



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
Curso de Mestrado em Gestão de Solos e Água

**Avaliação da produtividade e estratégias de manejo na
produção de arroz (*Oryza sativa* L.) usando o modelo
APSIM: Estudo de caso no regadio de Chokwé**



Manuel Tomé Langa

Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
Mestrado em Gestão de Solos e Água
Ramo: Gestão de Água

**Avaliação da produtividade e estratégias de manejo na produção de arroz (*Oryza sativa L.*)
usando o modelo APSIM: Estudo de caso no regadio de Chokwé**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão de Solos e Água, da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Gestão de Água.

Autor:

Manuel Tomé Langa

Supervisores:

Doutor Sebastião Inácio Famba

Eng. Carlos Zandamela

Maputo, Abril 2015

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra aos meus filhos Jenny, Tó e Allen
e a minha esposa Amelia Nguenha.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Manuel Tomé Langa, declaro por minha honra que esta dissertação nunca foi apresentada na sua essência, para a obtenção de qualquer grau acadêmico e que ela constitui resultado de investigação própria, tendo sido indicada no texto a bibliografia utilizada.

Maputo, Abril de 2015

(Manuel Tomé Langa)

RESUMO

O regadio de Chókwè é um dos maiores do país com cerca de 35 000 ha e o arroz é a principal cultura durante a época quente. As condições agroecológicas prevalecentes na região são ótimas para a produção do arroz, mas os rendimentos verificados ainda continuam muito abaixo do seu potencial. O presente estudo tenta explorar o potencial dos modelos de simulação de culturas como ferramentas úteis para avaliar o desempenho dos sistemas agrícolas em diferentes cenários, quando cuidadosamente calibrados e validados. O modelo APSIM simula o crescimento de cultura e os efeitos de variáveis ambientais e de manejo sobre a produção. O objectivo deste trabalho foi de calibrar e avaliar o modelo APSIM e aplica-lo na avaliação do potencial de produção e na determinação de melhores estratégias de manejo para a melhoria da produtividade do arroz em Chókwè. Os dados de cultura do arroz foram colhidos por monitoramento de ensaios de variedades, de avaliação de métodos de sementeira directa e transplante realizados em parceria com o projecto JICA. Igualmente o monitoramento foi realizado em campos de agricultores no Chókwè na época 2013/2014. Informação adicional foi obtida por compilação de dados sobre vários ensaios conduzidos nos anos 2007 a 2012 e cedidos por JICA, IIAM, ISPG e MIA. Os resultados mostram que o modelo APSIM foi satisfatoriamente calibrado e avaliado para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 com índices de concordância entre 0.89 a 0,98. O modelo APSIM calibrado foi usado para avaliar o potencial de produção de arroz no Chókwè e estudar as seguintes estratégias de manejo: nível de água na bacia, níveis de adubação de cobertura, dias de transplante e datas de sementeira; o nível de água na bacia entre 50 e 100 mm foi identificado como o mais recomendado para a produção do arroz; a adubação de cobertura teve influência positiva sobre o rendimento e; o transplante de plântulas de 20 a 30 dias resultou em melhores rendimentos. O presente estudo mostrou ainda que o melhor período de sementeira vai de Setembro a Novembro para as variedades Limpopo e IRGA409 e de Outubro a Novembro para a variedade ITA312. A variedade Limpopo mostrou maior estabilidade de produção com um rendimento médio de 5 517 kg/ha.

Palavras-chave: arroz, APSIM, manejo, Chókwè, ITA312, Limpopo, IRGA409

AGRADECIMENTOS

Ao meu supervisor Prof. Doutor Sebastião Famba, pela orientação, apoio técnico-científico e pela confiança depositada no meu trabalho

Ao Projecto EAU4Food, pelo financiamento e apoio material e logístico durante o trabalho do campo

Ao Eng Zandamela, pela disponibilidade apoio técnico-científico prestado durante a realização do trabalho

Ao IIAM (Instituto de Investigação Agrária de Moçambique) nas pessoas de Eng. Magia, Eng. Massingue e os técnicos Calvino e Vasco, pela disponibilização de informação sobre ensaios anteriores, apoio prestado no campo e cedência dos dados climáticos.

A JICA (Agência Japonesa de Cooperação Internacional), na pessoa de Mr. Masubuchi, por permitir a realização do presente trabalho nos seus campos, pela cedência de informação sobre ensaios anteriores e por facilitar o transporte para o campo.

A MIA (Mozfer Industrias Alimentares), nas pessoas de eng^a Estrela e eng. Alcides, e ao ISPG, na pessoa do eng. Francisco Amela pela disponibilização de informação sobre ensaios anteriores.

Às associações de regantes de D5, D11 e D12 que concederam os campos para recolha de dados

Ao Grupo de Aja's de Chókwè 2014 e ao dr Higino, pelo apoio que me concederam durante a recolha de dados.

Aos colegas da turma de mestrado em solos e água 2012, pela troca de experiências e conhecimentos durante a formação.

Aos professores do curso de mestrado em solos e água, ramo de gestão da água, em especial o Prof. Doutor Rui Brito, o eng. Paiva Munguambe e o eng. Mário Chilundo, pela valiosa contribuição na minha formação profissional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram com sugestões, críticas e incentivos.

O meu “muito obrigado”

ÍNDICE

Dedicatória.....	ii
Declaração de honra	iii
RESUMO.....	iv
Agradecimentos	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE ANEXOS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Problema e Justificação	2
1.3 Objectivos	3
1.3.1 Objectivo Geral	3
1.3.2 Objectivos Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Taxonomia e Botânica do Arroz.....	4
2.2 Clima e solos para o arroz	4
2.3 Descrição das Principais Variedades de arroz Produzidas no Chókwè	5
2.4 Descrição do modelo APSIM.....	7
2.4.1 Estrutura do modelo	7
2.4.2 A Simulação do desenvolvimento do arroz no modelo APSIM.....	9
2.4.3 Simulação da partição dos carboidratos.....	11
2.4.4 Simulação do índice de área foliar.....	14
2.4.5 Dinâmica da água e o balanço hídrico utilizado no modelo APSIM.....	16
2.4.6 Dinâmica do nitrogénio e matéria orgânica no modelo APSIM.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Descrição da Área de Estudo	22

3.1.1	Localização	22
3.1.2	Clima	23
3.1.3	Solos	24
3.1.4	Sistema de Produção	24
3.2	Monitoramento da Produção do Arroz no Chókwè.....	25
3.2.1.	Estudos de Caso – descrição dos campos de monitoria e da amostragem	25
3.2.2	Ensaio de variedades	27
3.2.3	Campos de demonstração dos resultados.....	28
3.2.4	Campos de verificação	29
3.2.5	Campos de agricultores fora do projecto	29
3.3	Colecta de amostras de solo	29
3.4	Colecta de Dados Climáticos.....	30
3.5	Calibração e Avaliação do Modelo APSIM	31
3.5.1	Calibração do Modelo APSIM	31
3.5.2	Avaliação de Desempenho do Modelo	32
3.6	Avaliação de Tecnologias de Produção no Chókwè usando o Modelo APSIM	33
3.7	Avaliação da produtividade do arroz para as condições Chókwè	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Informação sobre as principais variedades de arroz produzidas no regadio de Chókwè,	35
4.2	Calibração e avaliação do modelo APSIM para as condições específicas de Chókwè	38
4.2.1	Calibração do modelo APSIM.....	38
4.2.1	Avaliação do modelo APSIM	41
4.3	Estratégias de manejo na produção para Chókwè,	44
4.3.1	Efeito do nível de água na bacia na produtividade do arroz	44
4.3.2	Efeito da adubação na produtividade do arroz	46
4.3.3	Efeito dos dias de transplante na produtividade do arroz.	49
4.3.4	Estudo das datas de sementeira mais recomendadas para Chókwè.....	53
4.4	Avaliação da produtividade do arroz para as condições de Chókwè.....	58
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	61
5.1	Conclusões	61
5.2	Recomendações	62

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
7. ANEXOS	70

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Medição da área para estimativa do rendimento.....	70
Anexo 2: Digital Grain Moisture meter	70
Anexo 3: Fórmula de Angstron.....	71
Anexo 4: dados de cultura usados para a validação do modelo.....	72
Anexo 5: Parâmetros de solo calibrados	76
Anexo 6: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade ITA312, transplantado.....	77
Anexo 7: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade ITA312, sementeira directa.	78
Anexo 8: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade Limpopo, transplantado.	79
Anexo 9: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade Limpopo, sementeira directa.....	80
Anexo 10: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade IRGA409, transplantado.	81
Anexo 11: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade IRGA409, sementeira directa.....	82
Anexo 12: Curvas de probabilidade cumulativa das simulações do rendimento do arroz para diferentes níveis de adubação.	83
Anexo 13: Curvas de probabilidade cumulativa das simulações do rendimento do arroz para diferentes idades de transplante.....	86
Anexo 14: Rendimento médio das variedades ITA312, para diferentes datas de sementeira.	89
Anexo 15: Rendimento médio das variedades Limpopo, para diferentes datas de sementeira.	93
Anexo 16: Rendimento médio das variedades IRGA409, para diferentes datas de sementeira.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das principais variedades de arroz produzidas em Chókwè	6
Tabela 2. Intervalos de desempenho do índice de concordância	32
Tabela 3. Dados do perfil do solo em Chókwè	39
Tabela 4. Parâmetros do solo calibrados	40
Tabela 5. Parâmetros auxiliares usados para a calibração do APSIM	40
Tabela 6. Valores de RMSE e d resultantes da calibração das variedades ITA312, Limpopo e IRGA409....	41
Tabela 7. Valores de RMSE e d para validação das variedades ITA312, Limpopo e IRGA409.....	43
Tabela 8. Parâmetros de solo calibrados	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da estrutura do programa APSIM, com os módulos ambientais, biológicos de gestão e económicos. Fonte: McCown et al., 1995; Keating et al., 2003.....	8
Figura 2. Repartição dos carboidratos para as raízes, folhas, colmos e grãos, em função do estágio de desenvolvimento. Fonte: Bouman and Laar, (2006).....	11
Figura 3. Representação esquemática dos estágios de desenvolvimento fenológico da cultura de arroz (DVS) nas diferentes fases: Vegetativa, emergência à iniciação da panícula; Floração, iniciação da panícula à floração e; Maturação, floração à maturação fisiológica. Fonte: (Lorençoni, 2009).....	12
Figura 4: Taxa de desenvolvimento fenológico em função da temperatura média diária. A linha tracejada mostra a resposta horária e a linha cheia mostra a curva sinodal (impõe uma amplitude de ± 5 °C. Fonte: Bouman and Laar, (2006).....	13
Figura 5. Desenvolvimento da cultura afectado pelo choque de transplante. Fonte: Bouman and Laar, (2006).....	14
Figura 6. Principais processos simulados num sistema de produção de arroz inundado (fonte: Gaydon, et al., 2012).	20
Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.	22
Figura 8. Gráficos de precipitação e evapotranspiração de referência (ET _o) do Chókwè.....	23
Figura 9. Esquema representativo das áreas de amostragem. Nas Áreas circulares (5 m ²) fez-se a recolha do rendimento do grão e da biomassa aérea e nas áreas quadrangulares fez-se a recolha dos componentes do rendimento (± 20 plantas).	27
Figura 10. Rendimento de arroz da variedade ITA312, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.	36
Figura 11. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.	37
Figura 12. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.	38
Figura 13. Comparação do rendimento observado e simulado da variedade ITA312 pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão.	42
Figura 14. Comparação do rendimento observado e estimado da variedade Limpopo pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão.	42
Figura 15. Comparação do rendimento observado e rendimento estimado da variedade IRGA409 pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão.	43
Figura 16. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, transplantado para os níveis de água na bacia de 0-50, 50-100, 100-150 e 150-200 mm ao longo de 34 anos.....	45

Figura 17. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, sementeira directa, para os níveis de água na bacia de 0-50, 50-100, 100-150 e 150-200 mm ao longo de 34 anos.	46
Figura 18. Rendimento médio de arroz da variedade ITA312, transplantado e em sementeira directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.	47
Figura 19. Rendimento médio de arroz da variedade limpopo, transplantado e em sementeira directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam o desvio padrão.	48
Figura 20. Rendimento médio de arroz da variedade IRGA409, transplantado e em sementeira directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam o desvio padrão.	48
Figura 21. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.	50
Figura 22. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.	51
Figura 23. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.	52
Figura 24. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	53
Figura 25. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	54
Figura 26. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	55
Figura 27. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	55
Figura 28. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	56
Figura 29. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	57
Figura 30. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, transplantado, nas melhores condições de manejo, ao longo de 34 anos.	59
Figura 31. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, sementeira directa, nas melhores condições de manejo, ao longo de 34 anos.	60
Figura 32. Medição da área para estimativa de rendimento.	70
Figura 33. Digital grain moisture meter.	70

Figura 34. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade ITA312, transplantado. As barras representam \pm o desvio padrão.	77
Figura 35. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade ITA312, sementeira directa. As barras representam \pm o desvio padrão.	78
Figura 36. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade limpopo, transplantado. As barras representam \pm o desvio padrão.	79
Figura 37. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade limpopo, sementeira directa. As barras representam \pm o desvio padrão.	80
Figura 38. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade IRGA409, transplantado. As barras representam \pm o desvio padrão.	81
Figura 39. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade IRGA409, sementeira directa. As barras representam \pm o desvio padrão.	82
Figura 40. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantado para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	83
Figura 41. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	83
Figura 42. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	84
Figura 43. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	84
Figura 44. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, transplantado para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	85
Figura 45. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.	85
Figura 46. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	86
Figura 47. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	87
Figura 48. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	88
Figura 49. Rendimento de arroz da variedade ITA312, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.	89

Figura 50. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.....	90
Figura 51. Rendimento de arroz da variedade ITA312, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.	91
Figura 52. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	92
Figura 53. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.	93
Figura 54. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.....	94
Figura 55. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.....	95
Figura 56. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	96
Figura 57. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.	97
Figura 58. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.....	98
Figura 59. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.....	99
Figura 60. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.	100

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Descrição
APSIM	Agricultural Production Systems sIMulator
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de troca catiónica
D	Distribuidor
DVS	Estágio de desenvolvimento fenológico da cultura
DDS	Dias depois da sementeira
DDT	Dias depois de transplante
dul	Capacidade de campo
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FBiom	Fracção de matéria orgânica decomposta
FI _{inert}	Fracção de matéria orgânica inerte
GoM	Governo de Moçambique
IAF	Índice de área foliar
IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique.
ISPG	Instituto Superior Politécnico de Gaza
JICA	Agência Japonesa de cooperação internacional
KS	Água acima da capacidade de campo que drena por dia
KL	Capacidade extrativa da cultura
ll15	Ponto de murcha permanente
MO	Matéria orgânica
MADER	Ministério de Agricultura de Desenvolvimento Rural
MINAG	Ministério de Agricultura
MIA	Mozfer Industrias Alimentares
N	Nitrogénio
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PST	Percentagem de Sódio Trocável

RMSE	Erro padrão quadrático médio
sat	Saturação
SDAE	Serviços Distritais das Actividades Económicas
SWCOM	Coefficiente de drenagem
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O arroz é o alimento básico da dieta da maior parte da população mundial, e o mais importante na maioria dos países em desenvolvimento, sendo que a sua cadeia produtiva é capaz de influenciar directamente na renda, saúde, meio ambiente e no bem-estar social das populações. O arroz é o terceiro cereal mais produzido no mundo, atrás apenas do trigo e do milho (USDA, 2005), e constitui o alimento básico de aproximadamente 2.4 biliões de pessoas no mundo (Luzzardi *et al*, 2005). A área plantada de arroz no mundo é de mais de 164 mil milhões de hectares, com uma produção de 745.7 milhões de toneladas (FAO, 2013)

Em Moçambique, acredita-se que o arroz é cultivado há mais de 500 anos (Zandamela, 1994). É a terceira cultura mais importante a seguir a mandioca e milho (Agrifood Consulting International, 2005). O arroz é essencialmente cultivado por pequenos agricultores com machambas de dimensões inferiores a 0.5 ha em média. Existem pelo menos 500.000 famílias de pequenos agricultores (cerca de 2,5 milhões de pessoas) directamente envolvidas na produção de arroz. Em Moçambique o arroz é principalmente cultivado para consumo caseiro, embora algum excedente ocasional seja vendido nos mercados locais. A área onde se cultiva arroz em Moçambique é estimada em cerca de 300.000 hectares com um rendimento médio de 1 170 kg/ha (FAO, 2013). Esta situação mostra a importância da cultura de arroz na segurança alimentar e nutricional e como fonte de emprego em Moçambique.

O distrito de Chókwè é essencialmente agrícola com a maior parte das famílias envolvidas nesta actividade, sendo dela que depende o seu sustento. O distrito possui um dos maiores regadios do país com cerca de 35 000 ha (Touber e Noort, 1985), dos quais cerca de 10 000 ha distribuídos a pequenos produtores (FAEF, 2001). Diversos autores (MINAG, 2010; Cunguara e Hanlon, 2010; Kajisa e Payongayong, 2011; GoM, 2011) mencionam que existe uma baixa produtividade do sector agrário que impede a cobertura dos défices verificados na produção de alguns produtos agrários, como é caso do arroz, e isto é derivado da utilização de técnicas de cultivo tradicionais e a baixa utilização de insumos. Contudo há um grande potencial para o incremento da produção e produtividade nas zonas irrigadas do distrito de Chókwè, através da intensificação da produção.

Na perspectiva de contribuir para a identificação de melhores estratégias para intensificação da produção do arroz no Chókwe, o presente estudo combina o monitoramento dos campos e ensaios de produção do arroz e o uso do modelo APSIM. Modelos de simulação combinados com ensaios em campo podem ser uma ferramenta bastante útil para perceber o sistema de produção de arroz e determinar novos pacotes tecnológicos de produção. O presente estudo pretende então calibrar e avaliar a aplicabilidade do modelo APSIM para as condições específicas de Chókwe e estudar algumas estratégias para a intensificação da produção do arroz no Chókwe.

1.2 Problema e Justificação

A produtividade do arroz em Moçambique estagnou em cerca de 1 ton/ha nas últimas três décadas. O rendimento médio de arroz no regadio de Chókwe é de 2.1 ton/ha, contra uma produtividade potencialmente atingível de 6 ton/ha (Kajisa e Payongayong, 2011). Neste contexto existe um grande interesse na melhoria do sistema de produção do arroz. A optimização dos recursos naturais (radiação solar, temperatura e água), aliado as práticas de manejo adequadas aos diferentes ambientes inseridos no sistema de produção do arroz pode contribuir para melhorar a sua produtividade. Uma alternativa viável para diminuir o tempo e o recurso gasto nesse processo é a utilização de modelos de simulação de desenvolvimento e produção de culturas, que segundo Andrade *et al* (2009) apresentam as vantagens de economizar tempo, trabalho e quantidade de recursos para o planeamento e tomada de decisões de manejo no sector agrícola. De todo o modo, a complementaridade dos ensaios no campo e o uso de modelos é relevante para ajudar neste processo de procura de soluções mais apropriadas.

O desempenho do modelo APSIM, para simular o crescimento, desenvolvimento e produção de várias variedades do arroz sob diferentes níveis de nitrogénio e manejo da cultura a longo prazo, foi testado em diferentes ambientes: modelação da água e nitrogénio nas terras baixas em Filipinas (Zhang *et al.*, 2004), diferentes níveis de fertilizante e datas de transplante em Korea so Sul (Zhang *et al.*, 2007), transição dos ambientes alagados para os não alagados na Austrália (Suriadi, 2010 e Gaydon, 2012), nas terras altas do Brasil (Lourençoni, 2009), datas de sementeira e programação da rega na Índia (Sena *et al.*, 2012). Os resultados mostram que o APSIM é capaz de simular satisfatoriamente o sistema de produção de arroz. Contudo, o APSIM ainda não foi testado para as

condições de Moçambique, especificamente para o sistema de produção de arroz do regadio de Chókwè.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo Geral

- Calibrar e aplicar o modelo APSIM na estimativa da produtividade do arroz irrigado (*Oryza sativa L.*), no regadio de Chókwè

1.3.2 Objectivos Específicos

- Compilar informação sobre ensaios de arroz para avaliar o rendimento no regadio de Chókwè,
- Calibrar o modelo APSIM para três variedades de arroz produzidas nas condições específicas de Chókwè,
- Usar o modelo APSIM para o estudo de estratégias de manejo da cultura do arroz no Chókwè,
- Aplicar o modelo APSIM para estimar o rendimento do arroz.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Taxonomia e Botânica do Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta pertencente a Ordem *Poales* e família *Poaceae*, caracteriza-se por ser uma gramínea anual com colmos redondos, ocos e uma panícula terminal (Yoshida, 1981). Maior parte das variedades possui raízes que atingem 1m de profundidade e estão presentes grandes espaços de ar que estão conectados com os colmos e folhas providenciando a passagem eficiente do ar com ajuda de aerênquima. O número total de nós do colmo é igual ao número de folhas mais dois, os entre-nós superiores são mais longos e reduzem-se a medida que se diminui a distância a base da planta (Yoshida, 1981, Boulala, *et al*, 2012). As folhas consistem de bainha e limbo. A bainha envolve o colmo acima do nó. As variedades diferem quanto ao comprimento da folha, largura da folha, área foliar, forma da folha, e pubescência das folhas (Yoshida, 1981). A panícula nasce do último entre nó do colmo. A flor propriamente dita, consiste de estames e pistilo. Os seis estames são compostos por anteras no ápice e de uns filamentos ténues. O pistilo contém um óvulo e o estilete dá origem a um estigma bifurcado e plumoso. O fruto é uma cariopse onde cada fruto individual ajusta-se á parede de ovário maduro em forma de um grão. O grão é o ovário amadurecido com lema, pálea e arista (quando presente) firmemente aderente a ele (Yoshida, 1981).

2.2 Clima e solos para o arroz

Segundo Pedroso, (1989), a cultura de arroz pode ser feita com êxito desde que não lhe faltem três importantes factores: luz, calor e água. É por esse motivo que se vê o arroz cultivar-se em quase todos os tipos de solo, desde os arenosos aos argilosos, embora sejam mais favoráveis os argilo-sílicos-calcários, pela facilidade de manejo de irrigação por inundação.

O arroz pode ser cultivado com sucesso nas regiões quentes e com solos férteis. Os melhores solos para a produção de arroz são os ligeiramente ácidos e neutros, com pH que varia de 4.5 a 7.5 (Martin e Leonard, 1967). E para expressão de seu potencial produtivo, a cultura requer temperatura ao redor

de 24 a 30°C e radiação solar elevada (Yoshida, 1981). A temperatura média do distrito de Chokwe durante a época quente, que coincide com a época de produção do arroz, é de 26.8°C e a radiação média é de 21.6 Mj.m⁻².dia⁻¹, o que o torna com condições ótimas para a produção do arroz.

2.3 Descrição das Principais Variedades de arroz Produzidas no Chókwè

Existe uma diversidade de variedades cultivadas da cultura do arroz no regadio do Chókwè que são da espécie *Oryza sativa* e subespécie *indica*. Dentre as variedades de arroz cultivadas no Chókwè destacam-se as seguintes: C4-63, IR52, IR64, ITA312, Limpopo, Farox, Macassane, IRGA409, Vembe e Alvorada. Para o presente estudo foram selecionadas três variedades, nomeadamente Limpopo, ITA312 e IRGA409 (tabela 1). A variedade Limpopo é cultivada tradicionalmente no regadio devido ao ótimo sabor que a mesma apresenta e pela dificuldade que o pardal de bico vermelho tem de atacar o grão devido a presença de aristas compridas (Mudema e Manjate, 2014). A variedade ITA312 é preferida pelos camponeses porque, segundo os mesmos, permite que actividades do manejo (ex. transplante) sejam feitas durante um longo período, sem redução significativa no rendimento. A variedade IRGA409 está sendo difundida pela JICA/SDAE junto dos agricultores, porque de acordo com o melhorador (MIA) esta variedade tem bom rendimento potencial, superior ao rendimento das variedades Limpopo e ITA312.

Tabela 1. Descrição das principais variedades de arroz produzidas em Chókwè

Características	Variedades		
	IRGA 409*	Limpopo**	ITA312**
Altura da planta (cm)	72	97	87
Número de panículas por planta	12.3		12.9
Período da Floração (dias depois da sementeira!)	89	98	112
Peso de 1000 grãos (gramas)	24	25	28
Comprimento do grão (cariópse)	7mm	7.2mm	7.08mm
Largura do grão (cariópse)	2.1 mm	2.3mm	2.27mm
Coloração do grão (cariópse)	Branca	Branca	
Forma do grão (cariópse)	Alongada	Fino	Longo
Aroma no grão	Ausente ou muito fraco	Ausente	Ausente
Rendimento no regadio (ton/ha)	6.2	3-7	6
Ciclo (dias)	118	125	142
Resistência a acama	Forte	Muito resistente	Resistente
Tolerância ao stress hídrico	Tolerante		
Presença de aristas	Presentes e muitas	Todos os grãos	Ausentes
Resposta ao Fotoperiodismo		Insensível	Insensível
Adaptação	Sul e Centro	Sul	Sul e Centro
Condições ideais que permitem a avaliação da variedade	Regadio com insumos	Sequeiro, terras baixas e irrigado	Sequeiro, terras baixas e irrigado

*Fonte: Mozseeds /MIA, S.A

**Fonte: MADER, 2001.

A partir destes dados pode-se ver que não há grandes diferenças de rendimento entre as três variedades, no regadio, apesar do grande potencial de produção da variedade IRGA409, prometida pelos melhoradores, andando o potencial à volta de 6 toneladas.

2.4 Descrição do modelo APSIM

2.4.1 Estrutura do modelo

APSIM (the Agricultural Production Systems Simulator) é um modelo que simula os efeitos de variáveis ambientais e de manejo da cultura sobre a produção (lavouras, plantio, cobertura vegetal, adubações, controlo de infestantes), os lucros e as variáveis ambientais, por exemplo, a erosão do solo (McCown *et al.*, 1995).

O modelo APSIM pode ser usado para analisar o risco e explorar opções alternativas de gestão, tais como a escolha de culturas, plantio e taxa de fertilizantes, utilizando dados climáticos e dados locais específicas do solo (Keating *et al.*, 2003). Quando usado de forma interactiva com os agricultores, pode também ter em conta os valores sociais e/ou económicos ou objectivos que influenciam as decisões de um agricultor individual de gestão. Uma característica importante do modelo APSIM é a sua capacidade de integrar sub-modelos de diferentes domínios de investigação ou mesmo diferentes disciplinas. Isso permite que a pesquisa de um domínio ou disciplina beneficie outro domínio e, permite também aos pesquisadores comparar sub-modelos numa plataforma comum.

O modelo APSIM está estruturado basicamente em quatro módulos: da cultura e pastagens, do solo, de gestão e o módulo económico (Figura 1). O módulo de cultura inclui uma grande variedade de culturas, pastagens e árvores, processos do solo, incluindo o equilíbrio de água, N e P, pH do solo, erosão e uma gama completa de controlos de gestão.

O modelo APSIM resultou de uma necessidade de ferramentas que forneçam previsões precisas da produção agrícola em relação ao clima, genótipo, do solo e do factor de gestão, abordando simultaneamente a longo prazo problemas de gestão de recursos.

O modelo APSIM é composto dos seguintes componentes (McCown *et al.*, 1995; Keating *et al.*, 2003):

- Um conjunto de módulos biofísicos que simulam processos biológicos e físicos em sistemas agrícolas.

- Um conjunto de módulos de gestão que permitem que o usuário especifique as regras de gestão previstos que caracterizam o cenário que está sendo simulado e o controle da simulação.
- Vários módulos para facilitar a entrada e saída de dados para a simulação.
- Um motor de simulação que impulsiona o processo de simulação e facilita a comunicação entre os módulos independentes.

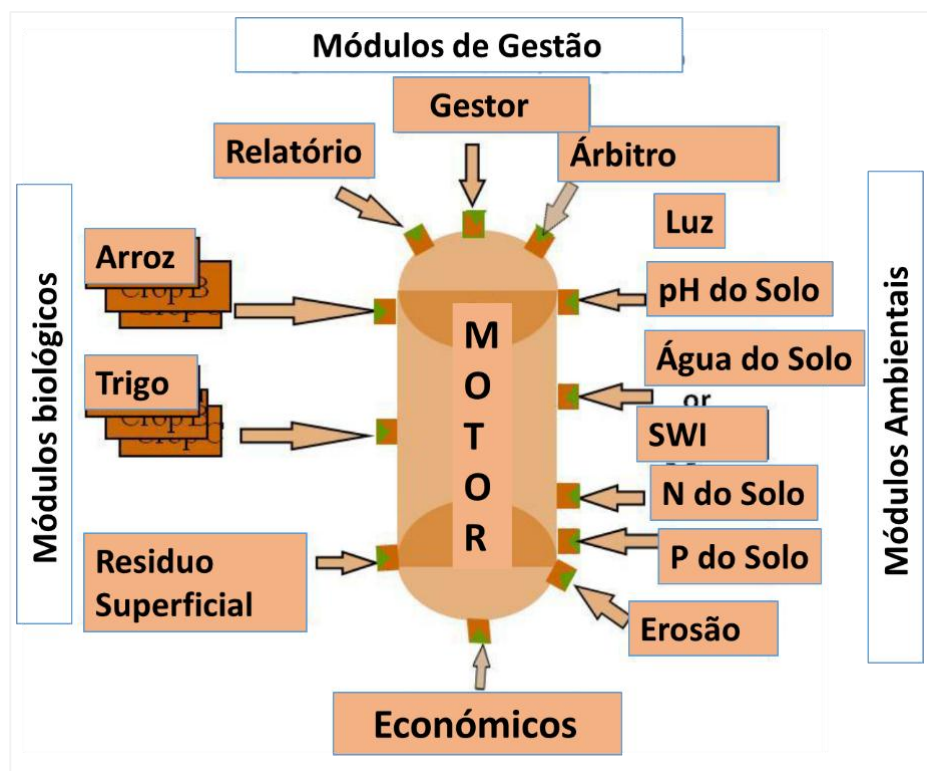


Figura 1. Representação esquemática da estrutura do programa APSIM, com os módulos ambientais, biológicos de gestão e económicos. Fonte: McCown et al., 1995; Keating et al., 2003.

2.4.2 A Simulação do desenvolvimento do arroz no modelo APSIM

O modelo APSIM simula a dinâmica do crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz irrigado para condições ótimas, que levam ao rendimento potencial, para condições limitadas por água e nitrogénio, e para condições de diferentes doses e épocas de aplicação de nitrogénio, assumindo-se que, em todas estas situações a cultura está bem protegida e não sofre reduções de produtividade devido a doenças, pragas e infestantes (Bouman e Laar, 2006).

O crescimento e desenvolvimento da cultura de arroz no modelo APSIM são determinados pelas condições de temperatura, luz e características específicas das variedades. O modelo segue um esquema de cálculos diários para as taxas de produção de matéria seca, e das taxas de desenvolvimento fenológico. Pela integração das taxas de desenvolvimento sobre o tempo, a produção de matéria seca é simulada por toda a estação de crescimento (Bouman *et al.*, 2001).

A taxa de assimilação de CO₂ é calculada em função da radiação diária total, temperatura média diária, índice de área foliar, dia do ano, latitude do local, coeficiente de extinção de luz, conteúdo de nitrogénio foliar, eficiência inicial de uso da luz e taxa máxima da assimilação de CO₂, como apresentado por Bouman *et al.*, 2001:

$$A_L = A_m \left(1 - e^{(-\beta \frac{I_a}{A_m})}\right) \quad (1)$$

Onde A_L é a taxa de assimilação de CO₂, A_m é a taxa máxima de assimilação de CO₂, I_a é a radiação absorvida e β é a eficiência do uso da luz.

O modelo APSIM calcula as taxas diárias através da integração das taxas instantâneas de assimilação de CO₂ dentro das diferentes profundidades da copa. Os cálculos são baseados assumindo-se um curso senoidal da radiação durante o dia e sua extinção exponencial dentro das camadas da copa. A fotossíntese é obtida com base nas características fotossintéticas de folhas unitárias, que por sua vez são dependentes da concentração de nitrogénio, CO₂ nos estomas e temperatura do ar. A fotossíntese líquida é obtida através da diferença entre a fotossíntese bruta e os respectivos gastos com as respirações de manutenção e crescimento. A taxa de respiração total (respiração de crescimento e de

manutenção) é subtraída da taxa de assimilação bruta diária para se obter o crescimento líquido diário (kg CH₂O ha.dia⁻¹). A respiração de manutenção é obtida em função do peso seco dos órgãos a serem mantidos, dos seus respectivos coeficientes de manutenção, da sua idade fisiológica e da temperatura (Penning de Vries e Laar, 1982), segundo a expressão:

$$R_m = \sum_{i=1}^4 mC_i * W_i * 2^{\left(\frac{\bar{T}-25}{10}\right)} \quad (2)$$

Onde R_m é a respiração de manutenção, mC_i é o coeficiente de manutenção, w_i é a biomassa dos órgãos e i são os órgãos da planta (folhas, colmos, raízes e grãos) \bar{T} é a temperatura média.

A respiração de crescimento é calculada com base nos pesos dos diferentes órgãos formados, seus respectivos factores de conversão e tipos de compostos constituintes (Penning de Vries *et al.*, 1991):

$$R_g = \sum_{i=1}^4 gC_i * \delta_i \quad (3)$$

Onde R_g é a respiração de crescimento, gC_i é o coeficiente de crescimento, δ_i é a biomassa dos órgãos e i são os órgãos da planta (folhas, colmos, raízes e grãos)

A taxa de crescimento diário é obtida em função da taxa de assimilação bruta diária de CO₂, dos gastos com a respiração de manutenção, da quantidade de reservas disponíveis nos colmos para o crescimento e do requerimento de assimilados para a produção de matéria seca (Bouman *et al.*, 2001):

$$G_p = \frac{(A_d * \left(\frac{30}{44}\right) - R_m + R_t)}{Q} \quad (4)$$

Onde G_p é taxa diária de crescimento (kg matéria seca $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$), A_d é taxa bruta de assimilação de CO_2 , R_m é a respiração de manutenção, R_t é a quantidade de reservas disponíveis para o crescimento e Q é a quantidade de assimilados necessários para a produção da matéria seca.

2.4.3 Simulação da partição dos carboidratos

A matéria seca é repartida entre os vários órgãos da planta em função do estágio de desenvolvimento e dos seus coeficientes de repartição. A conversão dos carboidratos em matéria seca estrutural é baseada em equações obtidas por Penning de Vries e Laar, (1982). Na fase inicial, os carboidratos são repartidos para a formação das raízes, folhas e colmos, enquanto na fase reprodutiva, todos são encaminhados para a formação do grão (Figura 2).

