

HELTON MAYCON LOURENÇO

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E
NUTRIENTES EM EUCALIPTO FERTIRRIGADO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientie*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

HELTON MAYCON LOURENÇO

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E NUTRIENTES
EM EUCALIPTO FERTIRRIGADO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientie*.

Aprovada: 17 de Fevereiro de 2009

Prof. Nairam Félix de Barros
Co-Orientador

Prof. Hélio Garcia Leite
Co-Orientador

Dr. Fernando Palha Leite

Prof. Ivo Ribeiro da Silva

Prof. Júlio César Lima Neves
Orientador

*A meus queridos pais,
Mateus Merlin Lourenço e Malvireni Speroto Lourenço, fontes eternas de
incentivo, amor e dedicação.*

*A meus irmãos,
Edivânia Speroto Lourenço e Rodrigo Speroto Lourenço, por sempre estarem
ao meu lado com palavras de apoio e amor.*

Dedico.

*A minha amada Michelle,
por não me deixar desanimar em nenhum momento dessa caminhada.*

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela pessoa que sou.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela acolhida e a oportunidade de realização deste curso.

Ao povo brasileiro, que com seu trabalho e impostos permitiu a CAPES o fornecimento da bolsa de estudos.

A CENIBRA S.A., principalmente nas pessoas do Dr. Fernando Palha Leite, Dr. Gualter Guenter Costa da Silva e Gilson Gauderetto, pela liberação da área experimental e por todo o apoio recebido para a coleta dos dados em campo, sem os quais não seria possível a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Júlio César Lima Neves, pelo exemplo de simplicidade no trabalho diário, pelo apoio de sempre e por todos os valiosos ensinamentos nestes vários anos de trabalho conjunto, meu muito obrigado.

Aos professores Nairam Félix de Barros e Hélio Garcia Leite, pelo tratamento sempre distinto e por todas as grandes colaborações na elaboração deste trabalho.

Aos grandes amigos de todas as horas Dalton e André, pelos agradáveis e sempre divertidos bate-papos.

Aos amigos do Departamento de Solos, Jarbas, David, Fernando, Guilherme, Ivan, Pacheco, Gigi, Fernanda, Márcio, Diogo, Paulinha, Arlindo, Leonardus, Joaquim, Henrique, Matiello, Daniel e Bruno por sempre tornarem tão agradáveis meus momentos aqui nesta casa.

Aos amigos de sempre da Agronomia/2000 - UFV, em especial ao Júlio, David, Daniel e Vladimir.

Aos todos os professores do Departamento de Solos, pelo exemplo de simplicidade e pelos conhecimentos a nós transmitidos.

Aos funcionários, Beto, Cardoso, Carlos, Fabinho, Cláudio sempre dispostos a atender a nossas solicitações.

A minha amada Michelle, por sempre esta ao meu lado, nunca me deixando desanimar nos momentos de dificuldade, sempre me ensinando a cada dia a doce missão de amar, meu eterno agradecimento.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

HELTON MAYCON LOURENÇO, filho de Mateus Merlin Lourenço e Malvireni Speroto Lourenço, nasceu em Nova Venécia - ES, no dia 22 de agosto de 1981.

Em Fevereiro de 2000, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa colando grau em Outubro de 2006.

Em Março de 2007 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFV, defendendo a dissertação de mestrado no dia 17 de Fevereiro de 2009.

CONTEÚDO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	07
2.1. Descrição do experimento.....	07
2.2. Variáveis Medidas.....	11
2.3. Análise dos Dados.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
3.1. Características Dendrométricas.....	18
3.1.1. Equação de Volume.....	18
3.2. Comportamento da Biomassa de Tronco, Área Foliar Específica e Índice de Área Foliar ao Longo de um Ciclo Completo.....	29
3.3. Avaliações realizadas ao final do ciclo.....	39
3.3.1. Biomassa de Tronco, Parte Aérea, Folhas e Raízes Finas.....	39
3.3.2. Densidade Básica do Lenho.....	44
3.3.3. Partição de Biomassa.....	45
3.3.4. Relações Alométricas.....	47

3.3.5. Teor, Conteúdo e Partição de Nutrientes.....	53
3.3.5.1. Teor.....	53
3.3.5.2. Conteúdo.....	53
3.3.5.3. Partição de Nutrientes.....	55
3.3.6. Propriedades Intensivas: Área Foliar Específica, Índice de Área Foliar, Área Radicular Específica e Índice de Área Radicular.....	89
3.3.7. Eficiência do Uso de Nutrientes Minerais e Água.....	96
3.3.7.1. Eficiência no Uso de Nutrientes para a Produção de Biomassa de Tronco e Parte Área.....	96
3.3.7.2. Eficiência no Uso de Nutrientes para a Produção de Biomassa de Folhas.....	103
3.3.7.3. Eficiência no Uso de Nutrientes para a Produção de Biomassa de Raízes Finas.....	105
3.3.7.4. Eficiência de Utilização de Nutrientes de Acordo com a Classe de Produtividade.....	108
3.3.7.5. Eficiência do Uso de Água para a Produção de Biomassa de Tronco.....	133
4. CONCLUSÕES.....	135
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

RESUMO

LOURENÇO, Helton Maycon, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2009. **Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-orientadores: Nairam Félix de Barros e Hélio Garcia Leite.

