neste estudo utiliza informações confiáveis e oriundas de artigos científicos e patentes. Esses documentos, quando analisados, representam uma potente ferramenta e um

instrumento bastante eficaz no apoio a tomada de decisão. É possível realizar essa afirmação, devido ao estado da arte disponível no seu conteúdo que permite a identificação de tecnologias relevantes, parceiros, concorrentes no mercado, rotas tecnológicas, inovações, investimentos, processos, produtos, PD&I, fusões e aquisições, dentre outras.

A fase 3 da prospecção objetiva analisar, discutir e explicitar graficamente os resultados do estudo prospectivo, tendo como base uma coleta e tratamento de dados da fase anterior.

A fase 4, etapa pós-prospectiva, é a comunicação dos resultados analíticos obtidos pelo mapeamento feito na fase 3, em que a finalidade é implementar ações e monitoramento baseado na evolução temporal e em tendências históricas apresentadas pelo produto de interesse. Todas essas etapas serão detalhadas em cada capítulo específico e ao longo do desenvolvimento do trabalho.

4.4. ESTRATÉGIA DE BUSCA DE ACORDO COM AS CLASSES TAXONOMICAS

Após a leitura do conteúdo dos documentos selecionados descritos nas metodologias de prospecção tecnológica, as informações extraídas foram analisadas em três níveis diferentes especificados a seguir: Macro, Meso e Micro.

Nível Macro: os documentos são analisados de acordo com informações objetivas, como a distribuição histórica de publicações, a distribuição por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia.

Nível Meso: os documentos são categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do tema. Após a análise dos documentos, foram identificadas as principais tendências dos documentos e a partir daí, foram criadas taxonomias/classificações para a melhor organização das informações.

As taxonomias utilizadas e as suas respectivas definições utilizadas na análise foram:

- **“Suplemento alimentar”:** quando são identificados nos documentos o interesse do uso da microalga como fonte de algum nutriente específico.
- **“Pigmentos”:** documentos que fazem referência à presença de pigmento na microalga. Eles foram divididos 3 diferentes grupos de pigmentos: ficobiliproteínas, carotenoides e clorofila. As ficobiliproteínas e os carotenoides foram subdivididos, de acordo com o corante natural pertencente ao grupo.
- **“Condições de cultivo”:** quando são citados nos documentos as condições usadas para produção da microalga. Entre eles estão, meio de cultura, aeração, temperatura, intensidade de luz, agitação e volume.
- **“Tecnologia de produção”:** relacionada à identificação da ocorrência de etapas frequentes para tal processo de produção.

- **“Aplicação de produto”**: quando é identificado qual produto final é enriquecido com a microalga.

- **“Características do produto”**: quando é identificada alguma alteração visível ou sensorial no produto após a adição da biomassa da microalga, seja ela relacionada ao aroma, sabor, cor, dureza ou firmeza.

Nível Micro: nesta fase do trabalho são identificadas e analisadas as particularidades de cada taxonomia da análise Meso, visando melhor compreensão e análise do tema.

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

Quadro 8 - Taxonomias nível Meso e Micro da prospecção tecnológica.

Meso	Micro	Meso	Micro
Suplemento Alimentar	Proteínas	Aplicação de Produto	Biscoito/Cookie
	Lipídeos		Lanches extrusados
	Aminoácidos		Produtos cárneos
	Compostos inorgânicos/minerais		Iogurte
	Carboidratos		Massa
	Ácidos graxos		Pó
	Compostos fenólicos		Comprimidos
	Vitaminas		Sopa
	Fibras		Salsicha
	Polissacarídeos		Queijo
	Folatos		Xarope
Condições de Cultivo	Meio de cultura	Barra de proteína	
	Aeração	Smoothies	
	Temperatura	Sushi recheado com <i>Spirulina</i>	
	Intensidade de luz	Sorvete	
	Volume	Croiassant	
	Agitação	Milho	
Características do Produto	Aumento da dureza	Gelatina	
	Odor/Aroma aceitável	Gel	
	Piora no odor	Bebida	
	Piora no sabor	Outros	
	Sabor aceitável		
	Redução na firmeza		
	Cor mais intensa		
	Outros		

Meso	Classe Micro Nível I		Classe Micro Nível II
Pigmentos	Ficobiliproteínas		Ficocianina
			Ficoeritrina
			Aloficocianina
	Carotenóides		Beta-Caroteno
			Licopeno
			Zeaxantina
			Luteína
			Astaxantina
			Xantofilas
			Zeaxantina
Clorofila		-	
Tecnologia de Produção	Para obtenção de biomassa e compostos bioativos	Para obtenção de pigmento	Métodos de extração
			Encapsulamento
			Secagem
			Métodos de purificação
	Cromatografia		
	Filtração		
	Hidrólise com enzimas		
	Outros		

Fonte: Elaboração própria.

Cabe ressaltar que o mesmo documento pode possuir mais de uma taxonomia.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. RESULTADOS DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS

5.1.1. Análise Macro

A Figura 7 mostra o percentual de artigos classificados como relevantes e irrelevantes, desconsiderando os artigos repetidos, em relação ao total de documentos encontrados, após a pré-seleção baseada nos critérios do método de pesquisa. Os artigos descartados são aqueles que não possuíam foco na área de interesse – *Spirulina* para fins alimentícios.

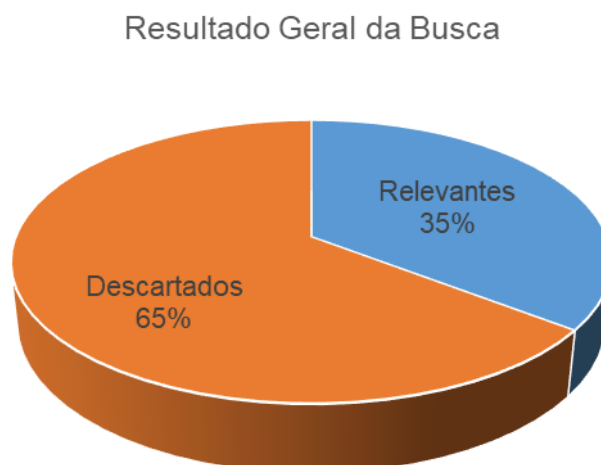


Figura 7- Gráfico de artigos relevantes e descartados gerado na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

É possível observar que apenas 35% dos artigos selecionados, com as palavras-chaves listadas anteriormente, foram relevantes para o mapeamento e que 65% foram considerados irrelevantes. Vale ressaltar que muitos artigos que foram descartados tinham como foco o uso da microalga para benefício medicinal/farmacêutico, o que não era o objetivo principal desta pesquisa.

Como exemplo, tem-se os artigos “*Efficacy of Spirulina platensis diet supplements on disease resistance and immune-related gene expression in Cyprinus carpio L. exposed to herbicide atrazine*” e “*Spirulina protects against hepatic inflammation in aging: An effect*”

related to the modulation of the gut microbiota?” relacionados com o uso da microalga para tratamentos de doenças.

Além disso, também foram desconsiderados artigos em que o foco era voltado para o uso da microalga para alimentação de organismos aquáticos. Como exemplo, o documento, cujo título é: *“Fish oil and meal replacement in mullet (Mugil liza) diet with Spirulina (Arthrospira platensis) and linseed oil”* e também, o artigo com o seguinte título: *“Effects of dietary fishmeal replacement with Spirulina platensis on the growth, feed utilization, digestion and physiological parameters in juvenile gibel carp (Carassis auratus gibelio var. CAS III)”*.

A Figura 8, mostra como ficaram distribuídos os artigos publicados de acordo com os anos. É possível notar que o ano com maior publicação foi o de 2018, com 43 artigos, seguido do ano de 2017 e 2015, com 27 e 22 publicações, respectivamente. A menor quantidade de publicações é encontrada no ano de 2014, com 8 artigos. Como a pesquisa e coleta de dados para este trabalho aconteceu no mês de julho de 2019, o valor de 19 publicações não corresponde a um valor completo que contemple a realidade anual, por isso 2019 não é um bom comparativo. Entretanto, como foram encontrados 19 artigos até metade do ano, espera-se que o valor final para este ano, seja um dos maiores, ou até mesmo o maior.

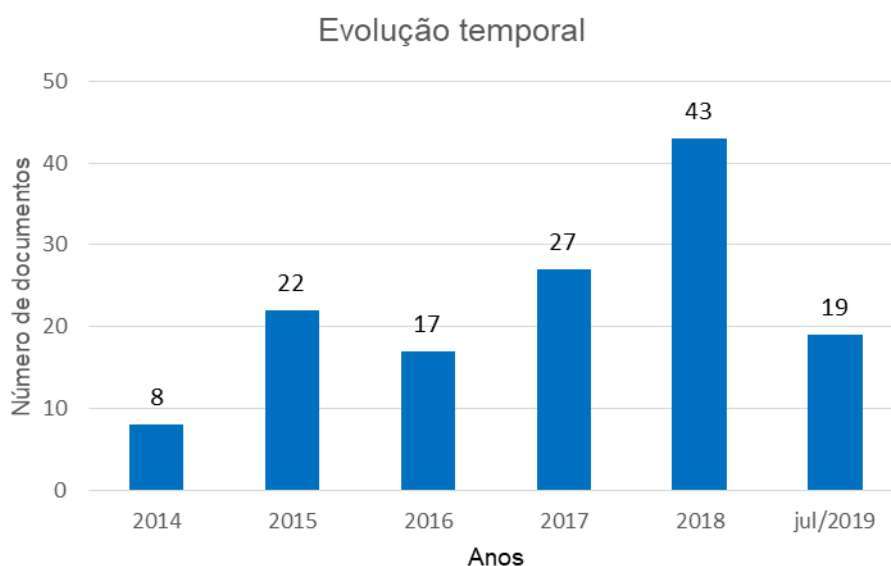


Figura 8 - Série histórica dos artigos relevantes gerada na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

A Figura 9 mostra a quantidade de artigos publicados por país. Para este gráfico foi considerado os países com até 4 publicações. É possível notar que o Brasil é apontado na primeira colocação com 15% das publicações, o que representa 26 publicações, seguido pela China e Índia com 9%, sendo 15 artigos cada. Esse cenário encontrado está dentro do esperado, pois, de acordo com CHEN et al. (2016) a China é a maior produtora de microalgas do gênero *Spirulina*.

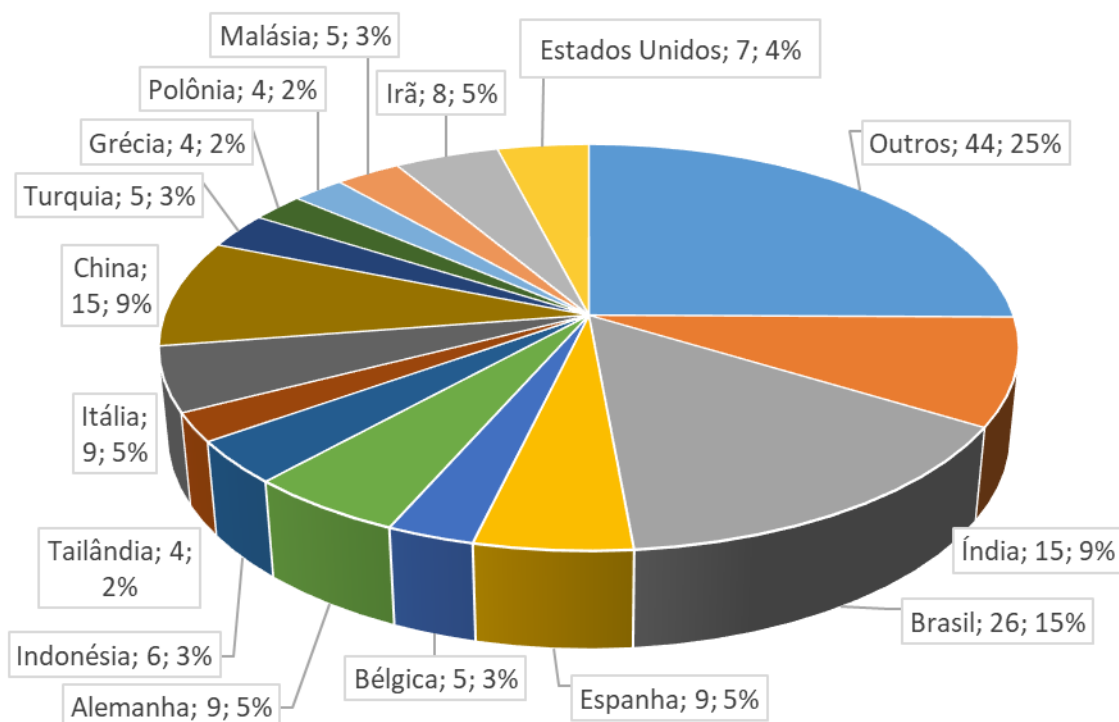


Figura 9 - Distribuição de Países para os Artigos Analisados obtida na base Scopus (2014 – julho/2019).

A Tabela 1 apresenta os países que estavam classificados como “Outros” na figura 9 e que tiveram 3 ou menos publicações, representando 25% do total.

Tabela 1 - Países com 3 ou menos publicações.

Outros países	Número de artigos relevantes publicados
Chade	3
Croácia	3
França	3

Coreia do Sul	3
Tunísia	3
México	3
Canadá	3
Egito	3
Portugal	3
Paquistão	2
Irlanda	1
Barém	1
Argélia	1
Suécia	1
Japão	1
República Checa	1
Venezuela	1
Finlândia	1
Marrocos	1
Sérvia	1
Áustria	1
Inglaterra	1
Colômbia	1
Austrália	1
Nova Zelândia	1

Fonte: base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Determinados artigos analisados neste trabalho, era de autoria dividida entre países parceiros, como ilustra a Tabela 2, com as parcerias entre países nas pesquisas cujo tema era o uso *Spirulina* com fins alimentícios.

Tabela 2 - Parcerias de pesquisas entre países

Parcerias	Nº de artigos
China/Estados Unidos	4
Índia/Malásia	1
Espanha/Sérvia	1
Espanha/Croácia	1

Bélgica/Áustria	1
Croácia/Espanha/Tunísia/Brasil	1
Índia/Croácia/Espanha	1
França/Tunísia	1
Bélgica/França	1
Alemanha/Espanha/Brasil	1
Polônia/Itália	1
Chade/França	1
Turquia/Estados Unidos	1
Paquistão/Estados Unidos	1
Argélia/Canadá	1
Canadá/Inglaterra	1
China/Coreia do Sul	1
Alemanha/Colômbia	1
Malásia/Austrália	1
Itália/Chade	1
Malásia/China	1
Portugal/Brasil	1
Bélgica/Grécia	1
México/Espanha	1
Tailândia/Nova Zelândia	1
Portugal/Itália	1
Brasil/Itália	1

Fonte: base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Do total de 30 artigos publicados com parceria, cerca de 13% envolve colaborações entre China e Estados Unidos, evidenciando a posição de poderio científico no cenário global. Um dos artigos resultantes da parceria entre esses países possui o título “*Microalgal industry in China: challenges and prospects*” e analisa brevemente os principais desafios e as possíveis soluções para expandir a produção comercial de microalgas na China e os mercados de produtos de microalgas (CHEN et al., 2016).

Nos 141 artigos analisados, a maioria foi oriunda de Universidades/Centro de pesquisas, com apenas 1 artigo desenvolvido apenas por empresa, cujo título é “*Diurnal variation of various culture and biochemical parameters of Arthrospira platensis in large-scale outdoor raceway ponds*”, em que o foco é analisar a variação diurna de alguns parâmetros fotossintéticos afim de otimizar a produtividade e a qualidade do produto. Além disso, 12 empresas fizeram parcerias com universidades, totalizando 13 artigos com participações de empresas em suas publicações.

A Figura 10 representa todas as Universidades/Centros de Pesquisa envolvidos na pesquisa com mais de 1 publicação.