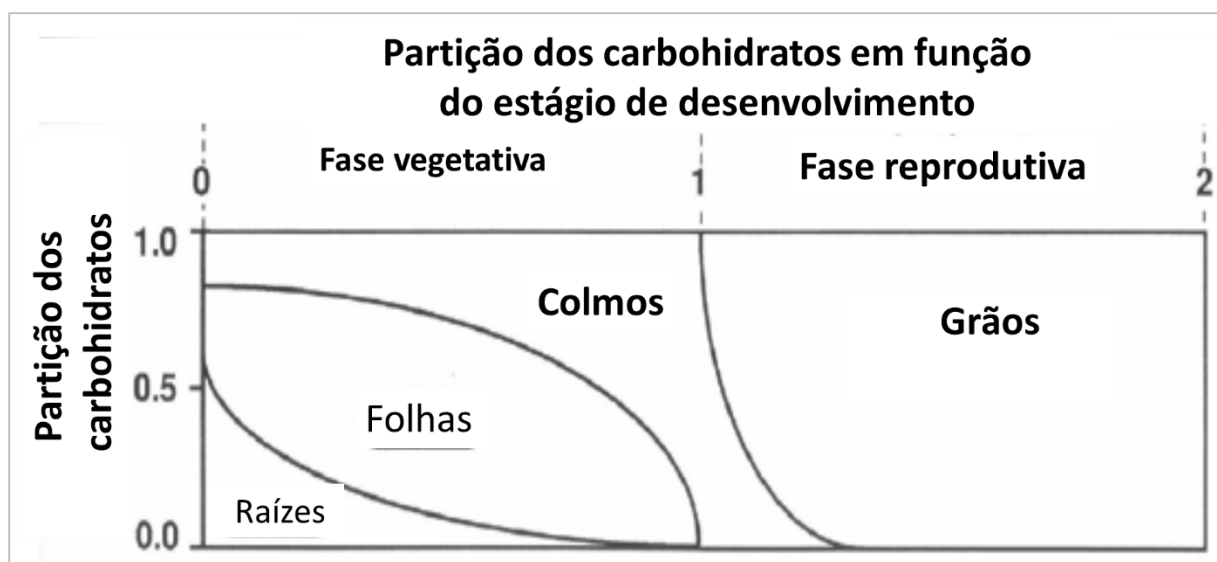


Figura 2. Repartição dos carboidratos para as raízes, folhas, colmos e grãos, em função do estágio de desenvolvimento. Fonte: Bouman and Laar, (2006).

O estágio de desenvolvimento fenológico da cultura (*DVS*) define sua idade fisiológica, sendo caracterizado pela formação, aparecimento de órgãos e mudanças na translocação de assimilados. Os

estágios fenológicos básicos de desenvolvimento da cultura de arroz no modelo são assim definidos (figura 3): (i) emergência ($DVS = 0,00$); (ii) iniciação da panícula ($DVS = 0,65$); (iii) floração ($DVS = 1,00$); e (iv) maturação fisiológica ($DVS = 2,00$).

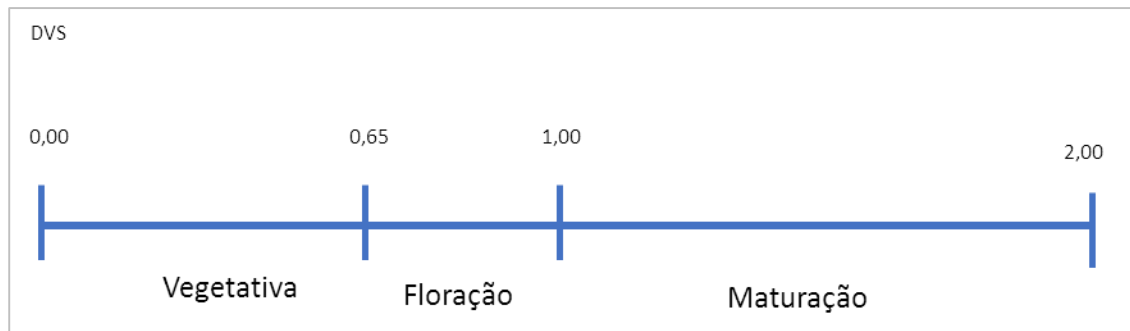


Figura 3. Representação esquemática dos estágios de desenvolvimento fenológico da cultura de arroz (DVS) nas diferentes fases: Vegetativa, emergência à iniciação da panícula; Floração, iniciação da panícula à floração e; Maturação, floração à maturação fisiológica. Fonte: (Lorençoni, 2009)

A temperatura é a principal fonte determinante do desenvolvimento fenológico (Lorençoni, 2009). O desenvolvimento fenológico depende das unidades de calor efectivo diário HU ($^{\circ}C \cdot dia \cdot dia^{-1}$) e da taxa de desenvolvimento do estágio fenológico (DVR) (Bouman et al., 2001). No modelo APSIM a taxa de desenvolvimento é calculada a partir da temperatura de hora em hora (que por sua vez é calculada a partir da temperatura máxima e mínima diária (Bouman et al, 2001.), usando três temperaturas orientadoras: Temperatura base ($8^{\circ}C$), temperatura óptima ($30^{\circ}C$) e temperatura máxima ($42^{\circ}C$) (figura 4). O choque de transplante reduz essa taxa e assim como faz a limitação de água. Os processos envolvidos no choque de transplante do arroz ainda não são devidamente compreendidos (Salam et al, 2001). Supõe-se que o choque surge devido a lesão das raízes (Yamamoto et al., 1978) e perda de folhas (Yamamoto e Hisano, 1990) no momento em que se arrancam as plântulas do viveiro. O grau de choque depende de um número de factores, incluindo a idade das plântulas, o método usado para a remoção das plantulas, o manuseamento durante o transplante, da temperatura do ar e a fertilidade do solo e, possivelmente, das características da variedade (Salam et al, 2001). De acordo com o mesmo autor, há evidências que indicam que a produção de grãos, não é directamente afectado pelo choque de transplante. As mudas transplantadas precisam de cerca de 9 dias para se recuperarem do choque de desenraizamento durante o transplante, com o aparecimento de novas

raízes (figura 5). O desenvolvimento da cultura cessa, quando a temperatura média diária cai abaixo de 12°C por três dias consecutivos.

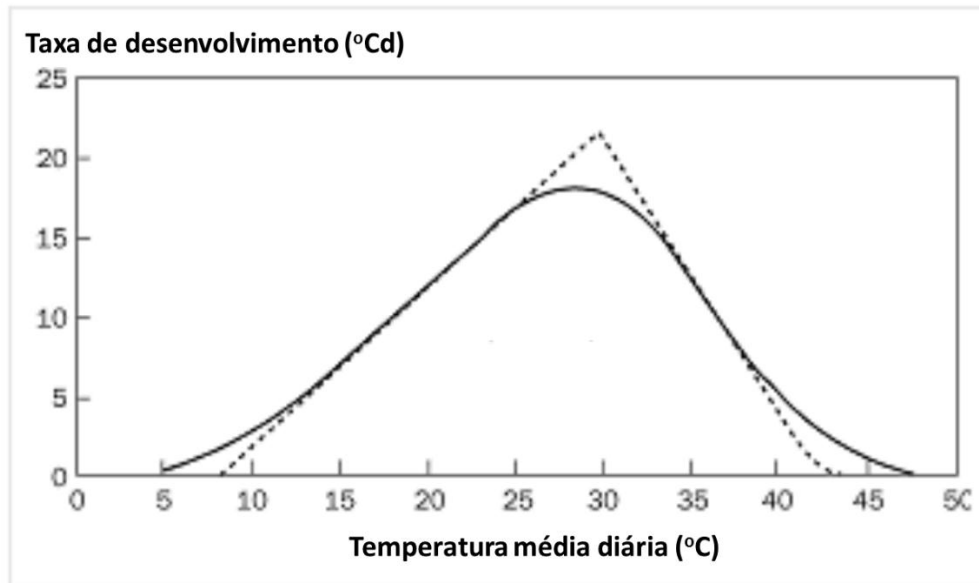


Figura 4: Taxa de desenvolvimento fenológico em função da temperatura média diária. A linha tracejada mostra a resposta horária e a linha cheia mostra a curva sinodal (impõe uma amplitude de ± 5 °C. Fonte: Bouman and Laar, (2006).

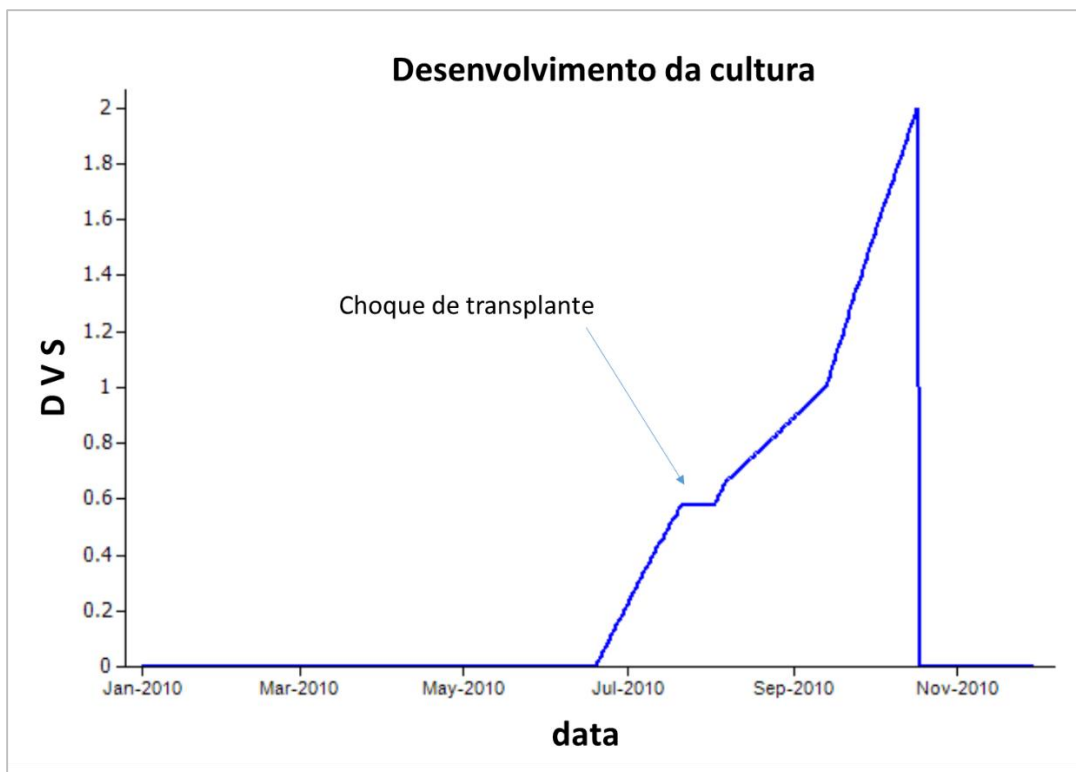


Figura 5. Desenvolvimento da cultura afectado pelo choque de transplante. Fonte: Bouman and Laar, (2006).

2.4.4 Simulação do índice de área foliar

A área foliar apresenta duas fases de crescimento. A fase inicial de crescimento (IAF igual ou inferior a 1) apresenta um crescimento exponencial em função da soma das temperaturas multiplicada por uma taxa de crescimento foliar relativo. A segunda fase ocorre quando o (IAF é superior a 1), então o crescimento passa a ser linear e o aumento da área foliar específica (peso da folha multiplicada pela área foliar) em cada estágio de desenvolvimento (Bouman *et al.*, 2001). A transição da fase exponencial de crescimento para a linear é suavizada pelo uso de valores ponderados, derivados das taxas de crescimento da área foliar usando a equação exponencial e a equação linear (Bouman e Laar, 2006):

$$LAI = \begin{cases} LAI_o * e^{(R_i * TS)} & \dots \dots \dots LAI < 1.0 \\ SLA * W_{ivg} & \dots \dots \dots LAI \geq 1.0 \end{cases} \quad (5)$$

$$R_i = R_{i_{max}} - (1 - f_n)(R_{i_{max}} - R_{i_{min}}) \quad (6)$$

$$SLA = a + b * e^{(c * (DVS - d))} \quad (7)$$

Onde LAI é o índice de área foliar, R_i é a taxa de crescimento relativo, TS é a acumulação da temperatura, LAI_o é o LAI inicial, SLA é a área foliar específica, W_{ivg} é o peso das folhas verdes, $R_{i_{max}}$ é a taxa máxima de crescimento relativo, $R_{i_{min}}$ é a taxa mínima de crescimento relativo e f_n é o stress devido a nitrogénio. a , b , c e d são parâmetros de funcionamento.

Da floração em diante, uma taxa de morte foliar é calculada, em função da biomassa de folhas verdes multiplicada por um factor de stress de morte foliar obtido experimentalmente. Esta taxa da perda da folha é multiplicada por um parâmetro que expressa o efeito das limitações de nitrogénio (Bouman e Van Laar, 2006).

$$LLV = NSLLV * WLVG \quad (8)$$

Onde LLV é a taxa de perda de folhas (kg há⁻¹ d⁻¹), $WLVG$ é o peso de folhas verdes e $NSLLV$ é o factor de stress de nitrogénio.

Durante a fase de enchimento de grãos, a produção de carboidratos pode ser superior ou inferior à capacidade de armazenamento de grãos. A demanda de assimilados dos órgãos de armazenagem é determinada pelo número máximo de grãos e a sua taxa de crescimento (Bouman e Laar, 2006).

$$S_i = \sum_{i=P}^F (G_i * \gamma) \quad (9)$$

Onde S_i é o número de espiguetas formadas por hectare por dia, G_i é crescimento da cultura entre a iniciação da panícula até 50% floração, γ é o factor de formação de espiguetas.

O número de espiguetas em floração é calculado a partir da biomassa total cumulativa nas panículas até o início da primeira floração. A esterilidade das espiguetas é atribuída a temperaturas muito altas ou muito baixas e é ajustada pelo método descrito por Horie (1993,1998):

$$S_c = 1 - \frac{4.6 + 0.054 * SQ_t^{1.56}}{100} \quad (10)$$

$$S_h = \frac{1}{1 + e^{(0.853(T_{m,a} - 36.6))}} \quad (11)$$

Onde S_c é a esterilidade das espiguetas devido a temperaturas baixas, SQ_t é *cooling degree-day* (°Cd), S_h é a fracção das espiguetas férteis devido a temperaturas altas, $T_{m,a}$ é a temperatura máxima média.

Espiguetas férteis têm seus grãos preenchidos até quando seu peso máximo é atingido. No caso de limitações no dreno (grão), o carboidrato é encaminhado para as hastes estruturais (Bouman *et al.*, 2001).

Sob condições de produção limitada por stress hídrico, o crescimento e o desenvolvimento da cultura são afectados (Swain *et al.*, 2007). Nesse modelo são considerados 4 diferentes factores de stress que penalizam a produção: (i) enrolamento das folhas, (ii) redução da taxa de expansão foliar, (iii) aumento da senescência foliar e (iv) esterilidade das espiguetas (Bouman *et al.*, 2001).

2.4.5 Dinâmica da água e o balanço hídrico utilizado no modelo APSIM

O modelo de balanço hídrico utilizado no APSIM é unidimensional, com multicamadas determinadas pelo usuário. As características da água no solo são especificadas em termos de conteúdo de água de saturação (θ_s , $m^3.m^{-3}$), capacidade de campo (θ_c , $m^3.m^{-3}$) e ponto de murcha permanente (θ_p , $m^3.m^{-3}$).

O movimento da água é descrito por algoritmos separados para fluxos saturados e insaturados para diferentes camadas. Os cálculos do balanço hídrico levam em conta: (i) modificação do escoamento superficial e da evaporação potencial do solo em função da cobertura vegetal; (ii) pequenos eventos de chuva são perdidos no primeiro estágio de evaporação e não pelo processo mais lento da segunda fase da evaporação; e (iii) especificação do coeficiente de evaporação da segunda fase é usado como um parâmetro de entrada no modelo, proporcionando uma maior flexibilidade para descrever a secagem do solo a longo prazo em função da textura e dos efeitos ambientais. A simulação do balanço hídrico responde a alterações da quantidade de resíduos na superfície do solo e ao tipo de cobertura vegetal. O escoamento superficial é calculado pelo método da curva número, utilizando a precipitação total de um dia para estimar o escoamento superficial. Essa relação exclui a duração e a intensidade da chuva.

Quando a irrigação é aplicada, o modelo assume não ocorrer escoamento superficial. O usuário deve fornecer um número da curva para condições médias de precipitação. A partir desse valor, as curvas de alto e baixo escoamento são calculadas. O modelo usa as curvas entre esses dois extremos para calcular o escoamento superficial em função da humidade do solo. O cálculo da evaporação actual do solo é baseado em dois estágios, um constante e outro com queda de velocidade. No primeiro estágio, a evaporação da superfície do solo é limitada pelo parâmetro U . No momento que a evaporação atinge o valor do limite máximo (parâmetro U), a evaporação decresce proporcionalmente ao tempo gasto no segundo estágio (Ritchie, 1992).

O perfil do solo é dividido em diferentes camadas, nas quais são determinadas as humidades de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Quando o teor de água de uma camada está acima da capacidade de campo, uma fracção de água migra para a camada inferior mais próxima (efeito cascata). Para conteúdos de água abaixo da capacidade de campo, o movimento torna-se dependente do gradiente do conteúdo de água e da difusividade entre as duas camadas. A difusividade é obtida em função de dois parâmetros definidos pelo usuário (*diffus_const* e *diffus_slope*) no conjunto de parâmetros do modelo. Fluxos insaturados podem mover-se tanto no sentido de camadas superiores quanto para camadas inferiores.

Por meio do balanço hídrico simulado nas diferentes camadas, o modelo determina a tensão da água no solo. Em função dessa tensão, são determinados os factores de stress hídrico que são considerados nos cálculos diários de assimilação de CO₂. A tensão de água no solo é obtida por meio da interpolação logarítmica a partir dos valores fornecidos da saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente das diferentes camadas (Bouman *et al.*, 2001).

2.4.6 Dinâmica do nitrogénio e matéria orgânica no modelo APSIM

A dinâmica do nitrogénio calcula a demanda, absorção, distribuição e translocação do nitrogénio na planta e também calcula os factores de stress do crescimento e desenvolvimento causados pela limitação de nitrogénio (Alvarez *et al.*, 2006).

O modelo APSIM calcula a demanda potencial diária de nitrogénio dos vários órgãos da cultura baseados nos seus pesos, taxas de crescimento e seus conteúdos máximos e mínimos de nitrogénio e posteriormente calcula a quantidade de nitrogénio que pode ser translocada diariamente das folhas, colmos e raízes para os órgãos de armazenagem. A quantidade de nitrogénio translocável é subtraída da demanda potencial diária do nitrogénio absorvido do solo. A quantidade de nitrogénio absorvida é distribuída entre os diferentes órgãos da planta com base nas suas demandas relativas. O fluxo total de nitrogénio (absorção do solo e translocação) é integrado na quantidade total de nitrogénio nos órgãos e planta inteira. São calculados factores de stress de nitrogénio para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Quando a cultura é bem suprimida com nitrogénio, sem limitações de nitrogénio, os valores dos factores de stress causados pela falta de nitrogénio são considerados 1 (sem stress) e a cultura não sofre limitações de crescimento e desenvolvimento devido a falta de nitrogénio (Alvarz *et al.*, 2006 e Lorençoni, 2009). No caso de a cultura não ser considerada bem suprida com nitrogénio, o modelo calcula os valores dos factores de stress de nitrogénio, que serão utilizados nos cálculos da taxa de morte foliar e eficiência fotossintética (Bouman *et al.*, 2001):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{340\text{ ppm}} * \frac{1 - e^{(-0.00305 * CO_2 - 0.222)}}{1 - e^{(-0.00305 * 340 - 0.222)}} \quad (12)$$

Onde ϵ é a eficiência de uso da luz numa folha ($\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} / \text{J m}^{-2} \text{ S}^{-1}$), $\epsilon_{340\text{ppm}}$ é a ϵ na concentração de CO_2 de 340ppm, CO_2 é a concentração de CO_2 no ambiente (ppm).

O modulo “pond” descreve os processos químicos e biológicos que ocorrem dentro duma camada de água superficial (figura 6). Os principais processos simulados são: a) hidrólise da ureia, b) nitrificação, c) volatilização de amônia, d) desenvolvimento e decomposição das algas, e) imobilização do N mineral e f) fluxo de solutos de/para o solo. (Gaydon *et al.*, 2012).

- a) Hidrólise de ureia - A transformação da ureia aplicada em NH_4^+ é descrita como uma função de temperatura da água e o que for maior entre a da taxa de hidrólise determinada pelo solo (que é função de C orgânico na camada superior do solo) ou da taxa da actividade de algas:

$$FUHYDR = \max(\text{pot} - \text{hidrolisis}, UALGCT) * TEMPFU * \text{Pond} - \text{urea} \quad (13)$$

Onde: $FUHYDR$ é a taxa de hidrólise de ureia na água ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ t}^{-1}$), pot-hidrolisis é a taxa de hidrólise determinado pelo solo, $UALGCT$ é o factor de actividade das algas que afecta a hidrólise, $TEMPFU$ é o efeito da temperatura na hidrólise e Pond-ureia é a quantidade de ureia aplicada na lâmina da água (kg N ha^{-1}).

- b) Nitrificação - Nitrificação do NH_4^+ a NO_3 é calculada como uma função da temperatura e pH da água.

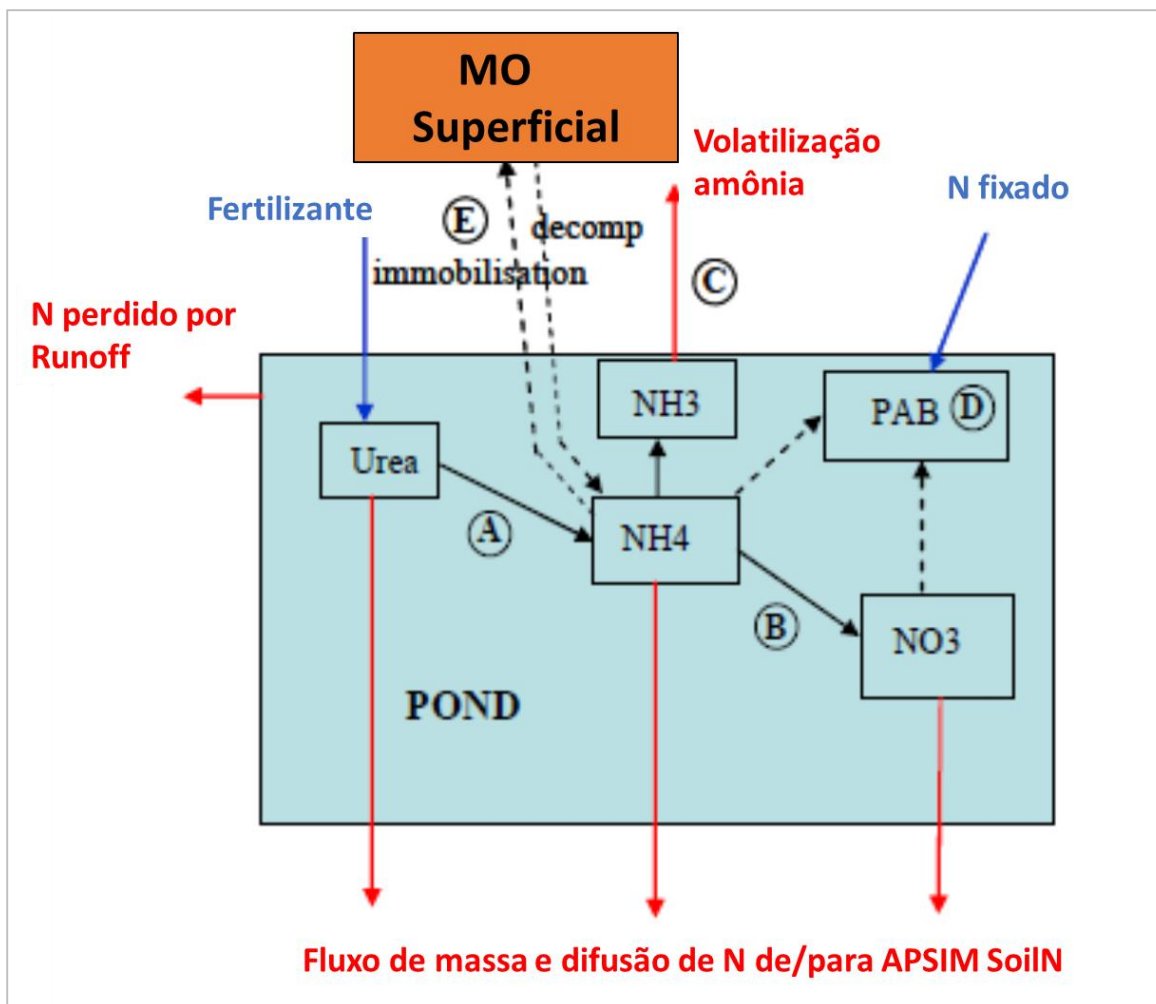


Figura 6. Principais processos simulados num sistema de produção de arroz inundado (fonte: Gaydon, et al., 2012).

- c) Volatilização de amônia - O amoníaco (NH_3) e o amônio (NH_4^+) existem em equilíbrio na água da bacia e as suas concentrações podem ser calculadas a partir da temperatura e do pH da água. Pode se calcular a quantidade de amoníaco que se volatiliza através da expressão:

$$amlos = 0.036 * fnh3p + (NH4_loss_fact * evap) * (0.0082 + 0.000036 * fnh3p^2 * FDEPTH) \quad (14)$$

Onde *amlos* é a perda diária de amônia (kg ha⁻¹), *fnh3p* é a pressão parcial de amônia, *evap* é evaporação da água (mm) e *FDEPTH* é a lâmina da água na bacia (mm).

- d) Desenvolvimento e decomposição das algas - O crescimento da biomassa aquática fotossintética (PAB) é determinado pela taxa da actividade, segundo a expressão:

$$dlt_pab = maxrate_pab * algact \quad (15)$$

Onde dlt_pab é o crescimento diário dos pab ($kg\ ha^{-1}$), $maxrate_pab$ é a taxa máxima de crescimento diário ($kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$) e $algact$ é a actividade diária das algas (que depende da luz (radiação solar, cobertura da copa), temperatura da água e disponibilidade de N e P).

- e) Imobilização do N mineral - Quando a matéria orgânica é decomposta, o módulo APSIM-SurfaceOM cria uma demanda de imobilização que ele satisfaz a partir APSIM-pond. Da mesma forma, quando o N mineral é decomposto, fica disponível no APSIM-pond. Se estiver presente uma lâmina de água, o factor de humidade para a decomposição de resíduos é ajustado a 0,5 para conferir uma decomposição mais lenta em água.
- f) Fluxo de solutos de/para o solo. - Ureia, NH_4^+ e NO_3 do APSIM-pond são transferidas para o solo, numa base diária, através dos processos de fluxo de massa, difusão e no caso de NH_4^+ , adsorção

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da Área de Estudo

3.1.1 Localização

O Regadio do Chókwe localiza-se no distrito do mesmo nome na província de Gaza, na margem direita do Vale do Rio Limpopo, entre as Latitudes $24^{\circ} 05'$ e $24^{\circ} 48'$ Sul e Longitudes $32^{\circ} 31'$ e $33^{\circ} 35'$ Este. Irrigado com as águas do Rio Limpopo, o regadio foi construído na década 1950 e alargado em 1979, cobrindo actualmente uma área total de cerca de 35 000 ha (Touber e Noort, 1985), onde são irrigados por gravidade o arroz, o milho e as hortícolas no geral. A colheita de dados foi feita nos distribuidores D4, D5, D11 e D12 (Figura 7).

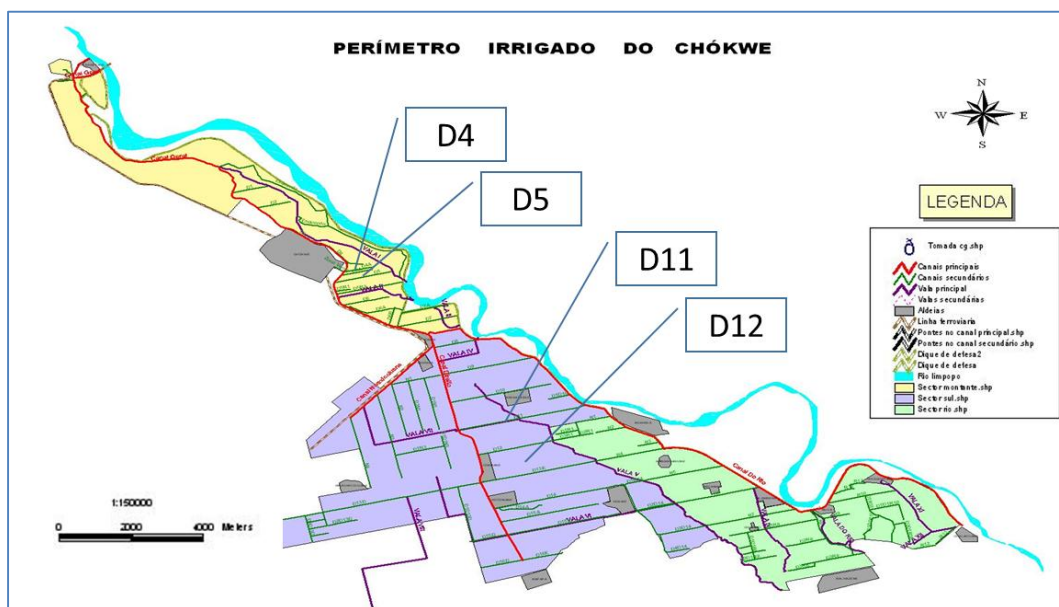


Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.

3.1.2 Clima

O distrito do Chókwè é caracterizado por um clima do tipo semi-árido seco, com grande variabilidade pluviométrica ao longo do ano e entre os anos, o que torna a prática da agricultura de sequeiro de elevado risco (FAEF, 2001). A precipitação média anual é de cerca de 622 mm (Figura 8). Distinguem-se duas estações climáticas ao longo do ano, a estação das chuvas ou húmida, de Outubro a Março, coincidindo com a época quente, na qual se observa uma queda pluviométrica na ordem dos 88% do total que se regista anualmente, e, a estação seca e fresca, de Abril a Setembro, com os restantes 12% de precipitação (Touber e Noort, 1985). A evapotranspiração de referência (ET_o) média anual da região calculada pelo método de Penman-Monteith é de 1408 mm resultando num défice anual de água na ordem de 786 mm (FAO, 1984).

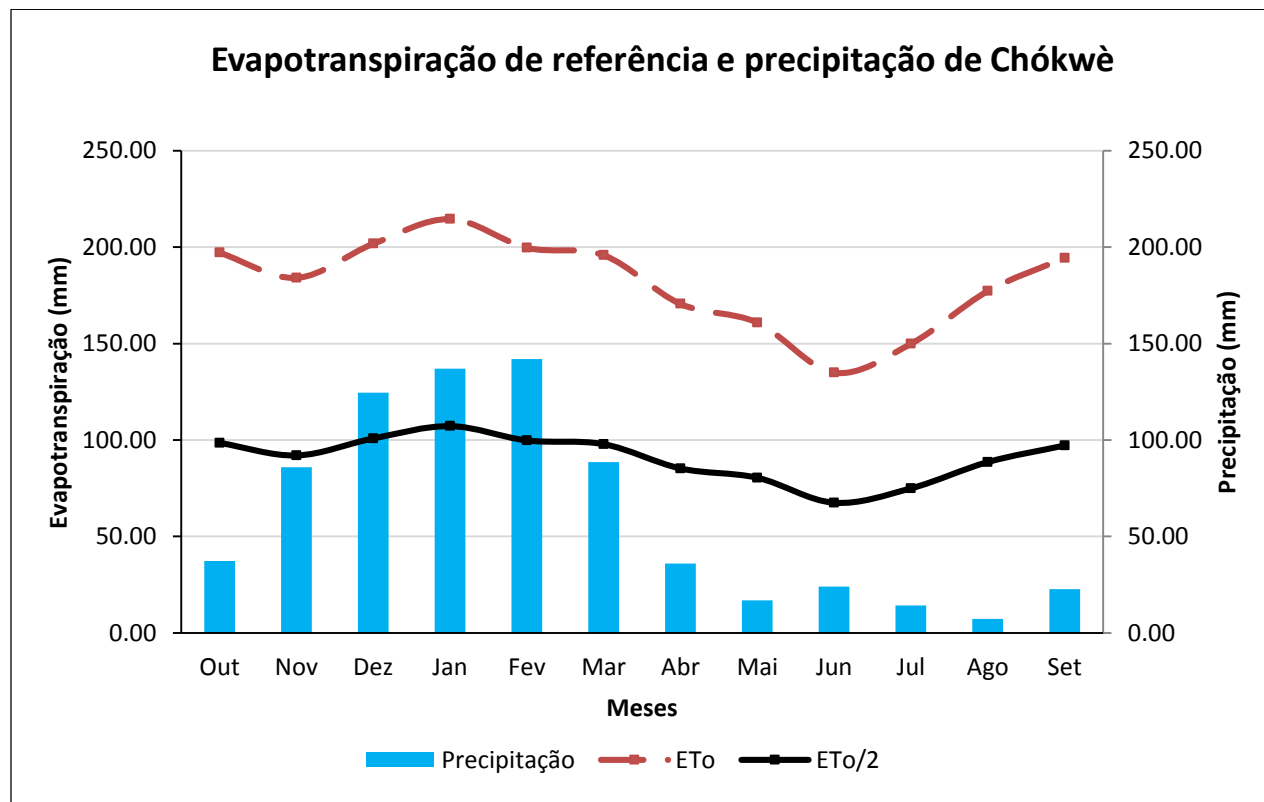


Figura 8. Gráficos de precipitação e evapotranspiração de referência (ET_o) do Chókwè.

3.1.3 Solos

Os solos do regadio de Chókwe são constituídos na sua maioria por formação marinha, com subsolo frequentemente salino- sódico, o que implica a necessidade duma drenagem eficiente e, por outro lado de terraços fluviais de boa fertilidade. Possui terras de grande fertilidade devido ao depósito de materiais transportados pelo rio, facto que leva a boas produções sem adubação. Em geral, os solos são de textura predominantemente argilosa a franco argiloso, compactos e bastante abrasivos, com tendência a alcalinidade. Os solos são profundos (com uma espessura efectiva superior a 1 m) e conteúdo de argila ronda os 35 % (Touber e Noort, 1985).

3.1.4 Sistema de Produção

Duma forma geral, o sistema de exploração da terra é caracterizado pela dimensão física da exploração. Neste contexto, distinguem-se três categorias de agricultores no regadio do Chókwe, os pequenos agricultores, que se caracterizam pela exploração de áreas com tamanhos que variam de 1 a 4 ha, os médios agricultores com áreas de 4 a 20 ha, e, os grandes agricultores cujas áreas superam os 20 ha (Munguambe, 2004).

O padrão de cultivo para a região inclui o arroz na estação quente, milho, tomate e batata-doce na estação fresca. A rega é feita por gravidade baseada nos métodos de sulcos ou bacias. A maior parte das práticas agronómicas são executadas manualmente.

