

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
CURSO DE AGRONOMIA

Roberto Goulart Dutra Sobrinho

**Revisão sobre utilização de *Azolla* spp (Salvinaceae, Monilophyta) na
cultura do arroz (*Oryza* spp., Poacea) irrigado.**

Curitibanos

2022

Roberto Goulart Dutra Sobrinho

Revisão sobre utilização de *Azolla* spp (Salvinaceae, Monilophyta) na cultura do arroz (*Oryza* spp., Poacea) irrigado.

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. José Floriano Barêa Pastore

Curitibanos

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sobrinho, Roberto Goulart Dutra
REVISÃO SOBRE UTILIZAÇÃO DE AZOLLA SPP (SALVINACEAE,
MONILOPHYTA) NA CULTURA DO ARROZ (ORYZA SPP., POACEAE)
IRRIGADO. / Roberto Goulart Dutra Sobrinho ; orientador,
José Floriano Barêa Pastore, 2022.
43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Arroz Irrigado. 3. Anabaena Azollae.
4. Azolla spp.. 5. Histórico . I. Pastore, José Floriano
Barêa . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

Rodovia Ulysses Gaboardi km3

CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC

TELEFONE (048) 3721-4174 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

Roberto Goulart Dutra Sobrinho

**REVISÃO SOBRE UTILIZAÇÃO DE *AZOLLA* SPP (SALVINACEAE, MONILOPHYTA)
NA CULTURA DO ARROZ (*ORYZA* SPP., POACEAE) IRRIGADO.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitibanos, 15 de julho de 2022.

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Floriano Barêa Pastore
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Antônio Lunardi Neto
Membro da banca examinadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Cleber José Bosetti
Membro da banca examinadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha querida mãe e ao meu amado vô pelo apoio e força incondicional. Sem vocês nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar comigo em todos os momentos e me dar força para seguir em frente e conquistar meus objetivos.

À UFSC pela estrutura e ensino de qualidade fornecidos.

Aos professores por compartilhar seus conhecimentos e experiências.

Ao Professor José Floriano pela orientação, incentivo e apoio ilimitado.

As empresas que me concederam a oportunidade de realizar meus estágios extracurriculares e curriculares, sendo estas o IRGA e EPAGRI.

A minha vó Marina (*in memorian*), pela minha criação e pelo exemplo de vida. Ao meu vô Eduardo pelo exemplo de vida e incentivo incondicional para o meu desenvolvimento e crescimento pessoal e profissional. Minha mãe Eliane, pelo eterno amor, carinho e dedicação.

A minha namorada Laura, pelo amor e carinho incondicional, por estar comigo em momentos de alegrias e sofrimentos e principalmente por acreditar e incentivar meu crescimento.

RESUMO

Revisão bibliográfica sobre a utilização de azolla (*Azolla* spp., Salviniaceae, Monilophyta) na cultura do arroz (*Oryza* spp., Poaceae) irrigado. É apresentado um breve histórico sobre o cultivo do arroz, no Brasil e no mundo com foco no uso da azolla nas lavouras de arroz irrigado no mundo. Esta revisão discute sobre a eventual utilização da azolla no cultivo de arroz irrigado no Brasil.

Palavras chave: Azolla. Histórico. Arroz. Cultivo Irrigado.

ABSTRACT

Literature review on the use of azolla (*Azolla* spp., Salviniaceae, Monilophyta) in irrigated rice (*Oryza* spp., Poaceae). A brief history of rice cultivation in Brazil and in the world is presented, focusing on the use of azolla in irrigated rice crops in the world. This review discusses the possible use of azolla in irrigated rice cultivation in Brazil.

Keywords: Azolla. History. Rice. Irrigated Cultivation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática dos caminhos evolutivos do arroz	16
Figura 2 - Diferença de panículas entre as subespécies japônica, javânica e indica	17
Figura 3 - Diferença das sementes das sub. subespécies japônica, javânica e indica.	17
Figura 4 - Diferentes espécies de <i>Oryza</i> e sua distribuição geográfica	18
Figura 5 - Participação dos continentes na produção de arroz	20
Figura 6 - Principais estados produtores de arroz na safra 2019/2020.	21
Figura 7 - Cultivo de arroz de sequeiro (A) e arroz irrigado (B).....	22
Figura 8 - Área, produtividade e produção total de arroz das regiões brasileiras.	23
Figura 9 - Regionalização da produção de arroz irrigado nos estados RS e SC.....	24
Figura 10 - Comportamento do preço da saca do arroz na safra 2020/21.	25
Figura 11 - – Comportamento do preço da uréia na safra 2020/2021.	26
Figura 12 - Evolução do cultivo de soja em áreas de arroz irrigado no RS	27
Figura 13 - Diferentes espécies de <i>Azolla</i> spp.	28
Figura 14 - Lóbulo ventral demonstrando as câmaras transparentes.	29
Figura 15 - Filamentos de <i>Anabaena azollae</i>	31
Figura 16 - Fotossíntese e fixação de nitrogênio em filamentos de <i>Anabaena azollae</i>	32
Figura 17 - Efeito da utilização de <i>Azolla</i> spp. com diferentes fontes de fosfatos.....	34
Figura 18 - Tapete de <i>Azolla</i> spp. sobre a lâmina d'água	35
Figura 19 - Efeito do inóculo de <i>Azolla</i> spp. na supressão de plantas daninhas.	36
Figura 20 - Viveiro e inóculo de <i>Azolla</i> spp.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais países produtores de arroz no mundo.....	20
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ha – Hectare

M² – Metro quadrado

N – Nitrogênio

N₂ – Nitrogênio atmosférico

NH₄⁺ – Amônio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	A CULTURA DO ARROZ.....	16
2.2	A CULTURA DO ARROZ NO MUNDO E SUA IMPORTÂNCIA.....	19
2.3	CULTIVO DE ARROZ NO BRASIL	21
2.4	CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA DO ARROZ NOS ESTADOS DE RS E SC.....	23
2.5	A PLANTA <i>AZOLLA SPP</i>	27
2.6	IMPORTÂNCIA DA <i>AZOLLA SPP</i>	29
2.7	SIMBIOSE <i>AZOLLA-ANABAENA</i>	30
2.8	UTILIZAÇÃO DE <i>AZOLLA SPP</i> . NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO	32
3	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O arroz (principalmente *Oryza sativa* L. e outras espécies de *Oryza*, Poaceae) é um cereal originário do sudeste asiático, com evidências arqueológicas do seu cultivo no território chinês datando mais de 5.000 anos. No Brasil, o arroz foi precocemente introduzido pelos portugueses, com referências que indicam seu cultivo já em 1530 (GALLI, 1978). Atualmente, o arroz é o terceiro cereal mais cultivado no mundo e alimento básico de necessidade primária para mais da metade da população mundial, constituindo-se uma das principais fontes de carboidratos e sais minerais na dieta humana (CONAB, 2015).

O continente asiático, além de ser a origem do arroz, é atualmente responsável por cerca de 90% da produção mundial, com forte predomínio do sistema de cultivo irrigado, sendo a China e a Índia os principais produtores (FAO, 2020). No contexto que, cerca de 60% da população humana vive no continente asiático, onde 90% do arroz produzido e utilizado amplamente na alimentação humana na Ásia, o arroz é basicamente sinônimo de comida (KHUSH, 1997).

Apesar do Brasil ser o principal produtor de arroz fora do continente asiático, a sua produção representa apenas 1,5% da produção mundial (CONAB, 2020). Segundo dados da FAO (2020), o Brasil ocupava a nona posição dentre os maiores produtores de arroz no mundo, com 10,3 milhões de toneladas. Esse volume produzido no Brasil é decorrente em quase toda a sua totalidade dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os quais são responsáveis por cerca de 80% da produção (CONAB, 2020). Uma característica muito importante em ambos os estados é a utilização predominante do sistema irrigado (SOSBAI, 2012).

De acordo com Magalhães Júnior et al. (2004), devido à versatilidade da cultura do arroz em se adaptar a diversos tipos de clima e solo, o cultivo de arroz no Brasil pode ser estabelecido sob os sistemas irrigado e de sequeiro, sendo o sistema de cultivo mais predominante o do arroz irrigado por inundação. Segundo a CONAB (201), o sistema de cultivo de arroz de sequeiro está principalmente localizado nas regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Já o sistema irrigado é predominante na região Sul do país. O sistema de cultivo irrigado é principalmente estabelecido sobre solos de várzea os quais, em sua maioria, estão localizados próximos a margens de lagos ou rios para fornecer água durante o cultivo. Porém, geralmente esses solos apresentam um baixo teor de matéria orgânica e deficiência em nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura, principalmente nitrogênio (N), o qual é determinante para o bom rendimento da cultura do arroz (FAGERIA; DOS SANTOS; STONE 2003).

Por outro lado, a aplicação de N em arroz irrigado é considerada ineficiente com perdas de até 50% de N para o ambiente, estas perdas certamente refletem negativamente nos custos de produção e rendimento da lavoura de arroz (BURESH et al., 2008). Além da baixa fertilidade natural e necessidade de adubação nitrogenada, comumente os solos de várzea onde se realiza a prática do cultivo de arroz irrigado apresentam um ambiente propício ao desenvolvimento de plantas infestantes. As plantas infestantes podem prejudicar a produtividade da lavoura de arroz pela competição por nutrientes (incluindo N), luz e água, como também podem dificultar a realização da colheita e tornando a lavoura uma porta de entrada para insetos e doenças por se tratar de hospedeiros alternativos. Devido a estes fatores, o sistema de cultivo de arroz irrigado exige uma elevada demanda por reposição de nutrientes (MARTINI et al., 2012) por meio de aplicações de altas doses de N o que se soma aos custos de combate de plantas daninhas por meio da utilização de herbicidas para ampliar os custos de produção de arroz. Segundo um estudo realizado por Patrício (2018), o custo em média na aplicação de N e herbicidas em uma lavoura de arroz irrigado representa em torno de 22,17% e 12,79% dos custos de produção respectivamente. Com a recente alta destes insumos e a baixa no preço pago ao produtor têm contribuído para desestimular a atividade de cultivo do arroz no Brasil (CONAB, 2015).

Uma possível alternativa para reduzir os custos e potencializar a produção na cultura do arroz irrigado é a utilização da azolla (*Azolla* spp., Salviniaceae), uma pequena pteridófita flutuante de crescimento rápido e fixadora de nitrogênio por meio de associação simbiótica com cianobactérias. A *azolla* spp. é amplamente tratada em publicações científicas, em especial para cultura do arroz irrigado, mas também com diversos usos os quais não são o foco desta revisão. Segundo Lumpkin e Plucknett (1982), a prática da utilização da azolla na cultura do arroz irrigado no continente asiático, ocorre desde os anos 540 a.C.