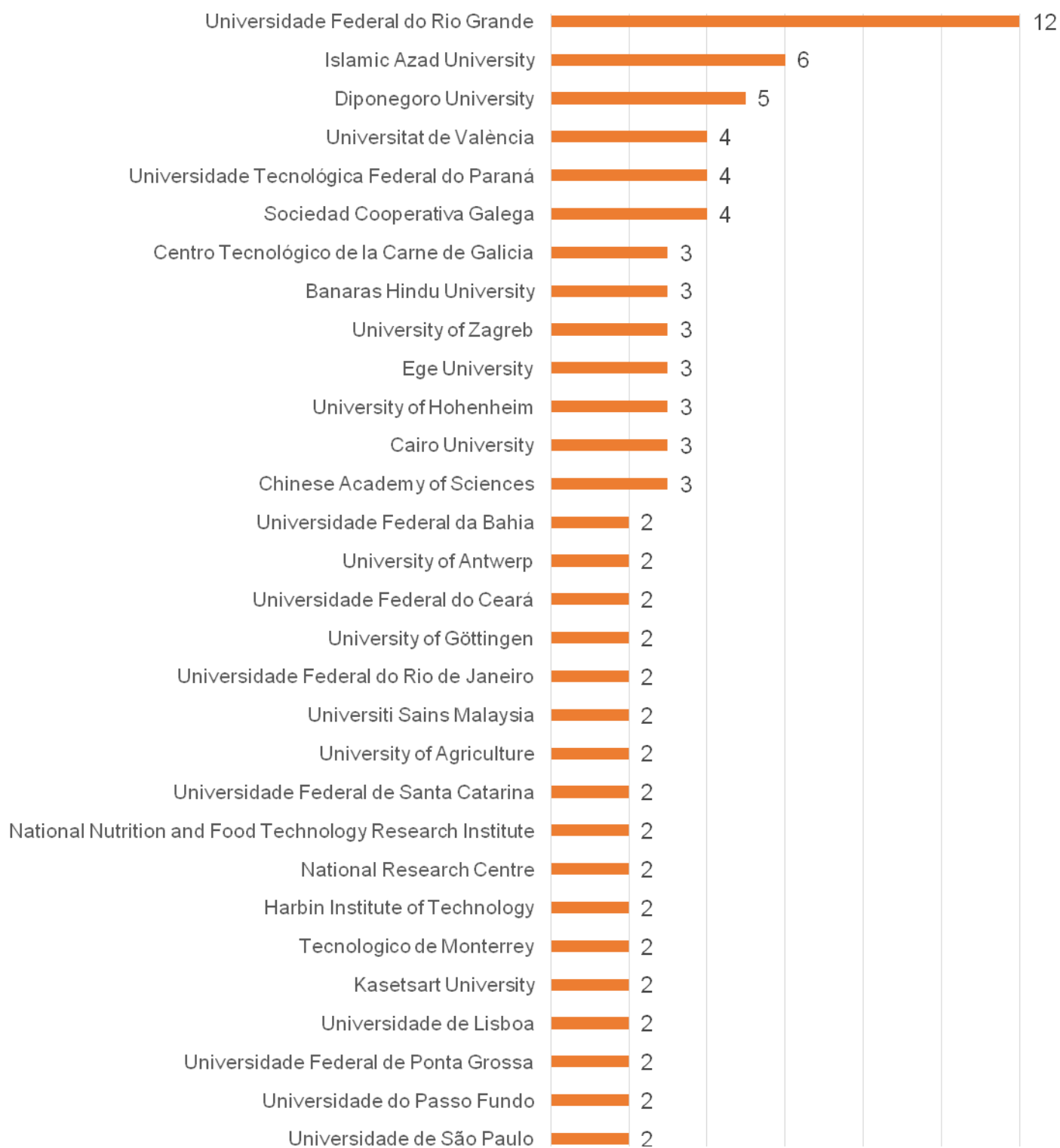


Figura 10 - Quantidade de artigos publicados por Universidade/Centro de Pesquisa, com mais de 1 publicação de acordo com a base *Scopus* (2014 – julho/2019)

Analisando a Figura 10 é possível notar que dentre as 92 publicações listadas acima, 30 são universidades brasileiras, mostrando a forte atividade do Brasil neste ramo de pesquisa. Vale ressaltar que as Universidades listadas podem ter trabalhado juntas na mesma publicação, ou seja, não necessariamente cada Universidade se refere a uma publicação diferente. Além disso, a Universidade Federal do Rio Grande se mostrou líder nessa área da pesquisa sobre microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios, estando bem à frente com 12 publicações. A Universidade localizada no Irã, Islamic Azad University e a Universidade localizada na Indonésia, Diponegoro University, ficaram em segundo e terceiro lugar respectivamente, com 6 e 5 publicações cada.

Na Tabela 3 estão relacionadas todas as empresas que foram encontradas nos artigos publicados em áreas relacionadas a microalgas para uso na alimentação no período de 2014 a 2019/7, todas com apenas 1 publicação.

Tabela 3 - Empresas envolvidas nos artigos publicados.

Empresas	Países
Beihai Shengbada Biotech Co.	China
Beihai Spd Science Technology Co.	China
BIOACTIVE Research & Innovation Food Manufacturing Industry Trade LTD Co.	Instambul
DSM Nutritional Products	Suíça
Earthrise Nutritional LLC	Estados Unidos
Ecoflora SAS	Colômbia
Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbH	Alemanha
GNT Europa GmbH	Alemanha
isi GmbH	Alemanha
Lebensmittel Vertrauen Analysen LVA GmbH	Áustria
MicroBio Engineering, Inc	Estados Unidos
Probiom Tecnologia	Brasil

Fonte: base *Scopus* (2014 – julho/2019).

É possível observar a presença de uma empresa brasileira - Probiom Tecnologia, que publicou o artigo "*Protein production by Arthrospira (Spirulina) platensis in solid state cultivation using sugarcane bagasse as support*" em 2016,

cujo foco era analisar o uso de bagaço de cana como suporte (em estado sólido) para produção das microalgas.

5.1.2. Análise Meso

Conforme citadas anteriormente, foram adotadas nessa fase algumas taxonomias para a realização da análise Meso e que foram utilizadas para a posterior análise Micro. É importante enfatizar que um mesmo documento pode ter mais de uma classificação, ou seja, um artigo pode abordar, ao mesmo tempo, pesquisas sobre “Suplemento Alimentar”, “Pigmentos”, “Condições de Cultivo”, “Tecnologia de Produção”, “Aplicação de produto” e “Características do Produto”.

Através da Figura 11, pode-se notar que referências sobre a “Suplemento Alimentar” da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* como um todo é o tópico mais presente nos artigos. Dos 141 documentos analisados, em 84 deles há informações sobre a “Suplemento Alimentar”, seguido do tópico “Pigmentos”, que consta em 53. A taxonomia “Características do Produto” é mencionada em 24 artigos e é o tópico menos comum.

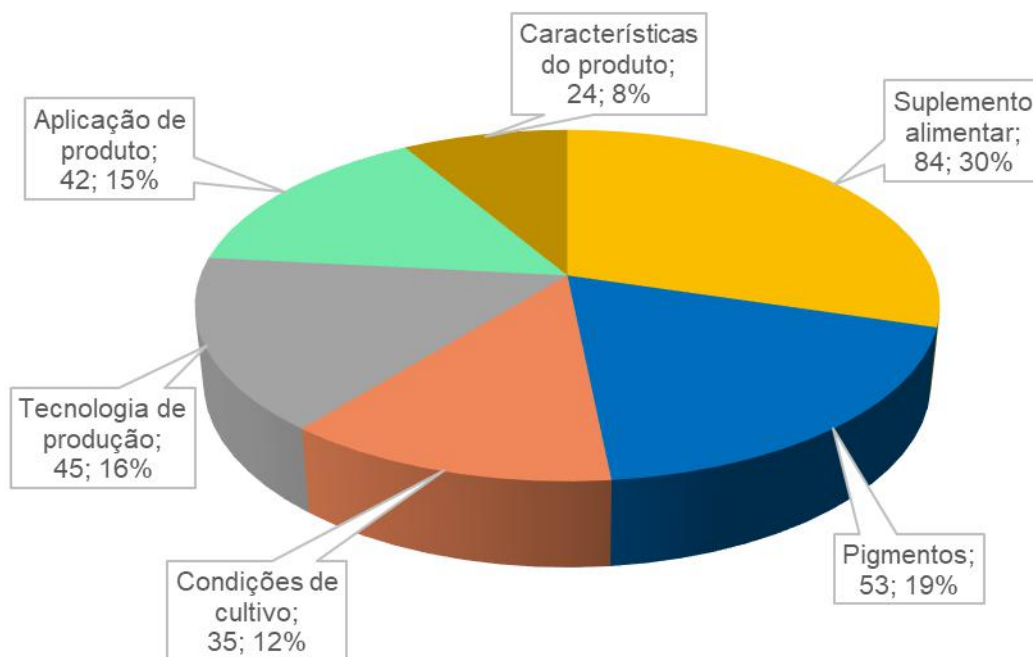


Figura 11 - Distribuição dos artigos publicados de acordo com as taxonomias definidas gerada na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

5.1.3. Análise Micro

Nesta fase do trabalho, cada fatia da análise Meso é detalhada sendo então identificadas particularidades. É importante salientar mais uma vez que a quantidade de citações em cada análise Micro poderá ser maior que as citações encontradas na análise Meso, uma vez que um mesmo artigo pode citar mais de um “Suplemento alimentar”, vários “Pigmentos”, assim como “Características do produto”.

5.1.3.1. Suplemento alimentar

Para o caso do “Suplemento alimentar”, é possível notar que o uso da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios tem como principal objetivo o fornecimento de proteínas para suplementação alimentar, somando 37% das referências. Após esse tipo de nutriente, pode-se destacar compostos inorgânicos/minerais, com 11% das citações e em seguida, lipídeos com 10%. Folatos foi o menos citado, representando apenas 2% do total.

Vale ressaltar que a grande maioria dos artigos mencionava vários nutrientes como fonte de suplemento alimentar, como o artigo publicado pela Universidade Federal do Rio Grande, cujo título é: “*Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations*”, em que nele é citado o uso da microalga como fonte de proteínas, lipídeos e compostos inorgânicos/minerais.

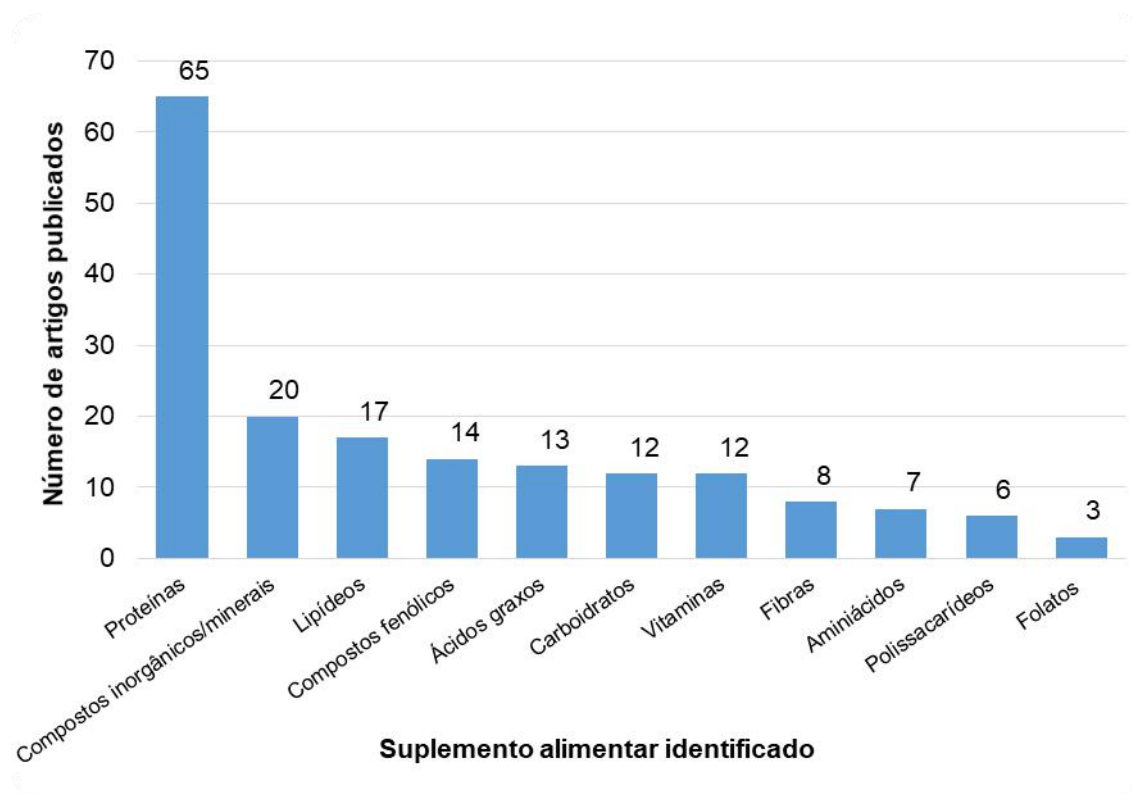


Figura 12 - Quantidade de documentos presentes nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

5.1.3.2. Pigmentos

A taxonomia “Pigmentos” buscou documentos que possuíam interesse nos pigmentos presentes nas microalgas do gênero *Spirulina*. A Classe Nível Micro I, representa as famílias de pigmentos: Ficobiliproteínas; Carotenóides e Clorofila. A Classe Nível Micro II representa a subdivisão das famílias em pigmentos específicos. Para o caso da Ficobiliproteínas, tem-se a Ficocianina, Ficoeritrina e Aloficocianina. Já para os Carotenóides é possível encontrar: Beta-caroteno, Licopeno, Zeatanotina, Luteína e Astaxantina. Vale ressaltar que não houve subdivisão para a Clorofila, pois cianobactérias só apresentam Clorofila a.

A Figura 13, apresenta os resultados referentes aos tipos de Pigmentos encontrados. É possível notar que as Ficobiliproteínas são as mais procuradas nas microalgas, representando 55% dos artigos analisados, seguido dos carotenoides com 32% e por último a Clorofila com 13%.

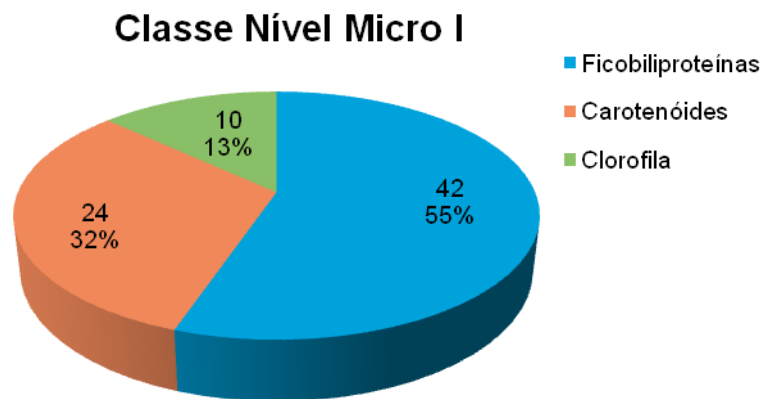


Figura 13 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Nível Micro I de "Pigmentos" obtida na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Com relação a Classe Nível Micro II, é indiscutível a predominância do interesse em ficocianina, que aparece com 55% das citações, seguido do beta-caroteno com 21%. O último colocado seria Zeatonina com apenas 3%. É importante mencionar que alguns artigos citavam os carotenoides como pigmento de interesse, porém não especificavam quais seriam os tipos, portanto, não puderam ser contabilizados nessa Classe Micro.

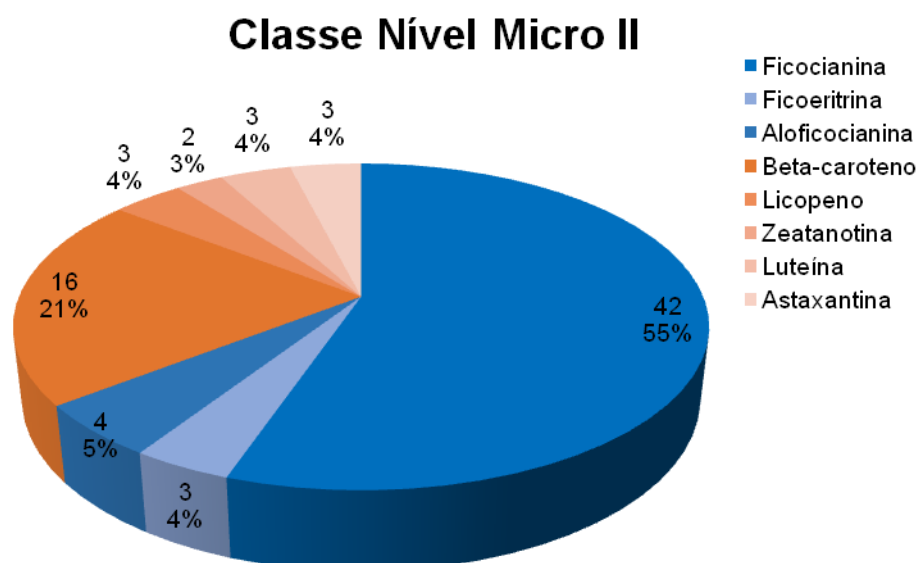


Figura 14 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Nível Micro II de "Pigmentos" obtida na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Um artigo que demonstra o interesse na ficocianina foi publicado pelo *National Research Centre* e a *Cairo University*, cujo o título é “*Functional characters evaluation of biscuits sublimated with pure phycocyanin isolated from Spirulina and Spirulina biomass*” e seu foco é estudar o efeito da incorporação de extratos de biomassa e ficocianina em biscoitos tradicionais de manteiga, a fim de aumentar a saúde através da melhoria no perfil nutricional do mesmo. O resultado foi positivo, apresentando, também, um bom perfil sensorial.