O sistema de agricultura praticado é de baixa a média intensidade no concernente ao uso de factores de produção (pesticidas, fertilizantes e/ou sementes melhoradas). A restrição no uso dos insumos depende, sobretudo, da disponibilidade financeira dos camponeses.

3.2 Monitoramento da Produção do Arroz no Chókwè

3.2.1. Estudos de Caso – descrição dos campos de monitoria e da amostragem

Para a calibração do modelo APSIM foi necessário fazer o monitoramento da produção do arroz nalgumas parcelas selecionadas no regadio. Estando neste momento em curso o Prompac (projecto para melhoramento da produtividade do arroz no sistema de regadio de Chókwè) levado a cabo pela JICA/SDAE, nos distribuidores 5, 11 e 12, fez-se o monitoramento dos ensaios dos agricultores suportados pelo projecto. O PROMPAC visa o aumento da produtividade do arroz testando alguns pacotes tecnológicos como sejam, variedades melhoradas, sementeira directa, transplante e aplicação de 150 kg ureia (46% N) por ha. Foram monitorados os ensaios de variedades conduzidos pela JICA/SDAE, os campos de demonstração dos resultados, os campos de verificação e campos de agricultores fora da área do projecto JICA para comparação.

O monitoramento consistiu na recolha de informação relativa aos métodos e as datas de preparação do solo, sementeira, transplante, adubação, monda, regas, colheita e rendimentos. Registou-se também as datas de 50% floração e 80% maturação. A maturação fisiológica do arroz é definida quando os grãos tornam-se amarelos e duros (Yoshida, 1981).

Na fase da maturação fisiológica o rendimento do grão foi estimado a partir dos componentes do rendimento (número de panículas/m², número de espiguetas/m², percentagem de fertilidade e peso de 1000 grãos) e foi também determinada a biomassa aérea total. Para amostragem, em cada campo foram seleccionadas três áreas representativas, com aproximadamente 20 plantas cada. Cortaram-se todas as plantas em cada uma das áreas, rente ao solo e mediu-se a respectiva área. Amarrou-se separadamente as plantas por área, registou-se o peso fresco de cada amostra e foram deixadas secar, na sombra durante duas semanas. Registou-se o peso seco das amostras. Contou-se o número de panículas por planta e o número de espiguetas por panícula. Calculou-se o número de plantas/m² e o número de panículas/m². Cortou-se as panículas a partir do ponto de inserção da folha bandeira. Debulhou-se todas as panículas separadamente e contou-se o número total de grãos (cheios e chochos). Calculou-se o número médio de espiguetas por planta.

$$NEspiguetas = NEspiguetas * NPlantas \quad (16)$$

Onde $NEspiguetas$ é o número de espiguetas por metro quadrado, $NEspiguetas$ é o número de espiguetas por planta e $NPlantas$ é o número de plantas por metro quadrado.

Separaram-se os grãos cheios dos grãos chochos através da água. Secou-se os grãos cheios durante quatro a cinco dias e contou-se o número total. Calculou-se a percentagem de fertilidade como:

$$\% \text{ fertilidade} = \frac{NGCheios}{NTEspiguetas} * 100 \quad (17)$$

Onde $NGCheios$ é o número de grãos cheios e $NTEspiguetas$ é o número total de espiguetas.

Contou-se e registou-se o peso de 100 grãos. A partir deste estimou-se o peso de 1000 grãos. Determinou-se o rendimento do grão através da seguinte expressão (Yoshida, 1981):

$$Rend.Grao = NP * NG * \frac{\%GCheios}{100} * P * 10^{-5} \quad (18)$$

Onde $Rend.Grao$ é o rendimento de grão (t/ha), NP é número de panículas por metro quadrado, NG é o número de grãos por panícula, $\%GCheios$ é a percentagem de grãos cheios e P é o peso de 1000 grãos (g).

Na altura da colheita foram selecionadas três áreas com 5m², em cada um dos campos, para a medição do rendimento, (Figura 9). As áreas eram circulares, com raio de 1.25 metros (anexo 1). Cortou-se e contou-se o número de plantas em cada uma das áreas. Fez-se a debulha manual e separou-se os grãos cheios dos grãos chochos através da peneiração. Registou-se o peso dos grãos cheios e mediu-se a humidade do grão três vezes e calculou-se a média (anexo 2). Calculou-se o rendimento do grão a 14% de humidade através da seguinte expressão:

$$Rend.Grao = \frac{PGrao(100-f)}{(100-14)} * 10 \quad (19)$$

5

Onde *Rend.Grao* é o rendimento de grão a 14% de humidade (t/ha), *Pgrao* é o peso do grão na área de 5 m² (kg) e *f* é a humidade média do grão (%).

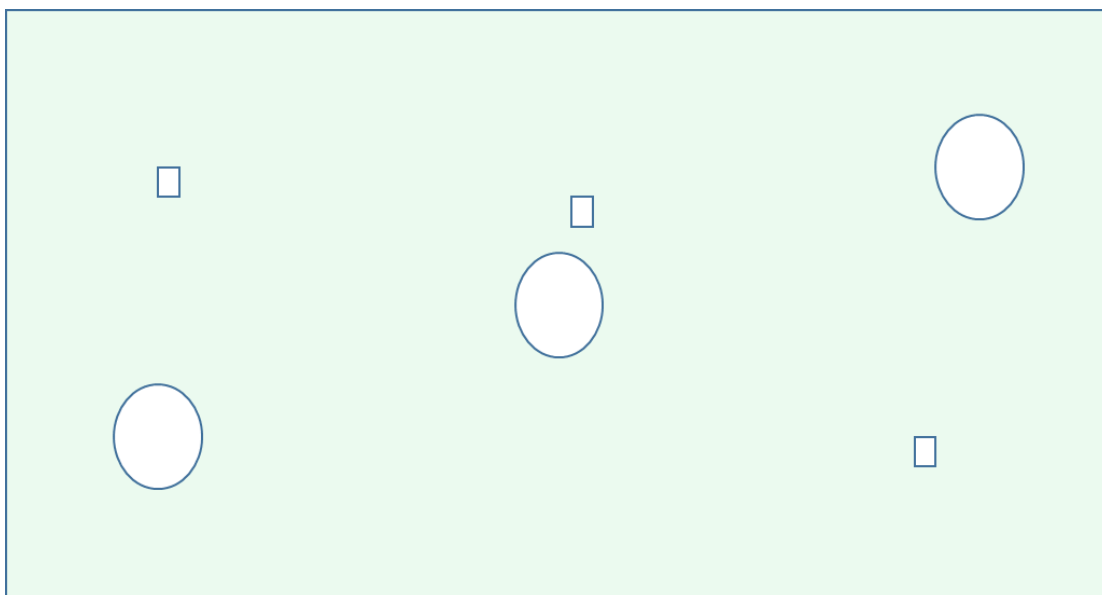


Figura 9. Esquema representativo das áreas de amostragem. Nas Áreas circulares (5 m²) fez-se a recolha do rendimento do grão e da biomassa aérea e nas áreas quadrangulares fez-se a recolha dos componentes do rendimento (± 20 plantas).

3.2.2 Ensaio de variedades

O ensaio de variedades constitui o primeiro ponto de seleção das variedades a serem usadas pelos camponeses. Fez-se a monitoria do ensaio estabelecido pela JICA no D4. O ensaio consistiu de 6 variedades (Limpopo, Vembe, Alvorada, IRGA409, Farox e ITA312), com 3 repetições e uma área por parcela de 25 m², num arranjo em blocos completamente casualizados. A sementeira no viveiro foi feita no dia 7 de Novembro e o transplante no dia 2 de Dezembro de 2013 com espaçamento de 25 cm entre linhas e 20 cm entre plantas e com 3 plantas por covacho. Foram aplicados 150kg de ureia em três parcelas de 52.5, 52.5 e 45kg nos dias 23/12, 9/1 e 30/1 respectivamente. O controlo de infestantes foi feito com aplicação duma mistura de propanil/MCPA, numa proporção de 10 litros de propanil, 3 litros de MCPA e 187 litros de água por hectare, com recurso a um pulverizador de dorso. A rega foi feita por gravidade e o campo definitivo foi inundado uma semana antes do transplante e foi drenado duas semanas antes da colheita. O nível da água na bacia oscilou de 40 a 80 mm. Após

fortes chuvas o excesso de água era drenado oportunamente. O controlo do pardal de bico vermelho (*Quelea quelea*) foi feito com recurso a contratação de mão-de-obra para espantá-los.

3.2.3 Campos de demonstração dos resultados

Cada campo de demonstração é propriedade de um agricultor devidamente seleccionado e na sua implantação recebe os insumos necessários, algum apoio necessário para as despesas de mão-de-obra e a assistência técnica dos extensionistas do SDAE/JICA. No final da campanha o agricultor faz a colheita e vende a produção para o seu próprio benefício. Permite comparar de uma forma muito simples e objectiva as práticas tradicionais dos agricultores com as técnicas melhoradas.

Regularmente são agendados Dias de Campo em todos os Campos de Demonstração com vista a promover junto dos agricultores das zonas vizinhas a adopção de novas práticas culturais correctas. O próprio agricultor explica aos participantes o uso das novas tecnologias, compara na prática os resultados obtidos e evidencia as suas vantagens económicas. Assim torna mais fácil a aceitação e a adopção das novas tecnologias por parte dos agricultores.

Fez-se a monitoria de dois campos de demonstração em cada distribuidor (D5, D11 e D12). Cada campo de demonstração tinha 1 ha subdividido para seis variedades (Limpopo, Vembe, Alvorada, IRGA409, Farox e ITA312). Para cada variedade eram usados dois métodos de sementeira directa, em linhas e a lança. A aplicação de adubos e herbicidas obedecia o mesmo tratamento que nos ensaios de variedades.

3.2.4 Campos de verificação

Os campos de verificação pertencem, cada um, a um agricultor previamente seleccionado. Recebem os insumos necessários para a produção. Diferem dos campos de demonstração por não receberem apoio técnico, sendo que controlam individualmente todas as actividades de manejo e pagam todas as despesas de mão-de-obra. Tem a missão de praticar a tecnologia melhorada difundida pela JICA/SDAE. O tamanho dos campos varia de 0.5 a 1 ha. Foram seleccionados três campos de verificação para cada variedade em estudo, onde fez-se a monitoria da cultura. A aplicação de adubos e herbicidas obedecia o mesmo tratamento que nos ensaios de variedades.

3.2.5 Campos de agricultores fora do projecto

Além dos agricultores suportados pelo projecto da JICA, existem agricultores que tem a sua parcela de terra, adquirem seus próprios insumos e mão-de-obra e controlam todo o trabalho de manejo da cultura a seu critério. Na sua maioria tem áreas de 0.5 ha e o método de sementeira mais praticado é o de transplante. Há aplicação de adubo em forma de ureia e a forma de sacha mais frequente é manual.

3.3 Colecta de amostras de solo

A amostragem do solo foi feita com recurso a técnica de amostragem composta nas parcelas requeridas; fazendo-se um percurso em ziguezague, 20 amostras de solo perturbado foram coletadas, em cada campo, nas profundidades de 0-20 e 20-40, com recurso a uma sonda (Pennock *et al*, 2006). Para cada profundidade, as amostras, em quantidades aproximadamente iguais, foram depois misturadas num balde, mexidas com recurso a uma pá e retirou-se aproximadamente um kilograma para análises químicas e textura do solo no laboratório.

Foi também aberto um perfil do solo até uma profundidade de aproximadamente 1.5 metros. Fez-se a descrição dos horizontes e a coleta de amostras de solo de cada um deles segundo o método descrito por INIA/UEM (1995). O perfil foi aberto no D11 e os dados foram assumidos como sendo de todo

regadio, devido a sua homogeneidade (seu relevo quase plano, baixa permeabilidade dos solos e vegetação) (Touber e Noort, 1985).

As amostras foram enviadas para o laboratório de solos da FAEF (Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal) para análises químicas de matéria orgânica (MO), nitrogénio total (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na) Potássio (K), Fósforo (P), Condutividade eléctrica (CE), pH e textura. O conteúdo da matéria orgânica foi determinado pelo método de Walkley-Black (Bremmer, 1960); o nitrogénio total pelo método de Kjeldahl (Bremmer, 1996); cálcio, magnésio potássio e sódio foram determinados pela extracção a 1 N acetato de amónio a pH 7 (Pennock *et al*, 2006); $CE_{1:2.5}$ e pH_{H_2O} foram determinados em uma suspensão solo:água 1:2.5 (w/v); a textura do solo foi determinada pelo método de hydrometer (Gee e Bauder, 1986).

3.4 Colecta de Dados Climáticos

Dados de precipitação diária, temperatura máxima diária, temperatura mínima diária e insolação foram obtidos na estação agrometeorológica de Chókwè (24°19'S 33°00'E 33m de altitude). Nos casos de falhas, os dados foram preenchidos através da correlação com os dados da estação meteorológica de Xai-Xai. E onde estes também não existissem o preenchimento foi feito pela correlação com os dados da NASA (Nasa, 2014). Os dados de insolação foram convertidos para radiação solar pela fórmula de Angstrom (FAO, 2006), anexo 3.

3.5 Calibração e Avaliação do Modelo APSIM

3.5.1 Calibração do Modelo APSIM

Para a calibração do modelo APSIM são necessários dados meteorológicos (temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitação (mm) e radiação solar (Mj.m⁻²)); dados de cultura (dados de manejo e fenológicos) e dados do solo.

Foram usados dados de ensaios de arroz realizados no regadio de Chókwè a partir de 2007 até 2013 e cedidos pelo IIAM, ISPG, MIA e JICA; foram igualmente usados os dados dos ensaios conduzidos no ano 2014 colectados ao longo do presente estudo.

Após a iniciação do modelo APSIM com os dados de clima e do solo procurou-se encontrar uma similaridade entre as variedades em estudo e as variedades já parametrizadas no modelo. A similaridade baseou-se da busca no APSIM de variedades com dias de floração e dias de maturação o mais próximo possível dos dias de floração e dias de maturação das variedades em estudo. Uma vez encontrada a variedade, foi feito o ajustamento de alguns parâmetros de solo e cultura, os dados não medidos no campo por forma a minimizar o erro quadrático médio (RMSE) (Loague e Green, 1991), calculado de acordo com a equação abaixo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (20)$$

Onde S_i e O_i são os valores simulados e observados, respectivamente e n o número de observações. Quanto menor o RMSE, melhor a exatidão do modelo em relação aos dados observados.

3.5.2 Avaliação de Desempenho do Modelo

Outro conjunto de dados (anexo 4) foi usado para avaliar o modelo calibrado. Os dados observados e simulados foram representados em gráfico de linha 1:1 para uma avaliação visual e, foi calculado o Índice de Concordância (d) um critério estatístico baseado na análise dos erros de resíduo, ou seja, a diferença entre os valores observados e simulados (Willmott *et al.*, 1985), $0 \leq d \leq 1$.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (21)$$

Onde \bar{O} é a média dos valores observados. Para um bom desempenho do modelo é de esperar valores de RMSE e d bem próximos possível de 0 e 1, respectivamente. Altos valores de RMSE ou valores de d próximos de 0 indicam um fraco desempenho do modelo. Valores de RMSE e d foram calculados para todos dados de ensaios para as variáveis de data de floração, data de maturação fisiológica, biomassa total aérea e rendimento do grão. A tabela 2 apresenta os intervalos de desempenho considerados.

Tabela 2. Intervalos de desempenho do índice de concordância

Valor de d	Desempenho
>0.85	Ótimo
0.76 a 0.85	Muito bom
0.66 a 0.75	Bom
0.61 a 0.65	Mediano
0.51 a 0.60	Sofrível
0.41 a 0.50	Mau
<0.40	Péssimo

Fonte: Willmott *et al.* (1985).

3.6 Avaliação de Tecnologias de Produção no Chókwè usando o Modelo APSIM

O modelo calibrado foi usado para avaliar os seguintes aspectos na produção do arroz no Chókwè: gestão de água, efeito da adubação, data de sementeira e dias de transplante. Para cada estratégia de manejo foram simulados vários níveis, mantendo os outros factores no seu ponto óptimo, durante um período de 34 anos (1980 – 2014). Os rendimentos obtidos foram apresentados no gráfico de probabilidade cumulativa (CDF). O melhor nível do factor é aquele que apresenta maior rendimento mínimo e maior rendimento médio.

Nível de água na bacia: Foram seleccionados quatro níveis de água na bacia: 0-50, 50-100, 100-150 e 150-200mm (Anbumozhi *et al*, 1998; Khakwani *et al*, 2005; Talpur *et al*, 2013). A simulação foi feita aplicando-se 150kg de ureia em três aplicações de 35, 35 e 30% aos 0, 32 e 56 dias depois de transplante (ddt), para o transplantado e 0, 35 e 65 dias depois da sementeira (dds), para a sementeira directa, respectivamente. A sementeira foi feita a 10 de Outubro, período identificado como mais apropriado de simulações preliminares; foram usadas plântulas de 30 dias de idade.

Efeito da adubação: Mantendo-se o nível de água de 50-100mm e plântulas de 30 dias, fez-se a sementeira a 10 de Outubro, para diferentes níveis de adubação: 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 kg de ureia (46 % nitrogénio) por hectare. Para cada nível de ureia foi calculada a quantidade de nitrogénio e introduzido no modelo APSIM. Foi usada a mesma estratégia de partição do adubo (35, 35 e 30%), aos 0, 32 e 56 ddt, para o transplantado e 0, 35 e 65 dds para a sementeira directa respectivamente.

Datas de sementeira: Para identificação de melhor período de sementeira no presente estudo, foram feitas várias simulações usando o modelo calibrado para várias décadas (1de Setembro a 20 de Março), para o período de 34 anos. Manteve-se adubação de 150kg de ureia, nível de água de 50-100mm e plântulas de 30 dias.

Dias de transplante: Para identificação de melhor período de transplante no presente estudo, foram feitas simulações usando o modelo calibrado de 10 a 50 dias, com intervalos de 5 dias cada, para o período de 34 anos. A sementeira foi feita no dia 10 de Outubro, manteve-se adubação de 150kg de ureia e nível de água de 50-100mm. Como mostrado anteriormente, a adubação seguiu a estratégia de 35, 35 e 30%, aos 0, 32 e 56 ddt, para o transplantado e 0, 35 e 65 dds para a sementeira directa respectivamente.

3.7 Avaliação da produtividade do arroz para as condições Chókwè

Foram usados dados climáticos para o período de trinta e quatro anos (1980-2014), para simular os rendimentos do arroz para as variedades seleccionadas para o melhor período de sementeira seleccionado para cada variedade. Os resultados obtidos foram apresentados no gráfico de probabilidade cumulativa (CDF), sendo que as variedades que mais se adequam às condições climáticas de Chókwè são aquelas que apresentam maiores rendimentos para os mesmos níveis de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento de arroz produzido no regadio de Chókwè,

São produzidas diversas variedades de arroz no regadio de Chókwè, dentre elas se destacam as seguintes: C4-63, IR52, IR64, ITA312, Limpopo, Farox, Macassana, IRGA409, Vembe e Alvorada. A sementeira é feita de Outubro a Dezembro em campos que variam de 0.5 a 2 hectares. A rega é feita por gravidade usando-se bacias de inundação. Nota-se em alguns campos a falta de água para a manter o nível de água desejável para a produção de arroz, devido sobretudo ao estado dos canais de rega e fraco nivelamento dos campos, o que afecta muito o rendimento final da cultura. Em média mantém-se um nível de água na bacia de aproximadamente 10 cm ao longo de ciclo da cultura e é drenada duas semanas antes da colheita. Há utilização de adubos inorgânicos para a melhoria da fertilidade dos solos. A mão-de-obra é familiar, podendo ser contratada para o pico das actividades. A colheita é feita de fevereiro a Abril e o destino principal é a comercialização do arroz em casca. Os rendimentos variam de 1.5 t/ha a 4 t/ha no sector familiar, podendo atingir 7.5 t/ha em condições óptimas de manejo, conforme apurado no terreno em conversa com os agricultores.

Para o presente estudo foram seleccionadas três variedades, nomeadamente Limpopo, ITA312 e IRGA409, pela preferência que os agricultores mostram por elas. A variedade Limpopo é cultivada tradicionalmente no regadio devido ao óptimo sabor que a mesma apresenta e pela dificuldade que o pardal de bico vermelho tem de atacar o grão devido a presença de aristas compridas (Mudema e Manjate, 2014). A variedade ITA312 é preferida pelos camponeses porque, segundo os mesmos, permite que actividades do manejo (p.e., transplante) sejam feitas durante um longo período, sem redução significativa no rendimento. A variedade IRGA409 está sendo difundida pela JICA/SDAE junto dos agricultores, por se achar que esta variedade tem bom rendimento potencial, superior ao rendimento das variedades Limpopo e ITA312. A partir dos dados colhidos no terreno, conforme mostrado adiante no presente estudo, pode-se ver que não há grandes diferenças de rendimento entre as três variedades, andando o rendimento potencial entre cerca de 7 toneladas para as variedades Limpopo e IRGA409 e 8 toneladas para a variedade ITA312.

A compilação de toda informação relevante sobre os ensaios anteriores das três variedades seleccionadas para o estudo no regadio de Chókwè, foi feita por meio de consulta de protocolos de

ensaios e relatórios técnicos científicos sobre a matéria, fornecidos pelo Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), Instituto Superior Politécnico de Gaza (ISPG), Agência Japonesa de cooperação internacional (JICA) e Mozfer Industrias Alimentares (MIA). Nas Figuras 10, 11 e 12 pode se ver os rendimentos obtidos em ensaios realizados a partir da campanha agrícola 2007/2008 até 2013/2014 para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 respectivamente.

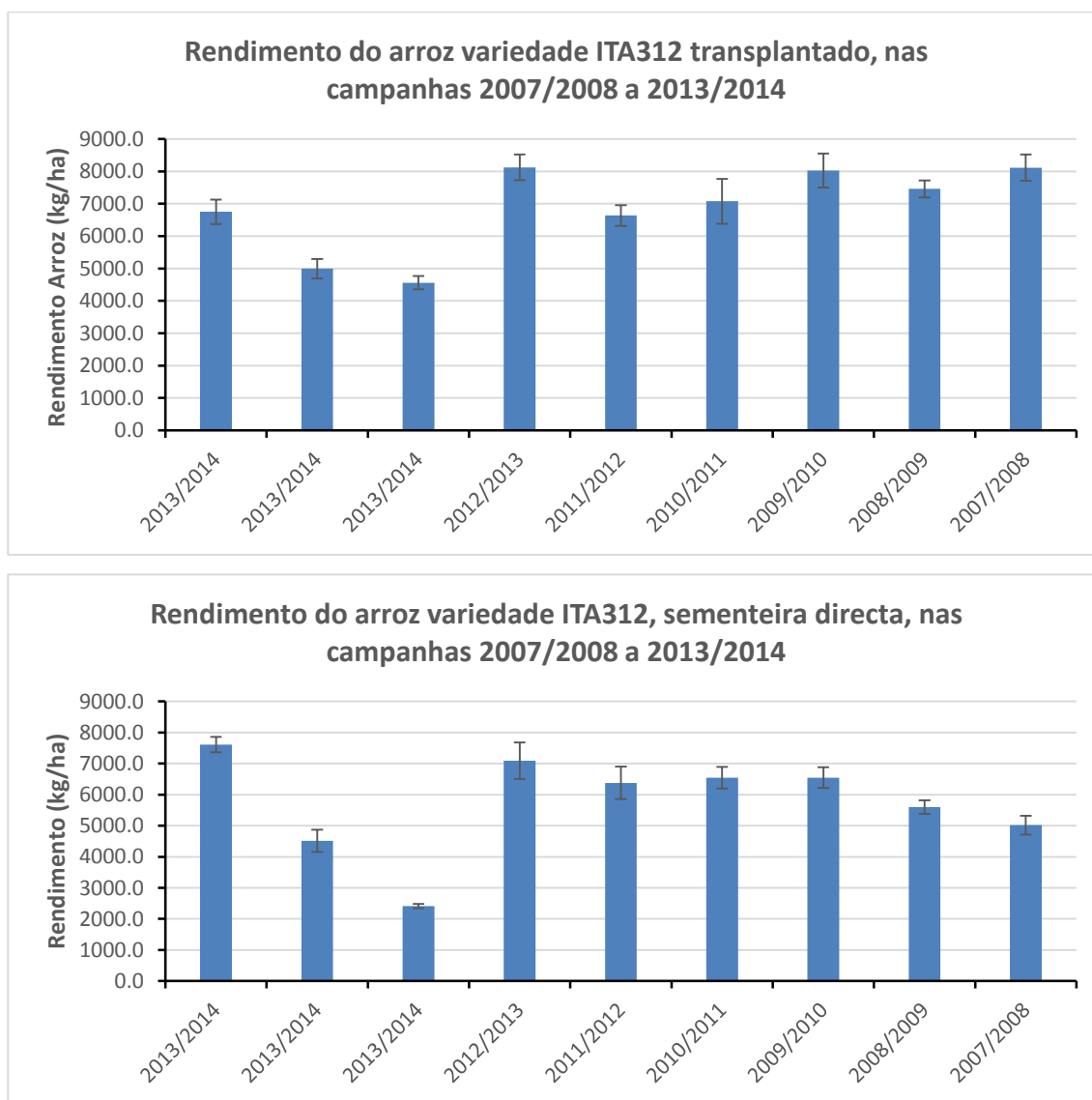


Figura 10. Rendimento de arroz da variedade ITA312, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.

A informação compilada sobre as variedades, manejo, fases fenologias e rendimento foi usada para a calibração e avaliação do modelo APSIM. Pode se ver das figuras abaixo que os rendimentos variam de um pouco mais de 2 000 kg/ha a aproximadamente 7 000 kg/ha. Os altos rendimentos são resultados de ensaios *on-station*, e portanto bem controlados, enquanto os baixos rendimentos resultam do levantamento dos rendimentos nos campos dos pequenos agricultores. Por se tratar de campanhas agrícolas diferentes, a variabilidade climática pode também ter a sua influência nos resultados.

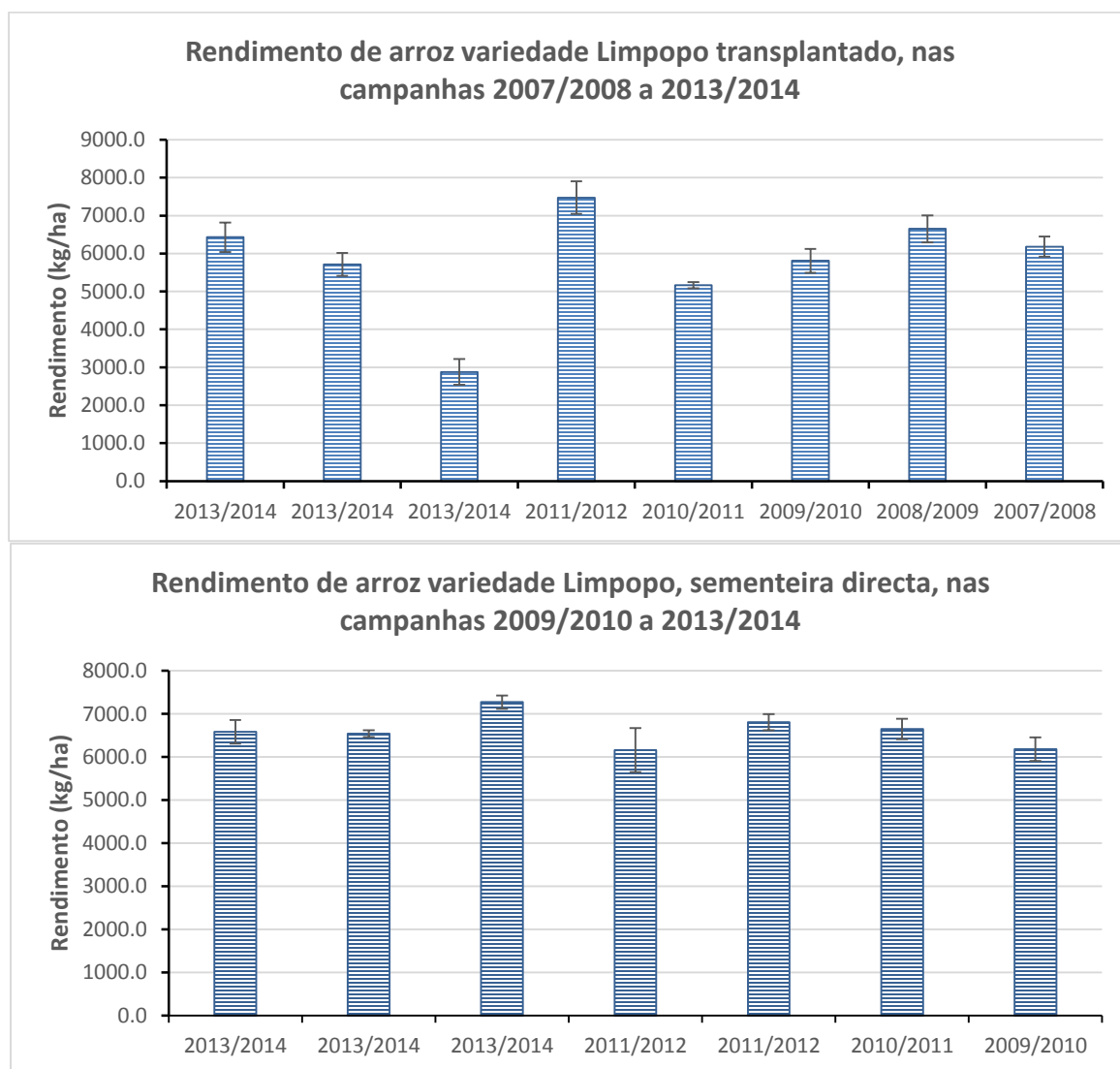


Figura 11. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.

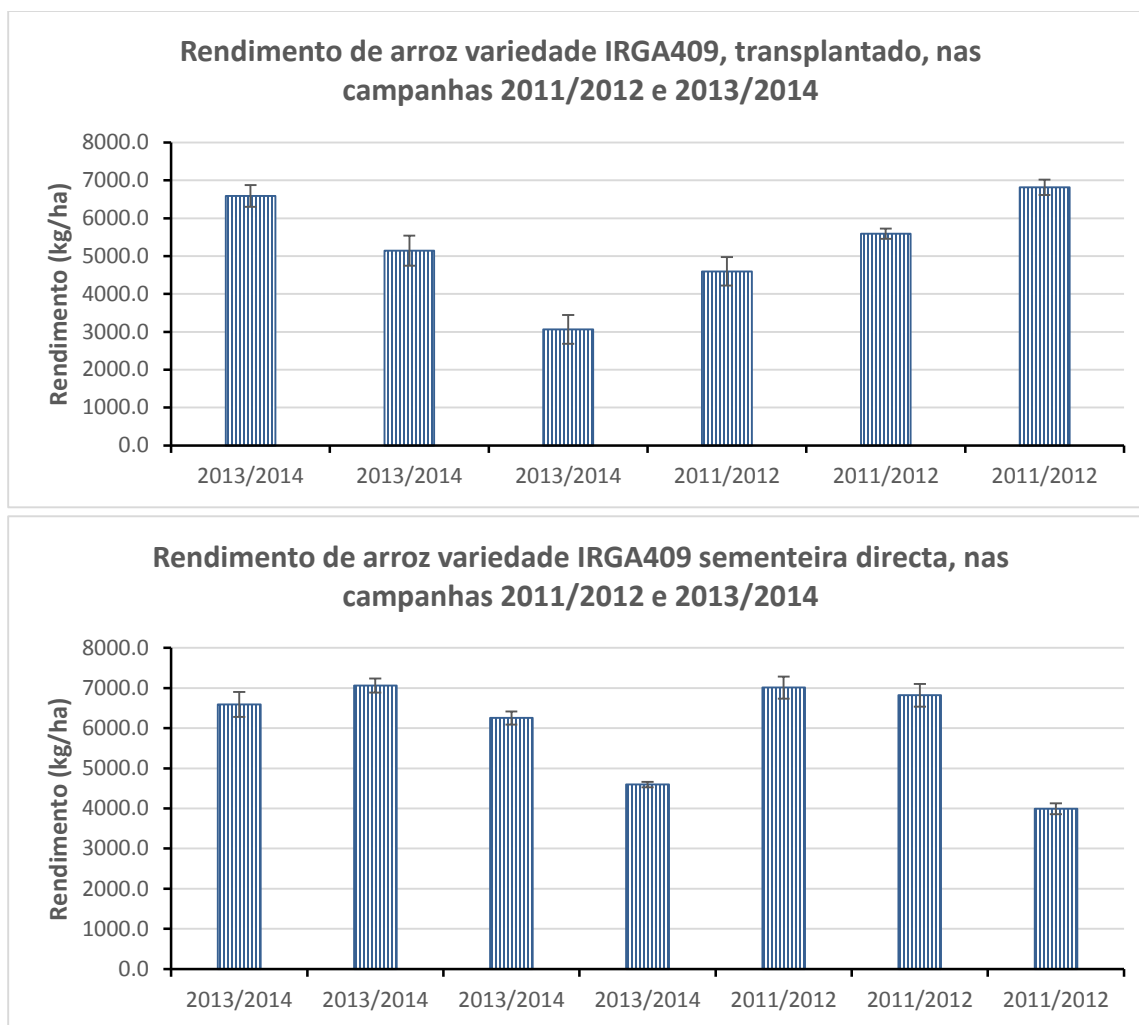


Figura 12. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, transplantado e em sementeira directa nas campanhas agrícolas 2007/2008 a 2013/2014. As barras representam o desvio padrão.

4.2 Calibração e avaliação do modelo APSIM para as condições específicas de Chókwè

4.2.1 Calibração do modelo APSIM

As Simulações preliminares indicaram que as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 são equivalentes às variedades cigeulis, ir72 e local, respectivamente, das variedades parametrizadas no modelo APSIM. Os parâmetros gerais de solo da área de estudo, são apresentados na Tabela 3. Pode-se constatar na mesma tabela que os valores de pH variam entre 7.16 a 8.14. O solo da camada

superficial (0 a 100mm) é argilo-arenoso e nas restantes camadas são argiloso a franco-argilosos, sendo portanto aptos para a produção do arroz.

Em seguida foi feito o ajustamento de alguns dos parâmetros de solo e cultura (resultados na tabela 4, tabela 5 e anexo 5) seleccionados na base de RMSE mínimo para várias componentes de cultura, nomeadamente, floração (em dds), maturação (em dds), rendimento de grão (em Kg), biomassa (em Kg). Pode se constatar a presença duma camada pouco permeável na profundidade de 1 metro, com ks de 1.220 mm/dia.