A importância da azolla na cultura do arroz é principalmente pela associação simbiótica com a cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburger (Nostocaceae), a qual é denominada complexo *Azolla-Anabaena*, considerado um sistema biológico potencial para aumentar o rendimento do arroz devido à sua grande capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (N₂) e disponibilizar para a cultura. Segundo Malavolta (1980), este complexo *Azolla-Anabaena* tem capacidade de fixar 425-600 kg de N por hectare (ha) por ano. Já Hall et al. (1995), citam que o complexo *Azolla-Anabaena* apresenta capacidade de fixar 400-1100 kg de N por ha/ano. Com isso, muitos autores defendem que a utilização de *Azolla* spp. supre as necessidades de N pela cultura do arroz, obtendo-se aumento de produtividade. De acordo com a FAO (apud RUSCHEL, 1990, p.5), em produções de arroz na China, com produções em média de 3.000 a 3.600 kg/ha, ao introduzirem *Azolla* spp. no sistema, elevaram a produtividade

para 9.900 kg/ha. Na Califórnia, Talley et al. (1977) demonstraram que a introdução de *Azolla* spp. pode aumentar o rendimento de arroz em 23-67% a mais que em cultivo sem *Azolla* spp. Além disto, com a presença de *Azolla* spp. sob a superfície da lâmina d'água, ao se multiplicar, forma uma camada espessa sob a lâmina d'água, evitando a entrada de luminosidade no solo e inibindo o desenvolvimento e competição de plantas daninhas no sistema de cultivo irrigado de arroz (SUBEDI; SHRESTHA, 2015).

Devido as suas vantagens, a *Azolla* spp. é amplamente utilizada no continente asiático e tem sido objeto de estudo de forma constante nas últimas décadas pelas principais potências mundiais. Como a utilização de *Azolla* spp. nas lavouras de arroz irrigado ainda é baixa, a expansão desta técnica tende a impulsionar a orizicultura devido ao aumento da produtividade da cultura e a redução do custo de produção (FIORI, 1984).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

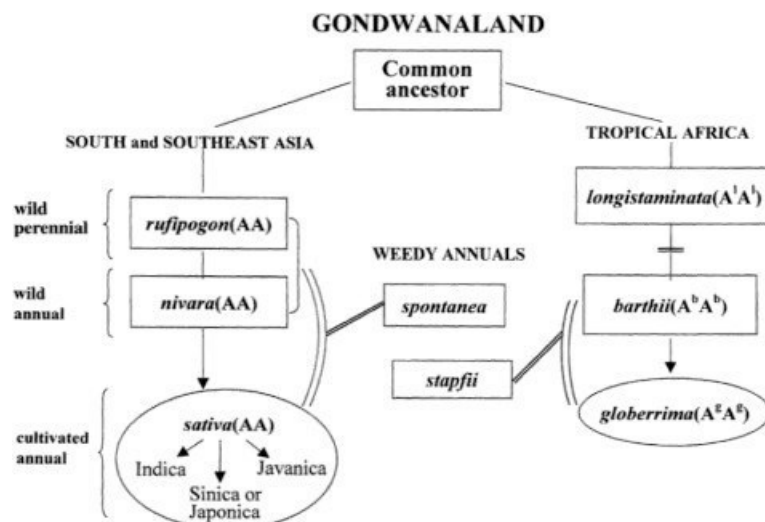
2.1 A CULTURA DO ARROZ

O centro de origem do arroz de acordo com evidências históricas e arqueológicas é o sudeste Asiático. Existem referências do cultivo de arroz no território chinês há mais de 5.000 anos. O arroz foi provavelmente a primeira cultura a ser domesticada na Ásia. No continente americano, o Brasil foi o país pioneiro no cultivo de arroz, graças à expedição realizada por Pedro Álvares Cabral, introduzindo este cereal pelo país por volta do ano de 1530 (GALLI, 1978).

Existem duas espécies de arroz domesticado. *Oryza sativa*, denominado como arroz asiático devido ao contexto histórico, sendo a espécie cultivada em todo o mundo. *Oryza glaberrima* Steud., denominado como arroz africano, é a espécie que tem sua escala de cultivo limitada no oeste africano. Estas duas espécies são consideradas um exemplo de evolução paralela em plantas cultivadas (OKA, 1988).

O ancestral comum de todas as espécies de arroz é considerado *Oryza perennis* Moench, onde *Oryza sativa* é oriunda da espécie perene *Oryza rufipogon* Griff. e da espécie anual *Oryza nivara* S. D. Sharma & Shastry, enquanto *Oryza glaberrima* é oriundo da espécie perene *Oryza longistaminata* A. Chev. & Roehrich e da espécie anual *Oryza barthii* A. Chev. (SMITH; DILDAY, 2002). Na figura 1 é ilustrado a esquemática dos caminhos evolutivos.

Figura 1 - Representação esquemática dos caminhos evolutivos do arroz.



Fonte: SMITH; DILDAY, 2002.

Devido a sua rica diversidade genética abrangente a uma enorme gama de adaptações climáticas e geográficas, a espécie *O. sativa* evoluiu para três subespécies geográficas: 1. *indica*; 2. *japonica* e 3. *javanica*. As subespécies japônicas são caracterizadas por plantas curtase eretas com panículas, espiguetas pubescentes e grãos ovais a redondos. Essas variedades são encontradas principalmente no Japão. As subespécies *javanica* são caracterizadas por serem muito altas com porte ereto, panículas longas e espiguetas arqueadas e são cultivadas principalmente na Indonésia. Já a subespécie *indica* apresenta como característica principal uma alta estatura, panículas curtas e grãos grossos e largos e são cultivadas principalmente nas Filipinas, Índia, Paquistão, Sri Lanka, Indonésia China e norte da África (SMITH; DILDAY, 2002). Nas figuras 2 e 3 é possível evidenciar mais nitidamente as diferenças das principais características morfológicas das subespécies de *O. sativa*.

Figura 2 - Diferença de panículas entre as subespécies japonica, javanica e indica.



Fonte: International Rice Research Institute, 2007.

Figura 3 - Diferença das sementes das sub. subespécies japonica, javanica e indica.



Fonte: International Rice Research Institute, 2007.

De acordo com a classificação botânica, o arroz é uma Angiosperma, Monocotiledonea, família Poaceae (ou Gramineae), tribo *Oryzaceae*, gênero *Oryza*. O gênero *Oryza* está distribuído nos trópicos e subtropicais e é composto por 22 espécies, das quais vinte

são selvagens e duas espécies são utilizadas para cultivo, sendo *O. sativa* e *O. glaberrima*. Tais espécies podem ser perenes ou anuais, contendo espécies diplóides ($2n = 24$) e tetraplóides ($2n = 48$), e estão distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, Austrália, África e Américas do Sul, Central e do Norte, conforme indicado na figura 4.

Figura 4 - Diferentes espécies de *Oryza* e sua distribuição geográfica.

Species Name (Synonym)	2n for x = 12	Genome Group	Distribution
<i>O. alta</i> Swallen	48	CCDD	Central and South America
<i>O. australiensis</i> Domin	24	EE	Australia
<i>O. barthii</i> A. Chev. (<i>O. breviligulata</i>)	24	A ^b A ^b	West Africa
<i>O. brachyantha</i> A. Chev. et Roehr	24	FF	West and central Africa
<i>O. eichingeri</i> A. Peter	24, 48	CC, BBCC	East and central Africa
<i>O. glaberrima</i> Steud.	24	A ⁶ A ⁶	West Africa
<i>O. glumaepatula</i> teud. (<i>O. perennis</i> subsp. <i>cubensis</i>)	24	A ⁶⁷ A ⁶⁷	South America, West Indies
<i>O. grandiglumis</i> (Doell.) Prod.	48	CCDD	South America
<i>O. granulata</i> Nees et Arn. ex. Hook f.	24	—	South and Southeast Asia
<i>O. latifolia</i> Desv.	48	CCDD	Central and South America
<i>O. longiglumis</i> Jansen	48	—	Papua New Guinea
<i>O. longistaminata</i> A. Chev. et Roehr (<i>O. barthii</i>)	24	A ¹ A ¹	Africa
<i>O. meridionalis</i> Ng	24	AA	Australia
<i>O. meyeriana</i> (Zoll. et Morrill ex. Steud.) Baill.	24	—	Southeast Asia, southern China
<i>O. minuta</i> J. S. Presl. ex. C. B. Presl.	48	BBCC	Southeast Asia
<i>O. nivara</i> Sharma et Shastry (<i>O. fatua</i> , <i>O. sativa</i> f. <i>spontanea</i>)	24	AA	South and Southeast Asia southern China
<i>O. officinalis</i> Wall. ex. Watt	24	CC	South and Southeast Asia, southern China, Papua New Guinea
<i>O. punctata</i> Kotschy ex. Steud.	48, 24	BBCC, BB (?)	Africa
<i>O. ridleyi</i> Hook f.	48	—	Southeast Asia
<i>O. rufipogon</i> Griff. (<i>O. perennis</i> , <i>O. fatua</i> , <i>O. perennis</i> subsp. <i>balunga</i>)	24	AA	South and Southeast Asia, southern China
<i>O. sativa</i> L.	24	AA	Asia
<i>O. schlechteri</i> Pilger	48	—	Papua New Guinea

Fonte: SMITH; DILDAY, 2002.

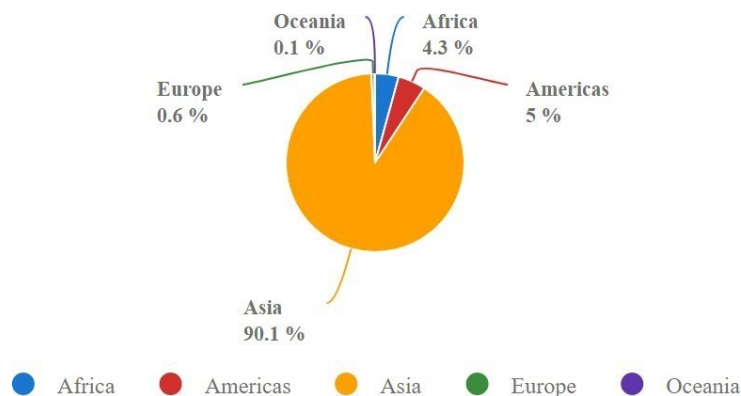
2.2 A CULTURA DO ARROZ NO MUNDO E SUA IMPORTÂNCIA

O arroz (*Oryza sativa* L.) dentre os cereais cultivados, é a cultura que apresenta papel importante, como alimento primário para mais da metade da população mundial, sendo uma excelente fonte de carboidratos e energia na dieta humana (JULIANO, 1993). O arroz é o único cereal importante que é utilizado quase exclusivamente na alimentação humana (CONAB, 2015). Com o rápido aumento no crescimento populacional, o arroz é o alimento que apresenta maior potencial na segurança alimentar no mundo, pois dentre os demais cereais, com base no rendimento médio de grãos, as lavouras de arroz produzem mais energia alimentar e oferta de proteína por hectare do que trigo e milho (JULIANO, 1993). Segundo Zhang (2011), a produção de arroz necessário para atender a demanda da população crescente até o ano de 2033 é de pelo menos de 35%, com crescimento médio de 1,6% na produção por ano. Porém, a produção mundial de arroz não está acompanhando o crescimento populacional nos últimos anos. Segundo Traversa-Tejero e Bortolotto-Cantarelli (2020), o crescimento populacional nos últimos anos cresceu 1,32% ao ano, enquanto que a produção de arroz aumentou apenas 1,09% ao ano e o consumo 1,27%, gerando preocupação para as entidades internacionais neste aspecto, evidenciando a importância da cultura do arroz no combate à fome no mundo.