5.1.3.3. Condições de cultivo

As “Condições de cultivo” foram separadas com relação as variáveis que devem ser consideradas para otimização do cultivo da microalga. As principais condições de cultivo encontradas são: Meio de Cultura; Intensidade de Luz; Temperatura; Volume; Agitação e Aeração.

De acordo com a Figura 15, Meio de Cultura foi a taxonomia mais citada nos artigos analisados, aparecendo em 20 artigos, logo após está Intensidade Luz com 14

publicações. Aeração é a taxonomia com o menor número de citações, possuindo apenas 3.

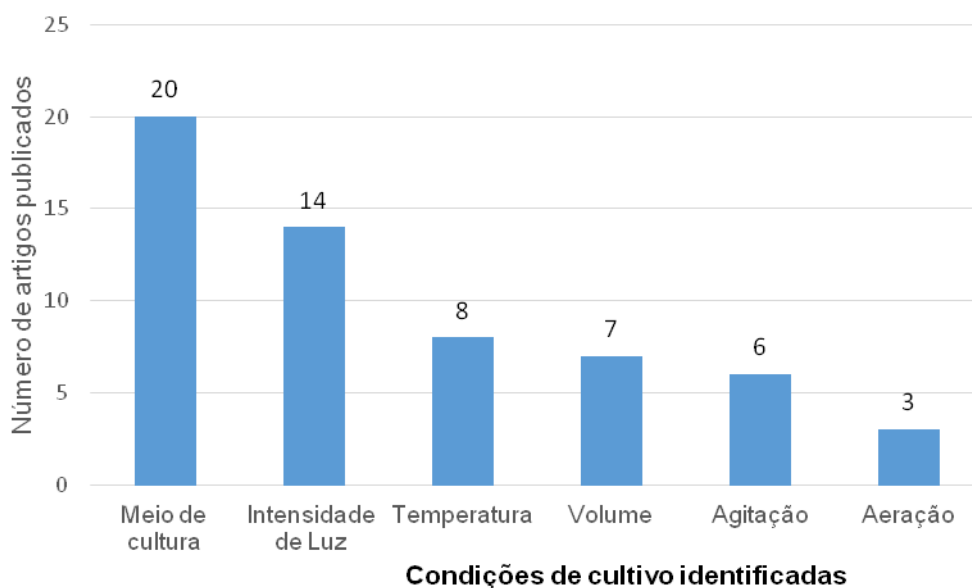


Figura 15 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Condições de cultivo" obtida na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Dentre os tipos de meio de cultura que mais foram mencionados, tem-se o meio de Zarrouk, que é um meio de cultivo muito utilizado para microalgas do gênero *Spirulina*. Além disso, outros tipos de meio foram observados como o uso do efluente da produção de cerveja, como citado no artigo "*Pretreatment of brewery effluent to cultivate Spirulina sp. for nutrients removal and biomass production*", publicado pela Universidade *Zhongkai University of Agriculture and Engineering* e o Centro de Pesquisa *Guangdong Provincial Engineering and Technology Research Center*. Outro exemplo é o uso de efluente do processo de biogás como meio de cultivo, presente no artigo "*Use of the effluent from biogas production for cultivation of Spirulina*", publicado pela *Swedish University of Agricultural Sciences*.

Para a intensidade de luz, vale citar o artigo "*Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of Arthrospira platensis*", da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto Nacional de Tecnologia que faz uso de luzes de LED como estratégia para aumentar a produtividade de biomassa e pigmentos de alto valor da *Arthrospira platensis*. Outro exemplo foi o estudo realizado acerca do uso de radiação ultravioleta na faixa de fluência selecionada (UV-B) e seu impacto na

produção de biomassa e pigmentos. O artigo foi publicado pela *University of Allahabad e Govt. Ramanuj Pratap Singhdev Post Graduate College*, cujo título é “*UV-B induces biomass production and nonenzymatic antioxidant compounds in three cyanobacteria*” e demonstrou resultado favorável para o uso dessa radiação.

A temperatura é um parâmetro muito relevante no cultivo das microalgas. Conforme descrito anteriormente, a temperatura ótima em condições de laboratório é entre 30°C e 35°C e isso foi notado nos artigos, como no caso do artigo cujo título é “*Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of Arthrospira platensis*”, artigo já citado no parágrafo anterior, que cultivou *Arthrospira platensis* na temperatura de 32 ± 1°C. Outro exemplo é o artigo é “*Evaluation of protic ionic liquids as potential solvents for the heating extraction of phycobiliproteins from Spirulina (Arthrospira) platensis*” da Universidade Federal do Ceará, em que a temperatura de 35°C foi observada como ótima para extração de ficobiliproteínas.

Com relação ao volume, ele é um importante fator para determinação da escala de produção. Como exemplo de artigo que fez referência a escala de bancada (laboratorial) tem-se o documento publicado pelos Centros de Pesquisa e Universidades: *Advanced Biomass R&D Center, Nambu University e Korea Advanced Institute of Science and Technology*, cujo título é “*Cost-efficient cultivation of Spirulina platensis by chemical absorption of CO₂ into medium containing NaOH*”, em que foi usado o meio de 1L para produção. Para escala piloto, tem-se o artigo “*Outdoor pilot-scale cultivation of Spirulina sp. LEB-18 in different geographic locations for evaluating its growth and chemical composition*” das Universidades brasileiras: Universidade Federal da Bahia; Universidade Federal do Rio Grande e Universidade Federal de Santa Catarina. Por fim, como exemplo de escala industrial, tem-se o artigo já citado anteriormente “*Cultivation of an Arthrospira platensis with digested piggery wastewater*”, que utilizou lagoa como meio de cultura de 250L.

5.1.3.4. Tecnologia de produção

As “Tecnologias de produção” fazem referência aos métodos para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos ou para Obtenção de Pigmento (Classe Micro Nível I). Entre essas tecnologias, encontram-se: Métodos de Extração; Encapsulamento;

Secagem; Métodos de Purificação; Cromatografia; Filtração; Hidrólise com Enzimas e Outros.

A Figura 16 mostra a distribuição de artigos encontrados para a Classe Nível Micro I. Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos representou 55% das pesquisas, enquanto Obtenção de Pigmento foi 45%.

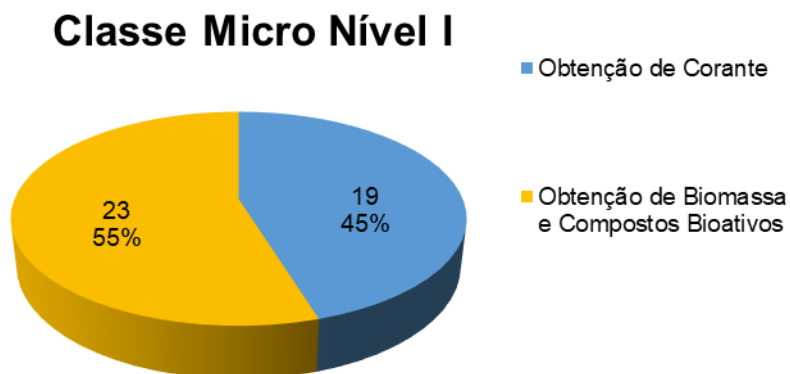


Figura 16 - Quantidade e percentual de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" de acordo com a base *Scopus* (2014 – julho/2019).

A Figura 17 mostra o resultado para a Obtenção de biomassa e Compostos Bioativos. É possível observar que o que é mais citado nos artigos são os Métodos de extração com 11 citações, seguido por Secagem e Hidrólise com enzimas, ambos com 4. Filtração e Encapsulamento foram o que tiveram menos citações com apenas 1 cada. No que se refere a taxonomia Outros, tem-se: Liofilização; Desodorização e Extrusão.

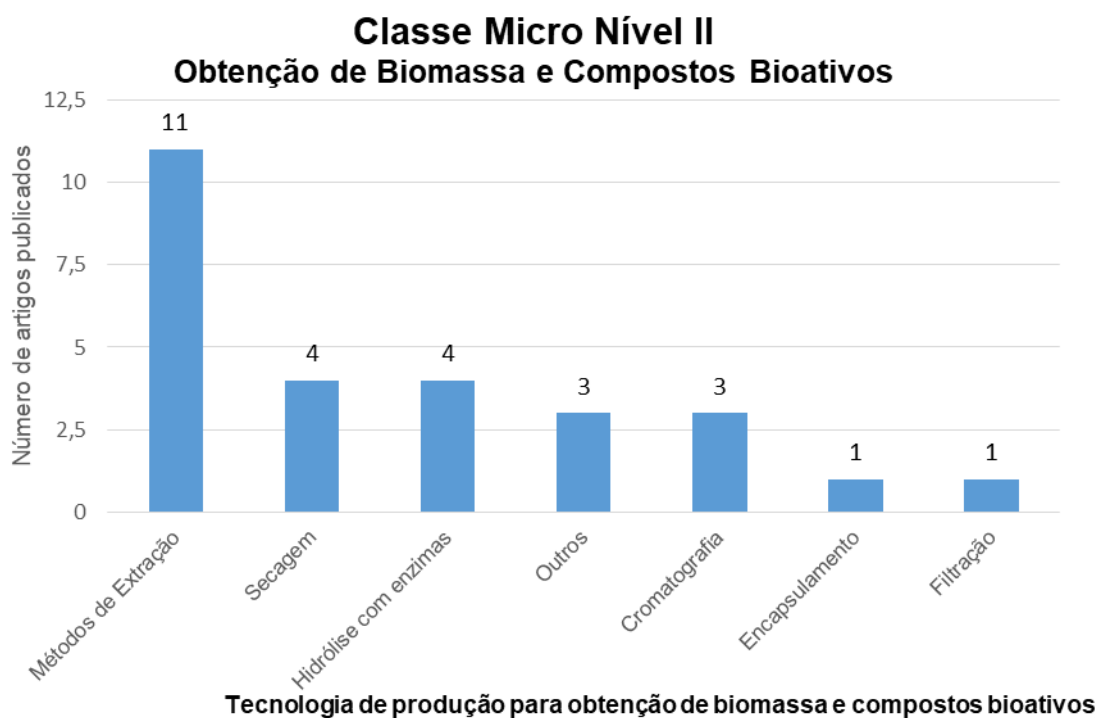


Figura 17 - Quantidade de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos obtida na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

Com relação aos Métodos de extração, foram citados diversos métodos, mas vale destacar Extração Ultrassônica que foi citada em 5 artigos. Entre outros Métodos de extração citados, tem-se: Extração com Etanol; Extração com NaOH, entre outros. O artigo: *“Recovery of phenolic compounds of food concern from Arthrospira platensis by green extraction techniques”* das Universidades Federal de Pernambuco; Federal Rural de Pernambuco e *University of Genoa*, menciona mais de um método de extração como: Extração Ultrassônica; Extração por Microondas e Extração por Alta Pressão e Temperatura.

A Figura 18 retrata o que foi obtido para a obtenção de pigmento. Métodos de extração é a taxonomia mais presente nos artigos com 13 citações, seguido de Métodos de purificação com 4 e Cromatografia com 3. Filtração apareceu em apenas 1 artigo.

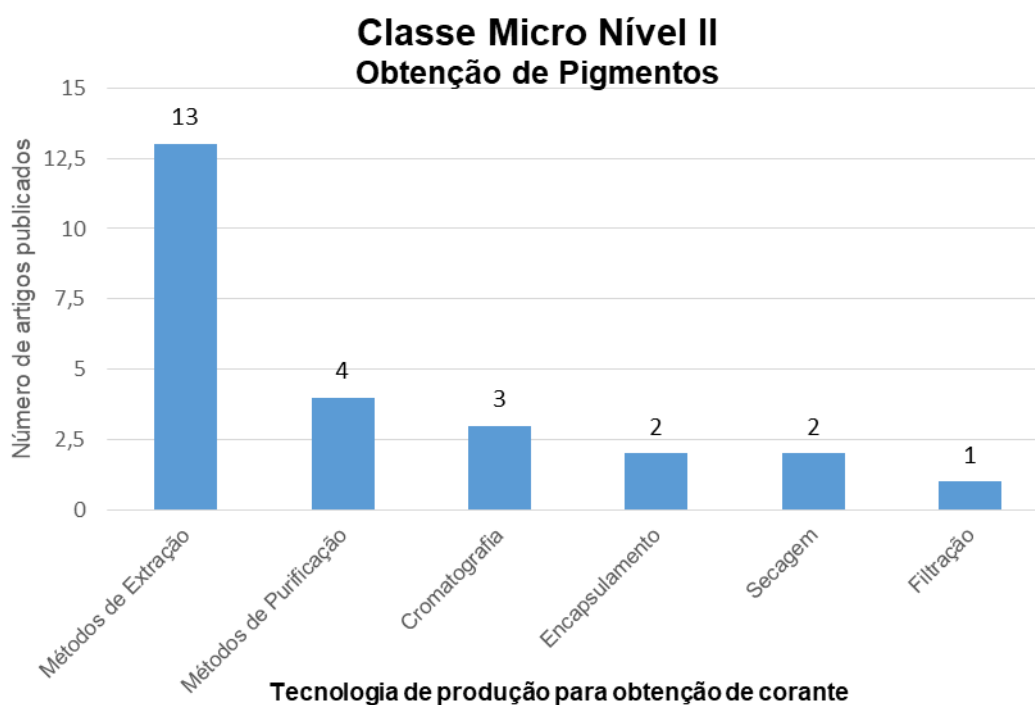


Figura 18 - Quantidade de artigos analisados referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento gerada na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

É importante destacar que para os Métodos de extração para Pigmentos, tiveram 5 citações para Extração Ultrassônica e 3 para Extração por Microondas, mostrando serem métodos mais frequentes para obtenção de pigmento. Como exemplo de outro método de extração de pigmento tem-se o artigo “*Single step aqueous two-phase extraction for downstream processing of Cphycocyanin from Spirulina platensis*”, dos seguintes Centros de Pesquisa: *CSIR-Central Food Technological Research Institute (CFTRI)*; *Jawaharlal Nehru centre for Advanced Scientific Research* e *Dayanada Sagar College of Engineering* em que foi realizada a extração aquosa bifásica de etapa única para obtenção de ficocianina. Outro método a ser mencionado foi a extração aprimorada de compostos bioativos através do armazenamento a frio de *Spirulina* fermentada por levedura, publicado pela *Keimyung University*, cujo título é “*Improved extraction of bioactive compounds by cold storage of spirulina fermented by Kazachstnia servazzii*”.

5.1.3.5. Aplicação de produto

A taxonomia “Aplicação de produto” é referente às diferentes formas que a biomassa das microalgas do gênero *Spirulina* pode ser utilizada, seja ela para alimentação diretamente ou com alguma relação, como no caso de embalagens inteligentes para alimentos.

A Figura 19 ilustra a grande gama de opções de aplicação da microalga na área alimentícia. É possível observar que biscoito/cookie é o que tem sido mais explorado nas pesquisas, com 7 publicações, seguido de lanches extrusados com 6. Produtos cárneos e iogurte foram os próximos colocados com 5 publicações cada.