Tabela 3. *Dados do perfil do solo em Chókwe*

Camadas do solo		1	2	3	4	5	6
Espessura da camada (d)	cm	0-10	10-25	25-45	45-55	55-75	75-100
Parâmetros do perfil do solo							
MO	%	1.52	1.43	0.12	0.11	0.12	0.02
CE	mS/cm	0.67	1.24	1.08	1.55	1.66	1.81
pH (em KCl)	(-)	7.46	7.97	8.00	8.10	8.14	8.09
CTC	cmol+/kg	13.52	8.40	12.98	14.24	14.54	14.28
Ca	cmol/kg	10.58	13.18	10.40	22.46	28.54	23.24
Mg	cmol/kg	5.82	10.86	10.14	11.22	11.14	10.64
Na	cmol/kg	1.52	1.74	1.94	2.18	2.46	2.66
K	cmol/kg	1.06	0.90	0.92	0.84	0.94	0.98
PST	%	7.04	8.30	5.94	7.09	7.22	7.210
Areia	%	45.90	45.50	44.50	44.90	34.60	34.30
Limo	%	29.80	15.70	8.80	9.90	14.20	13.60
Argila	%	24.30	38.90	46.70	45.20	51.20	52.00
*Parâmetros da água no solo							
Densidade aparente	g/cc	1.41	1.41	1.35	1.32	1.32	1.32
Conteúdo da água saturada (sat)	mm/mm	0.43	0.43	0.46	0.47	0.47	0.49
Capacidade de campo (dul)	mm/mm	0.38	0.38	0.41	0.42	0.42	0.42
Ponto de emurchecimento (ll15)	mm/mm	0.23	0.24	0.28	0.28	0.28	0.28
Air dry	mm/m	0.11	0.19	0.28	0.28	0.28	0.28

Tabela 4. Parâmetros do solo calibrados

Camada do solo (cm)	NO ₃ ⁻ (kg/ha)	NH ₄ ⁺ (kg/ha)	KS mm/dia	SWCON	Rice KL	FBiom	FInert
0-10	5.950	4.790	24.000	0.300	0.06	0.060	0.100
10-25	4.400	3.500	24.000	0.300	0.06	0.040	0.200
25-45	2.701	2.100	24.000	0.300	0.06	0.030	0.300
45-55	0.701	0.100	24.000	0.300	0.06	0.020	0.900
55-75	0.101	0.100	24.000	0.300	0.06	0.010	1.000
75-100	0.101	0.100	1.220	0.300	0.06	0.010	1.000

*SWCON é a proporção da água acima da capacidade de campo que drena por dia

Tabela 5. Parâmetros auxiliares usados para a calibração do APSIM

Símbolo do parâmetro no APSIM	Descrição	Valor calibrado
Summer Cona	Coeficiente do segundo estágio da evaporação do solo	3.5
Summer U	Coeficiente do primeiro estágio da evaporação do solo	6
Winter Cona	Coeficiente do segundo estágio da evaporação do solo	3.5
Winter U	Coeficiente do primeiro estágio da evaporação do solo	6
Diffusivity Constant	Constante de Difusividade	40
Diffusivity Slope	Difusividade do declive	16
Soil albedo	Albedo do solo	0.12
Bare soil runoff curve number	Número de Curva do escoamento do solo	83
Eficiência de rega		0.65

Os valores de RMSE e d para floração, maturação, rendimento do grão e da biomassa aérea encontram-se na tabela 6. Pode se ver que os valores de d para o rendimento do grão variam de 0.76 a 0.98, demonstrando que a calibração do modelo APSIM para esta variável foi muito boa para todas as variedades. Para a biomassa aérea os valores de d variam de 0.27 a 0.90, sendo que as variedades

ITA312, Limpopo e IRGA409 transplantadas apresentaram melhores ajustes com valores de d que variam de 0.83 a 0.90, enquanto a sementeira directa apresentou baixos valores de d , variando de 0.27 a 0.57.

Tabela 6. Valores de RMSE e d resultantes da calibração das variedades ITA312, Limpopo e IRGA409.

Variedade	Método sementeira	Floração		Maturação		Rendimento Grão		Biomassa	
		RMSE (dias)	d	RMSE (dias)	d	RMSE (kg/ha)	d	RMSE (kg/ha)	d
ITA312	Transplante	1.4	0.87	1.1	0.95	567.4	0.94	1345.3	0.90
ITA312	Directa	1.3	0.59	1.4	0.99	427.8	0.98	1641.5	0.57
Limpopo	Transplante	1.6	0.90	1.6	0.70	117.0	0.97	1173.5	0.87
Limpopo	Directa	0.9	0.61	0.7	0.71	321.6	0.76	718.0	0.27
IRGA409	Transplante	0.8	0.97	1.6	0.86	803.3	0.93	1477.3	0.83
IRGA409	Directa	0.6	0.80	0.6	0.98	348.7	0.97	1354.2	0.29

4.2.1 Avaliação do modelo APSIM

Todas as variedades apresentaram um bom ajuste entre o rendimento observado e o rendimento simulado, encontrando-se os pontos à volta da linha 1:1 (figuras 13, 14 e 15), e mostrando para cada caso os respectivos valores de RMSE e d . Os resultados são similares aos encontrados por Zhang *et al*, (2007); Lorençoni, (2009) e Artacho *et al*, (2011). A variedade Limpopo em sementeira directa é que apresentou menor índice de concordância com 0.89 enquanto as variedades ITA312 sementeira directa e IRGA409 transplantado apresentaram o melhor ajuste com d igual a 0.98.

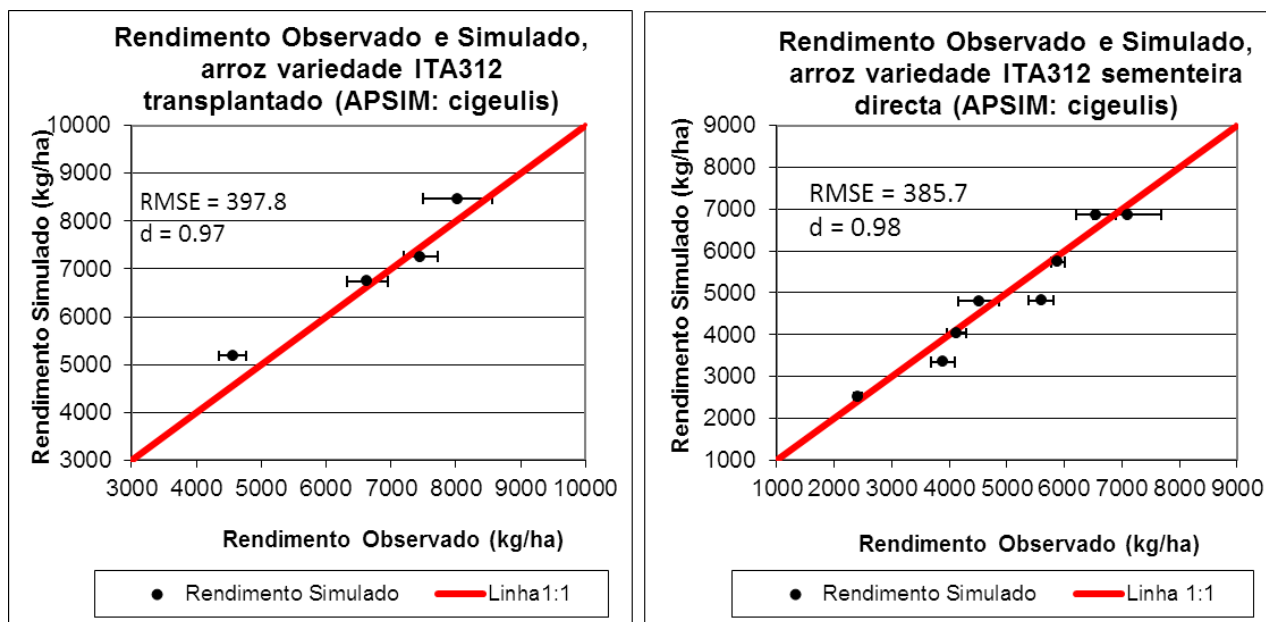


Figura 13. Comparação do rendimento observado e simulado da variedade ITA312 pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

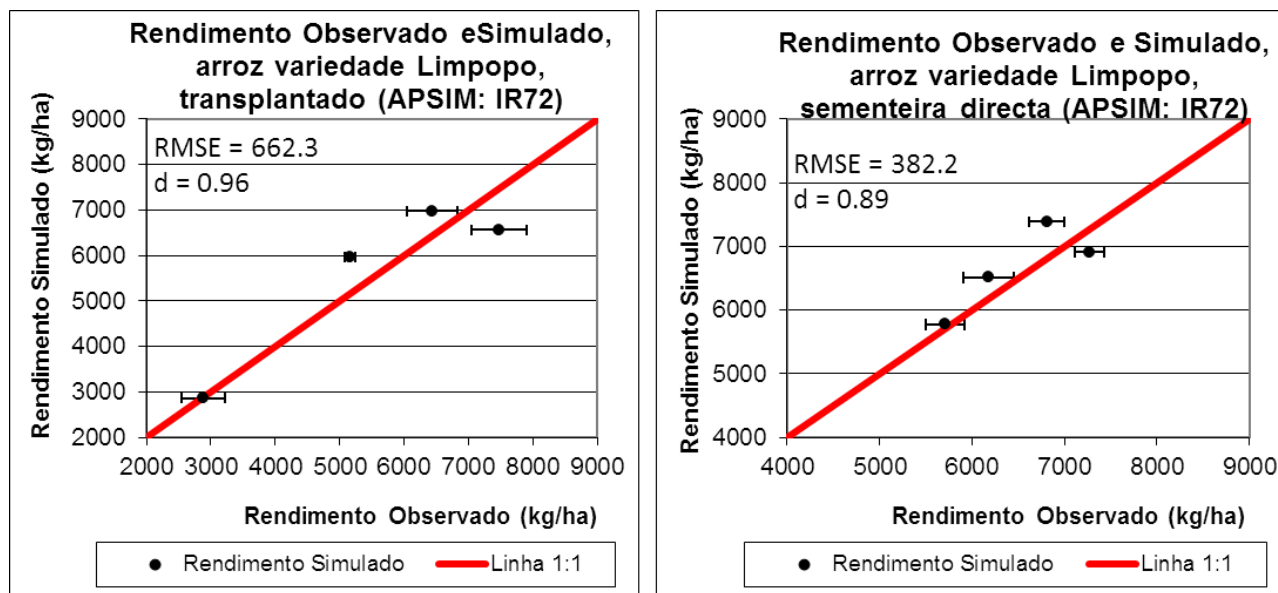


Figura 14. Comparação do rendimento observado e estimado da variedade Limpopo pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

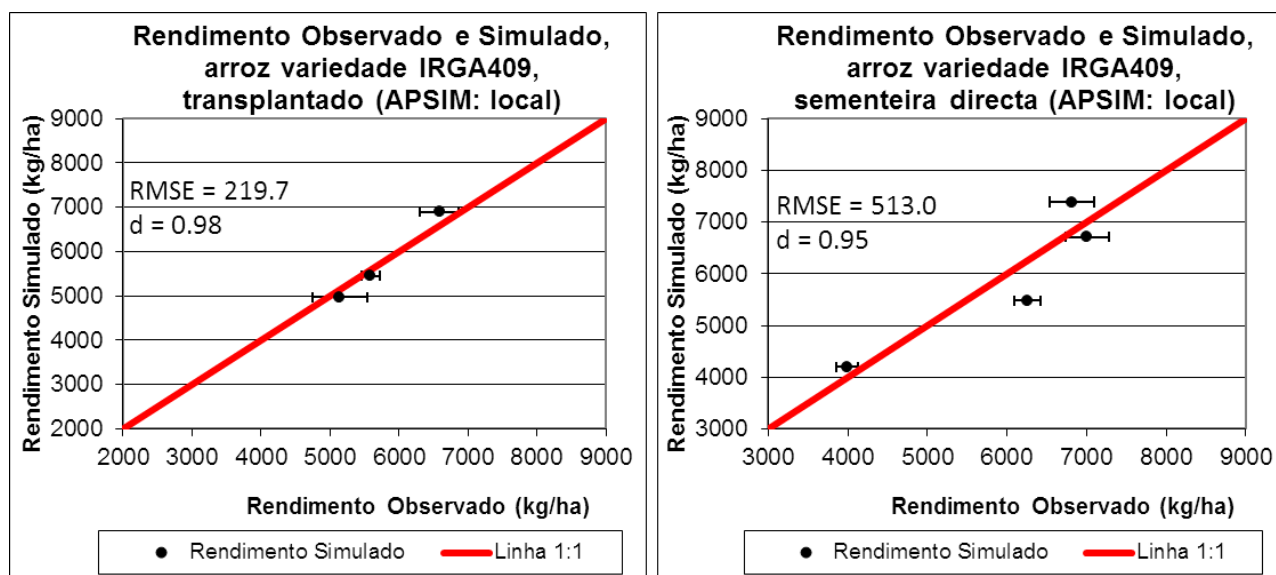


Figura 15. Comparação do rendimento observado e rendimento estimado da variedade IRGA409 pelo modelo APSIM. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Em relação as variáveis floração, maturação e biomassa, o modelo apresentou em geral um bom ajuste entre os valores observados e simulados para as variedades ITA312 (anexo 6 e anexo 7), Limpopo (anexo 8 e anexo 9), e IRGA409 (anexo 10 e anexo 11). Para a variável floração os valores de *d* variaram de 0.69 a 0.96 enquanto para a variável maturação variaram de 0.86 a 0.99 (tabela 7). Para todas as variedades o modelo APSIM subestimou o rendimento da biomassa aérea com valores de *d* que variam de 0.47 a 0.95.

Tabela 7. Valores de RMSE e *d* para validação das variedades ITA312, Limpopo e IRGA409.

Variedade	Método sementeira	Floração		Maturação		Biomassa	
		RMSE (dias)	<i>d</i>	RMSE (dias)	<i>d</i>	RMSE (kg/ha)	<i>d</i>
ITA312	Transplante	1.2	0.95	1.3	0.97	670.6	0.95
ITA312	Directa	1.8	0.69	1.3	0.99	1227.6	0.80
Limpopo	Transplante	1.6	0.90	1.4	0.87	1117.0	0.78
Limpopo	Directa	0.7	0.86	0.5	0.86	673.7	0.92
IRGA409	Transplante	0.6	0.78	0.6	0.99	1401.5	0.78
IRGA409	Directa	0.9	0.93	0.9	0.86	1121.2	0.47

Os resultados mostram que o modelo APSIM 7.6 foi suficientemente calibrado e validado para simular o rendimento e biomassa das variedades ITA312, Limpopo e IRGA409. Assim, o modelo APSIM pode ser usado com confiança para previsão dos rendimentos de arroz das variedades selecionadas.

4.3 Estratégias de manejo na produção para Chókwè,

4.3.1 Efeito do nível de água na bacia no rendimento do arroz

A Figura 16 mostra as curvas de probabilidade cumulativa para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 para o método de sementeira de transplante. Para todos os casos, o nível de água na bacia de 50-100 mm apresentou maior rendimento médio de 4 866 kg/ha, 4 059 kg/ha e 4 033 kg/ha para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 respectivamente. Anbumozhi *et al*, (1998); Khakwani *et al*, (2005); Talpur *et al*, (2013), chegaram aos mesmos resultados em ensaios de campo quando testaram os mesmos níveis de água na bacia.

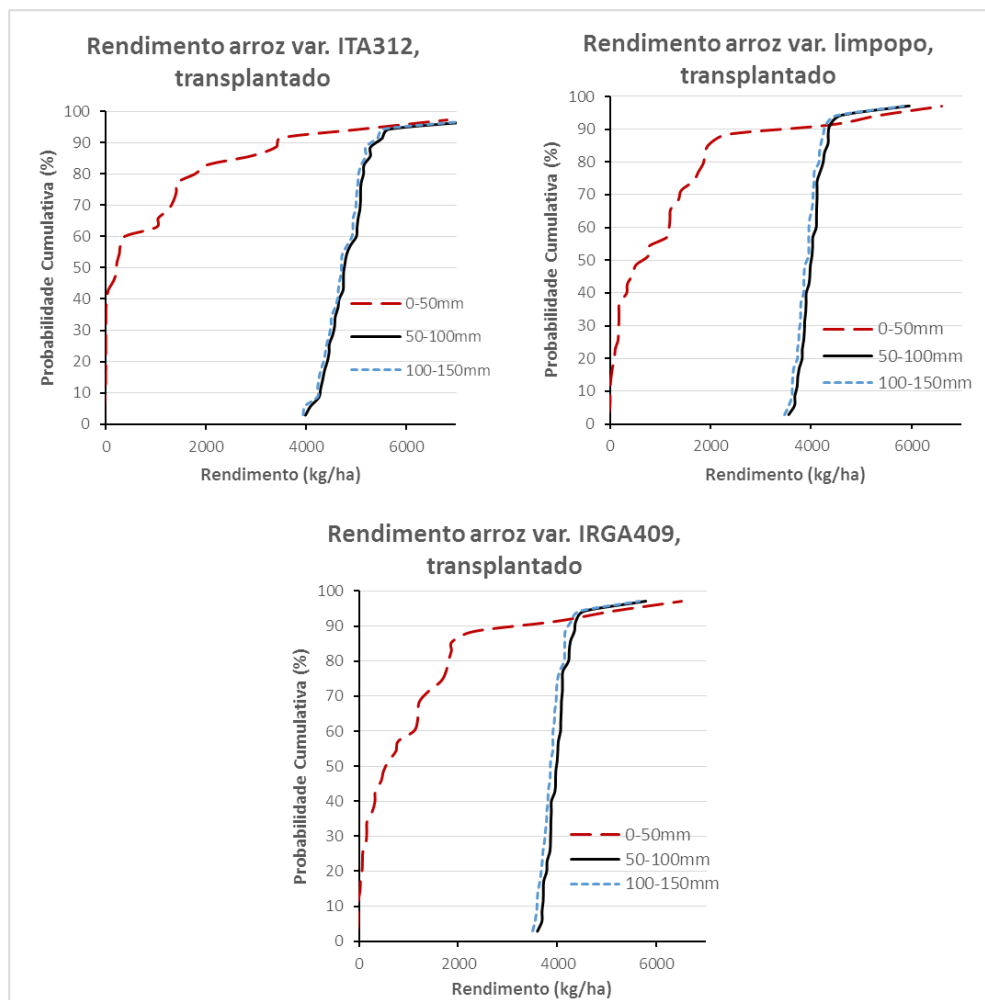


Figura 16. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, transplantado para os níveis de água na bacia de 0-50, 50-100 e 100-150 mm ao longo de 34 anos.

Para a sementeira directa os níveis de água de 50-100 e 100-150 mm não apresentaram diferenças de rendimento (Figura 17). Contudo, considerando a dificuldade de gestão da água de níveis maiores, é de recomendar o nível de 50-100 mm, porém, um bom nivelamento do terreno é fundamental para um bom controlo do nível da água nos campos. O rendimento médio obtido foi de 4 687, 4 844 e 4 816 kg/ha para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 respectivamente.

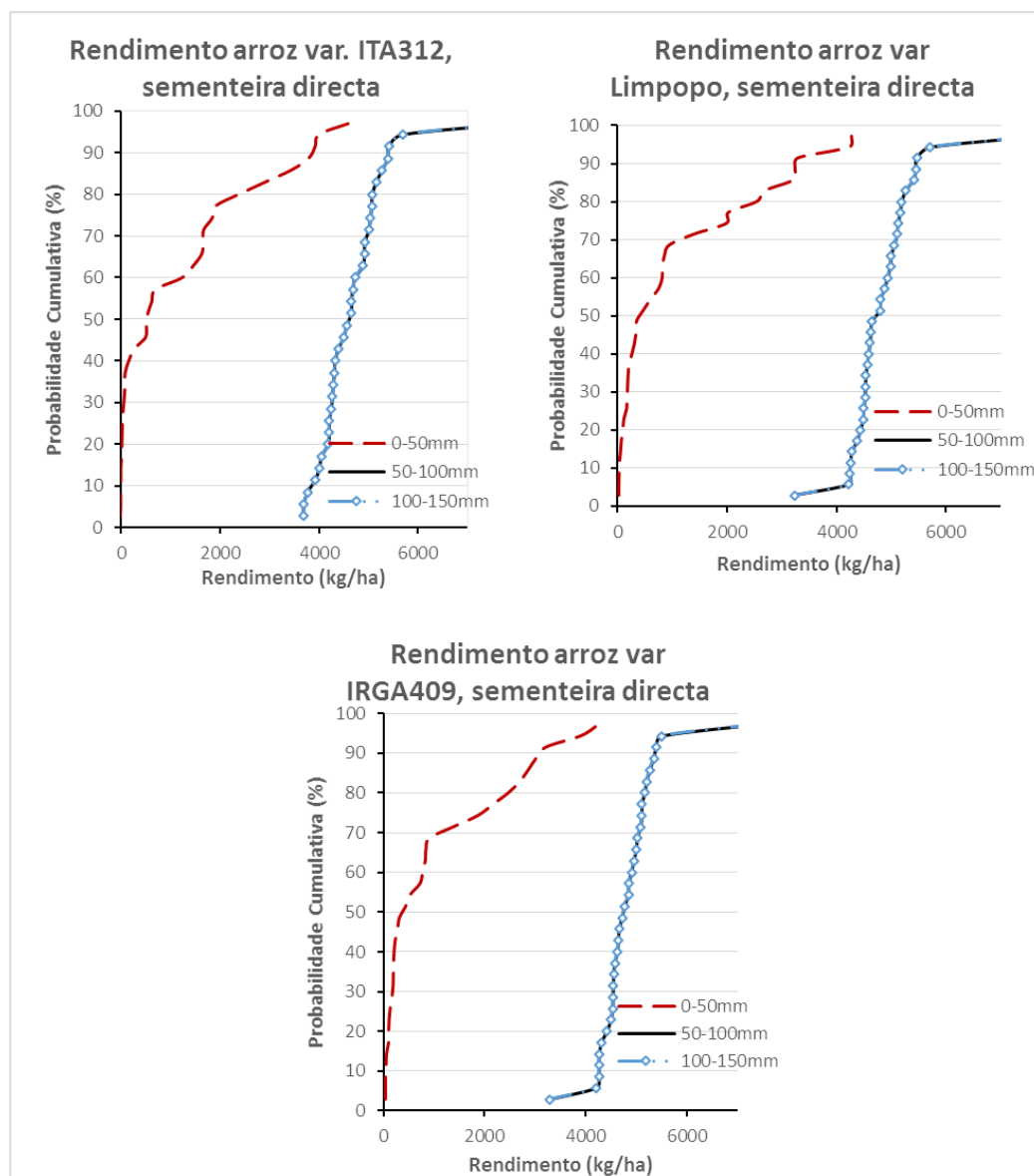


Figura 17. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, sementeira directa, para os níveis de água na bacia de 0-50, 50-100 e 100-150 mm ao longo de 34 anos.

4.3.2 Efeito da adubação no rendimento do arroz

Para todas as variedades, o rendimento de arroz aumentou progressivamente com aumento da quantidade de ureia aplicada. Diversos estudos (Ahmed *et al*, 1998; Rahman *et al*, 2007; Artacho *et al*, 2011) reportaram o aumento do rendimento do arroz com o incremento de nitrogénio. Para Ahmed *et al*, (1998) o nitrogénio é o principal nutriente na produção do arroz e também o que trás melhor

resposta ao rendimento. Sem aplicação do adubo, o rendimento obtido para a variedade ITA312 é de 2 796 kg/ha para o transplante e 2 771 kg/ha para a sementeira directa (figura 18).

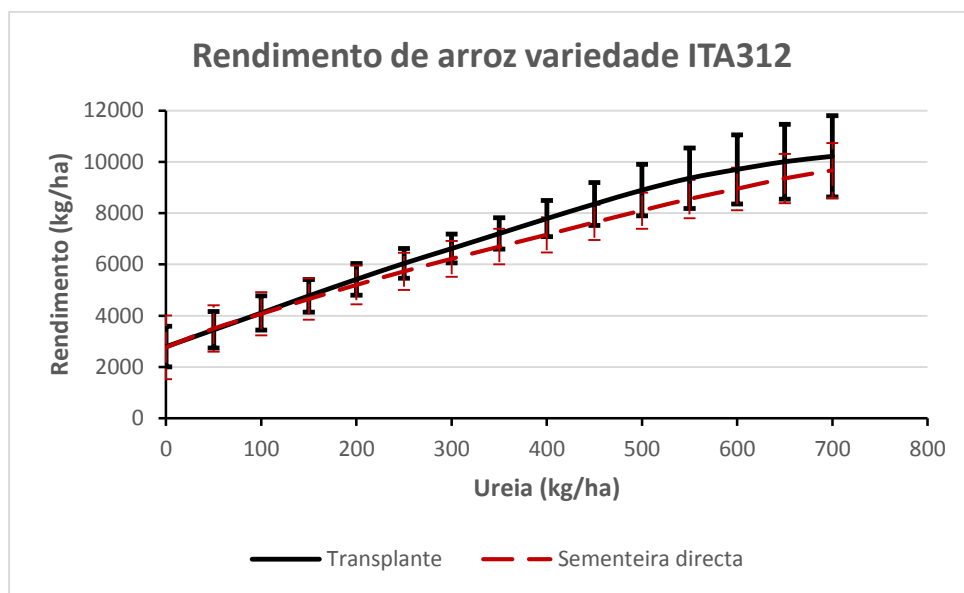


Figura 18. Rendimento médio de arroz da variedade ITA312, transplantado e em sementeira directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam o desvio padrão.

Para a variedade Limpopo a sementeira directa teve um rendimento ligeiramente superior ao transplante com 3 099 e 2 441 kg/ha respectivamente (Figura 19). O mesmo aconteceu com a variedade IRGA409 com 3 115 e 2 132 kg/ha para a sementeira directa e transplante (Figura 20). Para a variedade ITA312 o transplante resultou em maiores rendimentos que a sementeira directa, enquanto para as variedades Limpopo e IRGA409 a sementeira directa teve melhor resposta. As curvas de probabilidade cumulativa no anexo 12, mostram para as três variedades que os aumentos do rendimento devido a aplicação de ureia tornam-se cada vez menores dos 400 até 700 kg de ureia por hectare, devido aos rendimentos marginais decrescente.

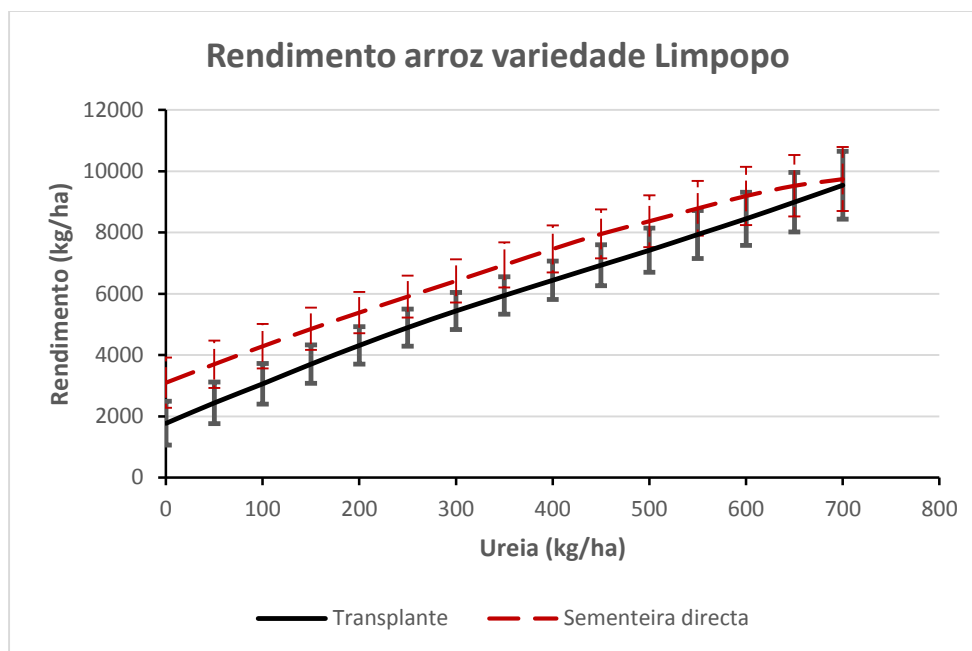


Figura 19. Rendimento médio de arroz da variedade limpopo, transplantado e em semeadura directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam o desvio padrão.

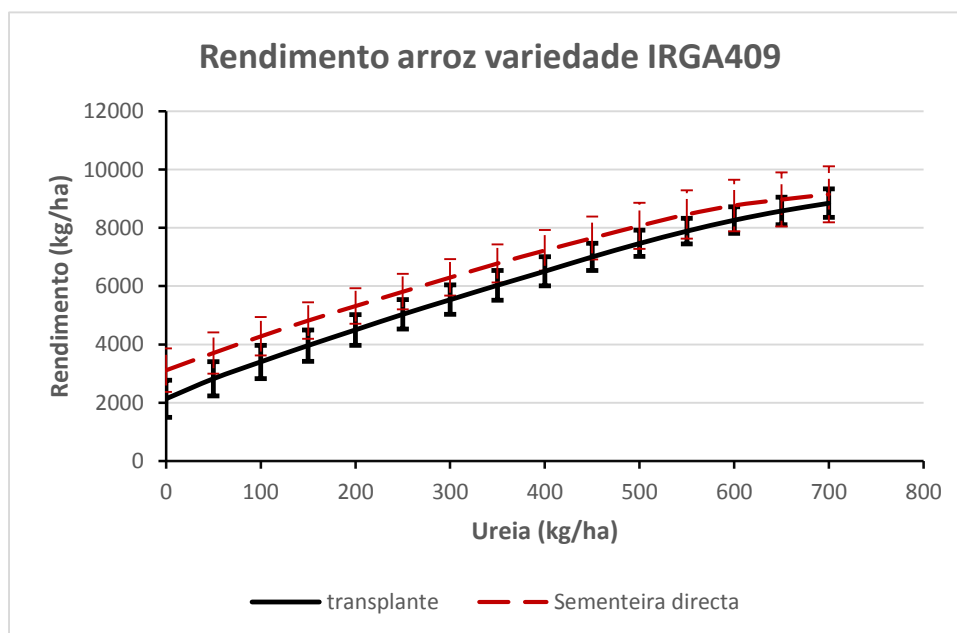


Figura 20. Rendimento médio de arroz da variedade IRGA409, transplantado e em semeadura directa para os diferentes níveis de adubação, simulado ao longo de 34 anos. As barras representam o desvio padrão.

IIAM e FAEF (2010) recomendam para o arroz de regadio de altos insumos a utilização de 100 kg/ha de NPK 12:24:12 como adubação de fundo e 200 kg/ha de Ureia (46% N) como adubação de cobertura. O pacote tecnológico difundido pela JICA/SDAE na campanha 2013/2014 recomenda a utilização de 150 kg de ureia por hectare. Estes resultados mostram que o nível de adubação pode ser ajustado para o rendimento potencial atingível tanto para o sector empresarial como para o sector familiar. Para os níveis de rendimento característicos de 6 ton/hectare no sector empresarial e 2,5 ton/hectare no sector familiar os níveis de ureia recomendados são respectivamente de 250 kg/ha e 50 kg/ha.

4.3.3 Efeito dos dias de transplante no rendimento do arroz.

Plântulas transplantadas da variedade ITA312 de 20, 25 e 30 dias apresentaram rendimento médio de 4 701, 4 727 e 4 779 kg/ha respectivamente (Figura 21). Contudo as plântulas de 30 dias apresentaram maior rendimento mínimo com 3 907 kg/ha enquanto as plântulas de 20 dias apresentaram menor rendimento mínimo com 2 439 kg/ha. O menor rendimento médio foi obtido em plântulas de 50 dias com 4 544 kg/ha (Anexo 13, Figura 46).

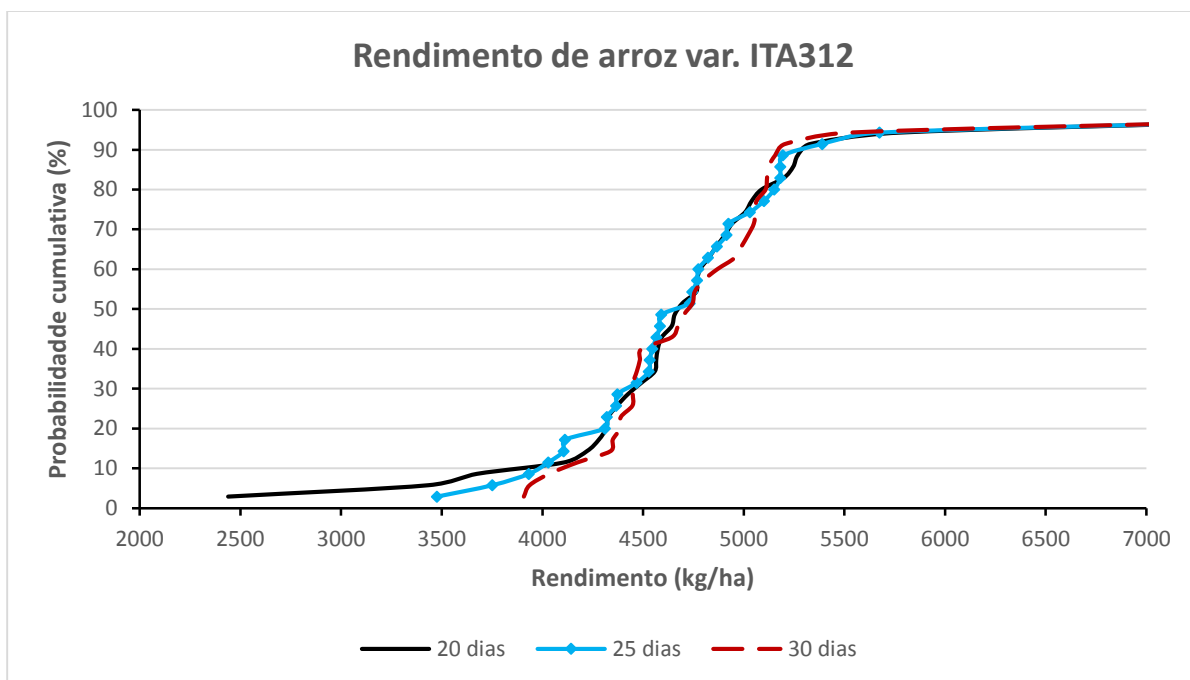


Figura 21. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz, variedade ITA312, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.