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás do trigo, que utiliza 219 milhões de hectares. Porém, uma quantidade considerável de trigo é utilizada como ração animal. O arroz é plantado em cerca de 164 milhões de hectares cobrindo 29% da área global de cereais e corresponde a 31% da produção agrícola global. Dentre os países produtores de arroz, a Índia é o país com maior área cultivada com 45 milhões de hectares, seguido da China com 30.341.784 de hectares e Bangladesh com 11.417.745 de hectares. O Brasil é o país que apresenta a maior área cultivada dentre os países fora do continente asiático, com 1.677.705 de hectares (FAOSTAT, 2020).

Segundo dados da FAOSTAT, (2020), a produção de arroz no mundo totalizou 757 milhões de toneladas em 2020, sendo 90% da produção oriunda da Ásia. A figura 5 mostra a participação dos continentes na produção mundial de arroz.

Figura 5 - Participação dos continentes na produção de arroz.



Fonte: FAOSTAT, 2020.

A China, o maior produtor, produziu 211,860 milhões de toneladas seguido pela Índia (178,305 milhões de toneladas), Bangladesh (54,905 milhões de toneladas), Indonésia (54,649 milhões de toneladas), Vietnã (42,758 milhões de toneladas), Tailândia (30,231 milhões de toneladas), Myanmar (25,100 milhões de toneladas), Filipinas (19,294 milhões de toneladas), Brasil (11,091 milhões de toneladas) e Camboja (10,960 milhões de toneladas). O Brasil é o principal produtor de arroz fora do continente asiático, representando cerca de 1,5% da produção mundial, e cerca de 45% da produção de arroz da América do Sul no ano de 2020. A Tabela 1 apresenta os principais países produtores e sua respectiva produção de arroz.

Tabela 1 - Principais países produtores de arroz no mundo.

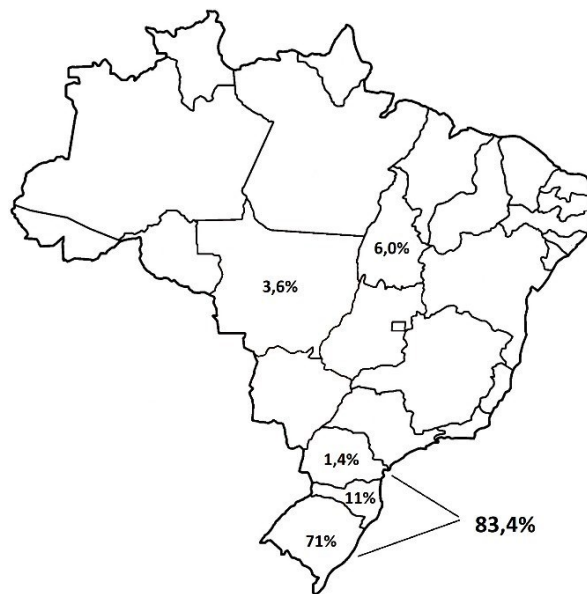
	PAÍSES	2020/2021	% Produção
1	China	211,860	28%
2	Índia	178,305	23,50%
3	Bangladesh	54,905	7,20%
4	Indonésia	54,649	7,20%
5	Vietnã	42,758	5,60%
6	Tailândia	30,231	4,00%
7	Myanmar	25,100	3%
8	Filipinas	19,294	2,50%
9	Brasil	11,091	1,50%
10	Camboja	10,960	1,40%

Fonte: Elaborado a partir de dados de FAOSTAT, 2020.

2.3 CULTIVO DE ARROZ NO BRASIL

O cultivo de arroz no Brasil contribui com aproximadamente 5 a 10 % da produção total de grãos no país, sendo cultivado praticamente durante todo o ano. Apesar do cultivo de arroz ser comum em todos os estados brasileiros, 93% da produção concentra-se apenas em cinco estados brasileiros. Somente o estado do Rio Grande do Sul é responsável por 71% da produção nacional, seguido por Santa Catarina com produção em torno de 11%, Tocantins com 6,0 %, Mato Grosso com 3,6% e Paraná com 1,4% da produção nacional na safra 2019/2020. De acordo com a figura 6, a região Sul do Brasil destaca-se por ser responsável por 83,4% da produção nacional (CONAB, 2020).

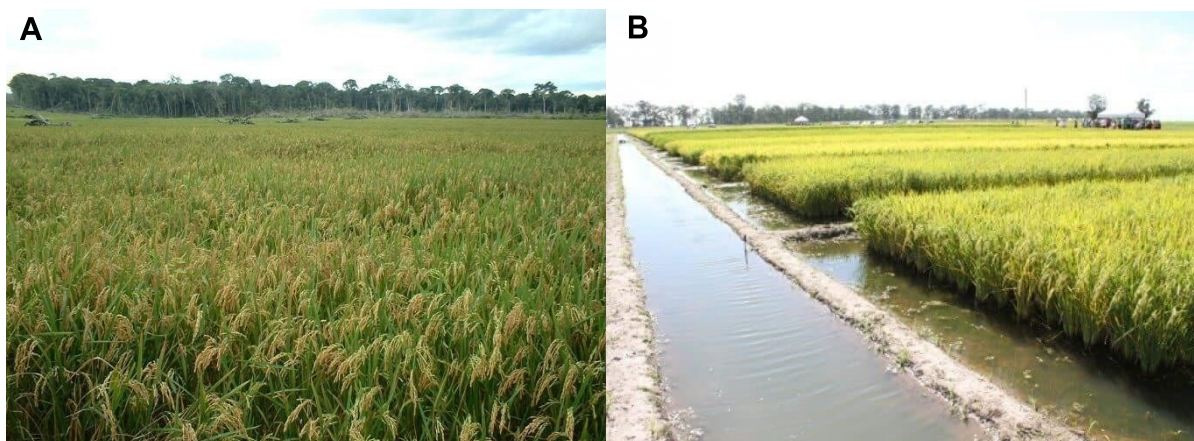
Figura 6 - Principais estados produtores de arroz na safra 2019/2020.



Fonte: Adaptado de CONAB, 2019.

Devido à cultura do arroz ser bastante versátil em se adaptar a diversos tipos de solo e clima, a cadeia produtiva de arroz no Brasil é baseada em dois sistemas de cultivo mediante a região ou localidade da área cultivada (PAULA, 2008). A figura 7 demonstra os principais sistemas de cultivo de arroz utilizados no Brasil.

Figura 7 - Cultivo de arroz de sequeiro (A) e arroz irrigado (B).



Fonte: AGEITEC, disponível em: www.agencia.cnptia.embrapa.br.

O sistema de cultivo irrigado exige condições especiais de topografia e de solo e ampla disponibilidade de água, apresentando maior custo de produção em comparação com o arroz de sequeiro, que é um sistema que utiliza água proveniente das chuvas, possibilitando o uso deste sistema em solos requeridos por outras culturas, sem a necessidade de adaptação para a cultura na área, havendo um menor custo de produção em relação ao sistema irrigado (PAULA, 2008). O cultivo de arroz irrigado é presente em todas as Regiões brasileiras, sendo que tradicionalmente, o sistema irrigado é praticado na Região Sul do Brasil na sua grande maioria, representando 99,9% de cultivos irrigados na região. Em âmbito nacional, o sistema irrigado da Região Sul representa 67% da área destinada para a produção de arroz total no Brasil, sendo que 76% da área total cultivada de arroz no Brasil é sob o sistema irrigado e responsável por 90% da produção (Figura 8). Nas demais regiões do Brasil, o sistema irrigado é irrelevante. Já o cultivo de arroz de sequeiro ou arroz de terras altas está localizado principalmente nas Regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, apresentando cerca de 92% e 81% respectivamente de área cultivada em arroz de sequeiro (SOSBAI, 2012). De acordo com Conab (2020), o cultivo de sequeiro no Brasil apresenta uma média nacional de produtividade de 2,3 toneladas/ha, 3,2 vezes menor que a média nacional do arroz irrigado, que é de 7,4 toneladas/ha. De acordo com Artigiani et al. (2012), essa baixa produtividade no sistema de sequeiro é resultante da dependência exclusiva de chuva para a irrigação nos momentos críticos de desenvolvimento da cultura. Devido a isso, o cultivo de arroz de sequeiro representa 24% da área, apenas 10% da produção.

Figura 8 - Área, produtividade e produção total de arroz das regiões brasileiras.