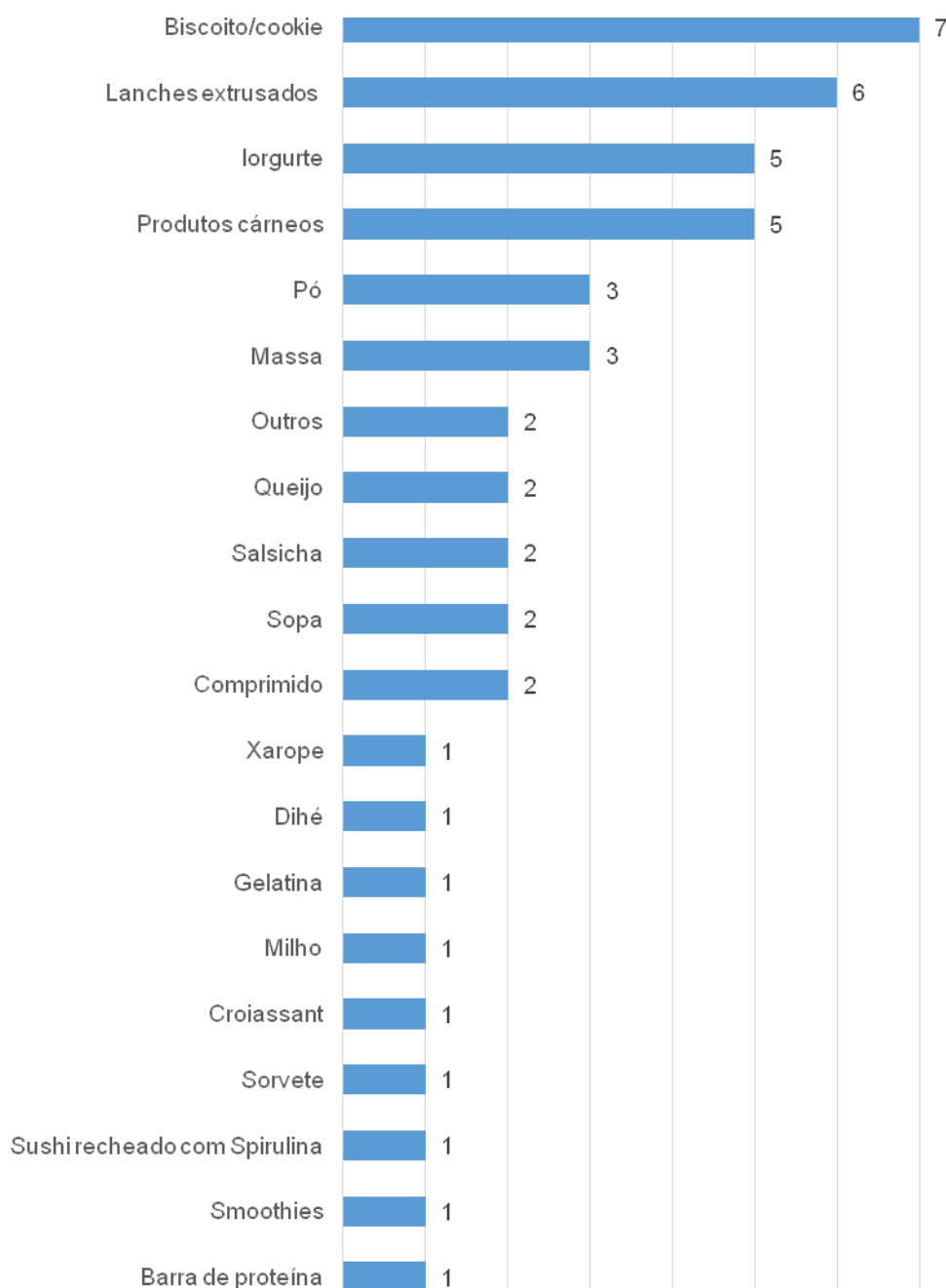


Figura 19 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Aplicação de produto" gerada na base Scopus (2014 – julho/2019).

A taxonomia Outros se refere ao uso de proteínas e ficocianina como indicador de pH em embalagens inteligentes, como no caso do artigo "*Development of pH indicator from PLA/PEO ultrafine fibers containing pigment of microalgae origin*" da Universidade Federal do Rio Grande e do artigo "*Properties of lysozyme/Arthrospira platensis (Spirulina)*"

protein complexes for antimicrobial edible food packaging” das seguintes Universidades: *Université de Carthage; Université de Sfax e Université de Lyon.*

5.1.3.6. Características do produto

As “Características do produto” são referentes aos parâmetros físicos e sensoriais dos produtos após enriquecimento com microalga. Essa análise é importante para entender quais combinações são as mais adequadas de forma a obter um produto que seja aceitável ao público. É importante ressaltar que nem todos os artigos que faziam a suplementação da microalga em algum produto alimentício abordava nas conclusões ambos os parâmetros (físicos e sensoriais).

De acordo com a Figura 20, a cor mais intensa foi o mais mencionado, estando presente em 19 artigos publicados. Logo após, encontra-se o sabor aceitável com 9 publicações, seguido de aroma aceitável com 7. Por fim, tem-se 1 artigo com piora no odor.

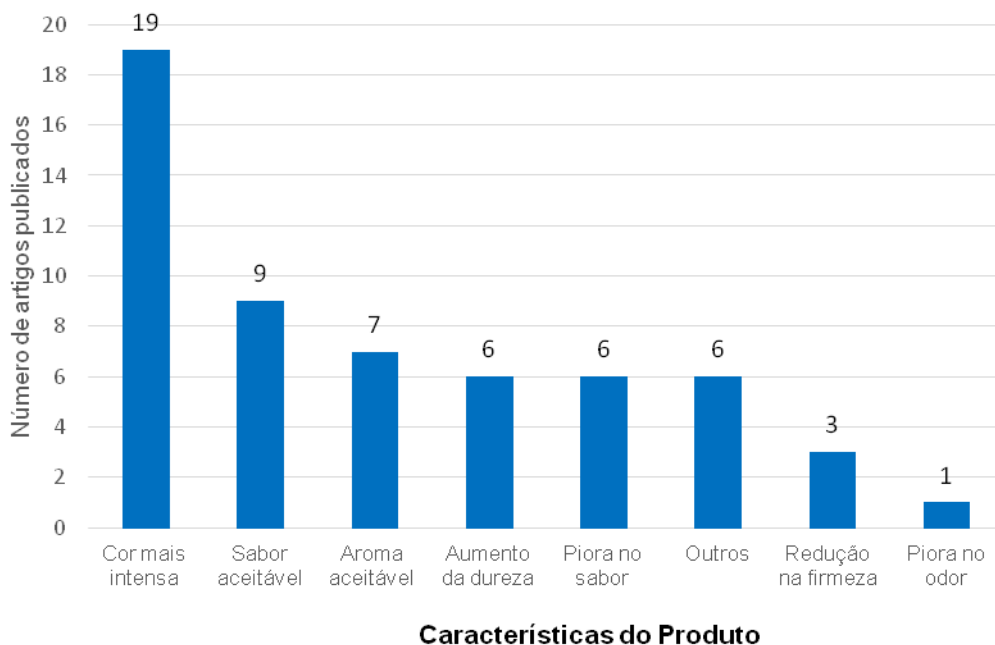


Figura 20 - Quantidade de artigos analisados referentes a "Características do produto" gerada na base *Scopus* (2014 – julho/2019).

A cor mais intensa é um atributo muito comentado nos artigos, pois a biomassa microalgal possui cor verde escura, tornando os produtos mais escuros. Um exemplo de artigo que cita isso é o “*Effect of Spirulina (Spirulina platensis) addition on textural and quality properties of cookies*” da *Warsaw University of Life Sciences SGGW*.

Para o caso do sabor aceitável, no artigo “*Effect of microalgae incorporation on the physicochemical, nutritional, and sensorial properties of an innovative broccoli soup*” do *Institute of Agriculture and Food Research and Technology e University of Almería*, sopas de brócolis foram enriquecidas com a microalga variando de 0,5 a 2,0% (p/v) e a aceitação no sabor foi justificada em menores concentrações. Outro exemplo é o artigo “Viabilidade de subproduto de pupunha, *Spirulina platensis* e espinafre para enriquecimento de sopa desidratada” publicado pela Universidade Estadual de Ponta Grossa; Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Universidade Estadual de Maringá, que a formulação com microalgas do gênero *Spirulina* foi identificada com sabor de ervas.

Já a piora no sabor, muitas vezes foi atribuída a maiores concentrações, como no artigo já citado no parágrafo anterior: “*Effect of microalgae incorporation on the physicochemical, nutritional, and sensorial properties of an innovative broccoli soup*”. No artigo “*Towards more sustainable meat alternatives: How technical parameters affect the sensory properties of extrusion products derived from soy and algae*” da *University of Göttingen e German Institute of Food Technologies*, a adição de *Arthrospira platensis* gerou um sabor terroso intenso, que não teve uma boa aceitação.

No caso de Outros, as seguintes características foram encontradas: baixa elasticidade; baixa fibrosidade; sem variação na dureza e índice de expansão; melhor crocância; leveza e textura estável.

5.1.4. Considerações finais da análise de artigos

Analisando os resultados para os artigos científicos, é possível observar uma evolução temporal, com exceção de 2016 em que houve menos publicações que 2015. Vale ressaltar que o ano de 2019 foi analisado até julho, logo o número total de artigos poderia ultrapassar 2018, aumentando conforme os anos anteriores.

O principal país envolvido na análise dos artigos científicos foi o Brasil, seguido da China e Índia na mesma posição. Conforme já comentado anteriormente, a China é uma das maiores produtoras da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina*, logo, já era esperado uma posição de destaque para este país. Além disso, foi observado uma grande diversidade de países nas publicações.

A análise dos artigos mostrou uma visível liderança de Universidades e Centro de Pesquisas nas publicações. Além disso, o Brasil se destacou mais uma vez, principalmente pela forte participação da Universidade Federal do Rio Grande. Já em relação às empresas, apenas 13 empresas estão envolvidas na publicação dos 141 artigos analisados.

A taxonomia “Suplemento alimentar” foi a mais citada nos artigos, mostrando que o interesse no uso da biomassa da microalga é voltado a sua composição para fins nutricionais e que muitas pesquisas têm sido realizadas referentes a esse tema. O “Suplemento alimentar” de maior interesse na biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* é a Proteína, que foi destaque nos artigos e isso é devido a sua composição que possui cerca de 60% de proteínas, muito mais que outros alimentos tradicionais. Também pode-se destacar Minerais e Lipídeos que também tiveram presença marcante nos resultados.

Para os “Pigmentos”, as Ficobiliproteínas predominaram os resultados dos artigos científicos. Dentre as Ficobiliproteínas, a Ficocianina foi a mais identificada nos documentos. Os Carotenóides também tiveram destaque nos artigos, mais especificamente o Beta-caroteno.

Nas “Condições de cultivo” o Meio de cultura foi o mais identificado nos artigos, com inovações quanto a diferentes meios de cultivo a fim de obter maiores quantidades de biomassa, como uso de efluente do processo de biogás como meio de cultivo e efluente da produção de cerveja. A Intensidade da luz também foi um parâmetro que vale o destaque e isso se dá porque essas microalgas necessitam da luz para realização da fotossíntese.

Para as “Tecnologias de Produção”, foi observado um grande foco nos métodos de extração para obtenção de pigmento. Entre os métodos de extração, os que mais foram citados foi a extração por micro-ondas e a extração ultrassônica.

Foi encontrada uma grande variedade de resultados para a “Aplicação de produto”, o que mostra que é uma área com alto potencial para pesquisa e desenvolvimento. Somando-se as aplicações encontradas tem-se cerca de 20 diferentes aplicações. Os maiores destaques foram: Biscoito; Lanches extrusados; Iogurte e Produtos cárneos.

Com relação as “Características do produto”, foi bastante mencionado a Cor Intensa observada nos alimentos após o enriquecimento de alimentos com a biomassa da microalga, seguido do Sabor aceitável e Aroma aceitável.

5.2. RESULTADOS DAS PATENTES CONCEDIDAS

As análises para Patentes Concedidas seguirão a mesma metodologia realizada para a análise dos artigos científicos.

5.2.1. Análise Macro

O primeiro gráfico obtido a partir da Análise Macro da prospecção tecnológica de patentes concedidas é o de atividade, isto é, a série histórica de publicações sobre microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios, na base de dados *USPTO*. Como o número de patentes concedidas encontradas foi muito baixo, o intervalo usado para análise foi de 1980 a novembro de 2019.

Na Figura 21, é possível notar as poucas patentes encontradas. O ano de 2019 é o que apresentou mais patentes na área, com 3, podendo aumentar o número de concessões até o fechamento do ano, visto que a análise foi realizada em novembro. Os anos de 1997 e 1998 apresentaram 2 patentes. Os outros anos variaram com apenas 1 patente ou nenhuma.

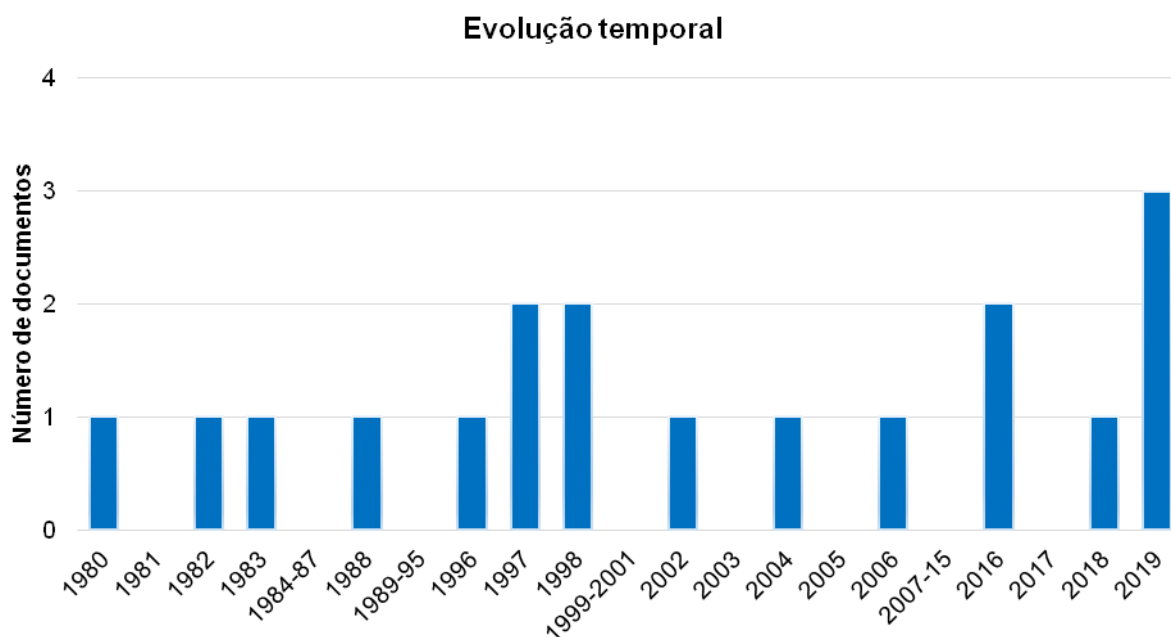


Figura 21 - Série Histórica em Patentes Concedidas obtida através da base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

É possível analisar os países de origem das patentes concedidas, conforme Figura 22. O país de maior relevância é os Estados Unidos, produzindo 67% dos documentos, em segundo tem-se o Japão com 22% e logo após, China e França com 6% cada.

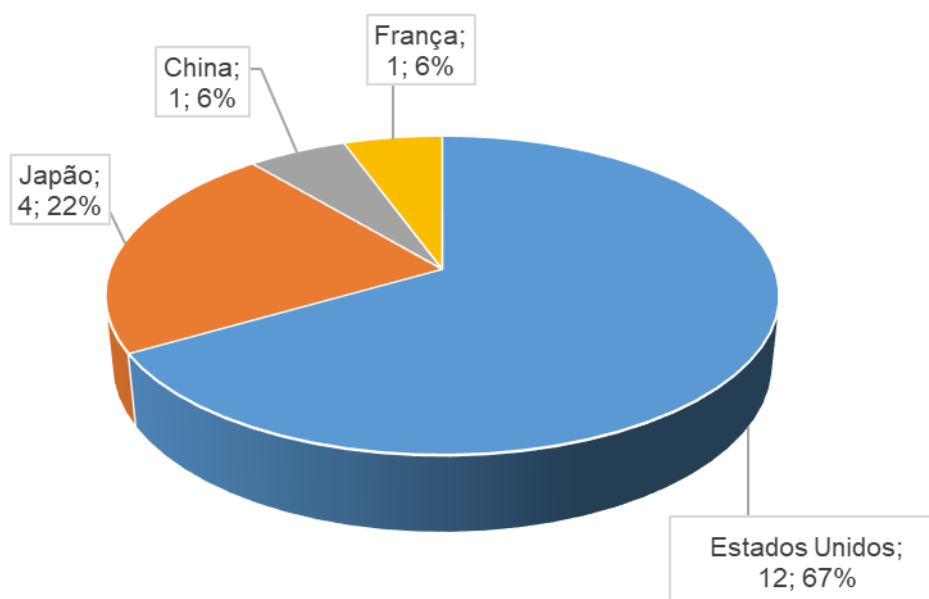


Figura 22 - Distribuição de Países em Patentes Concedidas obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

Também foi possível obter um gráfico do número de publicações por *player*. Das 18 patentes analisadas, foram encontradas 8 empresas, 3 grupos de pesquisadores e 1 Centro de Pesquisa (*Institut Francais du Petrole*) envolvidos na publicação dos documentos. A distribuição das empresas envolvidas encontra-se na Figura 23.

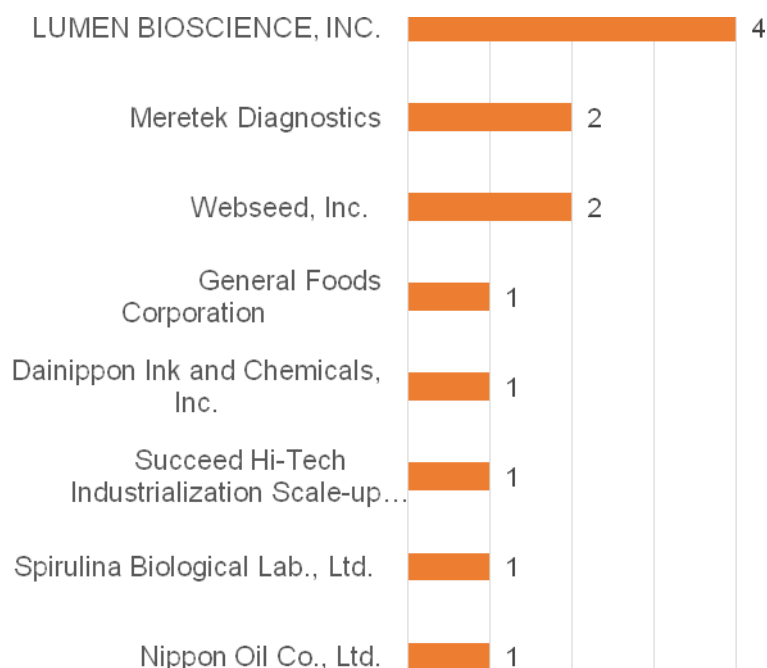


Figura 23 - Distribuição de Empresas em Patentes Concedidas obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

Analisando mais detalhadamente o perfil das empresas que publicaram patentes na área de *Spirulina* com uso na alimentação em relação às suas áreas de atuação, pode-se verificar os seguintes setores:

Tabela 4 - Classificação das Empresas encontradas nas Patentes Concedidas por setor industrial.