Para a variedade Limpopo, o rendimento médio para plântulas transplantadas de 20, 25 e 30 dias, não apresentou diferenças, situando-se os rendimentos entre o 4 058 a 4 111 kg/ha. O mesmo aconteceu com o rendimento mínimo, estando o rendimento entre 3 519 a 3 539 kg/ha (Figura 22). O rendimento médio mais baixo foi obtido com plântulas de 50 dias com 3 834 kg/ha, seguido de plântulas de 45 dias com 3 961 kg/ha (Anexo 13, Figura 47)

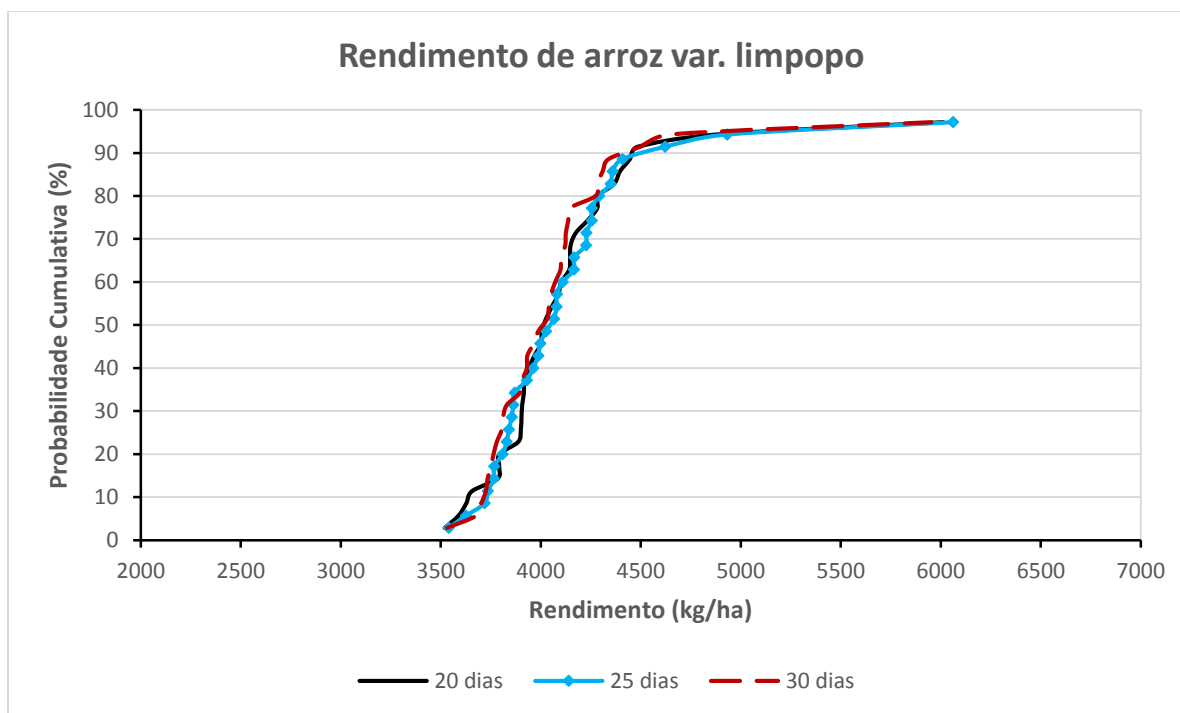


Figura 22. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.

Para a variedade IRGA409, o rendimento médio para plântulas transplantadas de 20, 25 e 30 dias, não apresentou diferenças, situando-se os rendimentos entre o 4 033 a 4 090 kg/ha. O mesmo aconteceu com o rendimento mínimo, estando o rendimento entre 3 547 a 3 586 kg/ha (Figura 23). Rendimento médio mais baixo foi obtido com plântulas de 50 dias com 3 775 kg/ha, seguido de plântulas de 45 dias com 3 922 kg/ha (Anexo 13, Figura 48)

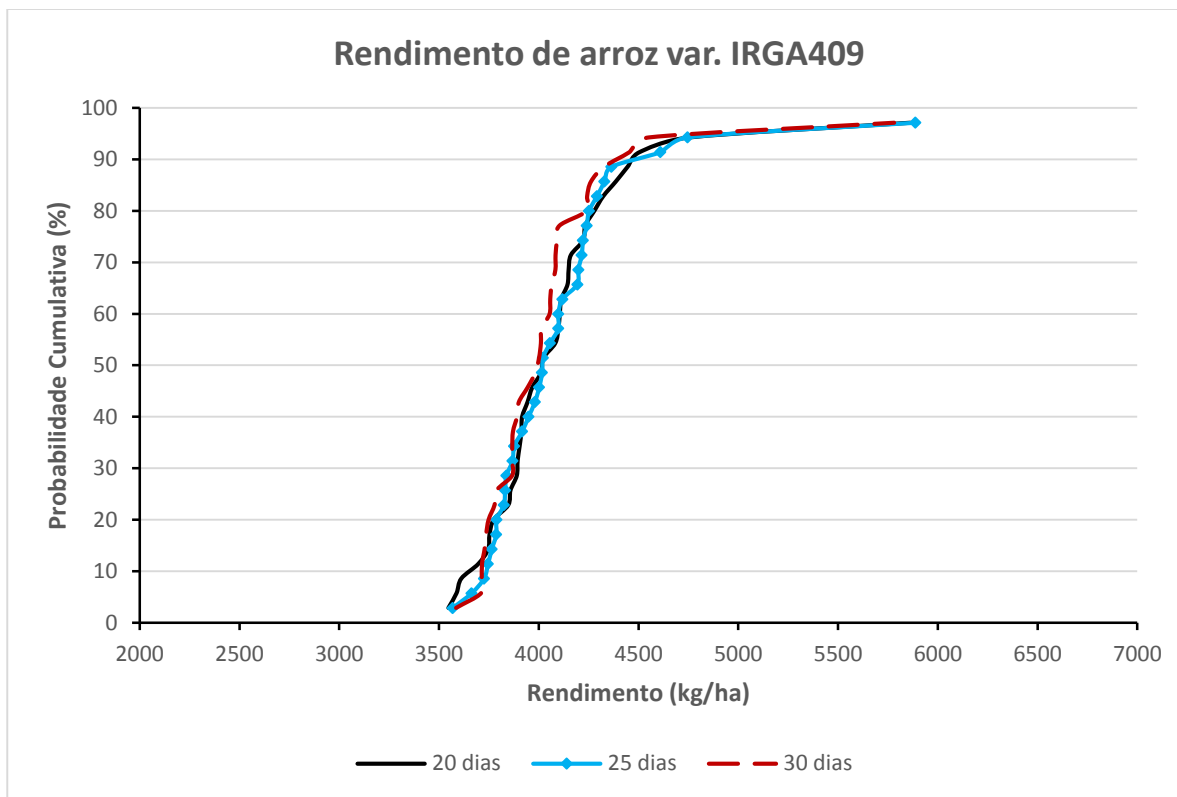


Figura 23. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, para os dias de transplante de 20, 25 e 30, ao longo de 34 anos.

A idade das plântulas na altura do transplante afecta o rendimento do grão do arroz e para este estudo, e para as três variedades, os rendimentos médios mais elevados foram encontrados em plântulas transplantadas de 20, 25 e 30 dias. Rendimentos médios mais baixos foram encontrados em plântulas de 45 e 50 dias. De Datta (1981), recomenda a realização de transplante com plântulas de 20 a 25 dias. Estudo realizado por Menete *et al* (2008) no regadio de Chókwè, reportou o decréscimo do rendimento do arroz variedade ITA312 com o aumento da idade das plântulas de 10, 20 e 30 dias. Tsai e Lai (1987) concluíram que plântulas mais jovens produzem mais espiguetas por panículas em relação às mais velhas. Contudo, Channabasappa (1997), Ashraf *et al* (1999), Alam *et al* (2002), Khakwani *et al* (2005), e Amin e Haque (2009) reportaram melhores rendimentos com plântulas de 30 e 35 dias em relação às mais jovens. Dada a dificuldade de manuseamento de plântulas de 10 dias, devido a fragilidade, não é de recomendar a sua utilização. Diferenças genéticas entre genótipos na

habilidade de resposta ao choque de transplante podem causar diferenças no crescimento e rendimento do grão (Ashraf *et al.*,1999).

4.3.4 Estudo das datas de sementeira mais recomendadas para Chókwè

As datas de sementeira foram determinadas a partir de simulações de 1 de Setembro a 20 de Março. Verificou-se que para a variedade ITA312 as datas que apresentaram melhores rendimentos são 10 de Outubro e 1 de Novembro para transplante e sementeira directa respectivamente (Figuras 24 e 25). O melhor período corresponde ao intervalo de 1 Outubro a 20 Outubro para o transplante e 1 Outubro a 20 Novembro para a sementeira directa.

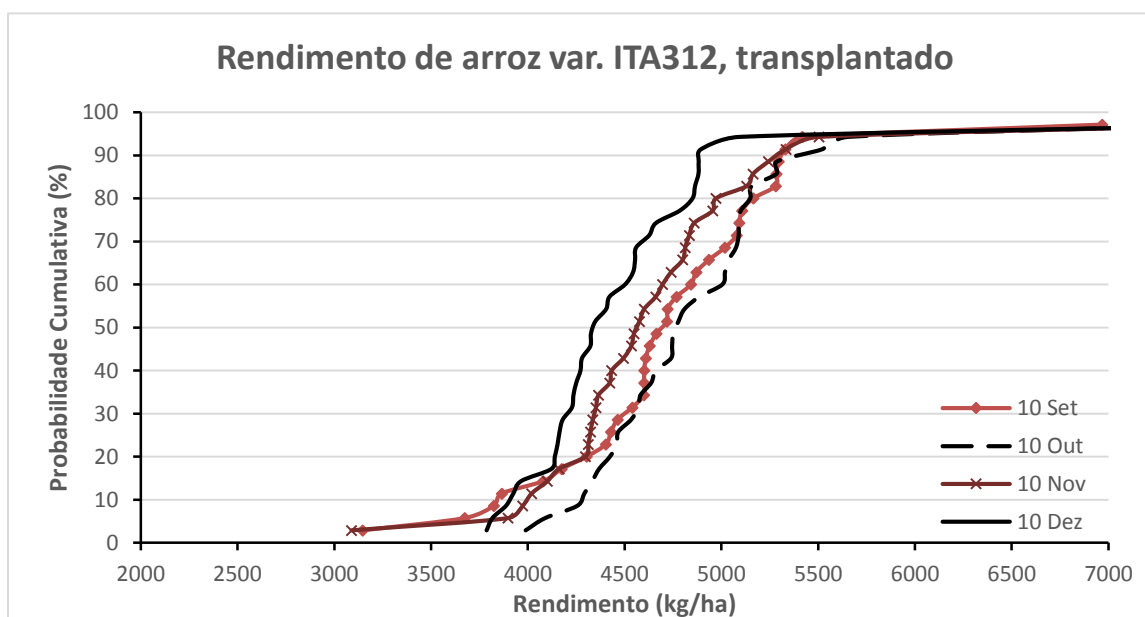


Figura 24. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantedo, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

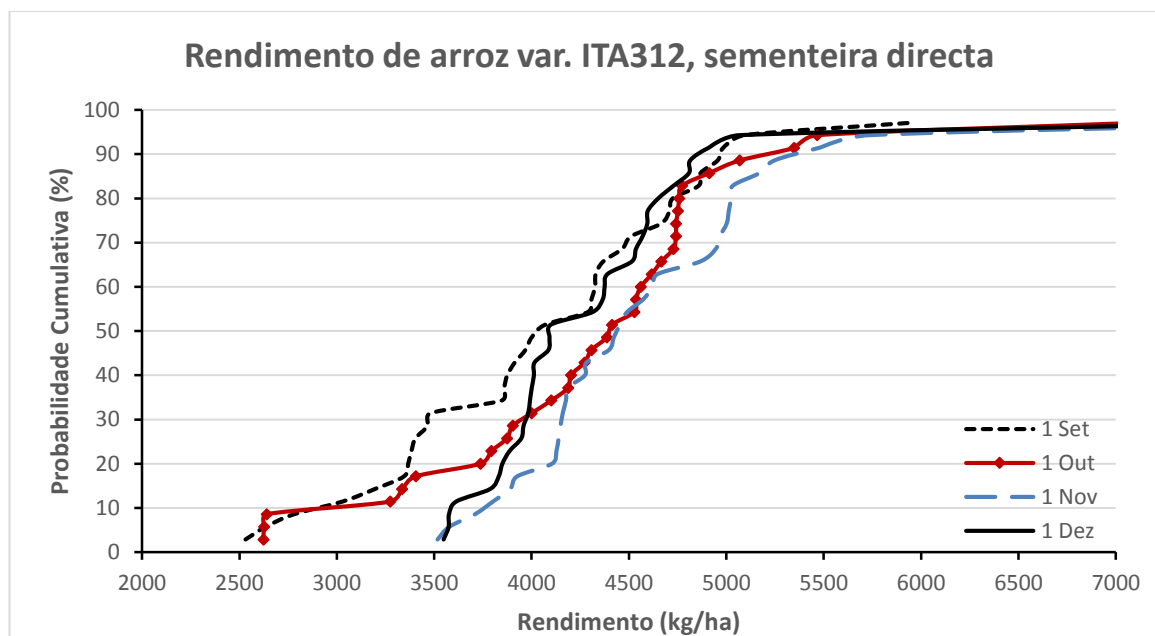


Figura 25. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

Para a variedade Limpopo, o melhor rendimento verificou-se nas sementeiras feitas a 10 de Setembro quer para o transplante, quer para a sementeira directa (Figuras 26 e 27). O melhor período para transplante é de 1 a 20 de Setembro enquanto para a sementeira directa é de 1 Setembro a 10 de Outubro.

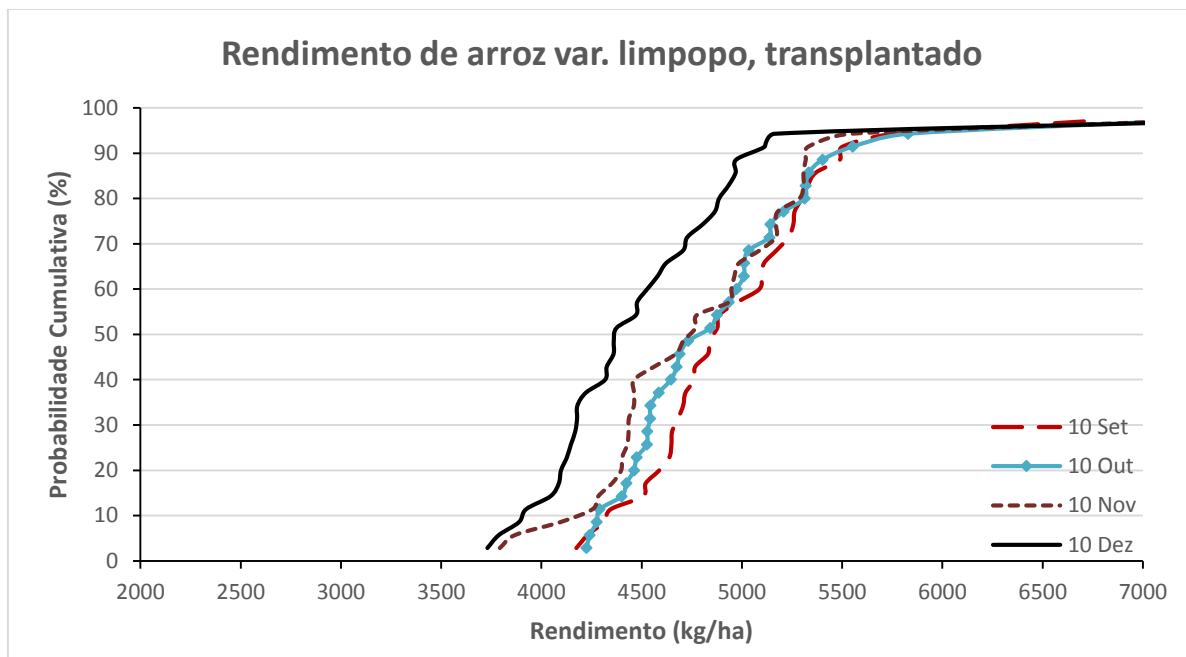


Figura 26. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

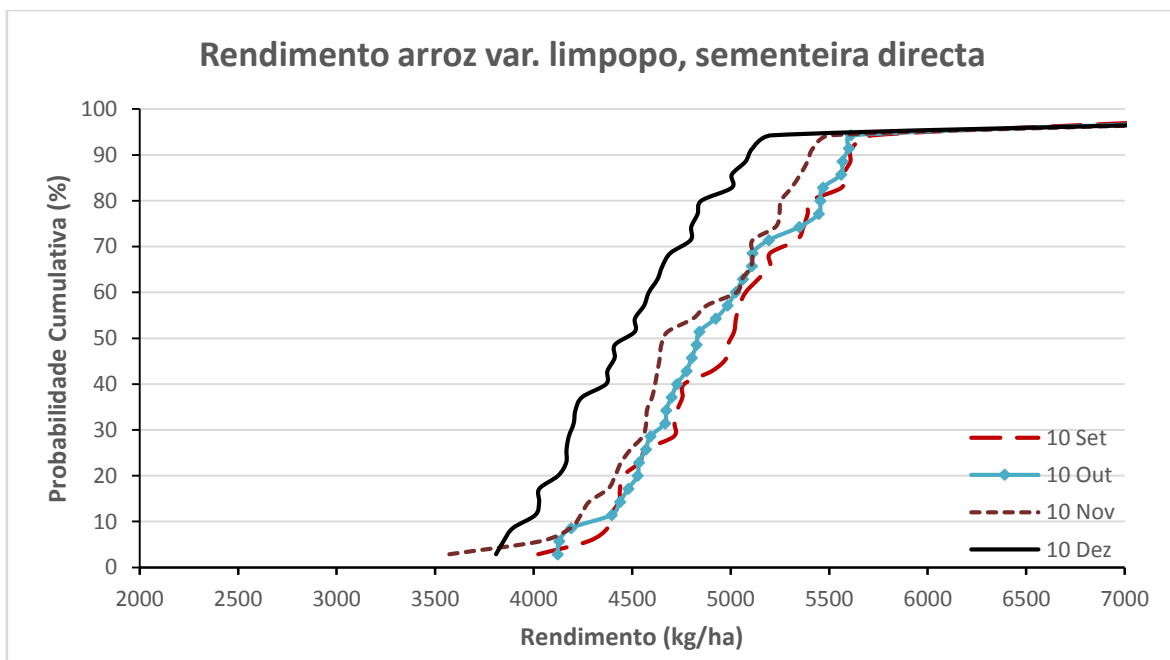


Figura 27. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

A variedade IRGA409 apresentou melhor rendimento na sementeira feita a 1 Setembro para o transplante e 10 Setembro para a sementeira directa (Figuras 28 e 29). O melhor período de sementeira vai de 1 Setembro a 20 Setembro para o transplante e de 1 Setembro a 10 Outubro para a sementeira directa.

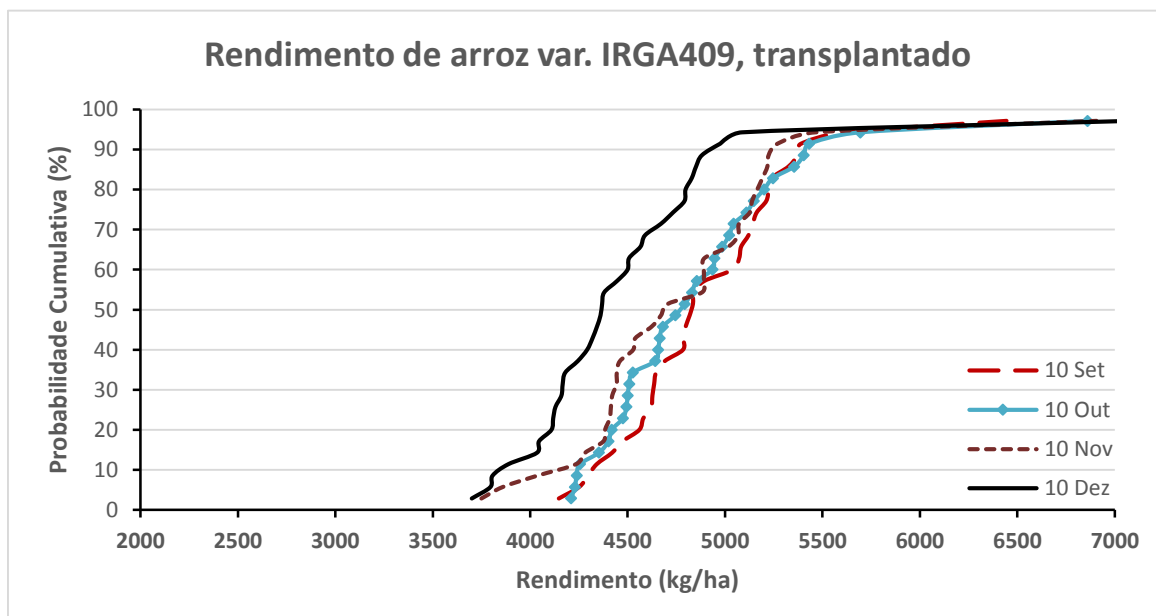


Figura 28. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, transplantedo, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

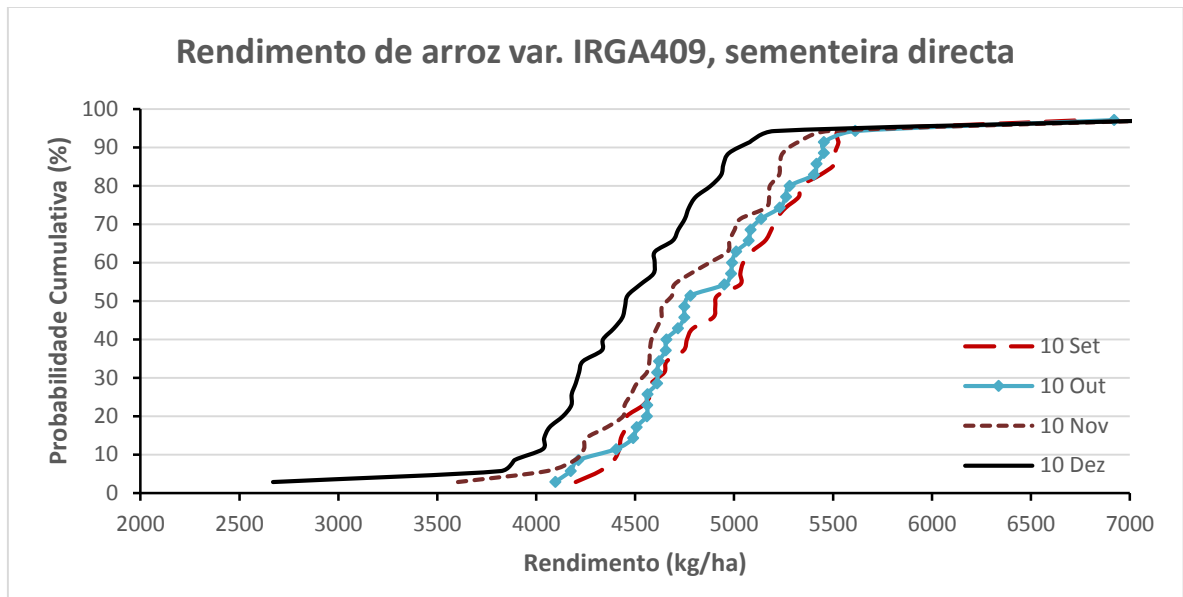


Figura 29. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

Os rendimentos médios de simulação para o período de 1 de Setembro a 20 de Março para as três variedades constam do anexo 14. Pode-se ver uma redução significativa do rendimento para sementeiras feitas de Fevereiro a Março.

A produção de arroz no regadio de Chókwè é feita com recurso a rega por gravidade, sendo assim a determinação do melhor período de sementeira não leva em consideração a época da chuva. Apenas factores climáticos como temperatura e radiação são levados em consideração. Tradicionalmente a sementeira de arroz em Chókwè é feita de Outubro a Dezembro que coincide com a época das chuvas. Os resultados obtidos através da simulação com o modelo APSIM para variedades Limpopo e IRGA409 ultrapassam este intervalo colocando como período óptimo também o mês de Setembro. Este intervalo encontra-se dentro do intervalo recomendado nas normas técnicas (IIAM e FAEF, 2010), que é de Setembro a Dezembro. Segundo Mabbayad *et al* (1992) no regadio de Chókwè as sementeiras tardias de arroz tem sofrido efeitos de baixas temperaturas durante o período da floração, no mês de Abril, resultando numa diminuição de rendimento. Por outro lado, sementeiras muito cedo sofrem de temperaturas baixas na fase vegetativa inicial resultando num crescimento lento e ciclo

longo de cultura. Também sofrem de ataques de pássaros em Dezembro e Janeiro e estão expostas ao período chuvoso na fase de maturação, nos meses de Janeiro e Fevereiro.

4.4 Avaliação da produtividade do arroz para as condições de Chókwè

A variedade Limpopo transplantada apresentou maior rendimento médio com 5 636 kg/ha e maior rendimento mínimo de 4 831 kg/ha (figura 30). A variedade ITA312 apresentou menor rendimento médio e maior rendimento máximo com valores de 5 395 e 7 426 kg/ha respectivamente. A variedade IRGA409 apresentou menor rendimento mínimo com 3 563 kg/ha. Este rendimento mínimo da variedade IRGA409 foi verificado no ano de 1993 e no dia de transplante a radiação foi de 8 Mj.m⁻² e a temperatura média de 20°C. Estes valores baixos de radiação e de temperatura afectaram o restabelecimento das plantas no campo definitivo, resultando em rendimento mais baixo, como sugeriu (Salam *et al*, 2001).

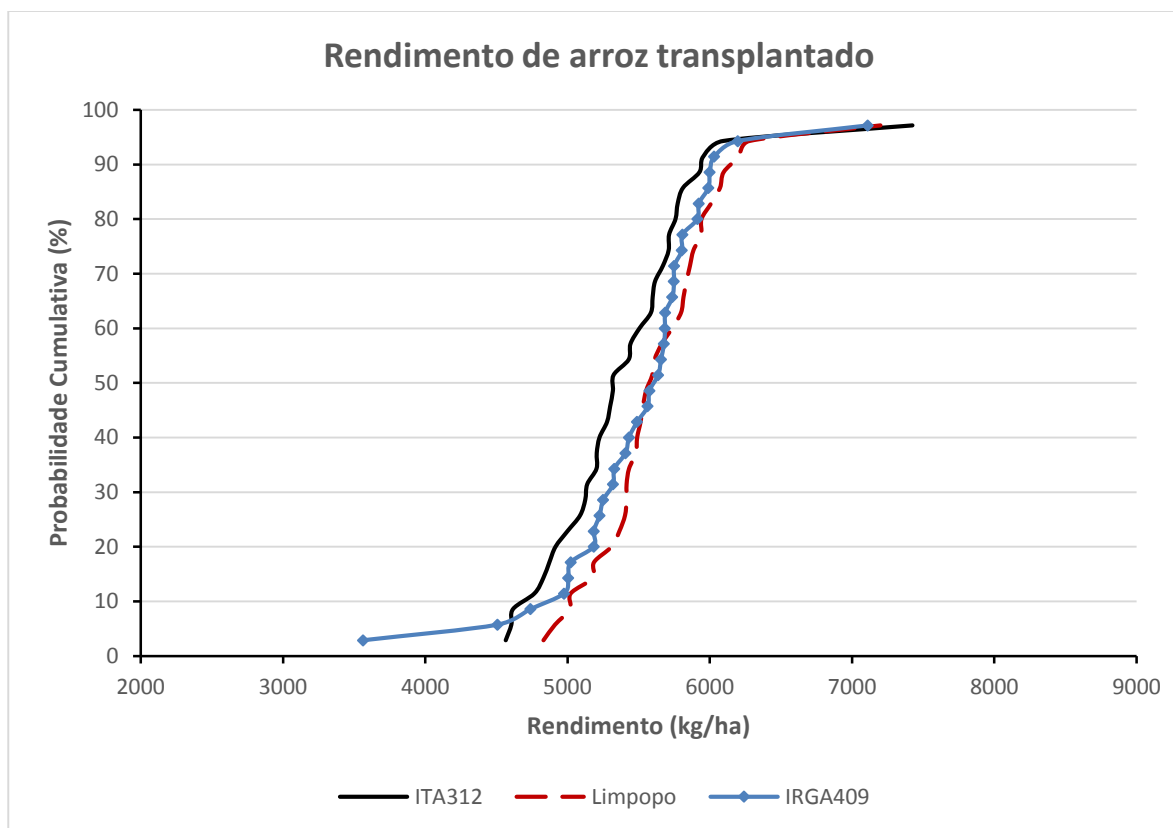


Figura 30. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, transplantedo, nas melhores condições de manejo, ao longo de 34 anos.

Para sementeira directa (Figura 31) a variedade Limpopo apresentou melhor rendimento médio com 5 517 kg/ha, seguido das variedades IRGA409 e ITA312 com 5 452 e 5 202 kg/ha, respectivamente. A variedade ITA312 apresentou maior rendimento máximo com 8 616 kg/ha. Os rendimentos mínimos estão aproximados com valores de 4 142, 4 238 e 4 412 kg/ha para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409, respectivamente. Estas simulações provaram que há uma diferença entre o potencial das variedades produzidas e o rendimento máximo actualmente obtido. A variedade ITA312 obteve nas simulações um rendimento potencial de 8 616 e 7 426 kg/ha para sementeira directa e transplante respectivamente, contra o máximo previsto de 6 000 kg/ha (MADER, 2001). A variedade Limpopo apresentou um rendimento potencial de 7 527 e 7 111 para sementeira directa e transplante respectivamente, contra 7 000 kg/ha (MADER, 2001). A variedade IRGA409 obteve um

rendimento potencial de 7 166 e 7 112 kg/ha para sementeira directa e transplante respectivamente, contra o máximo previsto de 6 200 kg/ha.

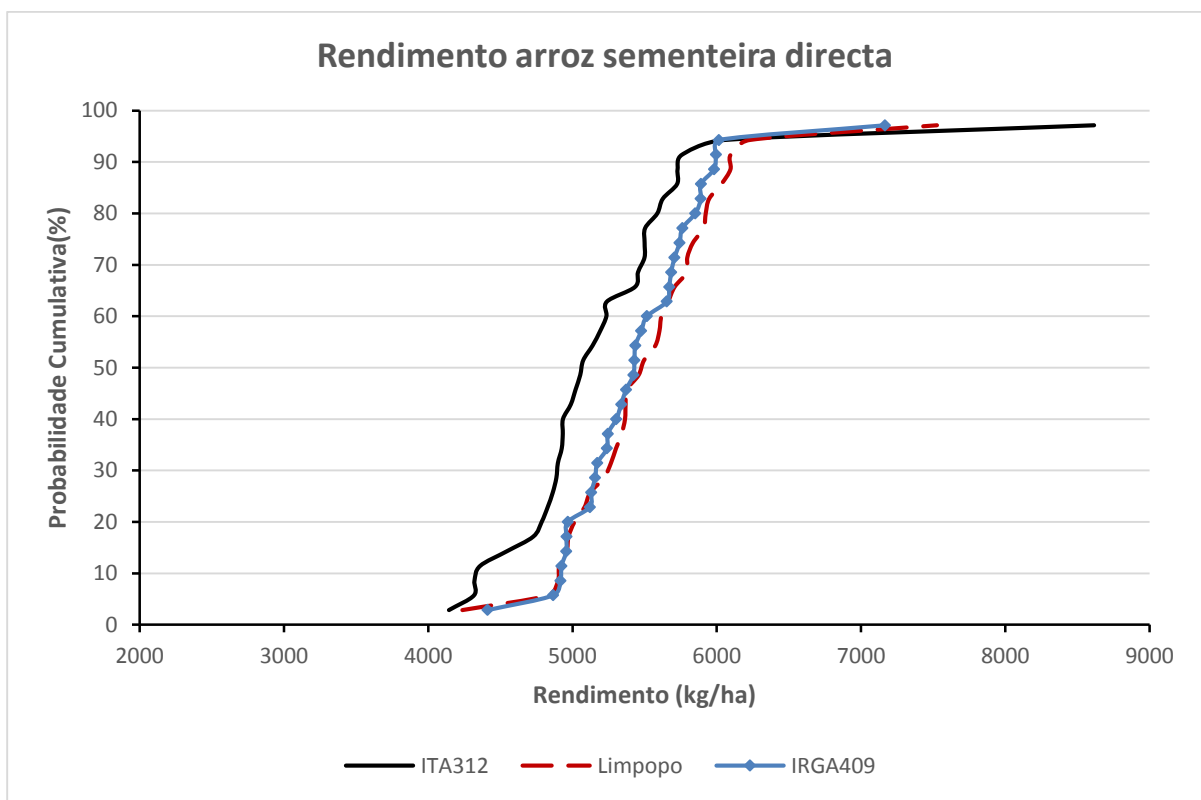


Figura 31. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedades ITA312, limpopo e IRGA409, sementeira directa, nas melhores condições de manejo, ao longo de 34 anos.

Tanto para transplante como para sementeira directa a variedade Limpopo apresentou maior estabilidade nos rendimentos em relação as restantes. Quando o objectivo é minimizar os riscos de produção, é de recomendar a utilização desta variedade, por garantir um rendimento mínimo mais elevado. Para o sector empresarial com mais capacidades de gestão dos campos é de recomendar a utilização da variedade ITA312, por ser aquela que pode trazer rendimentos mais altos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Os resultados do presente estudo sobre a calibração do modelo APSIM e simulação da produção da cultura de arroz no Chókwe levam a seguintes conclusões:

- O modelo APSIM 7.6 foi calibrado e validado satisfatoriamente para simular o rendimento do grão e da biomassa aérea para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 para os regimes de sementeira directa e transplante, para as condições agro-ecológicas de Chókwe.
- O estudo de níveis de água na bacia indicam que 50-100 mm é o mais recomendado para a produção do arroz para as variedades ITA312, Limpopo e IRGA409 no Chókwe.
- O estudo de estratégias de transplante indicou que plântulas transplantadas de 20 a 30 dias resultam em melhores rendimentos.
- O melhor período de sementeira no Chókwe corresponde aos meses de Setembro a Novembro para as variedades Limpopo e IRGA409 e Outubro a Novembro para a variedade ITA312, sendo que a variedade Limpopo apresentou maior rendimento médio de 5 517 kg/ha.

5.2 Recomendações

O presente estudo indicou que o aumento da adubação com nitrogénio aumenta o rendimento, porém, não foi possível concluir sobre o nível mais recomendado por falta de uma avaliação económica. Aparentemente os níveis de adubação actualmente usados de 150 kg/hectare pareçam adequados, se recomenda um estudo adicional neste sentido para a definição do nível óptimo.

Estando parte dos solos do regadio de Chókwè a apresentar problemas de salinidade, recomendam-se igualmente estudos do efeito da salinização dos solos na formação do rendimento do arroz, aplicando-se o modelo APSIM.

Aos investigadores, recomenda-se a colecta e a sistematização da informação fenológica (data de sementeira, emergência, data de floração, maturação, data da colheita, rendimento do grão e da biomassa aérea, número de plantas inicial e final); manejo da cultura com vista a aumentar a informação científica, permitindo a repetição das condições do ensaio e apoio no uso de modelos de simulação de produção, pois esta foi uma das limitações enfrentadas durante o presente estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrifood Consulting International, 2005. Development Strategy for the Rice Sector in Mozambique. Synthesis of Final Report prepared for the Cooperazione Italiana. Maputo, 140p.
- Ahmed, N., Eunos, M., Latif, M., Ahmed, Z., Rahman, M., 1998 Effect of nitrogen on yield, yield componentes and contribution from the pre-anthesis assimilates to grain yield of three photosensitive rice (*Oryza sativa L.*) cultivars. Bangladesh Rice Reseach Institute, 26, 35 - 45.
- Alam, M., Ahamed, M., Alam, S., Haque, M., Hossin, M., 2002. Performance of seedling age and seedling raising technique on yield and yield components of transplanted aman rice. Pakistan J Biol Sci 5 (11), 1214 - 1216.
- Alvarez, R., Crusciol, C., Rodrigues, J., Alvarez, A., 2006. Marcha de absorção de nitrogénio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. Cientifica, Jaboticabal, 3 (2), 162 - 269.
- Amin, A. e Haque M., 2009. Seedling age influence rice (*Oryza sativa L.*) performance. Philipine Journal of Science 138, 219 - 226.
- Anbumozhi V, Yamaji E, Yabuchi T., 1998. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level, Agric. Water Managment. 37, 241 - 253.
- Andrade, C., Amaral, T., Borges Júnior, J., Heinemann; A., Garcia, A., Tojo-Soler, C., Silva, D., Hickmann, C., Santana, C., Moura, B., Castro, L., 2009. Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho. Embrapa.Documentos 91, 65p.
- Artacho, P., Meza, F., and José Antonio Alcalde, J., 2011. Evaluation of the Oryza2000 rice model under nitrogen-limited conditions in an irrigated mediterranean environment. Chilean jornal of agricultural research 71 (1), 23 - 33.