REGIÃO/UF	ÁREA (MIL HA)		PRODUTIVIDADE (KG/HÁ)		PRODUÇÃO (MIL T)	
	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
NORDESTE	143,8	157,1	1.891	2.061	272	323,9
NORTE	216,8	228,3	4.335	4.344	940	991,9
CENTRO-OESTE	154,8	152,5	3.633	3.895	562,4	594,1
SUDESTE	13,2	10,5	3.666	4.018	48,5	42,2
SUL	1.173,90	1.117,40	7.378	8.261	8.660,70	9.231,30

Fonte: Adaptado de CONAB, 2020.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA DO ARROZ NOS ESTADOS DE RS E SC

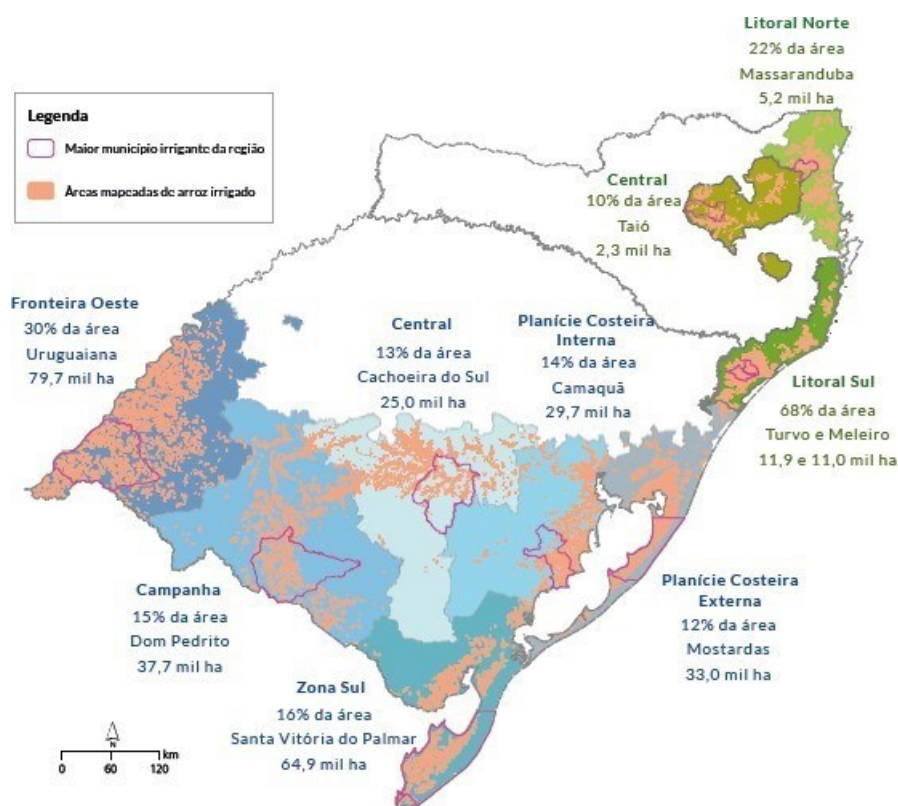
Dentre os estados brasileiros produtores de arroz, Rio Grande do Sul e Santa Catarina são responsáveis por cerca de 82% da produção nacional, onde este percentual é considerado estabilizador para o mercado nacional e garante a autossuficiência desse cereal à população brasileira (SOSBAI, 2012).

Uma característica importante desses dois estados é a utilização do sistema irrigado em quase sua totalidade na cadeia produtiva de arroz. As regiões produtoras desses dois estados apresentam relevo plano a suavemente ondulado e solos com alto grau de hidromorfismo (deficiência de drenagem), característica essencial na aptidão ao cultivo do arroz (CONAB, 2015). Porém, existe uma grande diferenciação em virtude da utilização do sistema de cultivo entre os dois estados. No estado de Santa Catarina, 100% do sistema de cultivo é pré-germinado, ou seja, a semeadura é realizada sobre a lâmina de água com as sementes pré-germinadas. Já no Rio Grande do Sul, estima-se que 9% da área seja cultivada com pré-germinado (CONAB, 2015). No entanto, 91% do sistema de cultivo de arroz no Rio Grande do Sul realiza a semeadura sobre o solo seco e inicia a submersão do solo 30 dias após a emergência das plântulas (MAGALHAES JÚNIOR et al., 2004).

No Rio Grande do Sul, o arroz é produzido em 134 municípios localizados na metade sul do estado, totalizando uma área destinada a produção de arroz na safra 2019/20 de 946,4 mil ha e com produção em torno de 7,867 milhões de toneladas (CONAB, 2020). A cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul caracteriza-se como uma cultura de grande escala de produção, onde dos 131 municípios, 79 possuem área de cultivo superior a mil ha; 46 municípios possuem área superior a 4 mil ha e 28 municípios área superior a 10 mil ha (CONAB, 2020b).

Em Santa Catarina o arroz irrigado é caracterizado como uma cultura comum de pequena propriedade, com área média de 13,5 ha. O arroz no estado é produzido em 149,6 mil ha, onde na safra 2019/20 foram responsáveis 1,212 milhões de toneladas de arroz. As maiores áreas de produção estão localizadas no Litoral Sul com 68% do total de área destinada a produção no estado, seguido da região do Litoral Norte, com 22% do total de área (CONAB, 2020b). O restante encontra-se no Alto Vale do Itajaí (10%), onde encontra-se o município de Agronômica, local com muitas propriedades que possuem rendimentos próximos a 15 toneladas/ha em um único cultivo, sendo os orizicultores deste município considerados como os campeões mundiais de produtividade de arroz irrigado (EPAGRI, 2012). A figura 9 demonstra as principais regiões produtoras de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Figura 9 - Regionalização da produção de arroz irrigado nos estados RS e SC.

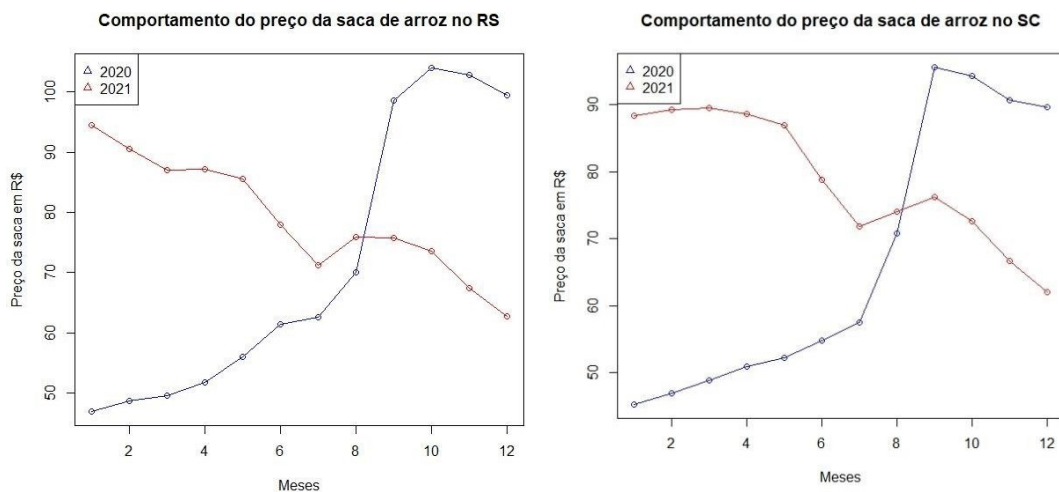


Fonte: CONAB, 2020b.

No entanto, a produção de arroz tem enfrentado desafios nos últimos anos, como diminuição de áreas cultiváveis e alto custo de produção devido ao excesso de uso de

fertilizantes, principalmente o nitrogenado e defensivos agrícolas, resultando em baixa margem de lucro para o produtor rural. De acordo com Finger e Waquil (2013), a produção de arroz é considerada de risco devido às oscilações de mercado e custo de produção, tornando-se mais relevante que adversidades climáticas na cultura. A Figura 10 mostra a oscilação do preço da saca de arroz nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, onde no ano de 2020, o valor da saca teve um aumento de 122% e 111% respectivamente. No entanto, no ano seguinte o valor da saca diminuiu 60% e 65% respectivamente nos estados em relação ao ano de 2020.

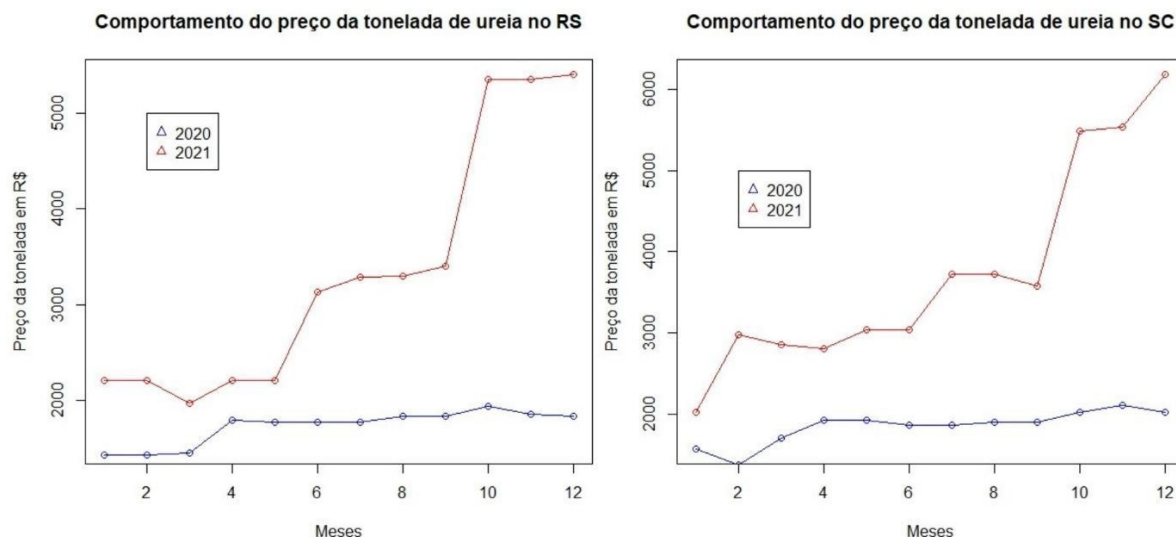
Figura 10 - Comportamento do preço da saca do arroz na safra 2020/21.



Fonte: Elaborado a partir de dados do AGROLINK (2021).

Entretanto, o valor do produto comercializado pelo produtor não possuiu o mesmo aumento de preço como os dos insumos agrícolas, principalmente o adubo nitrogenado, que é o nutriente de maior exigência pela cultura e determinante para o rendimento (FONSECA et al., 2012). O preço da uréia, principal adubo nitrogenado utilizado no cultivo de arroz irrigado, teve um aumento significativo na safra 2020/21 de 260% e 351% respectivamente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ocasionando uma insustentabilidade financeira para os orizicultores. A Figura 11 demonstra o comportamento do preço da uréia nos dois estados na safra 2020/21.

Figura 11 - – Comportamento do preço da uréia na safra 2020/2021.



Fonte: Elaborado a partir de dados CONAB (2021).

Devido a isto, a área cultivada pela cultura do arroz nos últimos anos vem diminuindo consideravelmente. De acordo com Agrosaber (2020), o Brasil nos anos 70 cultivou 6,6 milhões de hectares de arroz, 75% a mais que a atual área. O Rio Grande do Sul, principal produtor do cereal, possui cerca de 3 milhões de hectares de terras baixas sistematizadas para o cultivo de arroz irrigado. Porém, nas últimas safras, apenas 1/3 dessa área foi destinada à produção de arroz e o restante rotacionado com pasto, plantio de soja ou pousio (ATLAS, 2020). A área plantada de arroz irrigado na safra de 2010/11 no Rio Grande do Sul era de mais de 1,170 milhões de hectares e passou a ser na safra 2019/20 menos de 940 mil hectares, uma redução de área de 20% (IRGA, 2020). Esta diminuição da área plantada vem se intensificandodevido à desvalorização do arroz e com a elevação do preço dos insumos agrícolas, diminuindo a margem de lucro para o produtor, tornando a cultura uma das menos atrativas no país nos últimos anos.