Empresas	Setor
General Foods Corporation	Alimentício
Spirulina Biological Lab., Ltd.	Alimentício

LUMEN BIOSCIENCE, INC.	Biotecnologia
Succeed Hi-Tech Industrialization Scale-up Assemblies Co., Ltd.	Biotecnologia
Meretek Diagnostics	Dispositivos médicos
Dainippon Ink and Chemicals, Inc.	Indústria Química
Webseed, Inc.	Internet (Notícias online)
Nippon Oil Co., Ltd.	Petróleo e energia

Fonte: base *USPTO* (1980 – novembro/2019)

É possível observar a presença de empresas de diferentes ramos, mas com predominância de empresas de biotecnologia e alimentos.

5.2.2. Análise Meso

Analisando a Figura 24 que apresenta o quadro geral das taxonomias, pode-se notar que a taxonomia “Tecnologia de produção” é o tópico mais presente nas patentes concedidas, estando em 10 das 18 patentes concedidas analisadas, seguido de “Pigmentos”, que foi identificado em 6 patentes. “Condições de cultivo”, “Aplicação de produto” e “Suplemento alimentar” foram mencionados em 5 patentes cada.

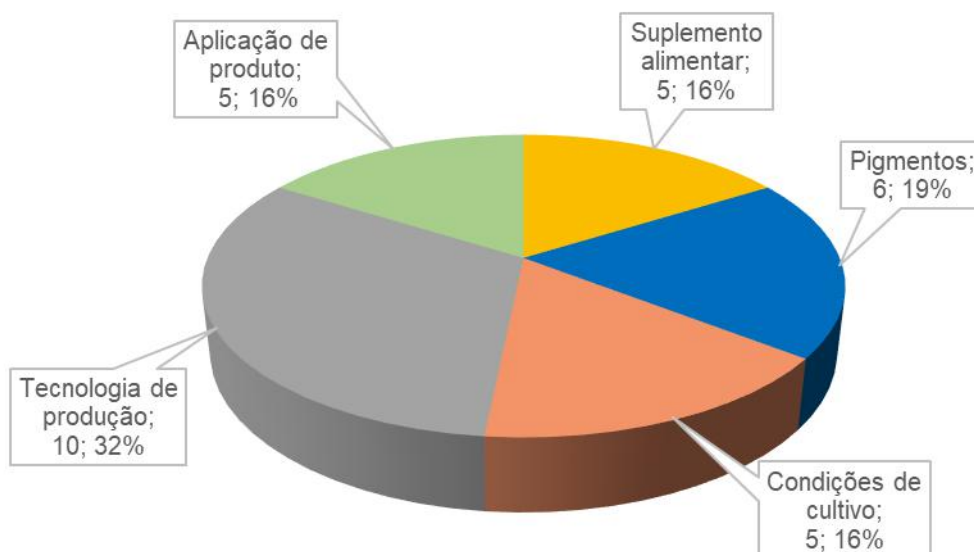


Figura 24 - Distribuição das patentes concedidas de acordo com as taxonomias definidas obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019)

5.2.3. Análise Micro

Conforme realizado para os artigos científicos, a análise Meso foi detalhada a fim de chegar na análise Micro, conforme demonstra os próximos tópicos.

5.2.3.1. Suplemento alimentar

Na análise Meso, foi possível observar que apenas 5 patentes concedidas mencionavam sobre “Suplemento alimentar”, sendo assim o universo de nutrientes identificados para uso na alimentação foi muito menor que no caso dos artigos científicos.

A Figura 25 mostra o resultado encontrado, em que apenas 3 patentes concedidas fazem referência a Proteínas, 1 patente a Vitaminas e 1 a Polissacarídeos. Vale ressaltar que assim como nos artigos, em patentes concedidas, Proteína também é o nutriente mais citado.

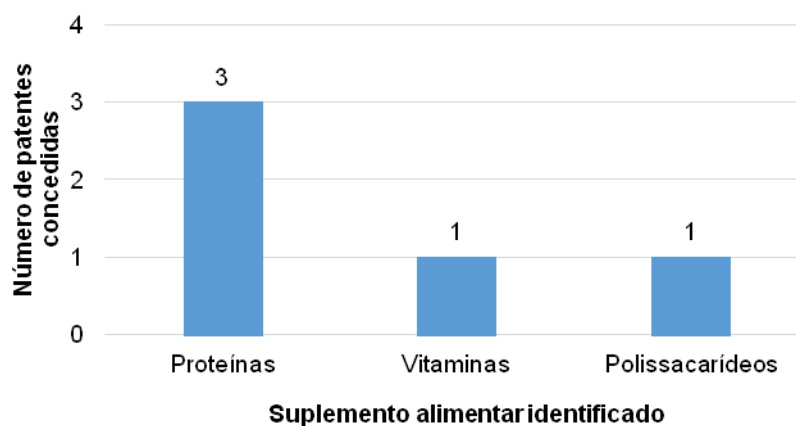


Figura 25 - Quantidade de patentes concedidas nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019)

Dentre as patentes concedidas que fazem referência a Proteína, pode-se citar a patente número 6.472.002 com o título "*Diet food formula for overweight people and diabetics*" do Joe Nieh, em que foi desenvolvida uma fórmula alimentar composta por materiais naturais e que fornece nutrientes adequados necessários.

No caso de Vitaminas, a patente concedida encontrada foi a de número 5.612.039 com o título "*Dietary supplement*" do Nini E. Policappelli, em que o objetivo foi desenvolver uma composição para suplementação dietética para perda de peso.

Já o nutriente "Polissacarídeo" foi mencionado na patente de número 5.585.365 cujo título é "*Antiviral polysaccharide*", em que o polissacarídeo foi purificado da *Spirulina platensis* para usar como aditivo alimentar em alimentos e bebidas.

5.2.3.2. Pigmentos

Conforme descrito nos artigos científicos, a taxonomia "Pigmentos" buscou demonstrar as patentes concedidas mencionavam pigmentos presentes nas microalgas do gênero *Spirulina*. A Classe Nível Micro I, representa as famílias de pigmentos: Ficobiliproteínas e Carotenóides. A Clorofila não apareceu nas patentes analisadas. A Classe Nível Micro II representa a subdivisão das famílias em corantes específicos. Para o caso da Ficobiliproteínas, tem-se a Ficocianina, Ficoeritrina e

Aloficocianina. Já para os Carotenóides é possível encontrar: Beta-caroteno e Xantofilas.

A Figura 26 mostra os resultados referentes aos tipos de Corantes Naturais encontrados. Assim como nos artigos, as Ficobiliproteínas foram as mais mencionadas nas patentes concedidas, aparecendo em 6 patentes, representando 86% e os Carotenóides em apenas uma patente, sendo 14%.

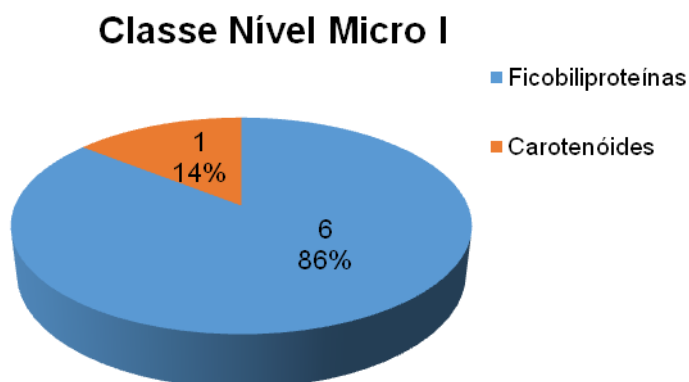


Figura 26 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Nível Micro I de "Pigmentos" obtidos na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

Com relação a Classe Nível Micro II, também é possível observar uma semelhança como na análise dos artigos, em que Ficocianina foi a mais mencionada, aparecendo em 6 patentes concedidas, o que representa 43%, seguido da Ficoeritrina e Aloficocianina que foram identificadas em 3 patentes cada. Os carotenoides apareceram apenas em 1 patente, sendo eles o Beta-caroteno e Xantofila, conforme Figura 27.

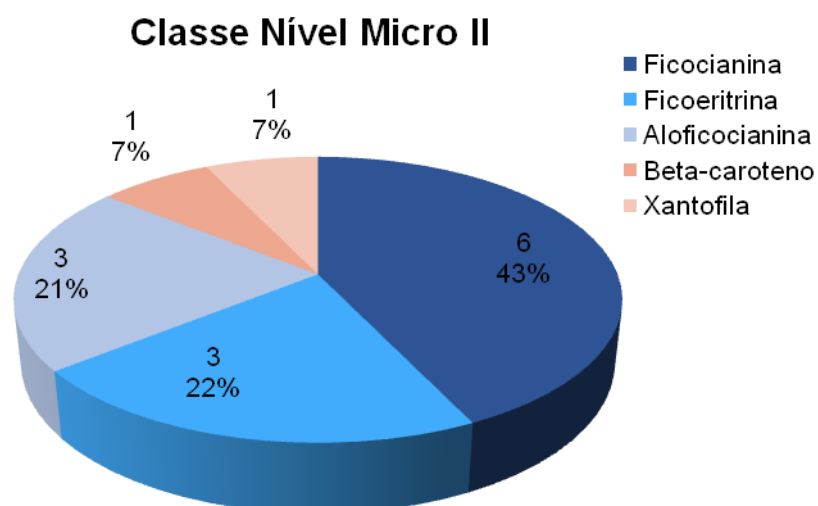


Figura 27 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Nível Micro II de “Pigmentos” obtidos na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

Um exemplo de patente concedida que faz menção a taxonomia “Pigmentos” é a patente de número 4.320.050, cujo título é “*Process for selectively extracting dyestuffs contained in cyanophyceae algae, the so-extracted dyestuffs and their use, particularly in foodstuffs*” do *Institut Francais du Petrole*, em que foi desenvolvido um processo para extração de pigmentos de microalgas do gênero *Spirulina* para posterior uso na alimentação.

5.2.3.3. Condições de cultivo

As “Condições de cultivo” foram as mesmas encontradas nos artigos científico, com exceção de Aeração que não foi identificada. As “Condições de cultivo” são: Meio de Cultura; Intensidade de Luz; Temperatura; Volume e Agitação.

De acordo com a Figura 28, Agitação foi a taxonomia mais citada nas patentes concedidas analisadas, aparecendo em 4 patentes, logo após, com o mesmo número de patentes identificadas, está Meio de Cultura, Intensidade Luz e Volume com 2 patentes. Temperatura é a taxonomia com o menor número de citações, possuindo apenas 1.

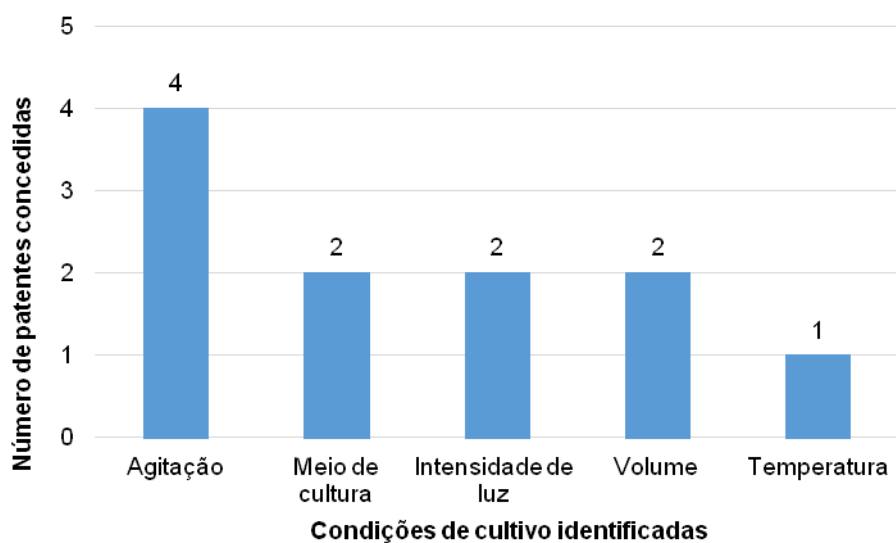


Figura 28 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a "Condições de cultivo" obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

A patente cujo número é 6.698.134 e título "*Method of cultivating fresh spirulina at home and device*" da empresa *Succeed Hi-Tech Industrialization Scale-up Assemblies Co., Ltd*, descreve um método e um aparelho para cultivar *Spirulina* fresca em casa faz menção a 4 das 5 "Condições de cultivo" listadas, são elas: Meio de Cultura; Temperatura; Intensidade de Luz e Agitação.

A agitação apareceu em 4 das 18 patentes concedidas analisadas, enquanto para os artigos, apareceu em apenas 6 dos 141 artigos analisados. Isso mostra a importância desse parâmetro para as patentes, pois operações em escalas maiores são mais difíceis de ser controladas, ocorrendo uma perda considerável de rendimentos em biomassa, dada sensibilidade dos organismos ao cisalhamento celular.

5.2.3.4. Tecnologia de produção

Conforme explicitado anteriormente, as "Tecnologias de produção" fazem referência aos métodos para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos ou Obtenção de Pigmento (Classe Micro Nível I).

A Figura 29 mostra a distribuição de patentes concedidas encontradas para a Classe Nível Micro I. Obtenção de Pigmento representou 73% das pesquisas, com 8 patentes e Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos 27%, com 3 patentes.

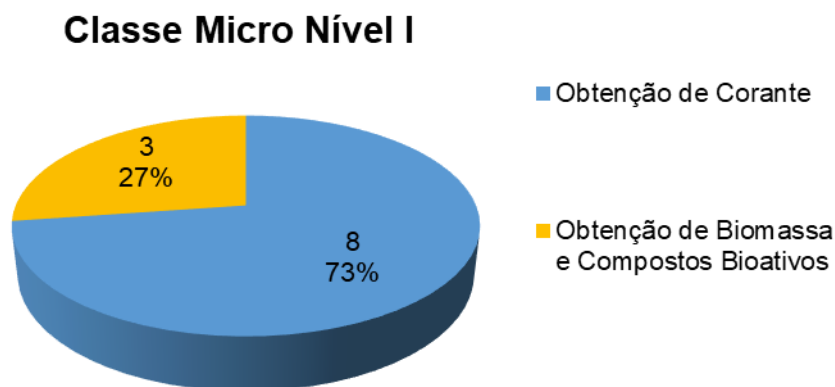


Figura 29 - Quantidade e percentual de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" obtidos na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

A Figura 30 mostra o resultado para a Obtenção de Pigmento. É possível observar que Mutação foi a tecnologia mais citada, aparecendo em 4 patentes. Após, nota-se apenas 2 citações para 3 diferentes tecnologias, são elas: Extração com fase aquosa, que é um Método de Extração; Secagem e Filtração. Com apenas 1 citação tem-se Hidrólise com enzimas.

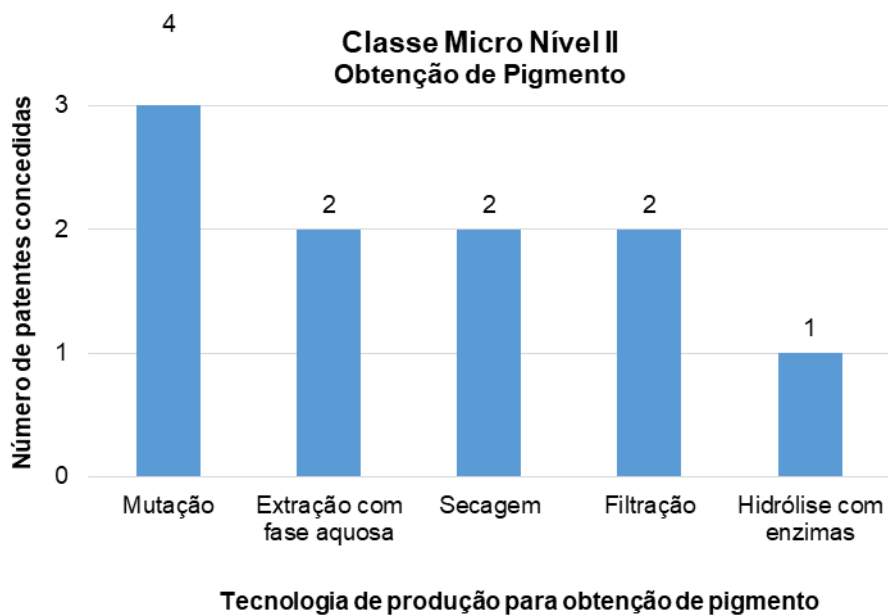


Figura 30 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento obtida na base *USPTO* (1980 – novembro/2019).