O eucalipto é a essência florestal mais plantada no Brasil (em torno de 3,5 milhões ha), correspondendo à aproximadamente 70 % da área total de plantios florestais. Em ambientes tropicais, a sustentabilidade da produção florestal é governada, principalmente, pelos fluxos de água e nutrientes do solo, uma vez que, geralmente, temperatura e radiação solar não são limitantes. A limitação nutricional é freqüentemente corrigida pelo adequado manejo nutricional. O recurso água tem sido considerado como mais limitante à produtividade florestal nos trópicos. A avaliação e a compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal é fundamental para a predição do potencial produtivo do povoamento florestal e para subsidiar aplicação das técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento florestal. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o crescimento e partição de biomassa e nutrientes; bem como as propriedades intensivas da parte aérea (folhas) e do sistema radicular (raízes finas) e a eficiência de uso dos recursos água e nutrientes minerais em função da aplicação de água, via irrigação e água mais nutrientes, via fertirrigação. Para tanto, em outubro de 2001, na região do Vale do Rio Doce – MG, foi instalado experimento composto por quatro materiais genéticos clonais de eucalipto: 57 e 2719 – Híbridos de *Eucalyptus grandis*, Rio Claro; 129 – *Eucalyptus grandis* e 1215 – *E. urophylla* x *E. grandis*, “Urograndis”, e três tratamentos de água e nutrientes aplicados ao solo (irrigado, fertirrigado e controle). Todas as árvores de cada parcela experimental tiveram seus diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*) e altura total (Ht) monitorados por inventários florestais realizados a cada três meses a partir dos 13 meses de

idade, o que possibilitou ajustar equações de regressão para cada material genético descrevendo o comportamento do *dap*, Ht, área basal (B) e volume de tronco (Vt) em função da idade dos plantios. Para cada parcela experimental, foram abatidas cinco árvores, escolhidas dentro de uma faixa crescente de *dap*. Todas as árvores abatidas tiveram seus troncos submetidos à cubagem rigorosa e seus compartimentos (folha, galho, casca e lenho) foram separados e pesados, sendo retiradas amostras para a determinação do peso seco, teor e conteúdo de nutrientes; foi retirada uma amostra adicional de folhas para a determinação da área foliar específica e índice de área foliar. Amostras de raízes finas (< 2 mm) foram retiradas de cada árvore abatida, sendo lavadas, pesadas e escaneadas, determinando-se então seu peso seco, a superfície radicular específica e índice de área radicular. A fertirrigação proporcionou maior crescimento em volume e biomassa de tronco, e a irrigação pouco afetou o crescimento da floresta. A fertirrigação também levou a maiores conteúdos de nutrientes minerais na parte área e tronco sendo a magnitude distinta de acordo com o material genético. A fertirrigação promoveu maior índice de área foliar, área radicular específica e índice de área radicular, mas pouco influenciou a área foliar específica, a qual foi mais influenciada pela classe de produtividade, tendo seu valor reduzido com o aumento do grau de dominância da árvore. Em média, a fertirrigação elevou a eficiência de uso de nutrientes para a produção de biomassa de parte aérea, tronco, folhas e raiz finas; contrariamente, a aplicação conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação reduziu a eficiência de uso de água para a produção de biomassa de tronco. Assim conclui-se que a disponibilização de água e nutrientes altera o comportamento de crescimento e partição de biomassa e nutrientes, bem como suas eficiências de uso e as propriedades intensivas das superfícies de aquisição de recursos (folhas e raízes finas), em magnitudes distintas com o material genético.

ABSTRACT

LOURENÇO, Helton Maycon, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Growth and nutrient and water use efficiency by Eucalypt trees under fertirrigation.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-advisers: Nairam Félix de Barros and Hélio Garcia Leite.