Com a retração do cultivo de arroz irrigado, nos últimos anos, uma saída economicamente positiva para os produtores rurais foi o cultivo de soja. Devido aos bons preços da soja e maior rentabilidade, a cultura se tornou uma alternativa para recuperar a sustentabilidade financeira dos campos de várzea que eram usados exclusivamente para o cultivo de arroz irrigado (CONAB, 2019). Devido aos problemas relacionados aos riscos de mercado e principalmente questões associadas ao custo de produção, a cultura do arroz vem perdendo espaço todos os anos para a cultura da soja. De acordo com IRGA (2021), no Estado do Rio Grande do Sul, o cultivo de soja em áreas de arroz aumentou 205% nas últimas 10 safras (Figura 12).

Figura 12 - Evolução do cultivo de soja em áreas de arroz irrigado no RS.



Fonte: IRGA, 2021.

Neste sentido, faz-se necessário buscar melhorias no setor e incentivos a novas práticas e tecnologias para o cultivo de arroz irrigado no Brasil, visando a agregar valor ao cultivo, aumento de produtividade e redução de custo, para tornar o sistema de produção mais atrativo para os agricultores e incrementar a produção do grão para abastecer o mercado interno e explorar o potencial da cultura para abastecer o mercado internacional.

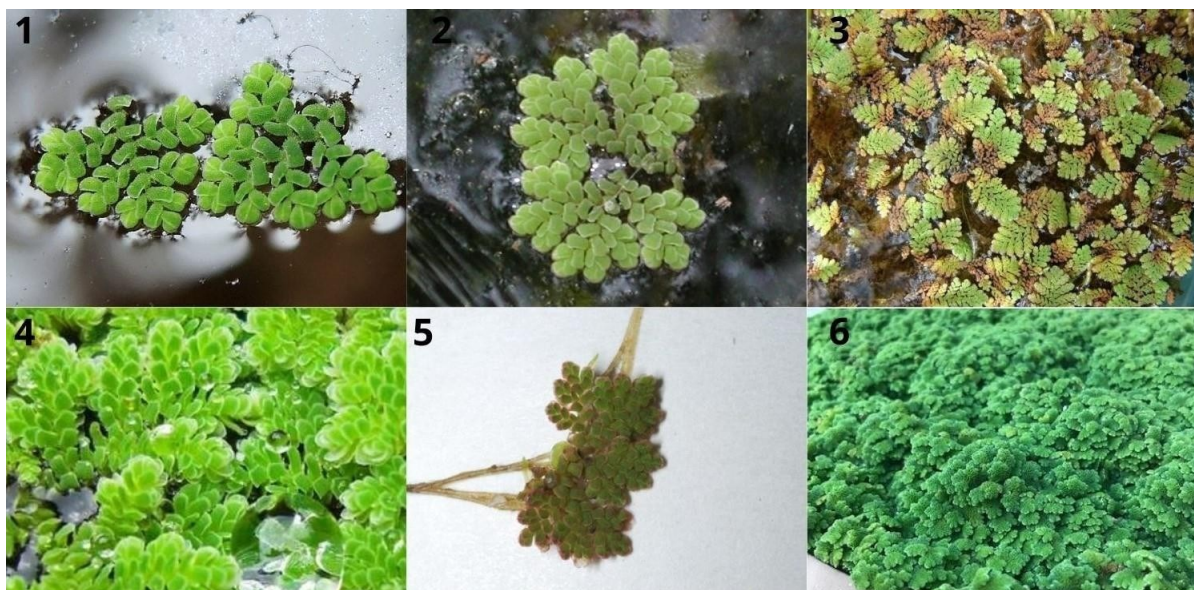
2.5 A PLANTA *AZOLLA* SPP

Azolla spp. é uma pequena samambaia aquática de formato triangular ou poligonal que cresce exuberantemente em lagos, rios e campos arroyeiros nas regiões tropicais e temperadas do planeta (WANTANABE et al., 1977). Esta planta é encontrada em várias partes do mundo, incluindo a África, Ásia, Europa e todo o continente Americano. No Brasil, a planta *Azolla* está presente em todas as regiões do país podendo encontrar-se três espécies diferentes, como *Azolla caroliniana*, *Azolla filiculoides* e *Azolla microphylla* (FIORE; GUTBROD, 1987).

De acordo com a classificação de Saunders e Fowler (1993), esta planta pertence à seguinte classificação botânica: Divisão Pteridófitas; Ordem: Salviniales; Família: Salviniaceae = Azollaceae; Gênero: *Azolla*. O subgênero *Euazolla*, caracterizado por três megásporos flutuantes e septados glochidia, inclui quatro espécies: *Azolla filiculoides* (6), *Azolla caroliniana* (5), *Azolla microphylla* (4) e *Azolla mexicana* (2). O subgênero *Rhizosperma*, caracterizado por nove megásporos flutuantes, inclui duas espécies: *Azolla pinnata* (1) com glochidia simples e *Azolla nilotica* (3) sem glochidia. Todas as espécies do gênero *Azolla* foram

descritas por Lamark em 1783 (ROGER; ZIMMERMAN; LUMPKIN, 1993). De acordo com Fiore e Saito (1985), nos estados Rio Grande do Sul e Santa Catarina foram encontradas naturalmente as espécies *A. caroliniana* e *A. filiculoides* (Figura 13).

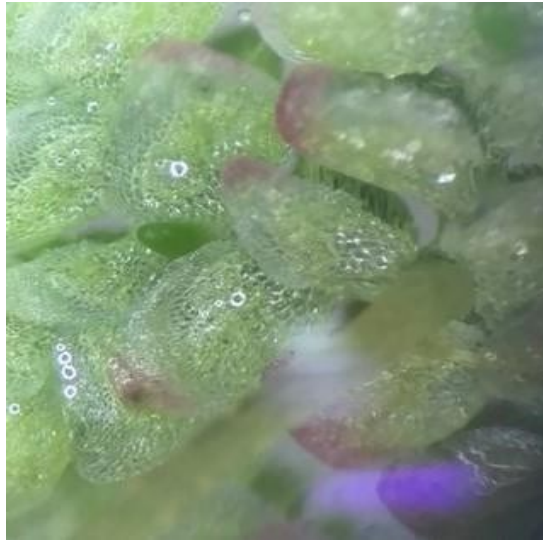
Figura 13 - Diferentes espécies de *Azolla* spp.



Fonte: Elaborado a partir de imagens do site The Azolla Foundation.

Esta pequena planta flutuante apresenta uma estrutura herbácea, possuindo raízes e caules ramificados e pequenas folhas alternadas e sobrepostas. A planta apresenta um lóbulo dorsal clorofilado e contém um poro de comunicação com a atmosfera que conecta a colônias de cianobactérias do gênero *Anabaena* que se alojam no interior do lóbulo dorsal (FIORE, 1984). Já no lóbulo ventral, onde surge as raízes adventícias, apresenta coloração transparente e tem como função manter a planta flutuante sobre a superfície de água devido à presença de pequenas câmaras (Figura 14). O diâmetro da planta pode variar de 1 a 2,5 cm e o comprimento pode chegar até 15 cm, como a espécie *A. nilotica*, que é uma das maiores (WATANABE; BAI; BERJA, 1981).

Figura 14 - Lóbulo ventral demonstrando as câmaras transparentes.



Fonte: Autorial própria.

2.6 IMPORTÂNCIA DA *AZOLLA* SPP

A *Azolla* spp. é uma samambaia aquática que apresenta potencial para seu uso ampliado na agricultura mundial devido a sua simbiose com uma cianobactéria filamentosa formadora de heterocistos chamada de *Anabaena* que ocorre nas cavidades foliares dorsais da samambaia *Azolla*, com capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (MONTAÑO, 2005).

Dos muitos usos possíveis de *Azolla* spp., o mais destacado é sua aplicação como biofertilizante na produção agrícola devido à capacidade de fixar nitrogênio em altas taxas. De acordo com Van Hove e Lejeune (2002), o complexo simbiótico *Azolla-Anabaena* é considerado uma fábrica natural de nitrogênio atmosférico.

Devido à necessidade de empregar recursos renováveis e sustentáveis na agricultura, a utilização de *Azolla* spp. na agricultura como fonte natural de N, nutriente crucial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pode ser muito benéfica para garantir a segurança alimentar no mundo (PROCHNOW, 2002). Além disso, com o aumento progressivo dos fertilizantes minerais nos últimos anos, tornando inacessível economicamente para muitos agricultores, a utilização de *Azolla* spp. pode melhorar o *status* econômico dos cultivos em decorrência do aumento da produtividade das culturas e redução dos custos de produção.

De acordo com Lumpkin e Plucknett (1982), a utilização de *Azolla* spp. na cultura do arroz irrigado como fonte de N é praticada há séculos na China e no Vietnã. No Brasil, o uso desta planta como biofertilizante na cultura do arroz, foi objeto de inúmeros projetos em

diversas entidades importantes no Brasil no início da década de 70 até meados dos anos 2000. No entanto, estes estudos não foram suficientes para disseminar o uso de *Azolla* spp. para os produtores de arroz no país. Em consequência disto, não houve recentemente projetos sobre a utilização de *Azolla* spp. como biofertilizante no sistema de produção de arroz irrigado na literatura brasileira.

Uma importante entrada de N nos ecossistemas terrestres é fixado por organismos diazotróficos, no qual a cianobactéria *Anabaena* faz parte, permitindo fixar N₂ em formas usáveis pelas plantas, como o amônio (NH⁺₄) (MALAVOLTA, 1980). A utilização de *Azolla* spp. permite aumentar a produção agrícola e reduzir o custo de produção com a diminuição do uso de fertilizantes minerais (LUMPKIN; PLUCKNETT, 1982).

O efeito positivo da utilização de *Azolla* spp. na cultura do arroz resulta em aumento de produtividade pelo fato de contribuir nos componentes de produção da cultura como, número de panículas por metro quadrado (m²), número de espiguetas por panícula, porcentagem, de espiguetas férteis e peso de mil grãos (SORATTO et al., 2010). A *Azolla* spp. é usada como fonte de N na cultura do arroz em muitos países do continente asiático, incluindo Índia, Bangladesh, Tailândia e Filipinas. Devido ao seu alto teor de proteína e baixo teor de lignina, *Azolla* spp. é tradicionalmente utilizada na alimentação de aves, peixes e gado nos países asiáticos (YADAV et al., 2014). Além disso, *Azolla* spp. tem sido amplamente explorada na utilização para fabricação de biogás e seu potencial em acumular metais pesados em afluentes em diversos países europeus (ROY et al., 2016).