As patentes em concessão que fizeram referência a Mutações, possuíam escopo bastante parecido, possuindo o mesmo título "Targeted mutagenesis in *Spirulina*" com os respectivos números: 10.415.013; 10.415.012; 10.336.982 e 10.131.870, todas da empresa LUMEN BIOSCIENCE, INC. em que o objetivo era realizar mutações na *Spirulina platensis* e *Spirulina maxima* de forma a melhorar a produção de pigmentos. Como resultado, a microalga passou a produzir cerca de 3% a 5% a mais de ficocianina que o tipo selvagem.

Já para o caso de Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos, todas as tecnologias identificadas apareceram em apenas 1 patente e são elas: Secagem; Filtração; Tratamento com Bactérias; Aquecimento e Resfriamento.

5.2.3.5. Aplicação de produto

A taxonomia "Aplicação de produto" diferiu em alguns resultados encontrados para os artigos científicos, aparecendo novas aplicações.

A Figura 31 ilustra a grande gama de opções de aplicação da microalga na área alimentícia. É possível observar que Comprimido é o mais comum em patentes concedidas, com 3 publicações, seguido de Biscoito/cookie e Bebida com 2 patentes. Massa, Pó e Bolo apareceram em 1 patente cada.

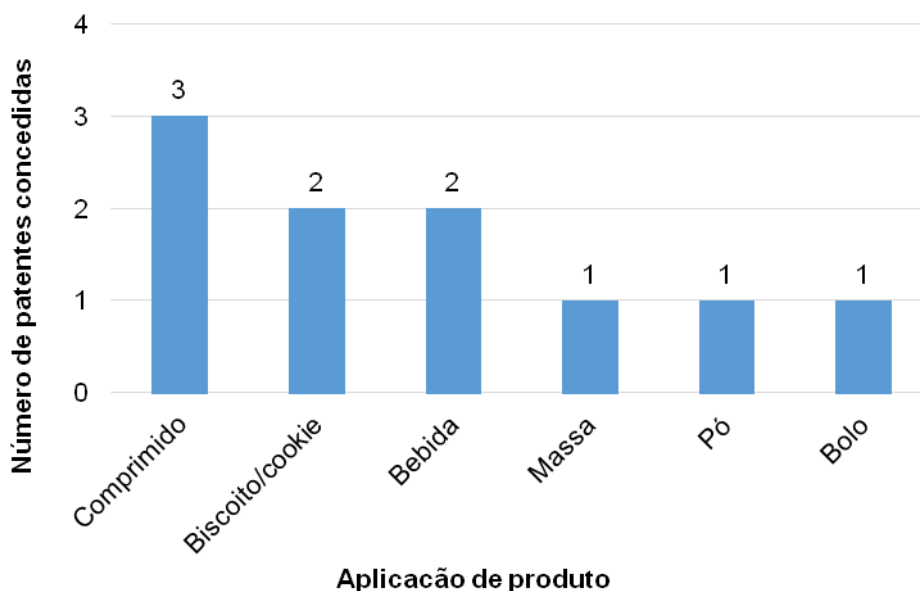


Figura 31 - Quantidade de patentes concedidas analisadas referentes a "Aplicação de produto".

Fonte: Elaboração Própria – base *USPTO* (1980 – novembro/2019)

Duas patentes da empresa *Webseed, Inc.* tiveram Comprimido como “Aplicação de Produto”, são elas: 9.526.751 e 9.439.939, com títulos: “*Cesium eliminator*” e “*Heavy metals defense*”, respectivamente. O objetivo geral dessas patentes é desenvolver um suplemento alimentar que tenha a presença de composto com afinidade a isótopos radioativos, para que assim possa removê-los do corpo.

5.3. RESULTADOS DAS PATENTES DEPOSITADAS/SOLICITADAS

As análises para Patentes depositadas seguirão a mesma metodologia realizada para a análise dos artigos e patentes concedidas. Vale ressaltar que para as patentes depositadas, além da base de dados *USPTO*, também foi usada a base de dados brasileira, o INPI.

5.3.1. Análise Macro

O primeiro gráfico obtido é o da série histórica de patentes depositadas para microalgas do gênero *Spirulina* voltada para fins alimentícios, na base *USPTO* e *INPI*. É possível observar na Figura 32, que entre 2003 e 2014 o número de patentes variou entre 0, 1 e 2, porém, a partir de 2015 houve um aumento, chegando a 5 patentes em 2016 e 2017. Houve uma queda logo após, com 4 patentes em 2018 e 3 em 2019.

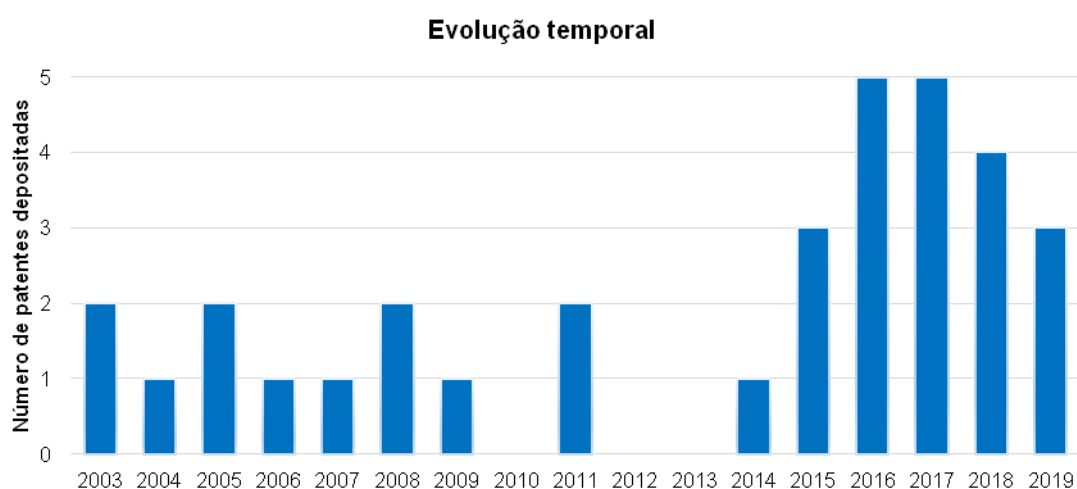


Figura 32 - Série Histórica em Patentes Depositadas obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

Na Figura 33 nota-se os países de origem das patentes depositadas. Assim como nas patentes concedidas, o país de maior relevância é os Estados Unidos, produzindo 48% dos documentos, em segundo lugar tem-se o Brasil com 27% e logo após, Japão com 9%.

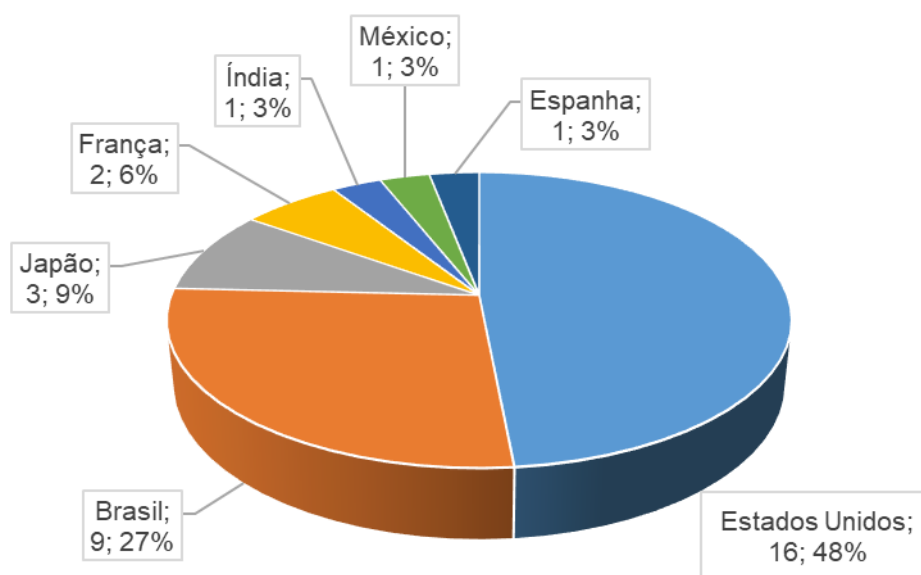


Figura 33 - Distribuição de Países em Patentes Depositadas obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

Vale ressaltar que tanto os Estados Unidos quanto o Brasil a taxonomia que mais foi usada em suas patentes foi a de “Aplicação de produto”, o que mostra a tendência do mercado em desenvolver produtos para consumo enriquecidos com a biomassa da microalga.

Com relação as publicações de acordo com os *players*, das 34 patentes depositadas analisadas, 14 foram por empresas, 12 por pesquisadores e 8 por universidades. A Figura 34 mostra a distribuição de empresas envolvidas nas publicações. A empresa LUMEN BIOSCIENCE, INC. também aparece liderando o número de patentes depositadas, assim como nas patentes concedidas.

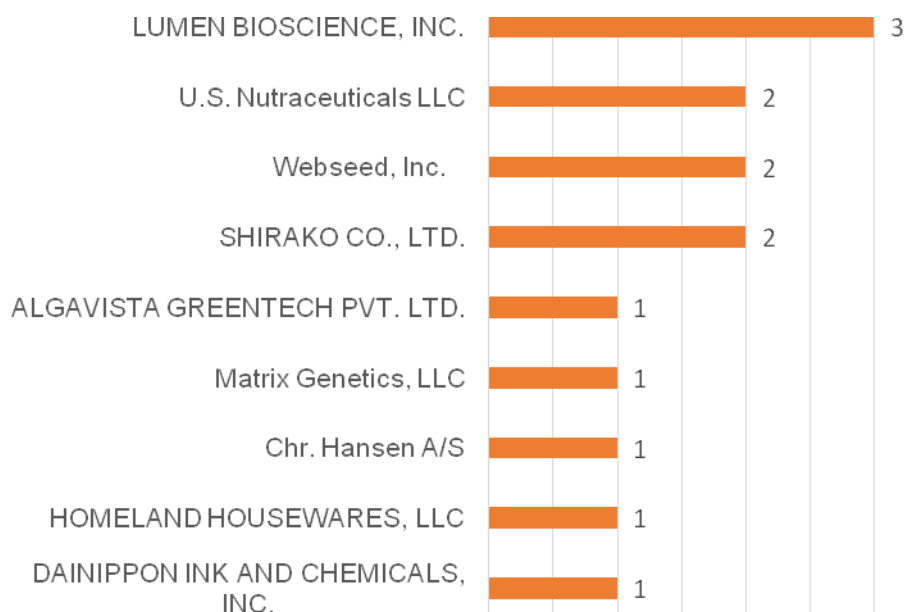


Figura 34 - Distribuição de Empresas em Patentes Depositadas obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).

Analisando mais detalhadamente o perfil das empresas que publicaram patentes na área de *Spirulina* com uso na alimentação em relação às suas áreas de atuação, pode-se verificar os setores apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Classificação das Empresas encontradas nas Patentes Depositadas por setor industrial.

Empresas	Setor
ALGAVISTA GREENTECH PVT. LTD.	Alimentos e bebidas
LUMEN BIOSCIENCE, INC.	Biotecnologia
Matrix Genetics, LLC	Biotecnologia
Chr. Hansen A/S	Biotecnologia
U.S. Nutraceuticals LLC	Cuidados com a saúde
Dainippon Ink and Chemicals, Inc.	Indústria Química
Webseed, Inc.	Internet (Notícias online)

SHIRAKO CO., LTD.	Produtos de consumo
HOMELAND HOUSEWARES, LLC	Utensílios domésticos

Fonte: base *USPTO* (1980 – novembro/2019)

Na Tabela 5, é possível observar a presença de empresas de diferentes ramos, mas com predominância de empresas de biotecnologia, assim como no caso das patentes concedidas.

A Figura 35 mostra a distribuição das universidades que depositaram as patentes. Vale ressaltar que todas elas foram encontradas na base de dados do INPI, logo são todas brasileiras. Além disso, assim como nos artigos científicos a Universidade Federal do Rio Grande foi a que apresentou mais publicações, mostrando a sua liderança nessa área, não só nas pesquisas, como também no mercado.

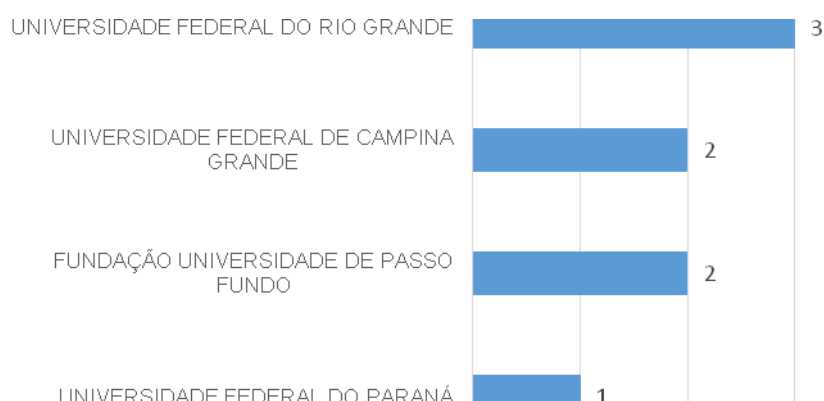


Figura 35 - Distribuição de Universidades em Patentes Depositadas obtida na base *USPTO* e INPI (2003 – dezembro/2019)

5.3.2. Análise Meso

Conforme citado anteriormente, foram adotadas nessa fase algumas taxonomias para a realização da análise Meso e que foram utilizadas para a posterior análise Micro.

É importante enfatizar novamente que um mesmo documento pode ter mais de uma classificação, ou seja, uma patente solicitada pode abordar, ao mesmo tempo,

pesquisas sobre “Suplementar alimentar”, “Pigmentos”, “Condições de cultivo”, “Tecnologia de produção”, “Aplicação de produto” e “Características do produto”.

Analisando a Figura 36 que apresenta o quadro geral das taxonomias, pode-se notar que a taxonomia “Suplemento alimentar” é o tópico mais presente nas patentes depositadas, estando em 21 das 33 patentes depositadas analisadas, seguido de “Aplicação de produto”, que foi identificado em 20 patentes. A taxonomia “Pigmentos” foi mencionada em 10 patentes e “Tecnologia de produção” em 9. “Condições de cultivo”, “Características do produto” foram mencionados em 5 patentes cada.

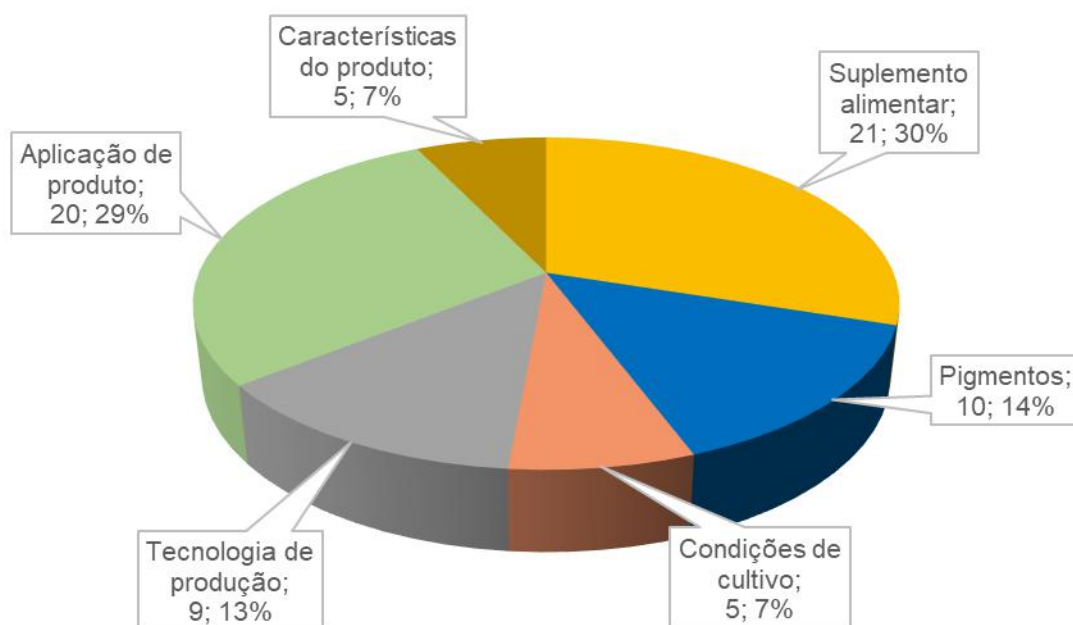


Figura 36 - Distribuição das patentes depositadas de acordo com as taxonomias definidas obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019)

5.3.3. Análise Micro

Conforme realizado para os artigos científicos e patentes concedidas, a análise Meso foi detalhada a fim de chegar na análise Micro, conforme demonstra os próximos tópicos.