- Ashraf, M., Khalid, A., e Ali, K., 1999. Effect of seedling age and density on growth and yield of rice in salin soil. *Pakistan Journal of biological sciences*. 2 (3), 860 - 862.
- Boulala, H.; Gómez-Macpherson, H. e Villalobosa, F., 2012. Permanent bed planting in irrigated Mediterranean conditions: short-term effects on soil quality, crop yield and water use efficiency. *Field Crops Research*, 130, 120 - 127.
- Bouman, B., Kropff, M., Toung, T., Wopereis, M., Ten Berge, H., Van Laar, H., 2001. *Oryza2000: Modelling Lowland rice*. Internacional Rice Research Institute and Wageningen University and Research centre, Los Banõs, Philippines, Wageningen. 235p.
- Bouman, B. e Van Laar, H., 2006. Description and evaluation of rice growth model Oryza2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural systems*, Essex, 87 (3), 249 - 273.
- Bremner, M., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Journal of Agricultural Science* 55, 11 - 33.
- Bremner, J., 1996. Nitrogen-Total. In : *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book Series No 5, pp. 1085 - 1122.
- Channabasappa, K., Reddy, B., Dineskhumar, M., 1997. Response of rice (*Oryza sativa*) genotypes to age and number of seedlings under late planted conditions. *Karnataka J Agric Sci* 10, 1184 - 1185.
- Cunguara, B. e Hanlon, J., 2010. Poverty is not being reduced in Mozambique. Crisis State Research Centre, Working Paper 74, 1749 - 1797.
- De Datta, S., 1981. Principles and practices of rice production. International Rice Research Institute, Los Banos, 618p.

- FAEF. 2001. Programa Competir- Diagnóstico da Fileira Agrícola (Região Agrícola do Chókwè). Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. 158p.
- FAO, 1984. Agroclimatological Data for Africa. Vol. II. Rome, 504p.
- FAO, 2006. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome, 174p.
- FAO, 2013. FAO Statistical Database. <http://faostat.fao.org/site/567/desktopdefault.aspx#anchor> visitado em 10.01.2015.
- Gaydon, D., Proberta, M., Buresh, R., Meinke, H., Suriadid, A., Dobermann, A., Bouman, B., Timsina, J., 2012. Modelling the role of algae in rice crop nutrition and soil organic carbon maintenance. *European Journal of Agronomy* 39, 35 - 43.
- Gee, G., Bauder, J., 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series 5, 377 - 381.
- GoM (Governo de Moçambique), 2011. *Towards Implementation of National Rice Development Strategies of Mozambique*. Maputo. 6p.
- Horie, T., 1993. Predicting the effects of climatic variation and effect of CO₂ on rice yield in Japan. *Japan Agricultural Meteorology*. Tokyoo, 48, 567 - 574.
- Horie, T., 1998. The effects of climatic variations on agriculture in Japan: the effects on rice yields in Hokkaido. In: Parry, M.; Carter, T.; Konijn, N. *The impact of climatic variations on agriculture, assessments in cool temperature and cold regions*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 5, pp. 809 - 826.
- IIAM e FAEF, 2010. *Fichas técnicas de culturas*. 1ª Edição. Maputo, 247p.
- INIA/UEM, 1995. *Manual para a Descrição do Solo e Codificação para o Banco de Dados (SDB), Série Terra e Água, Comunicação nº 74*, Maputo, 87p.

- Kajisa, K. e Payongayong, E., 2011. Potential of and constraints to the rice green revolution in Mozambique: a case study of the Chókwè irrigation scheme. *Food policy*. 36, 615 - 626.
- Keating, B., Carberry, P., Hammer, G., Probert, M., Robertson, M., Holzworth, D., Huth, N., Hargreaves, J., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R., Freebairn, D., Smith, C., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*. 18, 267 - 288.
- Khakwani, A., Shiraishi, M., Zubair, M., Baloch, S., Naveed, K., Awan, I., 2005. Effect of seedling age and water depth on morphological and physiological aspects of transplanted rice under high temperature. *Journal of Zhejiang University Science*. 6 (5), 389 - 395.
- Loague, K. e Green, R., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*. 7, 51 - 73.
- Lorençoni, R., 2009. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para a arroz de terras altas no Brazil. Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. Piracicaba. 86p.
- Luzzardi, R., Saraiva, C., Bock, F., Weber, L., Pasqualli, L., 2005. Avaliação preliminar da produtividade em campo e qualidade industrial de híbridos de arroz no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. 567 (1), 70 - 72.
- Mabbayad, B., Zandamela, C.B., Tesinde, N., Quetano, A., 1992. Response of some rice varieties planting date. INIA. Série Investigação n° 13, 20p.
- Martin, J., Leonard, W., 1967. Principles of Field Crop Production. Macmilan Company Limited, London, Second Edition. 1044p.
- MADER (Ministerio da Agricultura e Desenvolvimento Rural), 2001. Descrição de Variedades Libertadas (*Oryza sativa L.*). Departamento de Sementes. Maputo-Moçambique, 74p.

- McCown, R., Hammer G., Hargreaves, J., Holzworth, D., Freebairn, D. e Huth N., 1995. APSIM: an agricultural production system simulation model for operational research. *Agricultural Production Systems Research, Mathematics and Computers in Simulation* 39, 225 - 231.
- Menete, M., Van Es, H., Brito, R., DeGloria, S., Famba, S., 2008. Evaluation of system of rice intensification (SRI) component practices and their synergies on salt-affected soils. *Field Crops Research* 109, 34 - 44.
- MINAG (Ministério da Agricultura), 2010. Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Sector Agrário (PEDSA 2010 - 2019). Maputo, 55p.
- Mudema, J., Manjate, G., 2014. Rentabilidade da produção de arroz com utilização de um pacote tecnológico melhorado, no regadio de Chókwè, província de Gaza. IIAM Relatório Preliminar de Pesquisa No. 9, 28p.
- Mungumbe, P., 2004. Evolução da Salinidade no Regadio de Chókwè, concretamente nos solos do distribuidor D11. Universidade Eduardo Mondlane. Dissertação de mestrado. Maputo. 74p.
- Nasa, (National Aeronautics and Space Administration) 2014. NASA Surface meteorology and Solar Energy: Daily Averaged Data. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/daily.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>. visitado em 04.04.2014.
- Pedroso, B., 1989. Arroz irrigado: obtenção e manejo de culturas. 3 ed. Porto Alegre. 179p.
- Penning de Vries, F. e Van Laar, H., 1982. Simulation of plant growth and crop production. Centre for agricultural publishing and documentation, Wageningen. 320p.
- Penning de Vries, F., Jansen, D., ten Berger, H., Bakena, A., 1991. Simulation of ecophysiological process of growth in several annual crops. *Agricultural Systems*. 36 (2), 244 - 258.

- Pennock, D., Yates, T., Braidek, J., 2006. Soil sampling designs. In: Carter, M. e Gregorich, E., (Eds), Soil Sampling and Methods of Analysis. Second Edition. Canadian Society of Soil Science, pp. 1 - 14.
- Rahman, M., Ali, M., Ali, M. e Khatun, M., 2007. Effect of Different Level of Nitrogen on Growth and Yield of Transplant Aman Rice cv brrí dhan32. Bangladesh Rice Research Institute, Joydevpur. Crop Prod. 2 (1), 28 - 34.
- Ritchie, J. 1992. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research. Washington. 8, 1204 - 12013.
- Salam, M., Jones, J., e Kobayashi, K., 2001. Predicting nursery growth and transplanting shock in rice. Expl Agric. 37, 65 - 81.
- Sena, D., Yadav, R., Mishra, P., Kumar, S., Chayna, C., Patra, S. e Sharma, D., 2012. Simulating the Effect of Transplanting Dates and Irrigation Schedules on Water Productivity of Irrigated Rice in Upper IGP using The APSIM Model. In: Gaydon, D., Saiyed, I., Roth, C., (Eds), The SAARC-Australia Project- Developing Capacity in Cropping Systems Modelling for South Asia, Edition: 1, Chapter: 7, SAARC Agriculture Centre, pp. 87 - 103.
- Suriadi, A., 2010. Field Evaluation and modelling of water and nitrogen management strategies in tropical lowland rice-based production system. Tese de Doutorado. University of Southern Australia, 214p.
- Talpur, M, Changying, J., Junejo, S, Tagar, A. e Ram, B., 2013. Effect of different water depths on growth and yield of rice crop. African Journal of Agricultural Research. 8 (37), 4654 - 4659.
- Touber, L. e Noort L., 1985. Avaliação de terra para agricultura regada na área do “SIREMO”, vale do Limpopo. INIA. Série terra e água. Comunicação 26 vol 2, 56p.
- Tsai, Y., Lai K., 1987. Effect of seedling age on the growth and development of rice in different cropping season. J Agric Assoc China 138, 63 - 86.

- USDA (United State Department of Agriculture), 2005. Field Crops production. Disponível em <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdhome.aspx>. visitado em 19/12/12.
- Willmott, C., Ackleson, G., Davis, R., Feddema, J., Klink, K., Legates, D., O'donnell, J., Rowe, C., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. J. Geophys. Res. 90, 8995 - 9005.
- Yamamoto, Y., Maeda, K. e Hayashi, K., 1978. Studies on transplanting injury in rice plant. 1. The effects of root cutting treatments on the early growth of rice seedlings after transplanting. Japanese Journal of Crop Science 47, 31 - 38.
- Yamamoto, Y. e Hisano, K., 1990. Studies on transplanting injury in rice plant. 1. Effects of shot pruning on the early growth of rice seedlings after transplanting. Japanese Journal of Crop Science 59, 312 - 320.
- Yoshida, Y., 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute. Manila, 269p.
- Zandamela, C., 2004. Técnicas de Produção de Arroz. Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural, Direcção Nacional de Extensão Rural. Maputo. 48p.
- Zhang, X., Meinke, H., Devoil. P., Van Larr, G., Bouman, B., Abawi, Y., 2004. Simulating growth and development of lowland rice in APSIM. Disponível em http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/8/1212_zhang.htm. visitado em 28/06/2014.
- Zhang, X., Jae-Hong Lee, Abawi, Y. , Young-ho Kim, Hee-Dong Kim, 2007. Testing the simulation capability of APSIM-ORYZA under different levels of nitrogen fertiliser and transplanting time regimes in Korea. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47, 1446 - 1454.

7. ANEXOS

Anexo 1: Medição da área para estimativa do rendimento.



Figura 32. Medição da área para estimativa de rendimento

Anexo 2: Digital Grain Moisture meter



Figura 33. Digital grain moisture meter

Anexo 3: Fórmula de Angstron

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

Onde:

- R_s – Radiação solar (MJ.m⁻²d⁻¹)
- n – insolação actual (horas)
- N – insolação máxima possível (horas)
- R_a – radiação extraterrestre (MJ.m⁻²d⁻¹)
- a_s e b_s – constantes (assumiu-se 0.25 e 0.50)

Anexo 4: dados de cultura usados para a validação do modelo

Variedade ITA312 - Sementeira Directa

Campanha agrícola	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014
Estágios fenológicos									
Sementeira	14/11/2013	19/11/2013	11/11/2013	15/11/2013	07/11/2011	17/10/2013	07/11/2011	21/11/2013	14/11/2013
Floração	14/02/2014	19/02/2014	11/02/2014	14/02/2014	08/02/2012	18/01/2014	07/02/2012	24/02/2014	14/02/2014
Maturação	25/03/2014	02/04/2014	23/03/2014	25/03/2014	18/03/2012	26/02/2014	18/03/2012	24/04/2014	25/03/2014
Colheita	04/04/2014	11/04/2014	02/04/2014	04/04/2014	26/03/2012	01/04/2014	26/03/2012	29/04/2014	04/04/2014
Maneio									
Densidade (plantas/m ²)	100	211	178	205	167	216	100	100	154
Adubação (fórmula)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)
1ª Adubação (data)	16/11/2013	19/11/2013	11/11/2013	14/11/2013	07/11/2011	17/10/2013	07/11/2011	21/11/2013	14/11/2013
2ª Adubação (data)	09/12/2013	14/12/2013	09/12/2013	09/12/2013	03/12/2011	12/11/2013	03/12/2011	24/12/2013	09/12/2013
3ª Adubação (data)	15/01/2014	14/01/2014	12/01/2014	15/01/2014	06/01/2012	16/12/2013	06/01/2012	21/01/2014	15/01/2014
1ª Adubação (kg/ha)	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
2ª Adubação (kg/ha)	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
3ª Adubação (kg/ha)	45	45	45	45	45	45	45	45	45
1ª Sacha	03/12/2013	04/12/2013	25/11/2013	01/12/2013	22/11/2011	01/11/2013	22/11/2011	09/12/2013	01/12/2013
2ª Sacha	21/12/2012	22/12/2013	14/12/2013	19/12/2012	07/12/2011	16/11/2013	07/12/2011	30/12/2013	19/12/2012
1ª Rega	01/11/2013	19/11/2013	1/11/2013	01/11/2013	07/11/2011	17/10/2013	07/11/2011	01/11/2013	01/11/2013
Início Inundação	07/12/2013	20/12/2013	07/12/2013	07/12/2013	07/12/2011	10/11/2013	07/12/2011	07/12/2013	07/12/2013
Fim inundação	10/03/2014	15/03/2014	10/03/2014	10/03/2014	10/03/2012	1/02/2014	10/03/2012	10/03/2014	10/03/2014
Fim rega	10/03/2014	15/03/2014	10/03/2014	10/03/2014	10/03/2012	1/02/2014	10/03/2012	10/03/2014	10/03/2014
Nível de água (mm)	30-70	50-120	50-100	50-95	50-115	50-90	50-120	50-80	30-70
Rend Grão (kg/ha)	5011.1	6546.8	6375.4	7068.1	6492.6	4503.3	7603.6	3897.4	5011.1
Biomassa (kg/ha)	16409.7	17332.6	20132.2	16010.2	20113.5	15981.6	16542.1	-	-

Variedade Limpopo - Sementeira Directa

Variedade IRGA409 - Sementeira Directa

Campanha agrícola	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014		2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014
Estágios fenológicos									
Sementeira	17/10/2013	14/11/2013	07/11/2011	17/11/2013		17/10/2013	14/11/2013	17/11/2013	07/11/2013
Floração	06/01/2014	02/02/2014	28/01/2012	05/02/2014		06/01/2014	02/02/2014	05/02/2013	27/01/2014
Maturação	09/02/2014	08/03/2014	01/03/2012	10/03/2014		07/02/2014	05/03/2014	08/03/2014	27/02/2014
Colheita	17/02/2014	17/03/2014	07/04/2012	17/03/2014		14/02/2014	08/03/2014	15/03/2014	06/03/2014
Maneio									
Densidade (plantas/m ²)	117	124	100	112		106	142	176	142
Adubação (fórmula)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)		Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)
1ª Adubação (data)	17/10/2013	14/11/2013	07/11/2011	17/11/2013		17/10/2013	14/11/2013	17/11/2013	07/11/2013
2ª Adubação (data)	16/12/2013	13/01/2014	12/12/2011	16/01/2014		16/11/2013	06/12/2014	13/12/2013	03/12/2013
3ª Adubação (data)	05/01/2014	02/02/2014	11/01/2012	05/02/2014		16/12/2013	15/01/2014	16/01/2014	06/01/2014
1ª Adubação (kg/ha)	52.5	52.5	52.5	52.5		52.5	52.5	52.5	52.5
2ª Adubação (kg/ha)	52.5	52.5	52.5	52.5		52.5	52.5	52.5	52.5
3ª Adubação (kg/ha)	45	45	45	45		45	45	45	45
1ª Sacha	04/11/2013	29/11/2013	22/11/2011	07/12/2013		03/11/2013	01/12/2013	02/12/2013	25/11/2013
2ª Sacha	24/11/2013	19/12/2013	21/01/2012	27/12/2013		26/11/2013	22/12/2013	20/12/2013	13/12/2013
1ª Rega	17/10/2013	14/11/2013	01/11/2011	17/11/2013		17/10/2013	14/11/2013	17/11/2013	01/11/2013
Início Inundação	07/11/2013	07/12/2013	07/12/2011	17/12/2013		07/11/2013	07/12/2013	07/12/2013	07/12/2013
Fim inundação	10/02/2014	11/03/2014	28/02/2012	15/03/2014		01/02/2014	02/03/2014	15/03/2014	10/03/2014
Fim rega	10/02/2014	11/03/2014	28/02/2012	15/03/2014		01/02/2014	02/03/2014	15/03/2014	10/03/2014
Nível de água (mm)	50-70	50-90	50-100	50-100		50-80	50-85	50-100	50-100
Rend Grão (kg/ha)	7273.3	6541.4	6586.9	5708.4		4598.3	6254.6	7043.2	6587.3
Biomassa (kg/ha)	16766.8	17466.5	16775.7	14601.6		16846.9	13547.8	16936.2	15144.6
Fonte:									

Variedade ITA312 - Transplante

Variedade Limpopo - Transplante

Campanha agrícola	2013/2014	2013/2014	2013/2014		2013/2014	2013/2014	2013/2014
Estágios fenológicos							
Sementeira	21/11/2013	18/12/2013	07/11/2013		21/11/2013	18/12/2013	07/11/2013
Transplante	26/12/2013	17/01/2014	05/12/2013		26/12/2013	17/01/2014	15/12/2013
Floração	05/03/2014	31/03/2014	17/02/2014		20/02/2014	18/03/2014	15/02/2014
Maturação	16/04/2014	15/05/2014	29/03/2014		29/03/2014	24/04/2014	21/03/2014
Colheita							
Manejo							
Densidade (plantas/m ²)	60	60	60		60	60	60
Adubação (fórmula)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)		Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)
1ª Adubação (data)	26/12/2013	17/01/2014	05/12/2013		26/12/2013	17/01/2014	15/12/2013
2ª Adubação (data)	20/01/2014	11/02/2014	06/01/2014		20/01/2014	03/03/2014	06/01/2014
3ª Adubação (data)	-	-	30/01/2014		-	-	30/01/2014
1ª Adubação (kg/ha)	50	50	52.5		50	50	52.5
2ª Adubação (kg/ha)	50	50	52.5		50	50	52.5
3ª Adubação (kg/ha)	-	-	45		-	-	45
1ª Sacha	21/12/2013	02/01/2014	02/12/2012		20/01/2014	04/02/2014	30/12/2013
2ª Sacha	-	22/01/2014	-		-	-	19/01/2014
1ª Rega	21/11/2013	19/11/2013	07/11/2013		01/12/2013	19/11/2013	07/11/2013
Início Inundação	21/11/2013	19/11/2013	07/12/2013		01/12/2014	19/11/2013	07/12/2013
Fim inundação	01/04/2014	02/05/2014	20/03/2014		20/03/2014	16/04/2014	05/03/2014
Fim rega	01/04/2014	02/05/2014	20/03/2014		20/03/2014	16/04/2014	05/03/2014
Nível de água (mm)	30-65	50-90	50-90		30-62	50-120	50-120
Rend Grão (kg/ha)	4560.2	4994.3	6751.4		2879.9	5706.7	6427.5
Biomassa (kg/ha)	15976.4	15703.1	17466.7		12376.4	13055.3	17433.3

Variedade IRGA409 - Transplante

Campanha agrícola	2013/2014	2013/2014	2013/2014	2013/2014
Estágios fenológicos				
Sementeira	28/11/2013	21/11/2013	18/12/2013	07/11/2013
Transplante	27/12/2013	26/12/2013	17/01/2014	05/12/2013
Floração	24/02/2014	20/02/2014	17/03/2014	04/02/2014
Maturação	30/03/2014	25/03/2014	18/04/2014	08/03/2014
Colheita				
Manejo				
Densidade (plantas/m ²)	60	60	60	60
Adubação (fórmula)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)	Ureia (46% N)
1ª Adubação (data)	27/12/2013	26/12/2013	17/01/2014	05/12/2013
2ª Adubação (data)	22/01/2014	20/01/2014	11/02/2014	03/01/2014
3ª Adubação (data)	14/02/2014	-	-	20/01/2014
1ª Adubação (kg/ha)	52.5	50	50	52.5
2ª Adubação (kg/ha)	52.5	50	50	52.5
3ª Adubação (kg/ha)	45	-	-	45
1ª Sacha	13/01/2014	15/01/2014	04/02/2014	20/12/2013
2ª Sacha	-	30/01/2014	-	09/01/2014
1ª Rega	07/11/2013	21/11/2013	18/12/2013	07/11/2013
Início Inundação	07/11/2013	01/12/2013	18/12/2013	07/12/2014
Fim inundação	20/03/2014	05/03/2014	10/04/2014	05/03/2014
Fim rega	20/03/2014	05/03/2014	10/04/2014	05/03/2014
Nível de água (mm)	50-100	50-80	50-90	50-100
Rend Grão (kg/ha)	4598.3	3062.3	5142.7	6587.3
Biomassa (kg/ha)	16846.7	13047.8	12936.2	15144.6

Anexo 5: Parâmetros de solo calibrados

Tabela 8. *Parâmetros de solo calibrados*

Camada do solo (cm)	Densidade aparente (g/cc)	Air Dry mm/mm	LL15 mm/mm	DUL mm/mm	SAT mm/mm	KS mm/dia
0-10	1.416	0.118	0.235	0.386	0.436	24.000
10-25	1.414	0.195	0.243	0.387	0.437	24.000
25-45	1.351	0.282	0.282	0.410	0.460	24.000
45-55	1.320	0.282	0.282	0.422	0.472	24.000
55-75	1.320	0.282	0.282	0.422	0.472	24.000
75-100	1.320	0.282	0.282	0.422	0.492	2.420

Anexo 6: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade ITA312, transplantado.

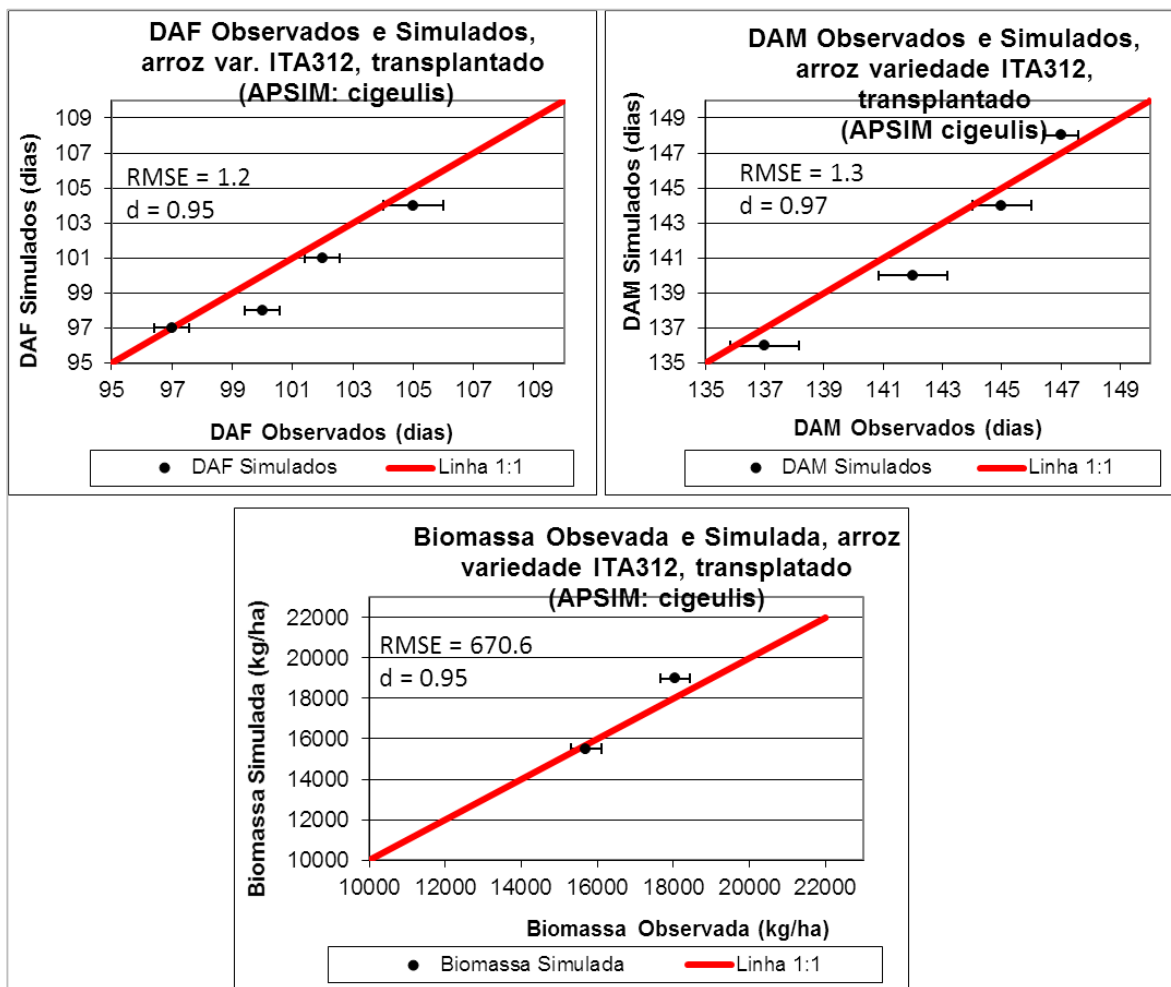


Figura 34. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade ITA312, transplantado. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 7: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade ITA312, sementeira directa.

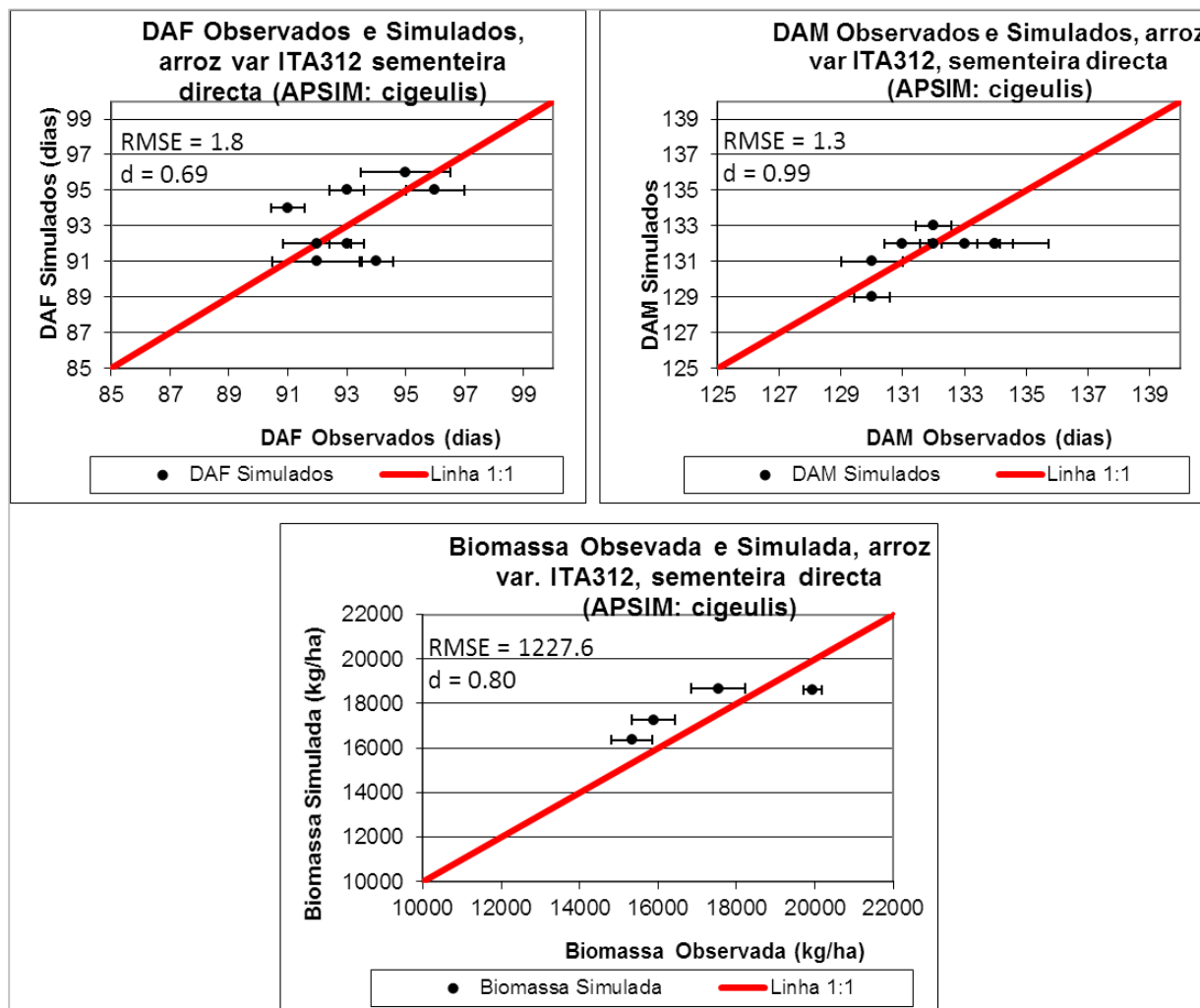


Figura 35. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade ITA312, sementeira directa. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 8: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade Limpopo, transplantado.

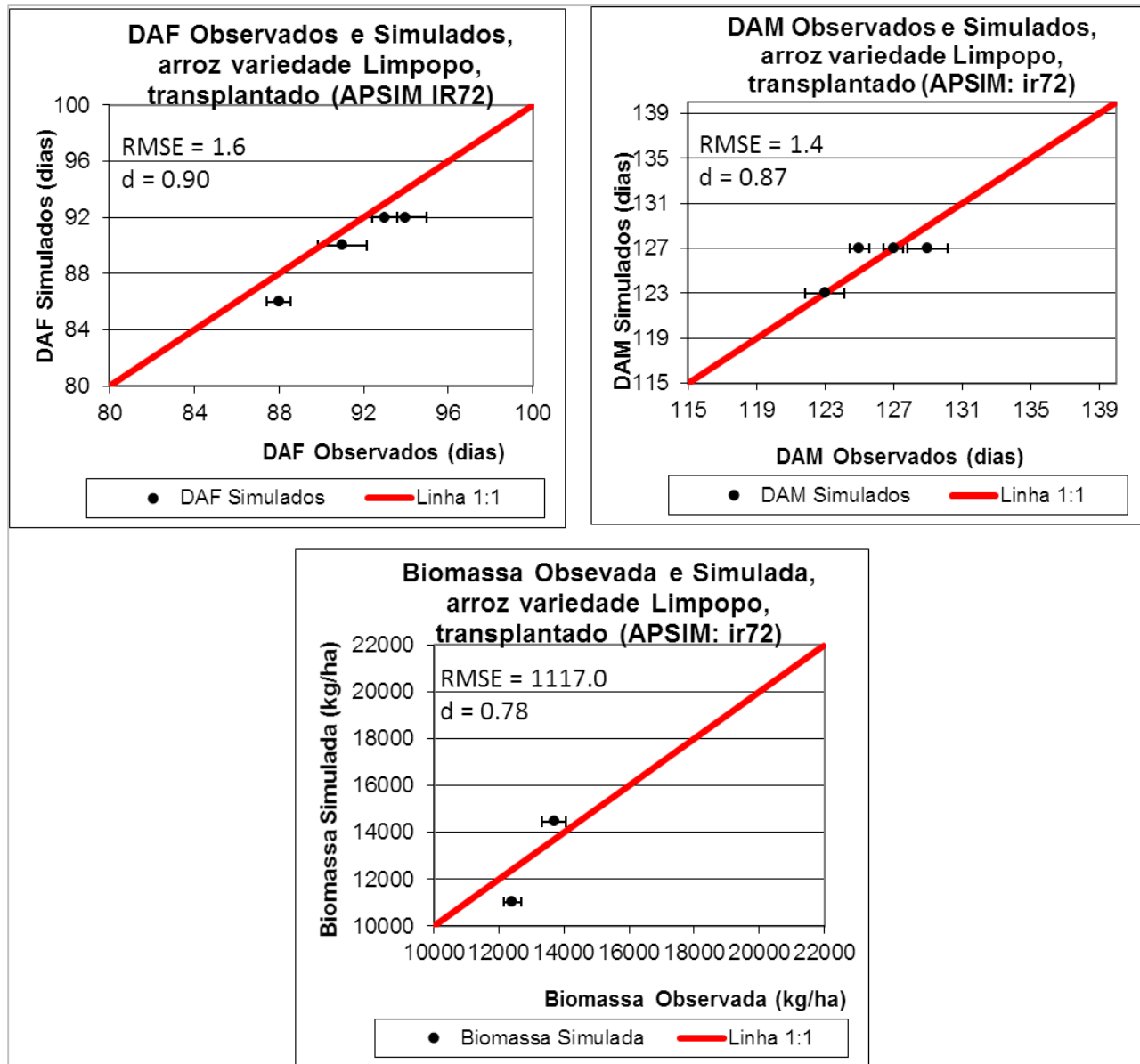


Figura 36. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade limpopo, transplantado. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 9: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade Limpopo, sementeira directa.