2.7 SIMBIOSE *AZOLLA-ANABAENA*

Azolla-Anabaena é um complexo simbiótico considerado como sistema fixador de nitrogênio atmosférico mais eficiente existente na natureza. A cianobactéria, que é fixadora de nitrogênio, fornece N suficiente para si mesmo e para seu hospedeiro, permitindo que o mesmo colonize habitats pobres em nutrientes e ambientes hostis (RUSCHEL, 1990). Por outro lado, a samambaia protege a cianobactéria de condições ambientais extremas como alta irradiância e dessecação (WATANABE; BAI; BERJA, 1981).

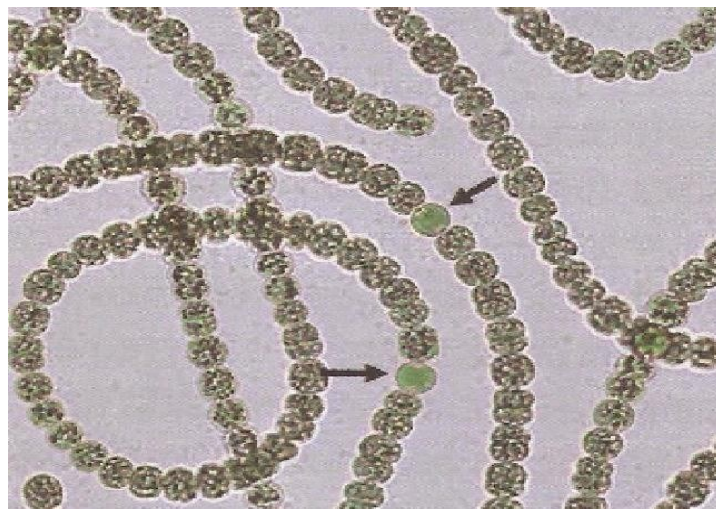
Segundo Khan (1988), foi Strasburger em 1873 que descobriu a existência de uma cianobactéria denominada *Anabaena* nas cavidades das folhas da samambaia *Azolla* L. Segundo Ladha e Watanabe (1987), a cianobactéria está presente em todas as espécies conhecidas de *Azolla* e nenhuma outra espécie de cianobactéria existe nas cavidades das folhas da samambaia. Botanicamente, a cianobactéria pertence à Divisão: Cyanophyta; Ordem:

Nostocales; Família: Nostocaceae; Espécie: *Anabaena-azollae* (ROGER; ZIMMERMAN; LUMPKIN, 1993).

De acordo com Van Hove e Lejeune (2002), a relação entre *Azolla* e a cianobactéria *Anabaena* é de simbiose permanente, onde o complexo está associado em todas as fases do ciclo de vida da samambaia, persistindo de uma geração para outra, não sendo necessária a inoculação, como acontece com os *Rhizobium* em soja. No entanto, *Azolla* spp. e *Anabaena* não dependem um do outro para sobreviver, ou seja, pode ocorrer de forma rara e espontânea na natureza (LADHA; WATANABE, 1987). De acordo com Singh et al (2008), *Azolla* livre da cianobactéria é incapaz de fixar N, requerendo suplementação de N e *Anabaena* apresenta taxas de fixação de N reduzidas do que quando associada à samambaia.

A atividade fixadora de N do complexo simbiótico é realizada inteiramente por colônias filamentosas de *Anabaena azollae* presentes na cavidade de cada folha da samambaia (Figura 15). Os filamentos de *Anabaena azollae* contêm células vegetativas normais e os heterocistos, que são células especializadas na fixação de N devido à presença da enzima nitrogenase em seu interior (SHI; HALL, 1988). As células vegetativas são responsáveis por realizar fotossíntese e suprir as necessidades de energia dos heterocistos, que por sua vez, fixam o N e os fornecem para as demais células do filamento (RASCIO; ROCCA, 2013). A Figura 16 demonstra estes processos.

Figura 15 - Filamentos de *Anabaena azollae*.

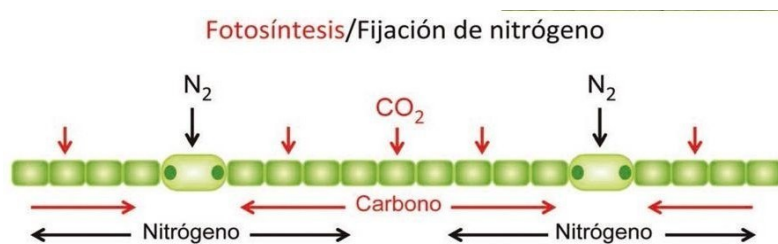


Fonte: Página do The Azolla Foundation.

Disponível em: < <https://theazollafoundation.org>>. Acesso em: 25 set. 2021.

Nota: Setas indicam os heterocistos nos filamentos.

Figura 16 - Fotossíntese e fixação de nitrogênio em filamentos de *Anabaena azollae*.



Fonte: MALDENER e MURO-PASTOR (2010).

De acordo com Rascio e Rocca (2013), os heterocistos consistem de 30-40% das células de *Anabaena azollae* na cavidade de folhas maduras. Esta frequência resulta em cerca de 50-90% do nitrogênio fixado por *Anabaena azollae* para fornecer N para a samambaia. Ainda segundo os autores, esta quantidade é mais que a necessária requerida pela samambaia, sendo que quando a planta supre as suas necessidades de N, o mesmo é liberado para o meio de forma gradativa. No entanto, segundo um estudo realizado por Singh e Singh (1989), a aplicação de N no meio reduz a frequência de heterocistos em *Anabaena azollae*, reduzindo as taxas de fixação de N e afeta também o crescimento de *Azolla* spp.

Em um experimento realizado em ambiente controlado por Watanabe (1982), verificou-se que a taxa de liberação de N no meio pelo complexo *Azolla-anabaena* com diferentes espécies estava em torno de 1 a 3,6 kg de N/ha dia. Segundo Malavolta (1980), a simbiose *Azolla-anabaena* em campos de arroz irrigado é capaz de fixar entre 425 e 600 kg de N/ha ano. Segundo Watanabe (1982), de acordo com a espécie de *Azolla* utilizada, o crescimento de plantas desta samambaia produz cerca de 1,1 a 5,2 toneladas de biomassa da mesma por ha em um período inferior a 50 dias. Muitos estudos demonstram que a simbiose entre *Azolla* spp. e *Anabaena azollae* na cultura do arroz irrigado contribui com o rendimento da cultura e como uma excelente fonte alternativa de N.

2.8 UTILIZAÇÃO DE *AZOLLA* SPP. NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

A utilização de *Azolla* spp. na cultura do arroz irrigado é utilizada desde os anos 540 a.C. no continente asiático (RUSCHEL, 1990). Durante o século XX, inúmeros estudos foram realizados com *Azolla* spp. na cultura do arroz irrigado em várias instituições importantes, incluindo International Rice Research (IRRI) nas Filipinas, Central Rice Research Institute (CRRI) na Índia, Universidade da Califórnia e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(EMBRAPA). Estas instituições iniciaram com diversos estudos de cada um desses grupos para avaliar os problemas e aplicabilidade de *Azolla* spp. em diversas áreas no mundo e se confirmou seu potencial de compensar as necessidades de N na cultura do arroz irrigado. No Brasil, esta linha de pesquisa e estudos não teve continuidade nos últimos anos, acabando por ficar no esquecimento da literatura científica brasileira.

A cadeia produtiva de arroz irrigado no Brasil vem passando por muitas dificuldades nos últimos anos em decorrência do custo de produção elevado e baixa rentabilidade, desestimulando o produtor rural a produzir arroz. Dentre os fatores que favorecem a elevação do custo de produção da orizicultura, o preço dos fertilizantes minerais, principalmente o nitrogenado, e dos defensivos agrícolas.

De acordo com Buresh et al. (2008), o N é nutriente mais limitante na produção de alimentos, tornando a produção agrícola diretamente dependente do N. Segundo Malavolta (1980), a quantidade de N absorvida para produzir 1 tonelada de grãos de arroz é cerca de 45 kg/N/ tonelada. Atualmente, o N é fornecido ao arroz pela adição de fertilizante ureia, que devido ao seu processo de fixação industrial, cada unidade de fertilizante nitrogenado produzido, requer duas unidades de petróleo (HAMDI, 1982). Devido a isto e combinado com o custo do frete, o uso de fertilizante mineral nitrogenado torna-se caro. Além disso, devido à complexidade e vulnerabilidade a transformações, o N aplicado pode ser perdido para o ambiente de diferentes formas. No entanto, em solos alagados, os principais processos de perda de N para o ambiente são a desnitrificação e volatilização, que representam 10% e 90% respectivamente do total de perdas (BURESH et al., 2008). Segundo Cantarella (2007), devido à prática corriqueira de aplicação a lanço do fertilizante nitrogenado sobre a lâmina d'água, a perda de N por volatilização ocorre de forma significativa. Porém, todos esses problemas podem ser minimizados por meio da fixação biológica de nitrogênio.

Apesar de o N ser um elemento limitante para as plantas devido à complexidade de seu ciclo, o N é o nutriente mais abundante no meio ambiente, representando 78% da atmosfera, como N₂ (CANTARELLA, 2007). Uma alternativa para aproveitar esta abundância de N e torna-lo disponível para as plantas de arroz irrigado é a utilização do complexo simbiótico *Azolla-Anabaena* (MONTAÑO, 2005).

A fixação biológica de nitrogênio através do complexo simbiótico *Azolla-Anabaena* é considerado um sistema biológico eficiente para aumentar o rendimento do arroz e diminuir o custo de produção (WATANABE; BAI; BERJA, 1981).

Muitos experimentos comprovam a eficácia de *Azolla* spp. como fonte de N para a cultura do arroz irrigado. De acordo com Montaña (2005), *Azolla* spp. pode suprir toda a

necessidade requerida de N pela cultura de arroz. Assim como Malavolta (1980), no estudo realizado por Hall et al. (1995), verificou-se que *Azolla* spp. apresenta taxa de fixação de N de 400 a 1100 kgN/há/ano. *Azolla-Anabaena* é capaz de fixar N em taxas mais altas que leguminosas, como na soja, onde a bactéria fixadora de N *Rhizobium* apresenta taxas de fixação de N em torno de 300 kgN/ha ano (COSTA et al., 2013).

Muitos estudos foram realizados que comparam a eficiência de *Azolla* spp. com fertilizantes nitrogenados. Em um estudo sobre o efeito de *Azolla* spp. no cultivo de arroz irrigado na Índia, Kannaiyan (1987), verificou que o rendimento de grãos de arroz foi 26% maior com aplicação de *Azolla* spp. em comparação com diferentes dosagens de fertilizante nitrogenado.

Em um experimento realizado na Tailândia por Loudhapasitiporn e Kanareugsa (1987), os resultados mostraram que azolla deu maior rendimento de grãos de arroz do que os fertilizantes minerais nitrogenados (Figura 17).