5.3.3.1. Suplemento alimentar

Diferente das patentes concedidas, que houve poucas menções a “Suplemento alimentar”, essa taxonomia foi a mais mencionada para as patentes depositadas e artigos científicos. Sendo assim, a variedade de nutrientes encontrados para esse tópico é muito maior para as patentes depositadas que para as patentes concedidas, mostrando o aumento do interesse da microalga como fonte de alimento.

A Figura 37 mostra o resultado encontrado, assim como nos artigos e patentes concedidas, Proteína é o nutriente mais mencionado, aparecendo em 18 patentes solicitadas. Minerais aparece logo em seguida com 13 patentes solicitadas, e vitaminas e ácidos graxos em sequência, com 9 e 8 patentes respectivamente. Compostos fenólicos, Fibras e Polissacarídeos tiveram apenas 1 patente.

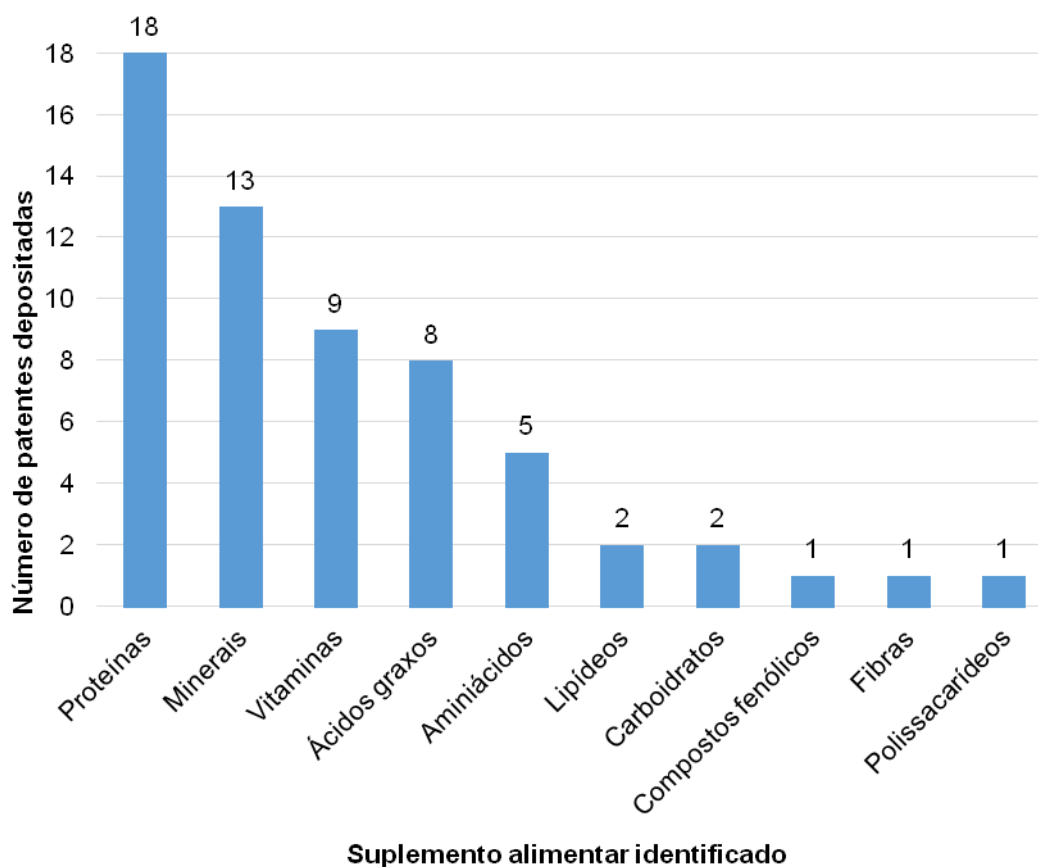


Figura 37 - Quantidade de patentes depositadas nas taxonomias de Nível Micro provenientes de "Suplemento alimentar" obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

Um exemplo de patente depositada que identifica diversos nutrientes é a patente cujo número é 20.110.020.285 e título: “*Composition Containing Cacao and Spirulina*” que faz referência a uma composição de produtos naturais contendo cacau e *Spirulina platensis* e que pode assumir forma de barra, doce ou bebida.

As patentes brasileiras que mencionariam “Suplemento alimentar”, no geral foram identificados os mesmos nutrientes, sendo eles: Proteínas; Aminoácidos; Minerais; Ácidos graxos e Vitaminas. Uma patente que serve de exemplo para isso é a de identificação BR 102018011149-3 A2, cujo título é “BARRA DE CEREAIS COM MICROALGA(S)”, que visa o desenvolvimento de formulação de barra de cereal com alto conteúdo nutricional principalmente crianças em idade escolar.

5.3.3.2. Pigmentos

Conforme descrito nos artigos científicos, a taxonomia “Pigmentos” buscou as patentes concedidas que mencionavam pigmentos presentes nas microalgas do gênero *Spirulina*. A Classe Nível Micro I, representa as famílias de pigmentos: Ficobiliproteínas, Carotenóides e Clorofila. A Classe Nível Micro II representa a subdivisão das famílias em pigmentos específicos. Para o caso da Ficobiliproteínas, tem-se a Ficocianina, Ficoeritrina e Aloficocianina. Já para os Carotenóides é possível encontrar: Beta-caroteno, Xantofilas e Luteína. Não houve subdivisão para Clorofila.

A Figura 38 mostra os resultados referentes aos tipos de Pigmentos encontrados. Assim como nos artigos e patentes concedidas, as Ficobiliproteínas foram as mais mencionadas nas patentes depositadas, aparecendo em 11 patentes, representando 58%. Já os Carotenóides e Clorofila apareceram em 4 patentes cada, sendo 21%.

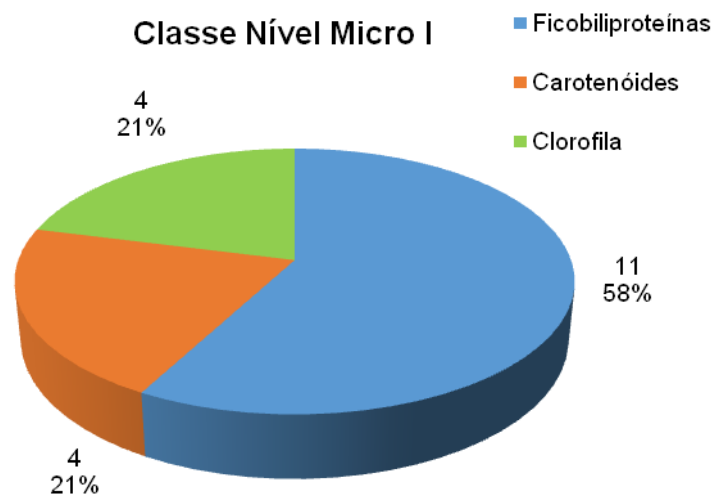


Figura 38 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Nível Micro I de “Pigmentos” obtidos na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

Com relação a Classe Nível Micro II, como mostra a Figura 39, também é possível observar uma semelhança como na análise dos artigos e patentes depositadas em que Ficocianina foi a mais mencionada, aparecendo em 11 patentes depositadas, o que representa 55%, seguido do Aloficocianina com 3 patentes, representando 15%. Ficoeritrina e Beta-caroteno foram mencionados em 2 patentes cada, representando 10% cada. Por último Xantofilas e Luteínas tiveram 1 patente, com 5% cada.

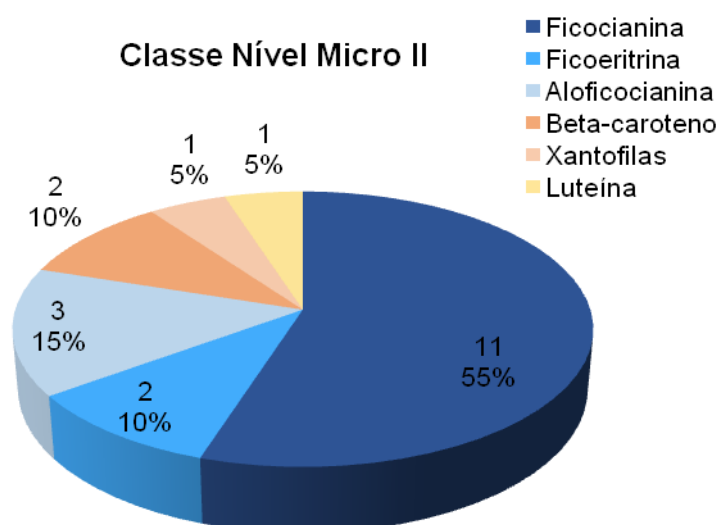


Figura 39 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Nível Micro II de “Pigmentos” obtidos na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

Um exemplo de patente depositada que menciona a taxonomia “Pigmentos” é a patente de número 20.150.366.938, cujo título é “*NUTRITIONAL SUPPLEMENT FOR PATIENTS SUFFERING FROM RHEUMATIC DISEASES*” dos pesquisadores *Velez-Rivera e Hector de Jes*, em que foi desenvolvido um suplemento nutricional com *Spirulina maxima* para melhorar o estado nutricional de pessoas que sofrem de doenças reumáticas. Nesta patente é mencionado o uso dos pigmentos como ficocianina, beta-caroteno, xantofilas e luteína como agentes antioxidantes que são favoráveis para reverter o processo inflamatório.

5.3.3.3. Condições de cultivo

As “Condições de cultivo” foram as mesmas usadas nos artigos científico e patentes concedidas e foram separadas com relação as variáveis que devem ser consideradas para otimização do cultivo da microalga. As principais encontradas são: Meio de Cultura; Intensidade de Luz; Temperatura; Volume; Agitação e Aeração.

De acordo com a Figura 40, Meio de cultura foi a taxonomia mais citada nas patentes depositadas analisadas, aparecendo em 4 patentes, logo após, com o mesmo número de patentes identificadas, está Temperatura, Intensidade Luz e Aeração com 3 patentes cada. Agitação apareceu em apenas 2 patentes e Volume em 1 patente.

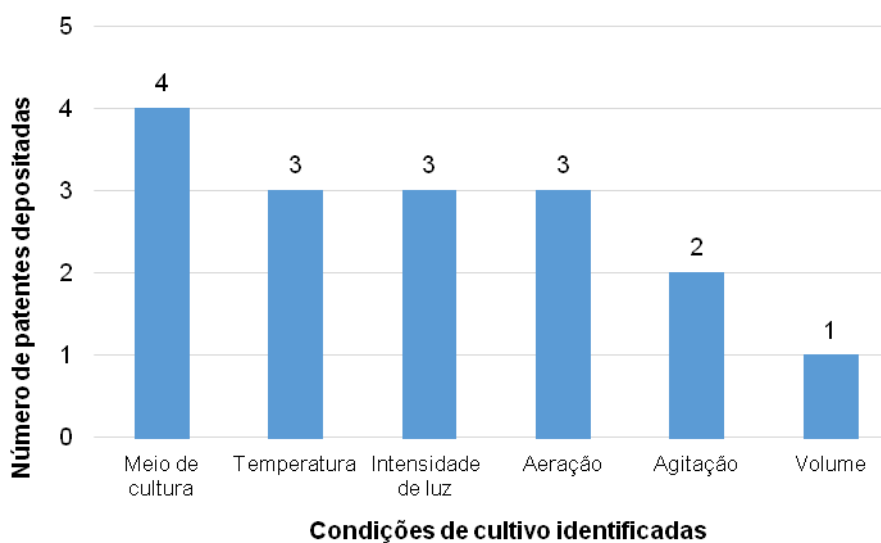


Figura 40 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a "Condições de cultivo" obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).

A patente cujo número é 20.030.017.558 e título “*METHOD FOR MIXOTROPHIC CULTURE OF SPIRULINAS FOR PRODUCING A BIOMASS RICH IN OMEGA W6 POLYUNSATURATED FATTY ACIDS AND/OR IN SULPHOLIPIDS*” dos inventores PHAM, QUOC KIET; DURAND-CHASTEL e HUBERT, tem como objetivo desenvolver um método de cultura para produção de biomassa de *Spirulina platensis*, *Spirulina maxima*, *Spirulina crater* e *Spirulina texcoco* rica em compostos bioativos. Este documento menciona as seguintes “Condições de Cultivo”: Meio de Cultura; Aeração; Temperatura e Intensidade de luz.

5.3.3.4. Tecnologia de produção

Conforme explicitado anteriormente, as “Tecnologias de produção” fazem referência aos métodos para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos ou Obtenção de Pigmento (Classe Micro Nível I).

A Figura 41 mostra a distribuição de patentes depositadas encontradas para a Classe Nível Micro I. Obtenção de Pigmento representou 67% das pesquisas, com 8 patentes e Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos 33%, com 4 patentes.

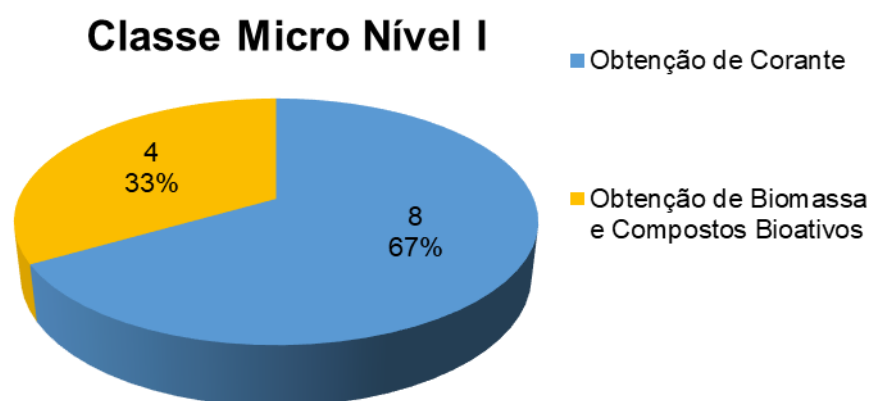


Figura 41 - Quantidade e percentual de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível I de "Tecnologia de produção" obtidos na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

A Figura 42 mostra o resultado para a Obtenção de Pigmento. É possível observar que Mutação foi a tecnologia mais citada, assim como nas patentes concedidas, aparecendo em 4 patentes. Após, nota-se que Secagem, Filtração e Centrifugação foram identificados em 3 patentes, seguido de Lise por congelamento e descongelamento com 2 publicações e por último tem-se: Sedimentação; Resfriamento; Cromatografia e Métodos de Purificação estando em apenas 1 patente cada.