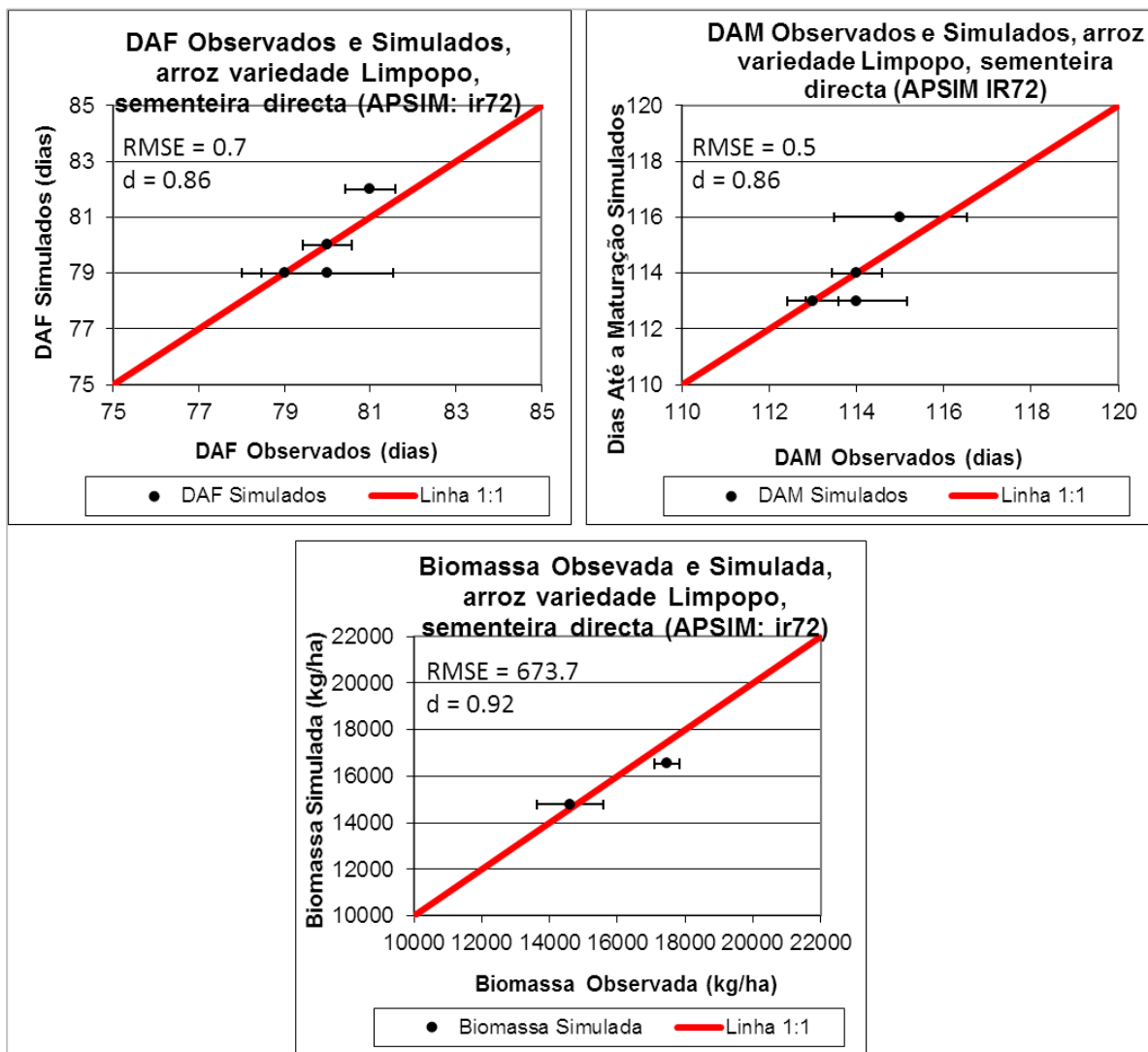


Figura 37. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade limpopo, sementeira directa. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 10: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade IRGA409, transplantado.

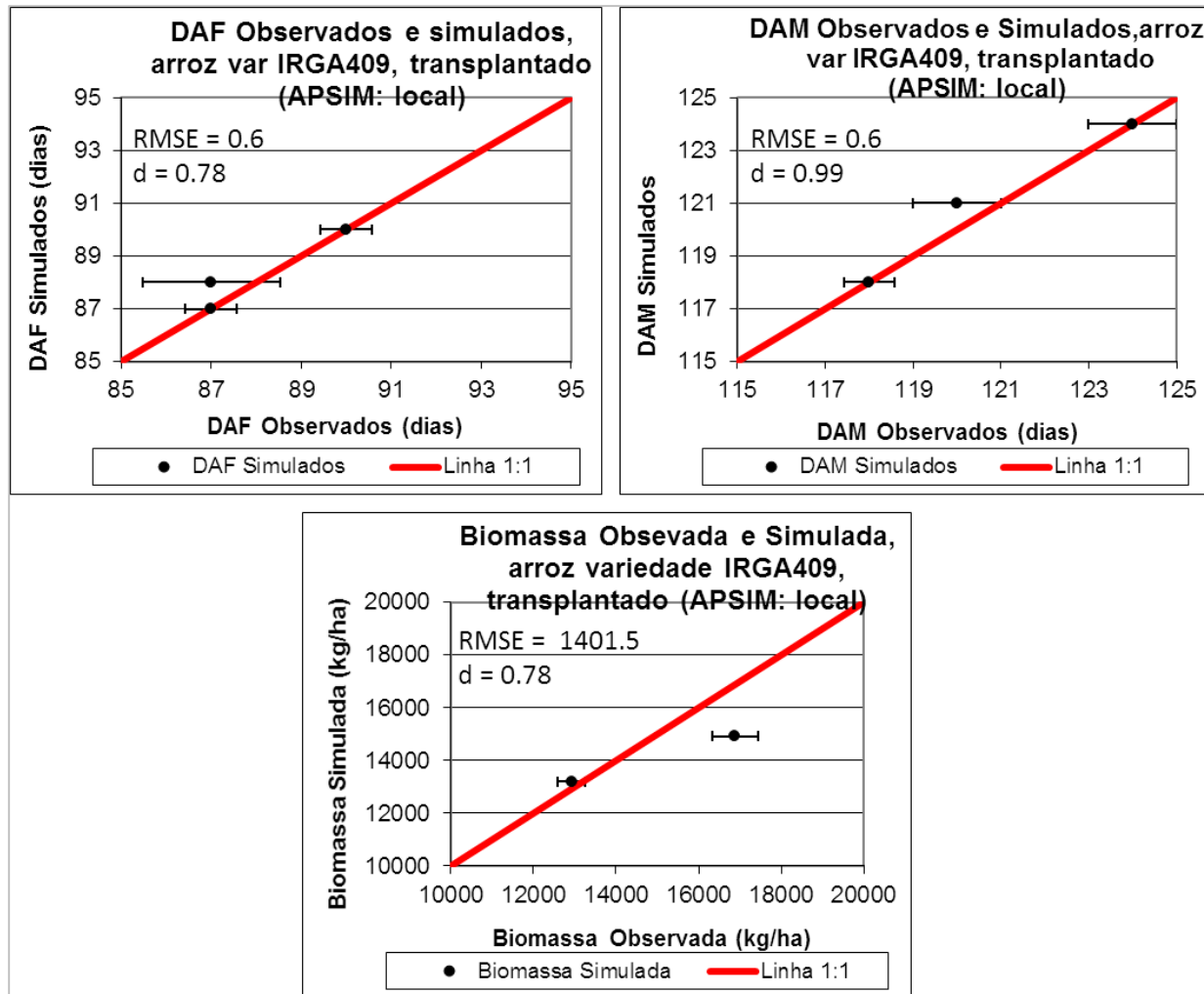


Figura 38. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade IRGA409, transplantado. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 11: Simulações de DAF, DAM e Biomassa da variedade IRGA409, sementeira directa.

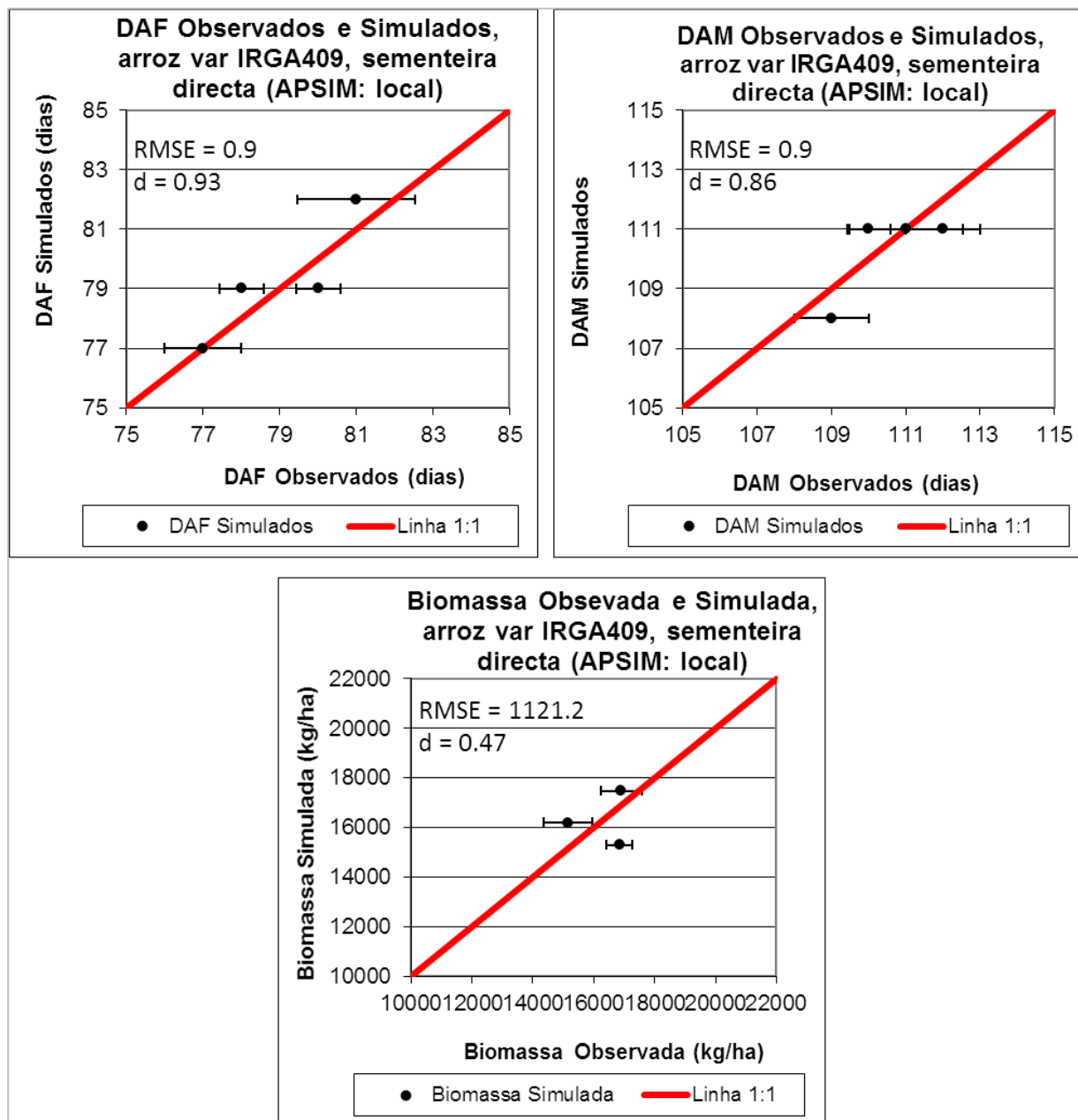


Figura 39. Comparação dos dias de floração, maturação e biomassa observados e estimados pelo modelo APSIM da variedade IRGA409, sementeira directa. As barras representam o desvio padrão dos valores observados.

Anexo 12: Curvas de probabilidade cumulativa das simulações do rendimento do arroz para diferentes níveis de adubação.

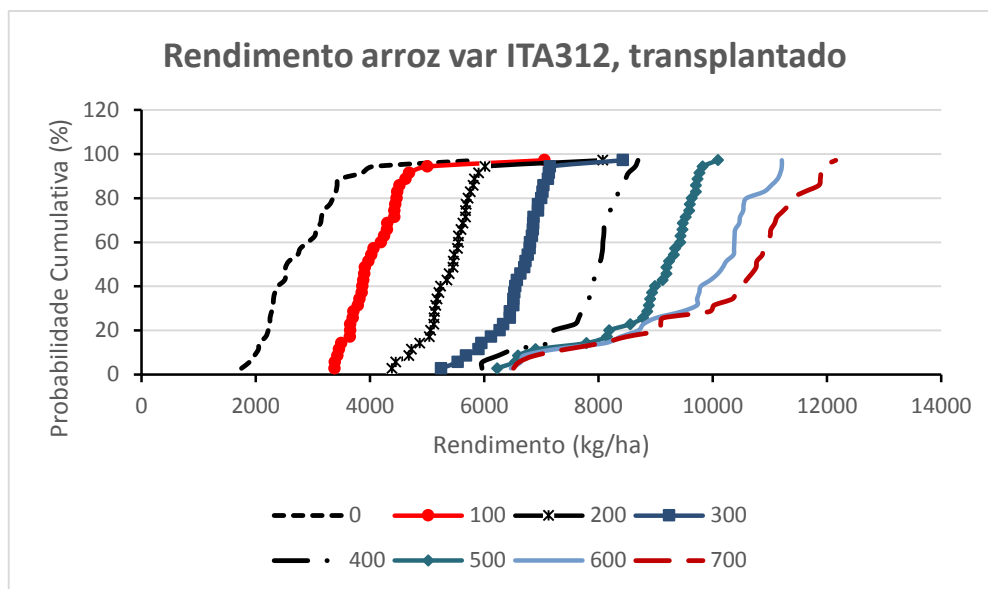


Figura 40. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantado para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

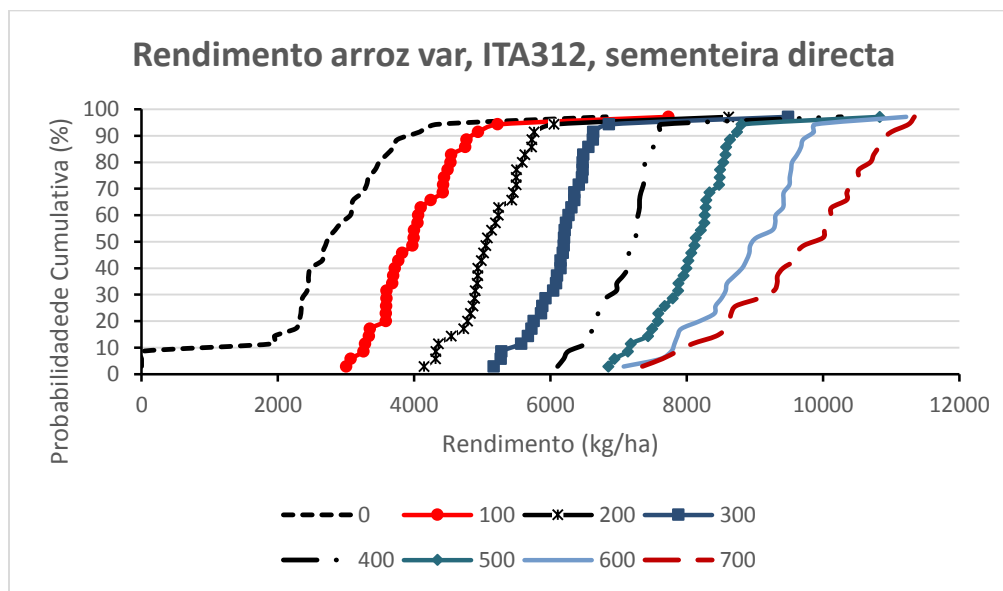


Figura 41. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

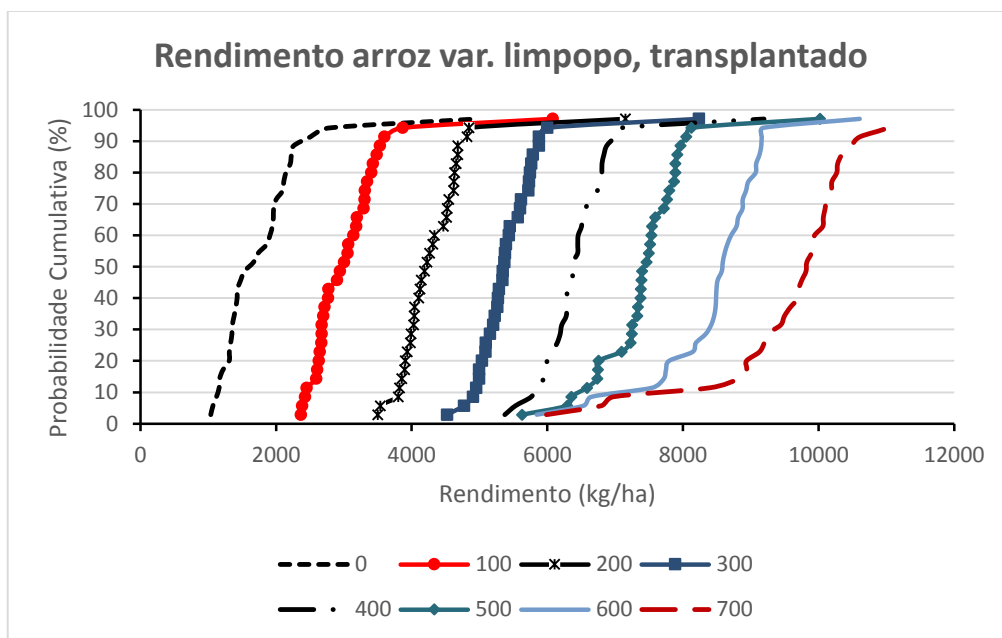


Figura 42. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

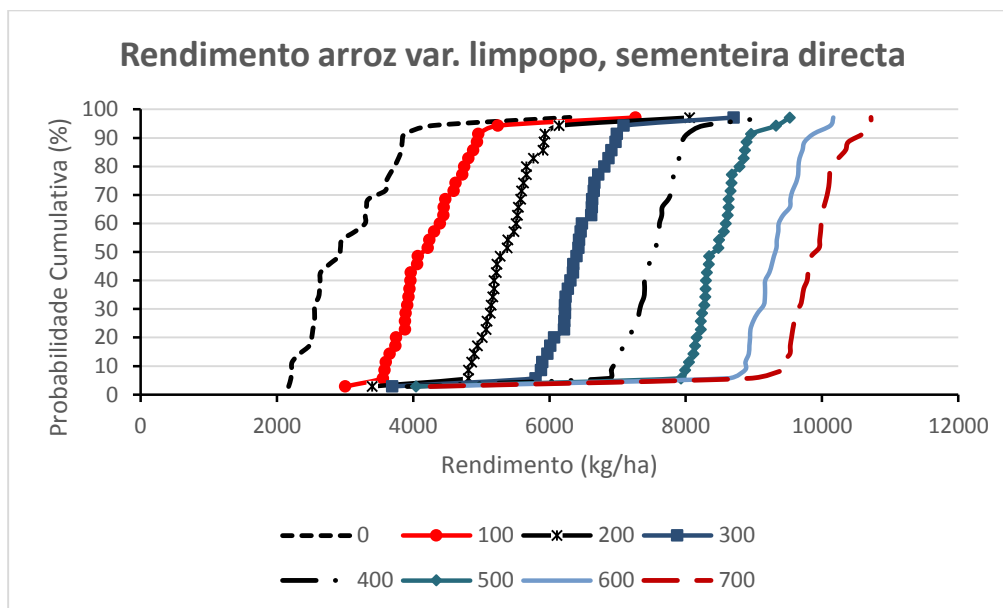


Figura 43. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

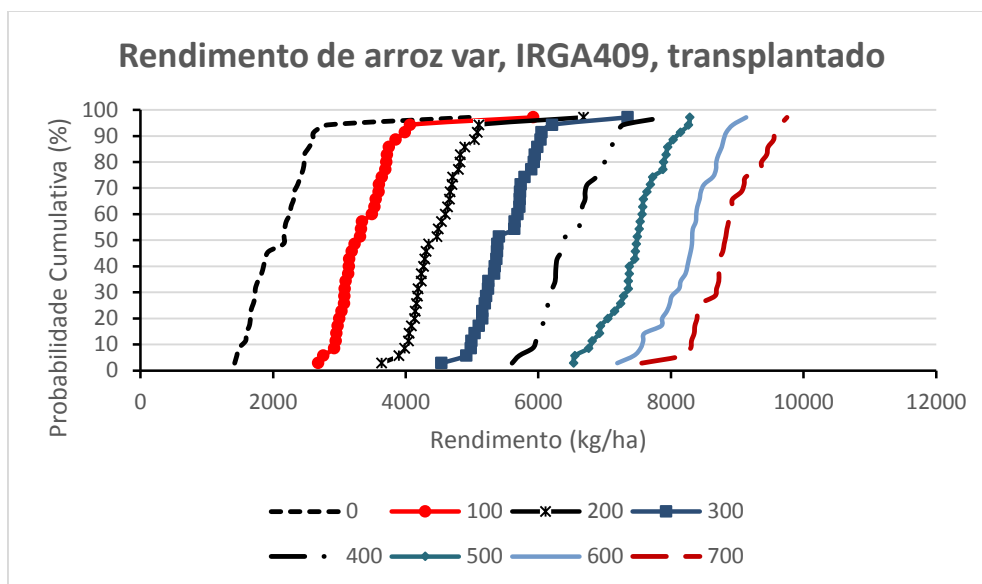


Figura 44. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, transplantedo para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

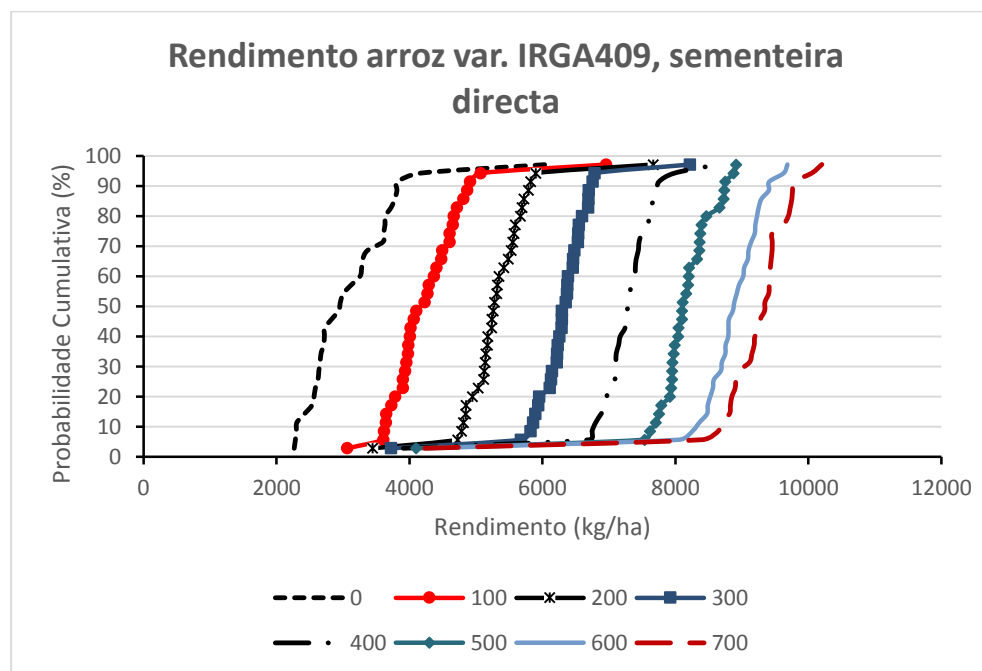


Figura 45. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes níveis de adubação, ao longo de 34 anos.

Anexo 13: Curvas de probabilidade cumulativa das simulações do rendimento do arroz para diferentes idades de transplante.

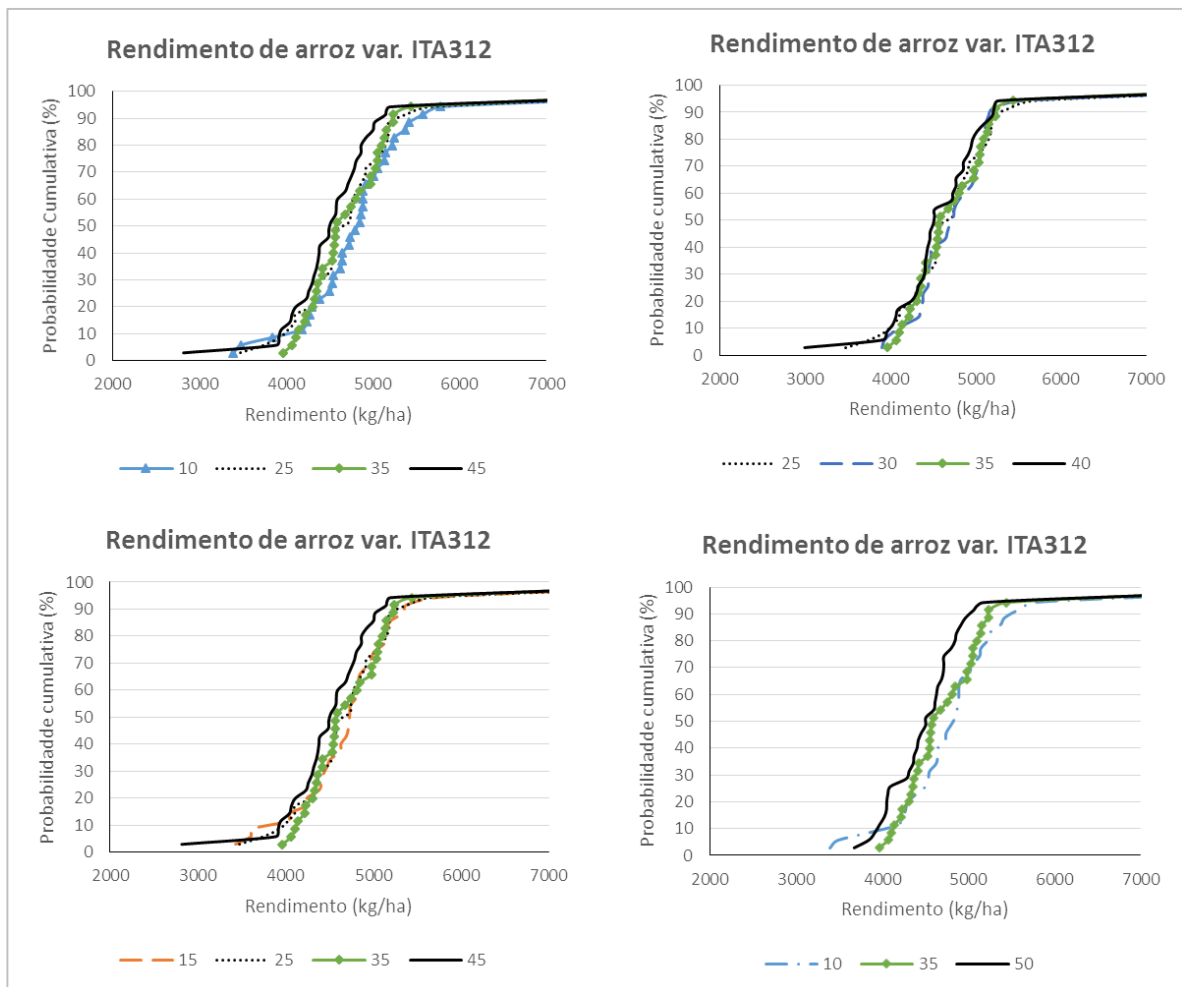


Figura 46. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

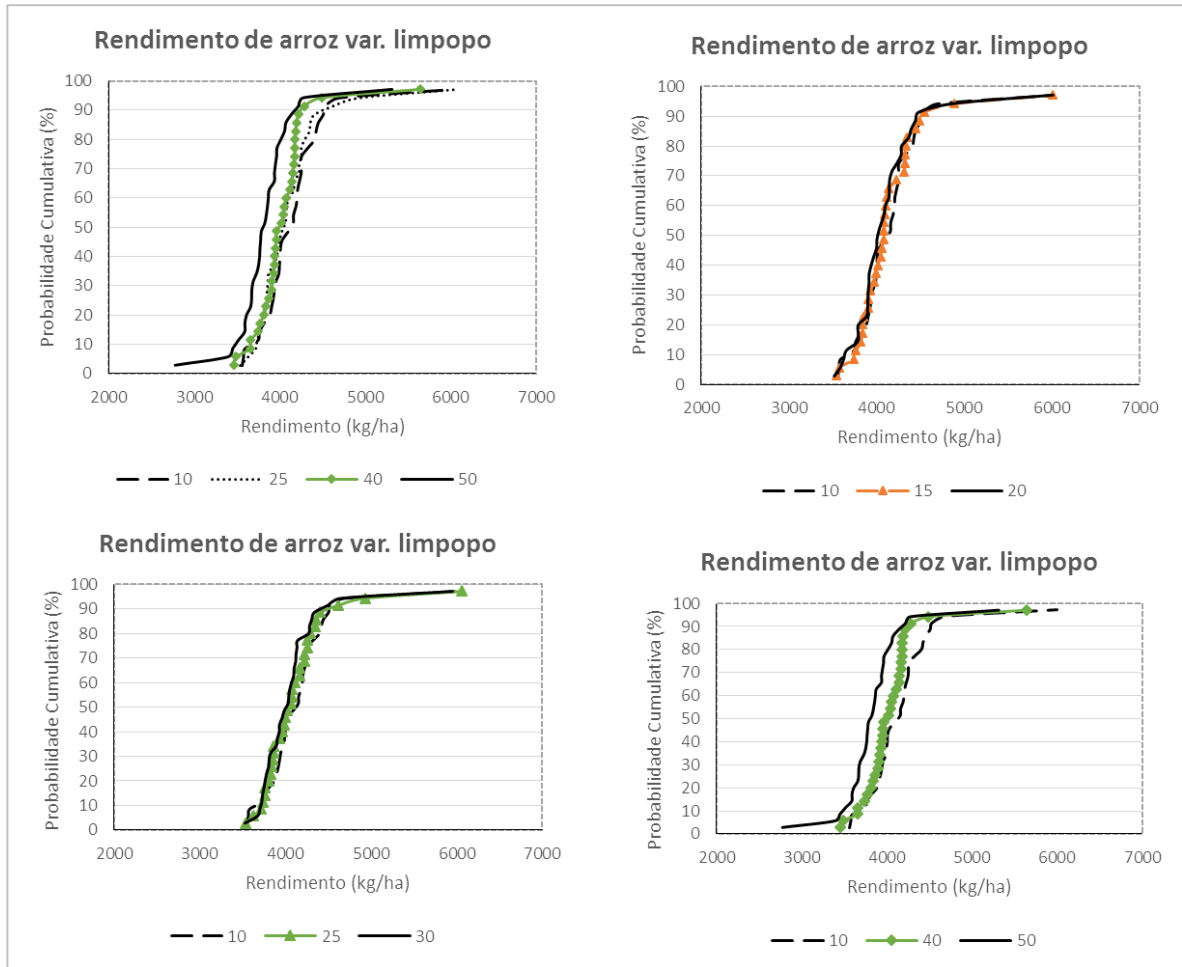


Figura 47. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

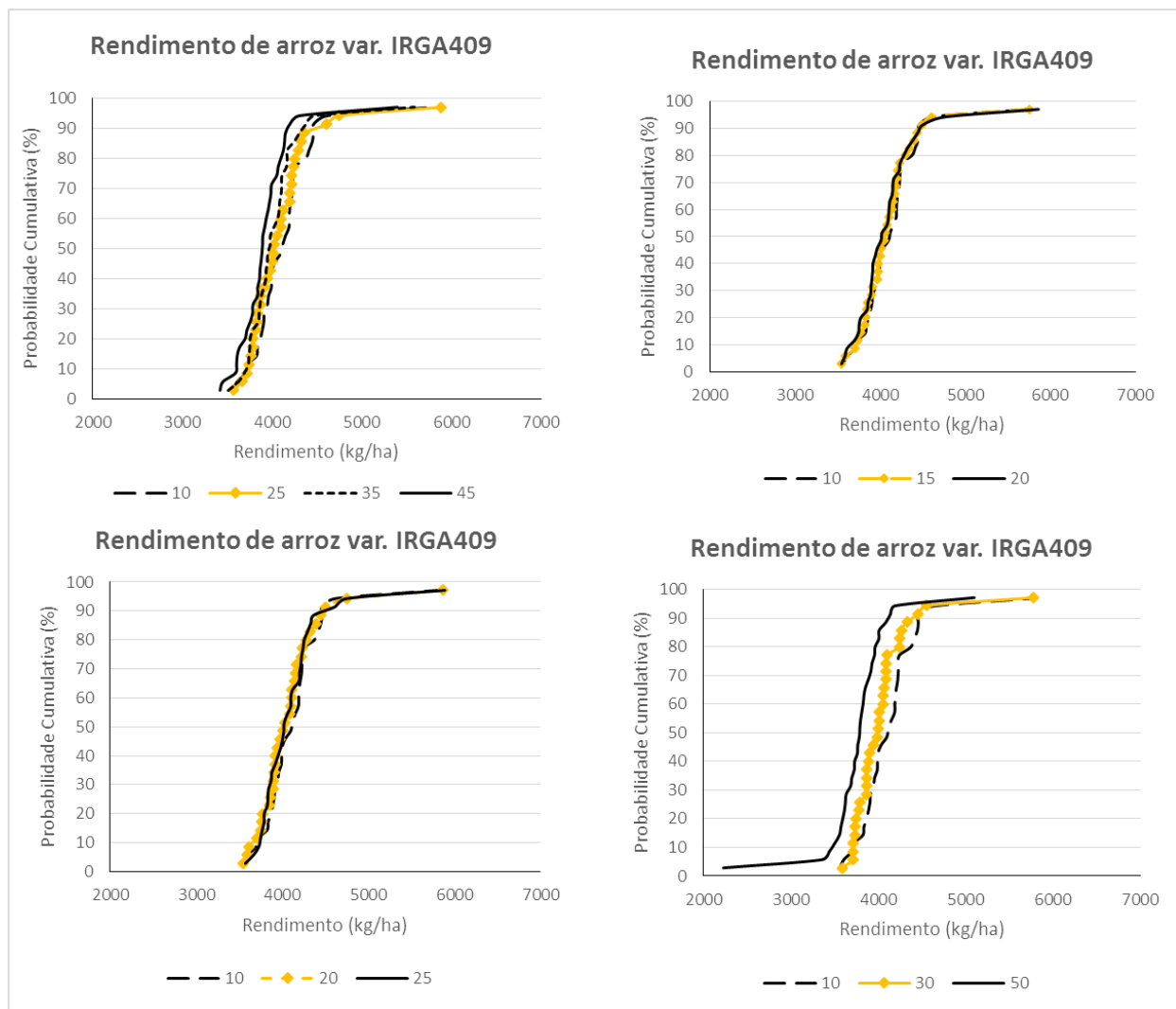


Figura 48. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, para diferentes datas de semeadura, ao longo de 34 anos.

Anexo 14: Rendimento médio das variedades ITA312, para diferentes datas de sementeira.