Figura 17 - Efeito da utilização de *Azolla* spp. com diferentes fontes de fosfatos.

Treatmenta	Fertilizer N-P ₂ O ₅ -K ₂ O applied at transplanting (kg/ha)	Growth of fresh <i>Azolla</i> (t/ha)	Rice yield (t/ha)	Panicles/hill
1. No <i>Azolla</i>	0 - 30 - 25	–	2.6 c	7.2 bc
2. No <i>Azolla</i>	19 - 30 - 25	–	2.8 c	8.5 ab
3. No <i>Azolla</i>	38 - 30 - 25	–	2.9 bc	9.6 a
4. With <i>Azolla</i>	0 - 30 - 25	0.79	2.9 bc	8.5 ab
5. With <i>Azolla</i>	0 - 30 - 25	11.45	3.5 a	9.4 a
6. With <i>Azolla</i>	0 - 30 - 25	18.92	3.4 a	10.0 a
7. With <i>Azolla</i>	0 - 30 - 25	18.61	2.6 c	7.0 c

^a In treatments 4, 5, 6 *Azolla* was plowed into soil before transplanting. In treatments 6 and 7 K fertilizer was split 3 times at 5-d intervals. *Azolla* applied at seeding time.

Fonte: LOUDHAPASITIPORN e KANAREUGSA (1987).

A adição de fertilizantes fosfatados aumenta o crescimento de *Azolla* spp. e a fixação de N pelo complexo simbiótico (SINGH; SINGH, 1990). Neste experimento, a matéria fresca de *Azolla* spp. sobre a lâmina d'água foi de aproximadamente de 19 toneladas/ha. Este volume de biomassa vegetal sobre a lâmina d'água forma um extenso tapete de *Azolla*, que ao final do ciclo do arroz irrigado, quando seca a área para a colheita, este imenso tapete de *Azolla* spp. será incorporado ao solo, aumentando os níveis de fertilidade e matéria orgânica devido à sua alta produtividade de biomassa (VAN HOVE; LEJEUENE, 2002). Na Figura 18 é possível perceber a densa camada de *Azolla* spp. sobre a lâmina d'água.

Figura 18 - Tapete de *Azolla* spp. sobre a lâmina d'água.



Fonte: Elaborado a partir de imagens Andhra Pradesh Community Managed Natural Farming.

Com o crescimento da planta de arroz, o sombreamento causado sobre a lâmina d'água acelera a decomposição de *Azolla* spp., onde maior parte do N fixado pelo complexo simbiótico *Azolla-Anabaena* é disponibilizado para a planta após a decomposição de *Azolla* spp. (RUSCHEL, 1990). Este momento é justamente o período em que a planta de arroz está no estágio de enchimento de grãos, período crítico em que a planta necessita de N para suprir as necessidades requeridas e aumentar o peso de grãos (BORIN, 2014). Com a aceleração da decomposição de *Azolla* spp., o nitrogênio é liberado principalmente na forma de NH_4^+ .

De acordo com Lumpkin e Plucknett (1982), para formar uma cobertura vegetal de *Azolla* spp. sobre a lâmina d'água, é preciso definir o sistema de cultivo de *Azolla* spp. na cultura do arroz para que a planta tenha espaço de tempo necessário para sua multiplicação. Ainda segundo os mesmos autores, devido à capacidade de *Azolla* spp. multiplicar-se 5-7 vezes do seu tamanho inicial, a quantidade de inóculo ideal para cobrir a área de forma mais rápida estaria em torno de $500\text{-}800\text{g/m}^2$. Com isso, a utilização de *Azolla* spp. em consórcio com a cultura do arroz irrigado é o melhor sistema, uma vez que a presença da samambaia aquática desde o início do cultivo controla as plantas daninhas e proporciona durante todo ciclo suprimento de N para a cultura (MONTAÑO, 2005).

No experimento realizado por Kannaiyan (1987), onde verificou-se o efeito do tapete de *Azolla* spp. no controle de diferentes espécies de *Echinochloa glabrescens*, denominada no Brasil de capim-arroz, planta daninha com alta incidência nas lavouras arroseiras do sul do país, observou-se que quanto maior a quantidade de inóculo de *Azolla* spp. distribuídos sobre a área, maior era o controle sobre o capim-arroz. Este controle deve-se ao fato que a camada espessa de *Azolla* spp. formada sobre a lâmina d'água, cria um ambiente inadequado para o crescimento

e desenvolvimento da planta daninha, pois *Azolla* spp. torna-se uma barreira física, impedindo que penetração de luminosidade seja aproveitada pela planta daninha e também impede o crescimento natural da mesma (SUBEDI; SHRESTHA, 2015). A Figura 19 demonstra a eficiência de *Azolla* spp. no controle de capim arroz realizado no experimento de Kannaiyan na Índia.

Figura 19 - Efeito do inóculo de *Azolla* spp. na supressão de plantas daninhas.

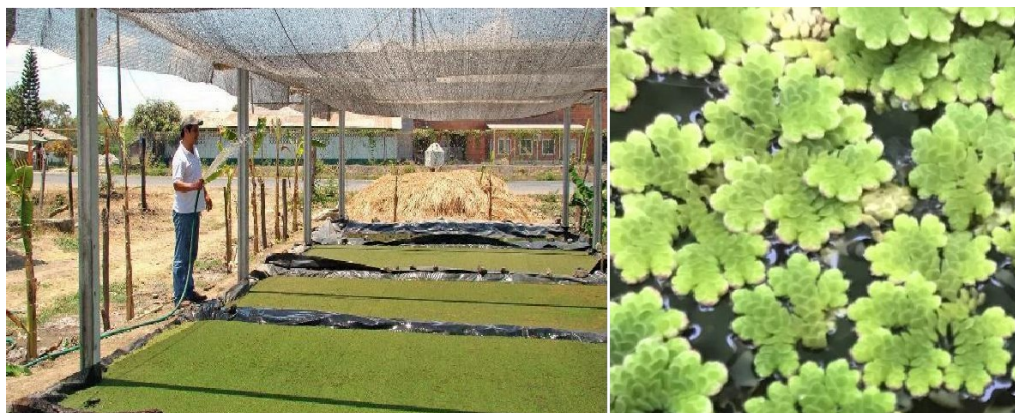
<i>Azolla</i> inoculum (g/m ²)	Fresh weed Wt (kg/7.5-m ² plot)	Reduction over control (%)	Grain yield (t/ha)
100	2.9	46.9	6.0
150	2.6	51.5	6.3
200	1.8	66.9	6.2
250	2.1	61.6	6.0
300	2.2	60.3	6.2
350	1.9	65.8	6.1
400	1.4	74.3	6.0
450	1.0	80.9	6.5
500	1.3	76.3	6.6
30 kg N/ha alone	5.7	-	5.4
Uninoculated control	5.4	-	3.4

^a *Echinochloa glabrescens*, *E. colona*, *E. stagnina*, and *E. crus-galli*.

Fonte: KANNAIYAN (1987).

Para se obter uma grande quantidade de biomassa de *Azolla* spp., o inóculo deve ser mantido em viveiros de produção no período de entressafra, onde a samambaia deve ser multiplicada para garantir quantidades suficientes para o cultivo. De acordo com Ruschel (1990), devido à multiplicação de *Azolla* spp. ser de forma rápida e feita vegetativamente, utilizam-se porções de plantas conhecidas como inóculo (Figura 20).

Figura 20 - Viveiro e inóculo de *Azolla* spp.



Fonte: MONTAÑO (2005).

3 CONCLUSÃO

O arroz é um cereal que, devido a sua versatilidade em se adaptar a diversos tipos de clima e solo, está presente em todos os continentes, apresentando grande importância econômica e social de diversos países. É um dos cereais mais consumidos mundialmente e é considerado com maior potencial para combater a fome mundialmente, visto que a demanda por alimentos será de 70% maior que a atual no ano de 2050 devido ao crescimento da população mundial (FAO, 2017).

O Brasil é o país dentre os que produzem arroz, o que apresenta maior potencial produtivo devido sua vasta disponibilidade de recursos hídricos, posição geográfica e condições climáticas favoráveis para a produção deste cereal, ocupando uma posição de extrema importância no cenário mundial para a garantia da segurança alimentar (CONAB, 2015).

Considerados o berço da rizicultura irrigada no Brasil, os estados de SC e RS apresentam 84,3% da área plantada de arroz no país. No entanto, o estado do RS que é responsável por 70% da produção nacional do cereal utiliza apenas 1/3 da sua área em que se cultiva arroz irrigado devido às dificuldades que a cadeia produtiva de arroz no país vem enfrentando nos últimos anos, ocasionando uma redução da área plantada e impedindo a expansão dos campos de várzea disponíveis para o cultivo de arroz irrigado (CONAB, 2020b).

Em razão dos solos de várzea onde se realiza o cultivo de arroz irrigado apresentarem baixa fertilidade natural e um ambiente comum de comunidade de plantas infestantes, este sistema de cultivo exige uma elevada demanda por reposição de nutrientes, principalmente o N, e a utilização de defensivos agrícolas para o controle das plantas infestantes, acarretando em um elevado custo de produção (MARTINI et al., 2012).

A utilização de *Azolla* spp., uma samambaia aquática que possui associação simbiótica com a cianobactéria fixadora de N *Anabaena azollae* é vista como uma excelente alternativa para a disponibilização de N para a cultura, para o combate às plantas infestantes e para melhorar a fertilidade dos solos de várzea através dos resíduos que irão permanecer após o cultivo, tornando o sistema de cultivo de arroz irrigado menos dependente da adubação nitrogenada, aumentando a rentabilidade do sistema de produção visto que, esta alternativa aumenta a produtividade da cultura e diminui a utilização de fertilizantes nitrogenados e defensivos agrícolas (SUBEDI; SHRESTHA, 2015).

REFERÊNCIAS

AGEITEC. **Árvore do conhecimento: arroz.** Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000g1wcnzza02wx5ok0ha2lipwbeel46.html>> Acesso em 05 out. 2021.

AGROLINK. Cotações. **Arroz.** 2021. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/cotacoes/graos/arroz/>> Acesso em: 15 jan. 2022.

AGROSABER. **Em área 75% menor, Brasil produz 5 vezes mais arroz. Saiba o segredo.** Disponível em: <<https://agrosaber.com.br/em-area-75-menor-brasil-produz-5-vezes-mais-arroz-saiba-o-segredo/>> Acesso em: 29 set. 2021.

ARTIGIANI, A. C. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. de C. F.; NASCENTE, A. S. Produtividade e qualidade industrial do arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e adubação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 340–349, 2012.

ATLAS: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. **O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casca do Brasil.** Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>> Acesso em: 20 set. 2021.