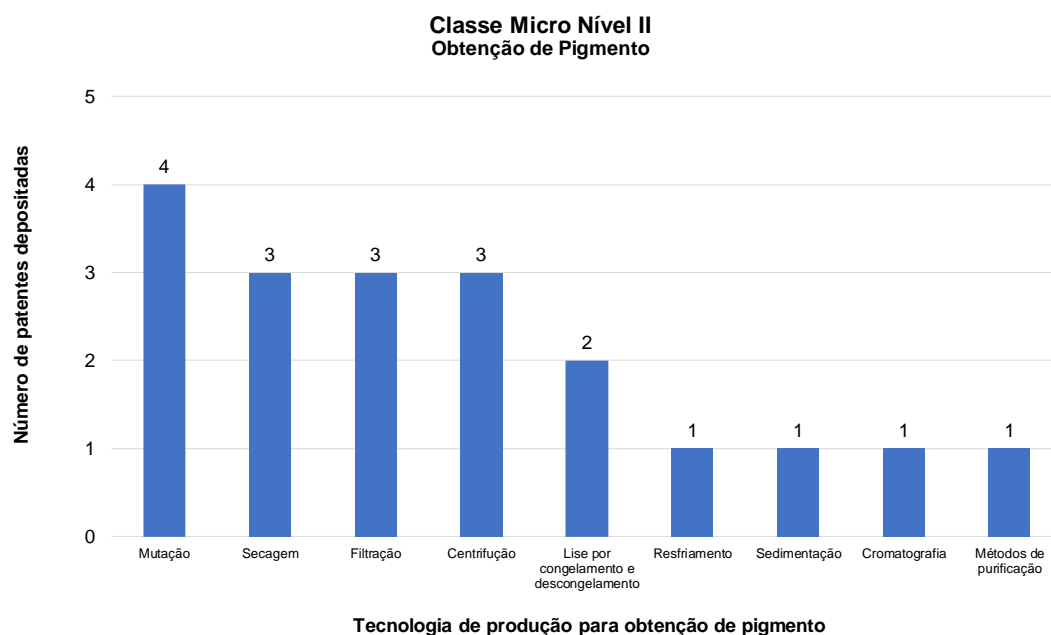
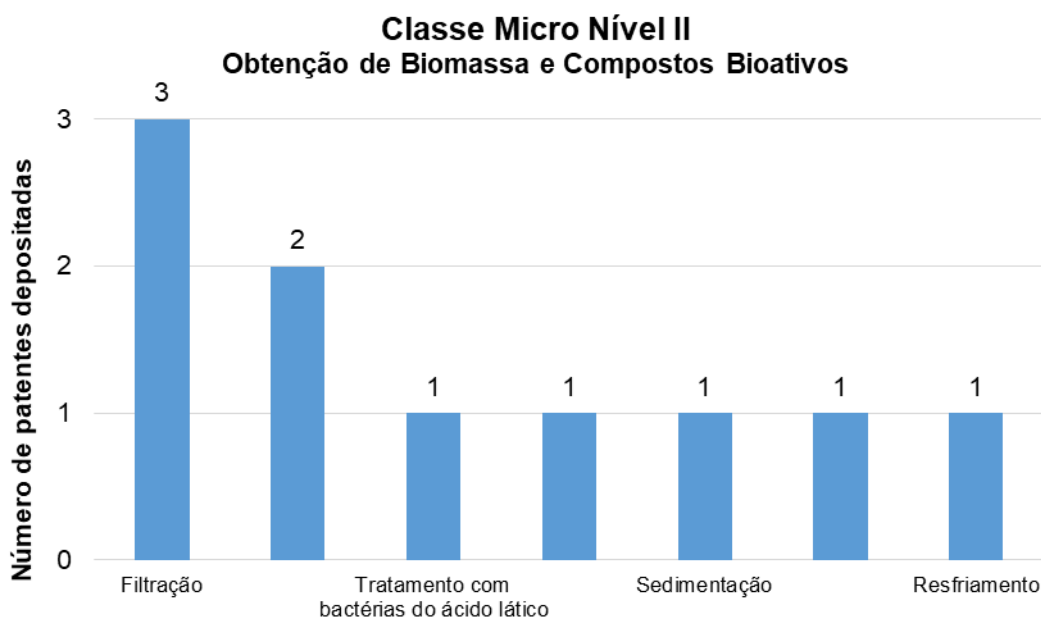


Figura 42 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Pigmento obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

As patentes depositadas que fizeram referência a Mutação, possuíam escopo bastante parecido com as patentes concedidas que também mencionaram mutação, com o mesmo título “TARGETED MUTAGENESIS IN *SPIRULINA*” e respectivos números: 20.190.002.820; 20.180.312.801; 20.180.305.660 e 20.170.298.319, todas da também da empresa LUMEN BIOSCIENCE, INC. em que o objetivo era realizar mutações na *Spirulina plantensis* e *Spirulina maxima* de forma a melhorar a produção de pigmentos.

A patente brasileira cujo número é PI 0801702-6 A2 e título “OBTENÇÃO DO EXTRATO DE FICOCIANINA A PARTIR DE *Spirulina sp.*” Da Universidade Federal Do Rio Grande, em que um método de extração do pigmento ficocianina é descrito e nele são mencionados diversas “Tecnologias de produção” como: Extração por solvente; Métodos de purificação; Cromatografia; Filtração; Sedimentação e Centrifugação.

Já para o caso de Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos, Filtração foi a tecnologia que mais foi mencionada, estando presente em 3 patentes depositadas, seguido de Secagem em 2 patentes. O restante apareceu em apenas 1 patentes, conforme ilustra a Figura 43.



Tecnologia de produção para obtenção de biomassa e compostos bioativos

Figura 43 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a Classe Micro Nível II de "Tecnologia de produção" para Obtenção de Biomassa e Compostos Bioativos obtida na base *USPTO* e *INPI* (2003 – dezembro/2019).

5.3.3.5. Aplicação de produto

O resultado encontrado para a taxonomia “Aplicação de produto” diferiu dos artigos científicos e patentes concedidas, pois novas aplicações surgiram.

A Figura 44 ilustra a grande gama de opções de aplicação da microalga na área alimentícia. É possível observar que Pó e Comprimido é a forma mais comum de se consumir a microalga em patentes depositadas, com 8 publicações cada, seguido de Barra com 7 patentes e Bebida com 5 patentes. Gel e Biscoito foram identificados em 3 e 2 patentes, respectivamente. Os demais em apenas 1 patente, conforme demonstra a Figura 44.



Figura 44 - Quantidade de patentes depositadas analisadas referentes a "Aplicação de produto" obtida na base USPTO e INPI (2003 – dezembro/2019).

Das 8 patentes que apareceram sobre a aplicação da microalga em forma de Pó e Comprimido, 7 são dos Estados Unidos e 1 do México. Já no caso da forma de Barra, 5 são dos Estados Unidos, 1 do México e outra do Brasil. O Brasil aparece como um país inovador no quesito de "Aplicações de produto", pois é o único país com patentes em produtos como: pasta de amendoim; creme vegetal; lanches extrusados; biscoito e palha de soja e feno para alimentação de animais.

5.3.3.6. Características do produto

Para as patentes depositadas, as “Características do produto” foram referentes aos parâmetros sensoriais dos produtos após enriquecimento com microalga. Os parâmetros sensoriais abordados nas patentes depositadas foram:

- Aroma aceitável: mencionado em 5 patentes e
- Sabor aceitável: também presente em 5 patentes.

As patentes que fizeram referência as “Características do produto”, 3 são brasileiras, 1 do Japão e outra dos Estados Unidos. Das 3 patentes brasileiras, 2 são da Universidade Federal do Rio Grande e uma é sobre cremes vegetais e outra sobre lanches extrusados.

5.3.4. Considerações finais da análise de patentes

Foram analisadas apenas 18 patentes concedidas e 34 patentes solicitadas, e houveram mais publicações nos últimos anos para as patentes solicitadas que para as concedidas, o que mostra que o mercado está aquecendo.

O país que apresentou predominância no resultado tanto nas patentes concedidas quanto solicitadas foi o Estados Unidos e assim como nos artigos, também houve presença marcante do Brasil nas patentes solicitadas. Isso ocorre devido à forte participação de Universidades brasileiras, como a Universidade Federal do Rio Grande, que também apareceu nos artigos científicos.

Como foram encontradas poucas patentes referentes ao tema da *Spirulina* para fins alimentícios, pode-se dizer que não há muitas empresas responsáveis por patentes, porém, vale destacar as empresas *Lumen Bioscience, Inc.* e *Webseed, Inc.*, que apareceram tanto nas patentes concedidas quanto nas patentes solicitadas.

A taxonomia que mais foi citada nas patentes solicitadas foi “Suplemento Alimentar”, já nas patentes concedidas foi “Tecnologia de produção”. O “Suplemento Alimentar” mais citado foi Proteínas para ambas as patentes, assim como nos artigos científicos. A “Tecnologia de Produção” mais mencionada foi a Mutação para as patentes

concedidas e solicitadas. A empresa que focou em mutação foi a empresa de biotecnologia chamada *Lumen Bioscience, Inc.*

Nas “Condições de cultivo”, a Agitação apareceu como líder nas patentes concedidas, fator de grande importância na produção da microalga, devido à dificuldade da manutenção da agitação em escalas industriais. Para as patentes solicitadas o mais citado foi o Meio de cultura, como nos artigos, isso pode ser devido a busca por meios com custos mais baixos, mas que ainda permitam uma boa produção da microalga.

Na análise das patentes solicitadas foi observada uma maior diversificação e exploração da “Aplicação de produto”, com diferentes aplicações, chegando ao total de 12. Já para as patentes concedidas, foram apenas 6, mostrando a movimentação do mercado para explorar nos produtos e criar novas patentes. Os resultados que mais se destacaram foram: Comprimido; Pó; Barra e Bebida.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas na fase pós-mapeamento, houve uma evolução temporal quanto ao número de publicações no decorrer dos últimos anos. Além disso, o Brasil foi o país que mais contribuiu em pesquisas na área de microalga do gênero *Spirulina* para fins alimentícios, devido à forte presença de Universidades brasileiras em publicações referentes ao tema, como a Universidade Federal do Rio Grande. O Estados Unidos esteve à frente nas patentes, mostrando o seu maior investimento no uso da microalga na alimentação, que outros países.

O principal interesse no uso da microalga é para fornecimento de “Suplemento Alimentar”, sendo essa taxonomia a que mais foi citada, principalmente como fonte de Proteínas, devido ao seu alto teor proteico.

O uso de corante em alimentos também é visado, por isso foi observado a grande incidência de resultados voltados a “Pigmentos”, mais especificamente ficocianina, tanto para artigos quanto para patentes. E como forma de obtenção desses pigmentos, Métodos de extração foram identificados, como extração por ultrassom e por micro-ondas. Além disso, nas patentes também foi explorada a criação de mutações para obtenção de maiores concentrações do pigmento.

O grande número de resultados encontrados em “Aplicação de produto” mostrou o interesse existente nessa área e o potencial de exploração de possíveis produtos para alimentação.

Por fim, foi possível notar que a pesquisa na área do uso da biomassa de microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios está em expansão, dado o número de resultados encontrados para os artigos científicos. Entretanto, as poucas patentes encontradas, demonstram a atuação ainda tímida no mercado de microalgas do gênero *Spirulina* na alimentação. Além disso, pouquíssimos artigos eram voltados para produção em escala industrial, sendo a grande maioria na escala de bancada, o que mostra como as pesquisas também estão no estágio inicial. Portanto, é possível perceber que existe

um rico e atrativo universo a ser explorado no que se refere ao uso de microalgas do gênero *Spirulina* para fins alimentícios.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros tem-se a ampliação dos campos de busca de artigos científicos e patentes, de forma a obter resultados mais conclusivos. Outra sugestão seria realizar uma avaliação temporal da pesquisa realizada para assim elaborar um *roadmap* tecnológico, com o objetivo de estabelecer tendências de mercado, estudar trajetórias tecnológicas, perfil das empresas e identificação de oportunidades de novos negócios de maneira mais clara, para microalgas do gênero *Spirulina* na área da alimentação.

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. S. M.; PORTER, A. L.; ANTUNES, A. M. S. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. *Tecnological Forecasting & Social Change*, v.74, p.1661- 1680, 2007.

AMBROSI, M. A. et al. Propriedades de saúde de *Spirulina ssp.* *Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.*, v. 29, n.2, p. 109-117, 2008.

ANDRADE, L. et al. Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview. *Food Processing & Technology*, p. 45-58, 2018.

ATTA, M. et al. Intensity of blue light: a potential stimulus for biomass and lipid content in fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresour. Technol.* 148, p. 373 –378, 2013.

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.

BARROS, K. Produção de biomassa de *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*) para alimentação humana. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba, 2010.

Becker, W. Microalgae in human and animal nutrition. In A. Richmond (Ed) *Handbook of Microalgal Culture*, Blackwell, Oxford, pp. 312-351, 2004.

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

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

BISHOP, W.; ZUBECK, H. Evaluation of Microalgae for use as Nutraceuticals and Nutritional Supplements. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, v. 2, p.1 – 6, 2012.

BLANKEN, W., et al. Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost. *Algal Res.* 2, p. 333–340, 2013.

BOMBART, P. et al. *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.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A.L.R. *Technology Roadmap – Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. ISBN: 9788571933866 1.a Edição – 2016.

CAETANO, R. *Estudo da Extração e Purificação de Ficocianina e Aloficocianina da Biomassa de Arthrospira platensis*. Mestre—[s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2018.

CAPELLI, B.; CYSEWSKI, G. Potential health benefits of *Spirulina* microalgae. *NUTRA foods*, n. 9, p. 19-26, 2010.

CHAMORRO, G.; SALAZAR, M.; FAVILA, L. Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. *Rev. Inv. Clín.* v.48, p.389-99, 1996.

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

CHRONAKIS, I. S. et al. The behaviour of protein preparations from blue-green algae (*Spirulina platensis* strain Pacifica) at the air/water interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 173, p. 181-192, 2000.

DUBEY, R.C. *A textbook of Biotechnology*. Fourth revised and enlarge edition, S. chand and company limited. 419-421, 2006

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.

GÓMEZ, C. Processo para obtenção de um concentrado proteico a partir de biomassa de *Spirulina (Arthrospira)* para produção de peptídeos bioativos de

interesse nutracêutico, farmacêutico e cosmeceutico. Mestre—[s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2015.

HABIB, M. A. B. et al. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. FAO Fisheries and Aquaculture Circular. N° 1034. Roma, FAO. 33p. 2008.

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.

Japan Algae Co., Ltd. | Spirulina - Production Process. Disponível em: <http://www.sp100.com/spirulina/spirulina_3.html>. Acesso em: 26 dez. 2019.

KALIL, S. et al. Obtenção do extrato de ficocianina a partir de spirulina sp. Brasil, 2011. . Acesso em: 3 jan. 2020

KATO, T. et al. Effects of *Spirulina platensis* on dietary hypercholesterolemia in rats. J Jpn Soc Nutr Food Sci; v.37, p.323-332, 1984.

KOYANDE, A. et al. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. Food Science and Human Wellness, p.16-24., 2019.

KRIMPEN, M. et al. Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products. Wageningen: Communication Services, 2013.

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.

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.

LING, T. C. et al. Purification of filamentous bacteriophage M13 by expanded bed anion exchange chromatography. Journal of Microbiology, v. 42, n. 3, p. 228-232, 2004.

LIU, Y.F. et al. Inhibitory effect of phycocyanin from *Spirulina platensis* on the growth of human leukemia K562 cells. *J.Appl. Phycol.*, 12, p. 125-130, 2000.

LOPES, T. ESTUDO DA POTENCIALIDADE DE BIORREMEDIAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DAS MICROALGAS. [s.l.] Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

LUPATINI, A. Extração de Proteínas e Carboidratos da Biomassa de *Spirulina Platensis* e Caracterização da Fração Pro. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

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

MOHEIMANI, N. R. The culture of Coccolithophirid Algae for carbono dioxide bioremediation. Tese (Ph. D.). Murdoch University, Australia, 2005.

MULLER, G. Roadmapping. Embedded Systems Institute, jul. 2005. Disponível em: www.gaudisite.nl. Acesso em: jan. 2007.

PIZZANI, L.; SILVA, R. C.; HAYASHI, M. C. P. I. Bases de dados e bibliometria: A presença da Educação Especial na base Medline. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação. Nova Série*, São Paulo, v.4, n.1, p.68-85, jan./jun. 2008.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 17-25, 2011.

PRIYADARSHANI, I.; RATH, B. Commercial and industrial applications of micro algae – A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, p. 89-100, 2012.

PULZ, O., GROSS, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol.*, v.65 (6), p.635-648, 2004.

QUADROS, R.; VILHA, A. M. Tecnologias de informação no gerenciamento do processo da inovação. Disponível em: http://www.lukatus.com/tecnologias_de_informacaonogerenciam.pdf. 2009.

RAMAMOORTHY, A.; PREMAKUMARI, S. Effect of supplementation of Spirulina on hypercholesterolemic patients. *Journal of Food Science and Technology*, v. 33, n. 2, p. 124–127, 1996.

RIBEIRO, N. M. Série: Prospecção Tecnológica. p. 194, 2018.

RICHMOND, A. Microalgae. *CRC Critical Reviews in Biotechnology*. v. 4, n.4, p. 349–438, 1986.

RICHMOND, A. *Handbook of Microalgae Culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell Science. p. 566, 2004.

SALAZAR, M.; MARTÍNEZ, E.; MADRIGAL, E. et al. Subchronic toxicity study in mice fed *Spirulina maxima*. *J Ethnopharmacol*. v.62, p.235-241, 1998.

SANTHOSH, S.; DHANDAPANI, R.; HEMALATHA, N. Bioactive compounds from Microalgae and its different applications- a review. *Advances in Applied Science Research*, p. 153-158, 2016.

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

Spirulina: para que serve e como usar. Disponível em: <<https://www.vix.com/pt/bdm/beleza/spirulina-para-que-serve-e-como-usar-na-pele-e-cabelos>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

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

SUBUDHI, S. Bioprospecting for Algal Based Nutraceuticals and High Value Added Compounds. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutics*, v. 4, n. 2, p. 145-150, 2017.

TEDESCO, C. Remoção de Cromo VI pela Microalga *Spirulina platensis*. Graduação—[s.l.] Universidade de Passo Fundo, 2010.

UEBEL, L. et al. INDUSTRIAL PLANT FOR PRODUCTION OF *Spirulina sp.* LEB 18. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, p. 51-63, 2017.

USHARANI, G.; SARANRAJ, P.; KANCHANA, D. *Spirulina* Cultivation: A Review. International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives, p. 1327-1341, 2012.

VONSHAK A. *Spirulina*: Growth, physiology and biochemistry. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, cell biology and biotechnology. London: Taylor and Francis. p.43-66, 1997.