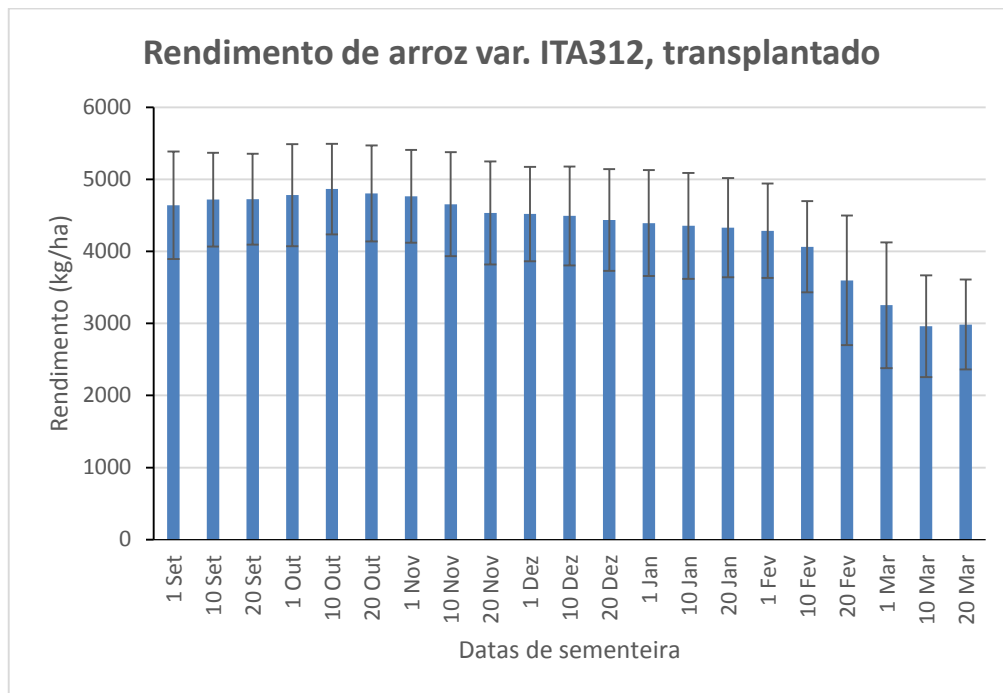


Figura 49. Rendimento de arroz da variedade ITA312, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

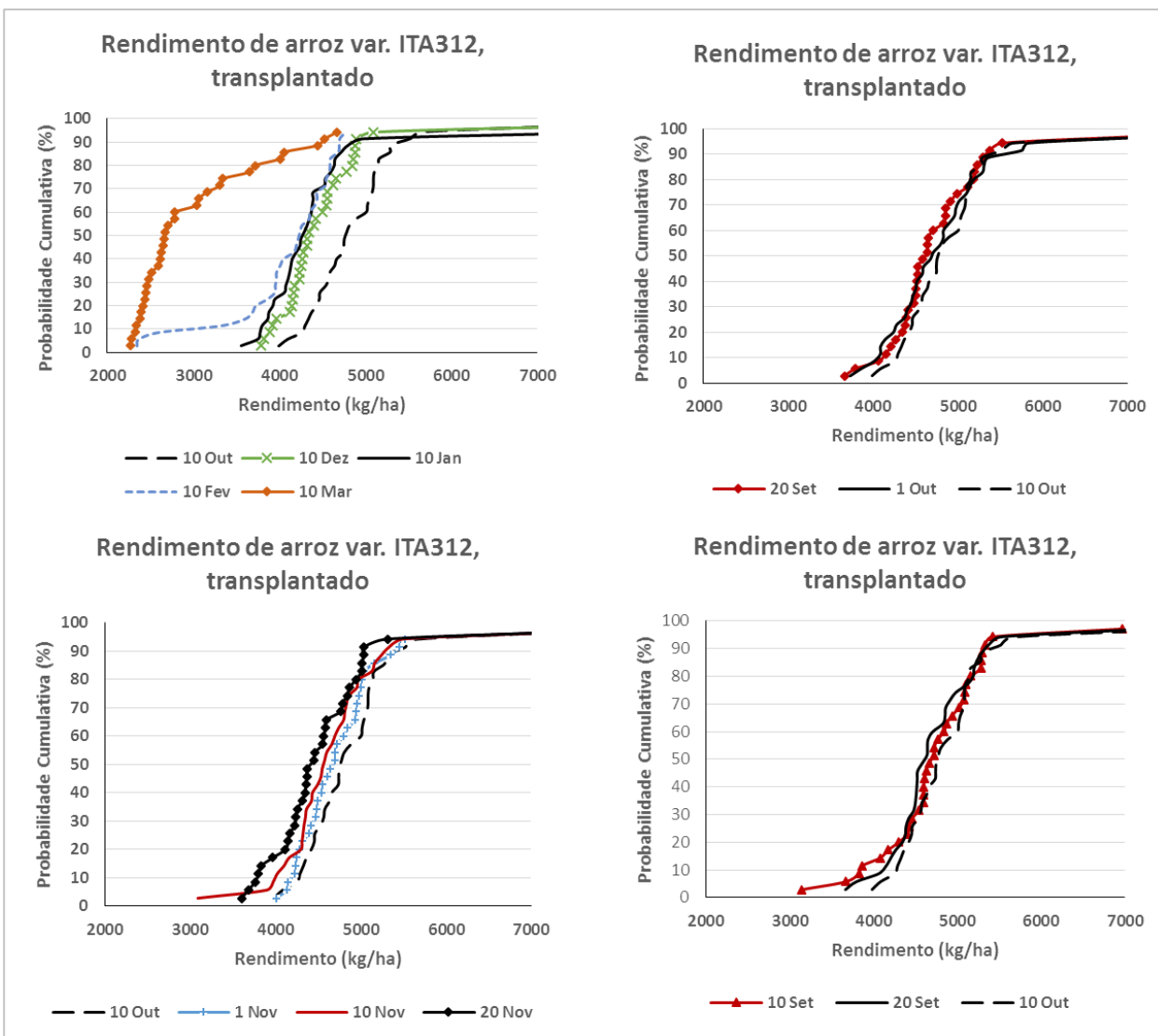


Figura 50. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

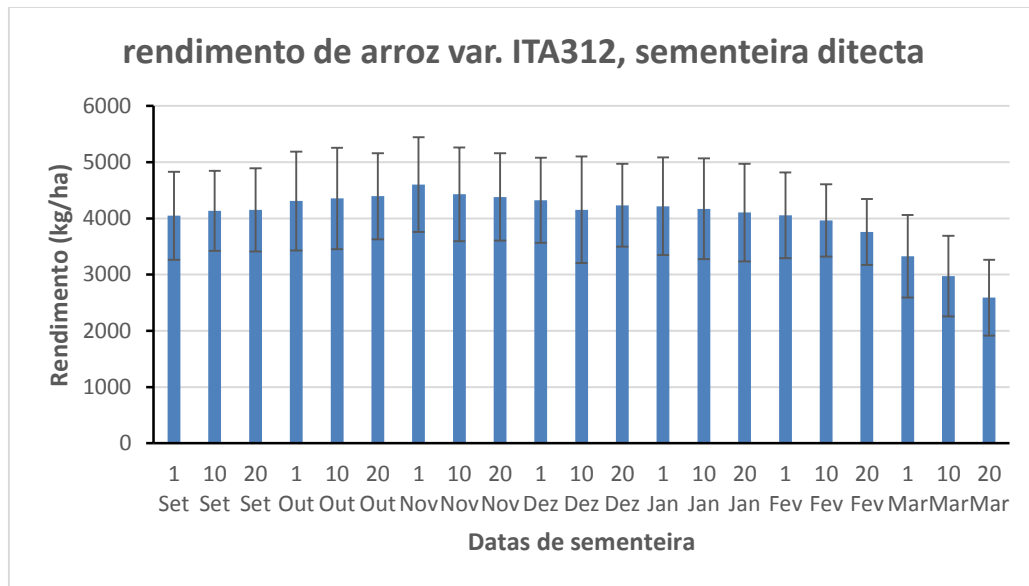


Figura 51. Rendimento de arroz da variedade ITA312, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

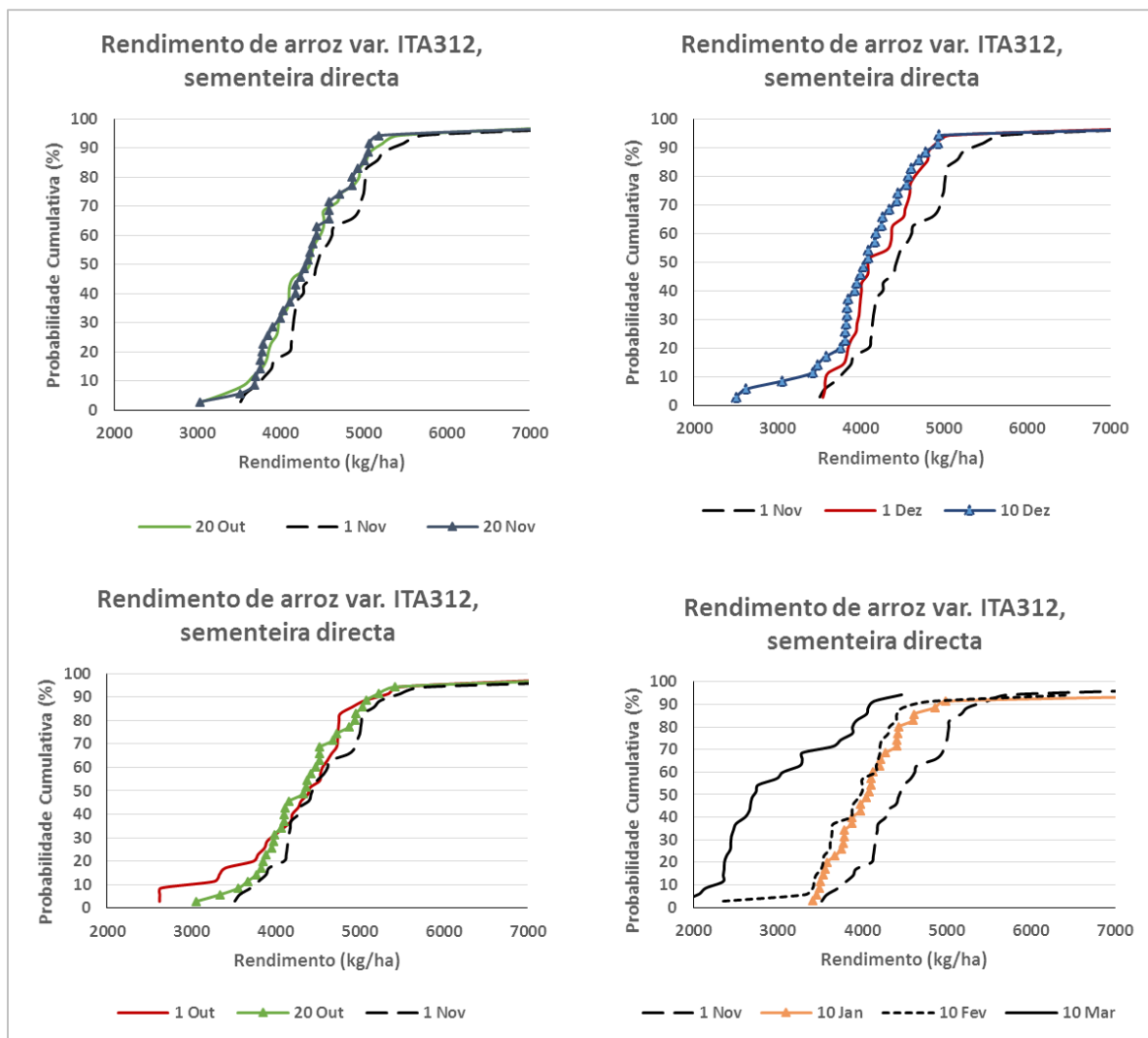


Figura 52. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade ITA312, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

Anexo 15: Rendimento médio das variedades Limpopo, para diferentes datas de sementeira.

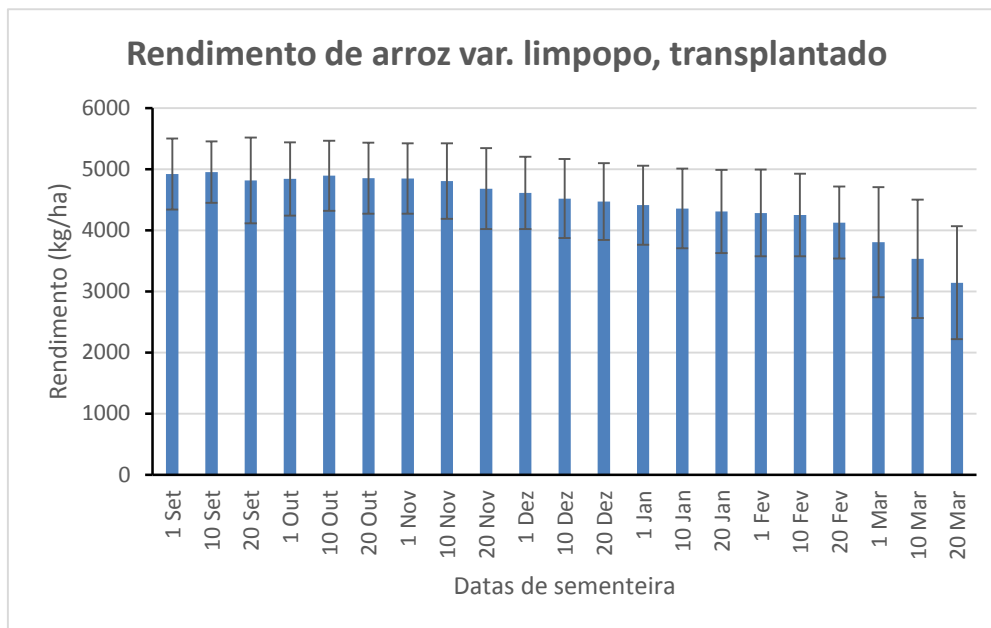


Figura 53. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

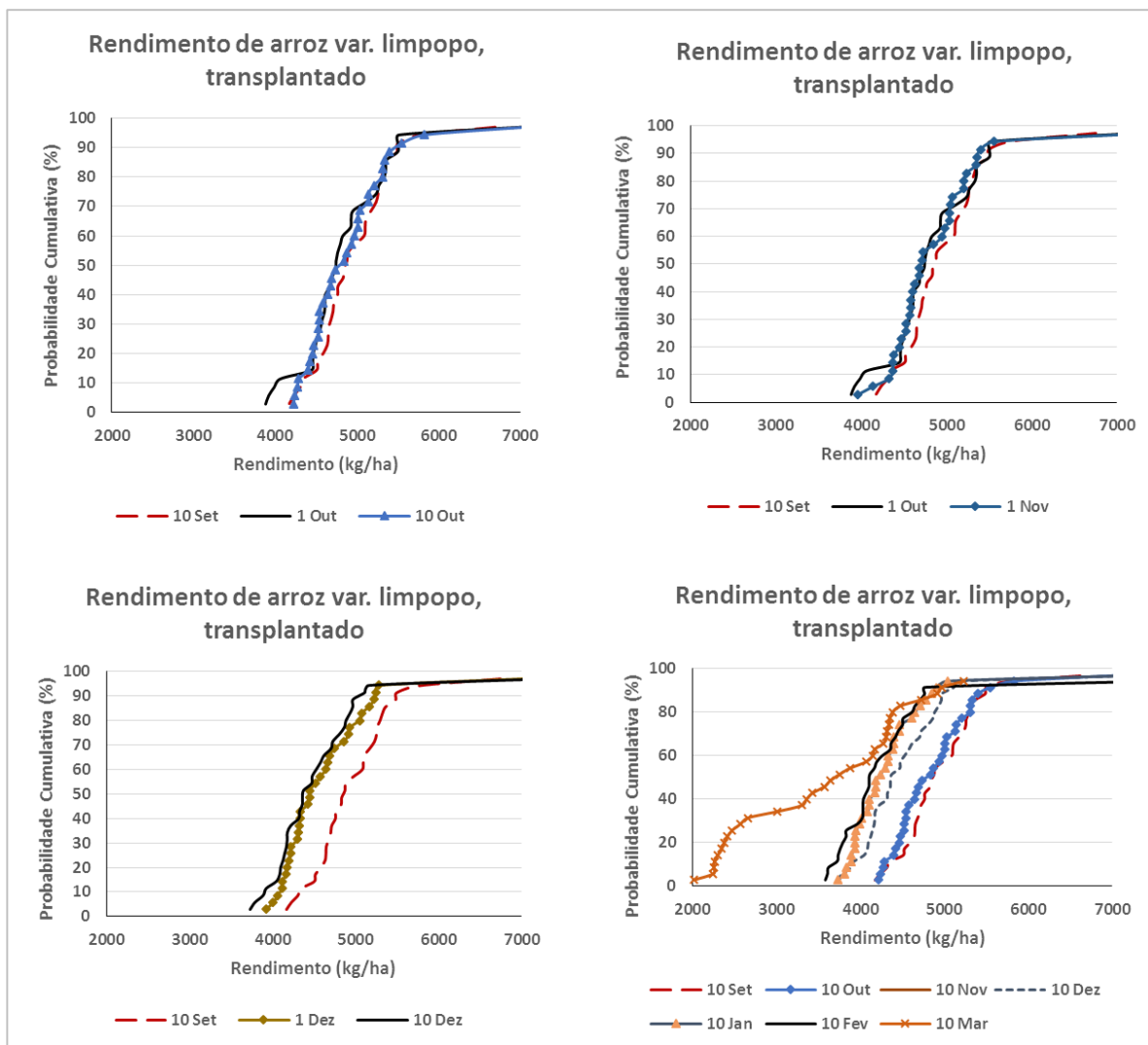


Figura 54. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

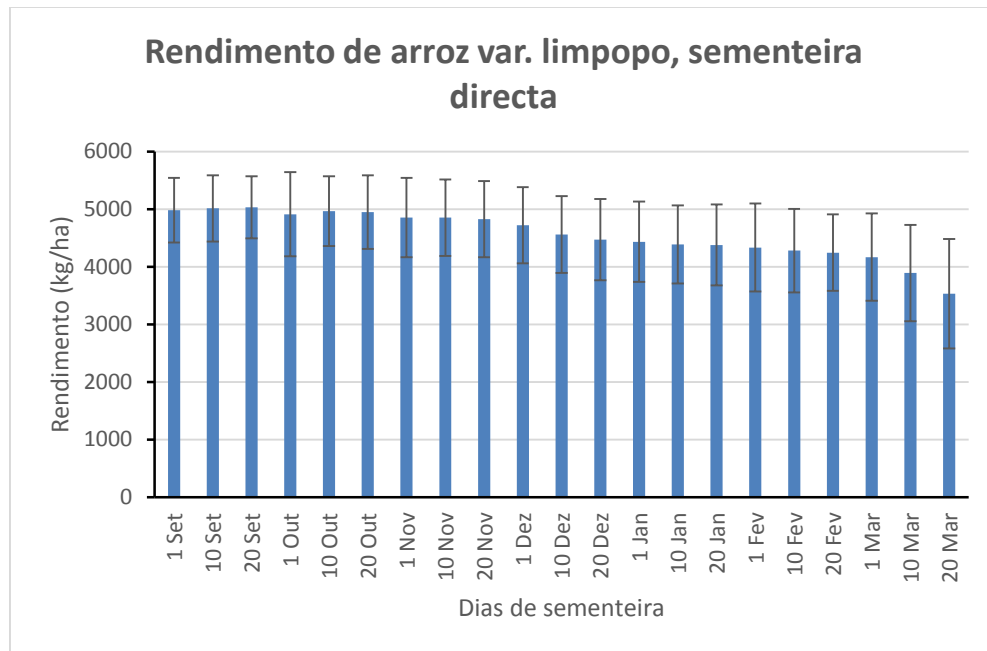


Figura 55. Rendimento de arroz da variedade Limpopo, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

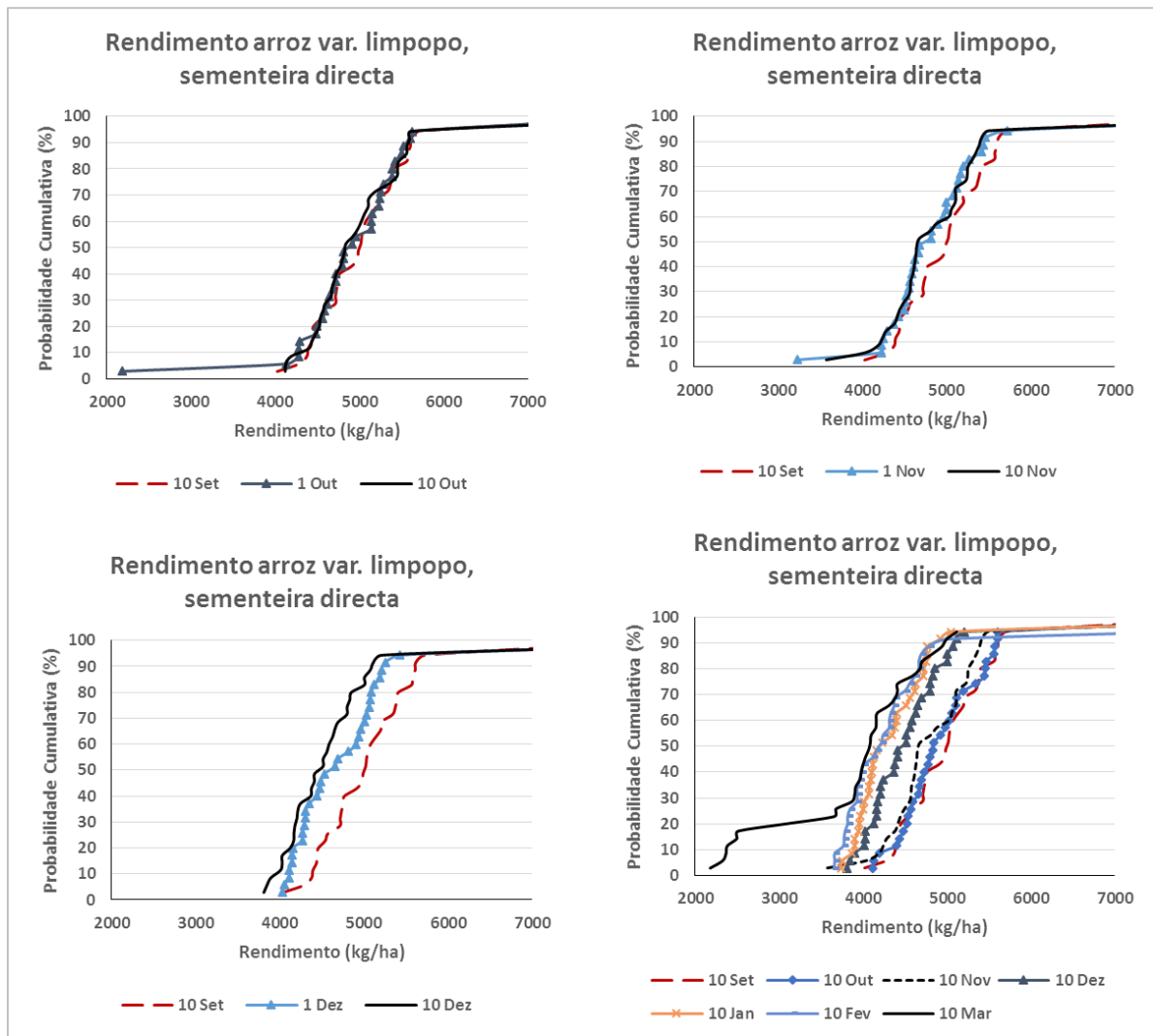


Figura 56. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz variedade limpopo, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

Anexo 16: Rendimento médio das variedades IRGA409, para diferentes datas de sementeira.

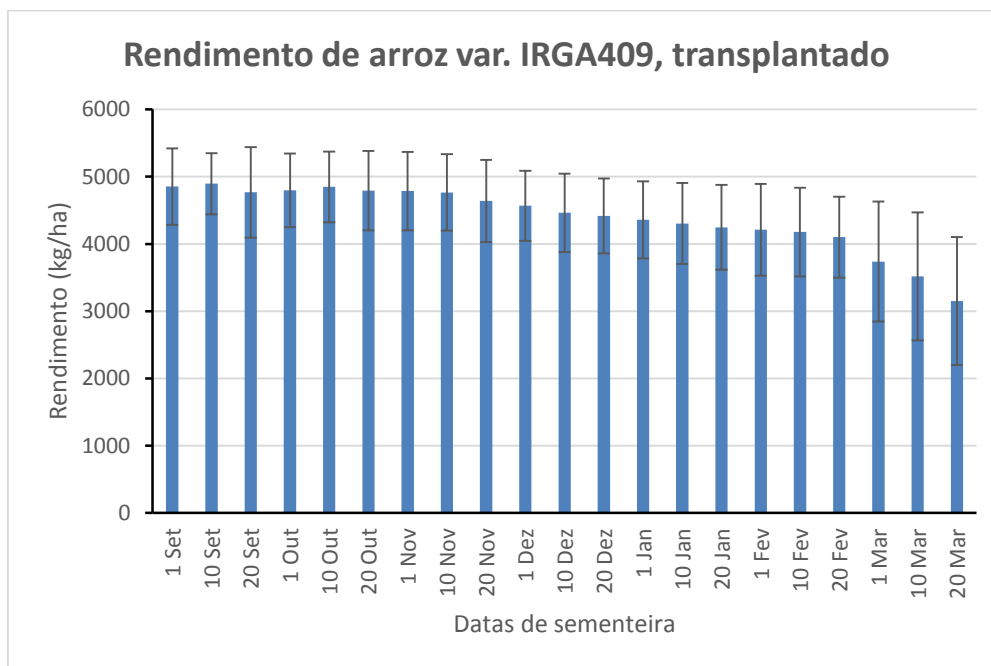


Figura 57. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, transplantado para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

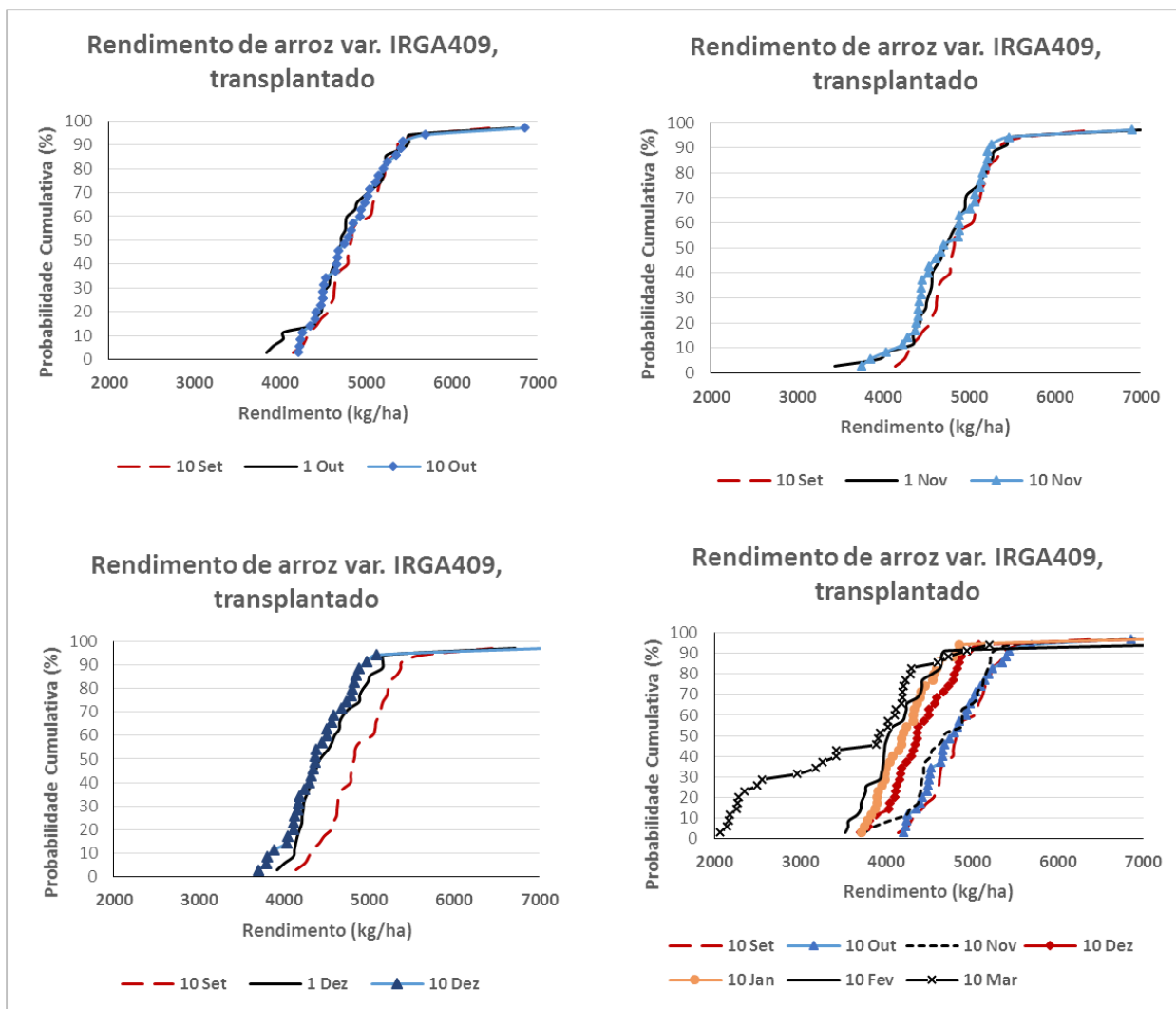


Figura 58. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz, variedade IRGA409, transplantado, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.

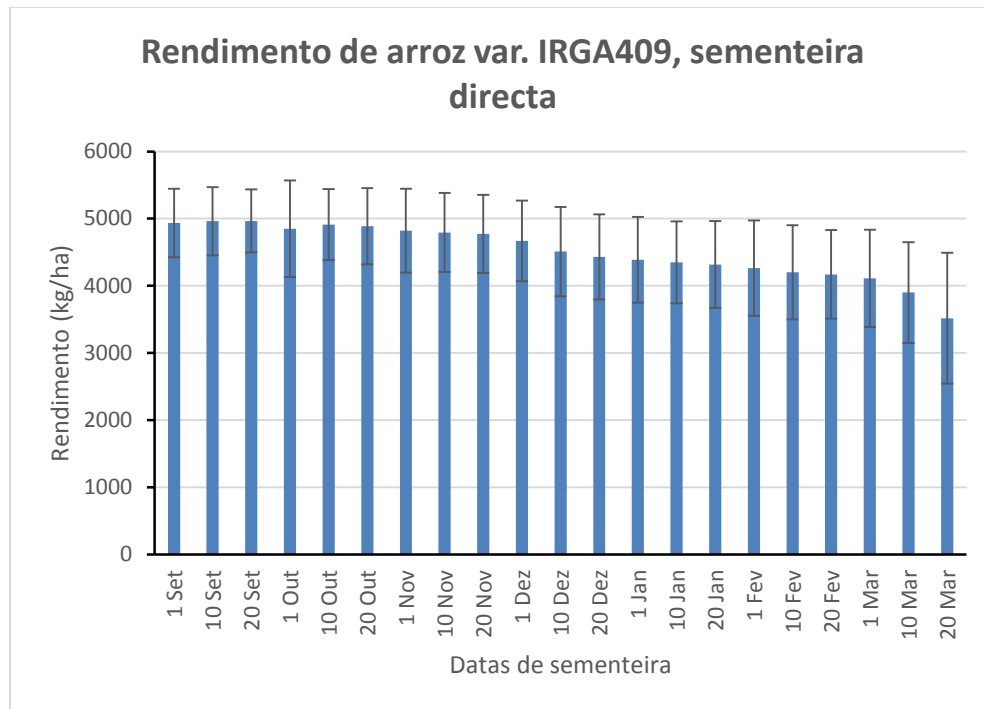


Figura 59. Rendimento de arroz da variedade IRGA409, sementeira directa para diferentes datas de sementeira ao longo de 34 anos. As barras representam \pm desvio padrão.

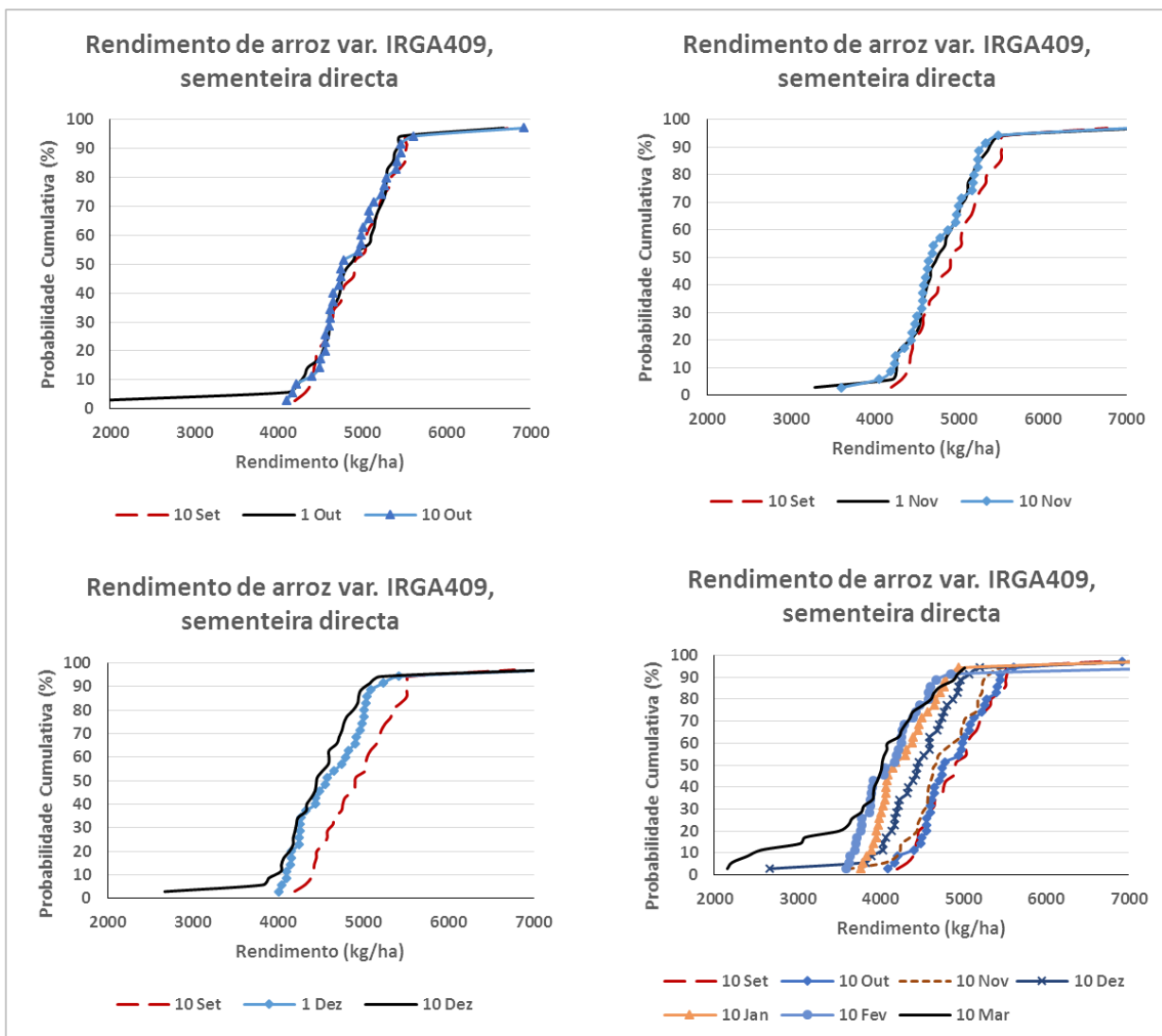


Figura 60. Curvas de probabilidade cumulativa para o rendimento de arroz, variedade IRGA409, sementeira directa, para diferentes datas de sementeira, ao longo de 34 anos.