BORIN, José Bernardo Moraes. **Alterações da solução do solo e resposta do arroz irrigado ao manejo da irrigação e da adubação nitrogenada.** 2014. 93f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/104848>. Acesso em: 07 jan. 2022.

BURESH, R. J.; RAMESH REDDY, K.; VAN KESSEL, C. Nitrogen transformations in submerged soils. **Nitrogen in agricultural systems**, v. 49, p. 401-436, 2008.

CANTARELLA, Heitor. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI**, v. 120, p. 12-13, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série históricas: A cultura do arroz.** Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes>> Acesso em: 27 set. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras - arroz total.** 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-serie-historica-das-safra>> Acesso em: 23 set. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra de Grãos.** 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 27 set. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mapeamento do arroz irrigado no Brasil.** CONAB, 2020b. Disponível em:

<<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/14089-mapeamento-do-arroz-irrigado-no-brasil-2020>> Acesso em: 15 ago. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Insumos agropecuários**. 2021. Disponível em: <<https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d-6983528p=2&uf=SC&anoFinal=2021&ano=2016&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=RKHQW&idGrupo=27>> Acesso em: 15 jan. 2022.

COSTA, Maira Rejane et al. Sobrevivência de *Bradyrhizobium japonicum* em sementes de soja tratadas com fungicidas e os efeitos sobre a nodulação e a produtividade da cultura. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 186-192, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sp/a/8YKLZqjq76MjGRBK8RrskfH/?lang=pt>> Acesso em: 23 jan. 2022.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA E EXTENSAO RURAL DE SANTA CATARINA [internet]: **Histórico da produção de arroz irrigado**. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/?option=com_content&view> Acesso em: 20 set. 2021.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; STONE, L.F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Banco de Dados Estatísticos. 2020. Disponível em: <<https://www.fao.org>> Acesso em: 23 set. 2021.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos. Junho de 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/> Acesso em: 20 set. 2021.

FINGER, M. I. F.; WAQUIL, P. D. Percepção e medidas de gestão de riscos por produtores de arroz irrigado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 5, p. 930-936, 2013.

FIGLIORE, M. de F. Efeito da utilização de *Azolla* na produção de arroz irrigado. 1984.

FIGLIORE, M. de F.; SAITO, S. M. T. ***Azolla* e sua aplicação na agricultura**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), p. 13, 1985.

FIGLIORE, M. F.; GUTBROD, K. G. Use of *Azolla* in Brazil. In: ***Azolla Utilization: Proceedings of the Workshop on Azolla Use, Fuzhou, Fujian, China, 31 March-5 April 1985***. Int. Rice Res. Inst., p.123, 1987.

FONSECA, A. E.; ARF, O.; ORIOLI JÚNIOR, V.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F. Preparo do solo e doses de nitrogênio em cobertura em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 246-253, 2012.

GALLI, J. Origem, distribuição e domesticação do arroz. **Lavoura Arrozeira. IRGA, Porto Alegre**, v. 31, n. 309, p. 63-68, 1978.

HALL, David O. et al. As aplicações potenciais da fotossíntese de cianobactérias para tecnologias limpas. **Pesquisa de fotossíntese**, v. 46, n. 1, pág. 159-167, 1995.

HAMDI, Y. A. **Application of nitrogen-fixing systems in soil improvement and management**. Food & Agriculture Org. (FAO), 1982.

IRGA: Instituto Riograndense do Arroz. **Área e produção do arroz**. 2020. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202001/24151001-arroz-rs-area-x-produtividade.pdf>> Acesso em: 29 set. 2021.

IRGA: Instituto Riograndense do Arroz. **Soja em áreas de arroz cresceu 205% em dez anos**. 2021. Disponível em: <[https://irga.rs.gov.br/soja-em-areas-de-arroz-cresceu-205-em-dez-anos#:~:text=A%20cultura%20da%20soja%20em,do%20Sul%20\(945.971%20ha\)](https://irga.rs.gov.br/soja-em-areas-de-arroz-cresceu-205-em-dez-anos#:~:text=A%20cultura%20da%20soja%20em,do%20Sul%20(945.971%20ha)>)> Acesso em 30 set. 2021.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome. FAO, 1993 Disponível em: <http://books.irri.org/9251031495_content.pdf> Acesso em: 10 set. 2021.

KANNAIYAN, S. Use of azolla in India. In: **Workshop on Azolla Use, Fuzhou, Fujian (China), 31 Mar-5 Apr 1985**. 1987.

KHAN, M. M. A primer on Azolla production and utilization in Agriculture. **IBSUPLB and SEARCA**. The Philippines, 2nd Edition.p.143, 1988.

KHUSH, Gurdev S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant molecular biology**, v. 35, n. 1, p. 25-34, 1997.

LADHA, J. K.; WATANABE, I. Biochemical basis of Azolla-Anabaena azollae symbiosis. In: **Azolla Utilization: Proceedings of the Workshop on Azolla Use, Fuzhou, Fujian, China, 31 March-5 April 1985**. Int. Rice Res. Inst., p. 47, 1987.

LOUDHAPASITIPORN, L.; KANAREUGSA, C. Azolla use in Thailand. In: **Azolla Utilization Proc. on the Workshop on Azolla use**. p.119-122, 1987.

LUMPKIN, T. A.; PLUCKNETT, D. L. **Azolla as a green manure: Use and Management in crop production**. Westview Press, Inc., 1982.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 270, 2004.

MALAVOLTA, Eurípedes et al. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALDENER, I.; MURO-PASTOR, A. M. Cyanobacterial heterocysts. **eLS**, 2010.

MARTINI, Luiz Fernando Dias et al. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1715-1721, 2012.

MONTAÑO, MARIANO. Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano. Revista Tecnológica ESPOL, p. 5, 2005. Disponível em: <<http://200.10.150.204/index.php/tecnologica/article/view/240>> Acesso em: 24 set. 2021.

OKA, H.-I. **Origin of cultivated rice**. Elsevier, 1988.

PAULA, Sergio Roberto Lima de et al. Orizicultura: principais características atuais. 2008. Disponível em: <www.bndes.gov.br> Acesso em: 25 set. de 2021.

PATRÍCIO, Ricardo Sartor. **Análise do custo de produção de arroz irrigado em uma propriedade com gestão familiar em Turvo, SC**. Orientadora: Melissa Watanabe. 2018. 61f. TCC (Graduação) – Curso de Administração de Empresas, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/6651/1/RICARDO%20SARTOR%20PATRICIO.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PROCHNOW, R. **Alternativas tecnológicas para produção integrada de arroz orgânico**. 2002. 193f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

RASCIO, N.; La Rocca, N. Biological Nitrogen Fixation. In: **Encyclopedia of Ecology**; Fath, B., E. D.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, p. 264-279, 2013.

ROGER, P. A.; ZIMMERMAN, W. J.; LUMPKIN, T. A. Microbiological Management of Wetland Rice Fields. In: METTING JR., F. B. (Ed.). **Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management**. New York: Marcel Dekker, p.417-428, 1993.

RUSCHEL, Alaídes Puppim. A azolla e a cultura arrozeira. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1990.

ROY, D. C.; PAKHIRA, M. C.; BERA, S. A review on biology, cultivation and utilization of Azolla. **Adv Life Sci**, v. 5, n. 1, p. 11-15, 2016.

SAUNDERS, R. M. K.; FOWLER, K. The supraspecific taxonomy and evolution of the fern genus Azolla (Azollaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 184, n. 3, p. 175-193, 1993.

SHI, D. J.; HALL, D. O. The Azolla-Anabaena association: Historical perspective, symbiosis and energy metabolism. **The Botanical Review**, v. 54, n. 4, p. 353-386, 1988.

SINGH, S. S.; UPADHYAY, R. S.; MISHRA, A. K. Physiological interactions in Azolla-Anabaena system adapting to the salt stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 3, n. 3, p. 145-155, 2008.

SINGH, R. P.; SINGH, P. K. Effect of nitrogen fertilizers on nitrogen fixation and heterocyst frequency of cyanobacterium Anabaena azollae in 7 species of Azolla. **Biochemie und Physiologie der Pflanzen**, v. 185, n. 5-6, p. 429-433, 1989.

SINGH, A. L.; SINGH, P. K. Phosphorus fertilization and the growth and N₂ fixation of Azolla and blue-green algae in rice field. **Indian J Plant Physiol**, v. 33, p. 21-26, 1990.

SMITH, C. Wayne; DILDAY, Robert H. (Ed.). **Rice: origin, history, technology, and production**. John Wiley & Sons, 2002.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. D. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, p. 965-974, 2010. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/brag/a/FpVGnHMNXPt4LykQSfnzTC/?format=pdf&lang=pt>>

Acesso em: 20 jan. 2022.

SOSBAI, Arroz Irrigado. Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. **XXIX REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 2012.

SUBEDI, P.; SHRESTHA, J. Improving soil fertility through Azolla application in low land rice: A review. **Azarian J Agriculture**, v.2, p. 35-39, 2015.

TALLEY, Steven N.; TALLEY, Barbara Jo; RAINS, D. William. Nitrogen fixation by Azolla in rice fields. In: **Genetic engineering for nitrogen fixation**. Springer, Boston, MA, p. 259-281, 1977.

TRAVERSA-TEJERO, I. P.; BORTOLOTTI-CANTARELLI, R. Produção orizícola no município de São Gabriel, RS (Brasil). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, v. 8, n. 2, p. 80–91, 2020. Disponível em: <http://scielo.org.bo/pdf/jsab/v8n2/v8n2_a03.pdf> Acesso em: 05 out. 2021.

VAN HOVE, C.; LEJEUNE, A. The Azolla: anabaena symbiosis. In: **Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy**. Royal Irish Academy, p.23-26, 2002.

WATANABE, Itaru et al. **The utilization of the Azolla-Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice**. 1977.

WANTABE, I.; BAI, K. Z.; BERJA, N. S. **The Azolla-Anabaena complex and its use in rice culture**. IRRI Research Paper Series, n 69, 1981.

WATANABE, I. Azolla-Anabaena symbiosis its physiology and use in tropical agriculture. In: **Microbiology of tropical soils and plant productivity**. Springer, Dordrecht, p.169-185, 1982.

YADAV R. K.; ABRAHA, G.; SINGH, Y. V.; SINGH, P. K. Advancement in the utilization of Azolla-Anabaena system in relation to sustainable agricultural practices. In *Proceedings of Indian National Science Academy*, v.80, p.301-316, 2014. Disponível em:

<<https://pdfs.semanticscholar.org/9bd6/22d21b3d9e87d82ba240db97d32ade533a0d.pdf>>

Acesso em: 17 jan. 2022.

ZHANG, Jianhua. China's success in increasing per capita food production. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 11, p. 3707-3711, 2011.