Eucalypt is the main forest essence planted in Brazil (approximately 3.5 million ha) and represents roughly 70 % of the total forestry planting. In tropical environments, the sustainability of the forest production is primarily dictated by water and nutrient fluxes in the soil, provided temperature and solar radiation are not limiting. Nutrient limitation has often been corrected through adequate nutritional management, thus being of secondary importance for most commercial Eucalypt plantations. Water has otherwise been considered as the most limiting resource to eucalypt productivity in the tropics. The evaluation and the comprehension of how water and nutrients regulate forestry productivity are key to predict the productive potential of the forest stand and to subsidize the utilization of management practices more adequately to forestry growth. Being said this, the main objectives of the present work were to evaluate the forest growth, the biomass and nutrient partitioning, the intensive properties of leaves and fine roots and the use efficiency of water and nutrients as a function of irrigation (water) and fertirrigation (water + nutrients) treatments. The experiment was set in October 2001 in the Rio Doce River Valley, Central-Western region of Minas Gerais State, Brazil. The experiment was compounded by four clonal genetic material of eucalypt: 57 and 2719 – Rio Claro and *Eucalyptus grandis* hybrids; 129 – *Eucalyptus grandis* hybrids and 1215 – *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, “Urograndis”, and three different treatments of water and nutrients (irrigation, fertirrigation and control). All trees in the experimental plot had their diameter at breast height (*dbh*) and total height (Ht) monitored by forest inventory, which

were made every three months starting when the trees were 13 months old. With this data it was possible to fit regression equations for each eucalypt genetic material describing the behavior of *dbh*, *Ht*, basal area (*B*) and trunk volume (*Vt*) as a function of the stand age. Five trees per experimental plot representing the range in tree sizes were felled at ground level and separated into foliage, branches, stemwood and bark components. Total fresh weights were determined in the field and all tissues were subsampled for moisture, nutrient contents and dry weight determination. All trunks had their volume determined by rigorous scaling. Additional subsamples of fresh foliage were collected from each sampled tree and specific leaf area (*SLA*) was determined. Leaf area index (*LAI*) was determined using the data from *SLA* and total foliage biomass of each sampled tree. Fine roots (< 2 mm) were collected from each sampled tree, then, washed, scanned and dried until constant weight being achieved. Additionally, root specific area and root area index were also obtained from the plant material. The fertirrigation had positive effects on trunk growth, volume and biomass. Conversely, irrigation had no affect on stand growth. Fertirrigation also increased the nutrients content in the above ground biomass with different magnitude with regards to the genetic material besides providing a greater leaf area index, root specific area and root area index, but it had little influence on leaf specific area, which was more influenced by the productive class where it had its value reduced when the degree of dominance of the tree went up. On average, fertirrigation increased the nutrients use efficiency for production of total above ground biomass, trunk biomass, foliage biomass and fine roots biomass, but it decreased water use efficiency for production of trunk biomass. Thus, it is concluded that water and nutrient availability change the behavior of the stand growth, nutrient and biomass partitioning as well as the studied resources use efficiency and intensive properties of the resource acquisition (leaves and fine roots), with different magnitude according with the genetic material.

1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas de *Eucalyptus* do Brasil estão entre as mais produtivas do mundo, com incrementos médios anuais que variam de 18 a 80 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 7 anos de idade, o que representa ganhos de produtividade na ordem de 3 a 4 vezes, comparativamente aos observados na década de 60, quando foram iniciados os plantios florestais em grandes áreas no país. Esses ganhos foram obtidos pela conjugação de melhoramento genético e aprimoramento das práticas de manejo, notadamente em termos de preparo do solo, fertilização e controle de plantas daninhas (Stape, 2005).

O setor se destaca no cenário sócio-econômico do país, pela geração de renda, tributos, divisas e empregos. Em 2007, a área total de florestas plantadas de eucalipto e de pinus no Brasil atingiu mais de 5,5 milhões de ha, levando o setor a responder pela arrecadação de R\$ 9,26 bilhões em tributos e gerando 4,3 milhões de postos de trabalho (ABRAF, 2008).

Em ambientes tropicais, a sustentabilidade da produção florestal é governada, principalmente, pelos fluxos de água e nutrientes do solo, uma vez que, geralmente, temperatura e radiação solar não são limitantes (Barros & Comerford, 2002). Nessas regiões, a base para a sustentabilidade da produção de florestas plantadas, e, portanto, para a competitividade do setor florestal é a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes (Neves, 2000; Barros & Comerford, 2002)

A limitação nutricional em solos tropicais altamente intemperizados, com baixa fertilidade, é freqüentemente corrigida pelo adequado manejo nutricional (Silva, 2006). De acordo com o mesmo autor, em relação ao recurso água, este tem sido considerado como mais limitante à produtividade florestal nos trópicos, inclusive em razão de seus efeitos nos fluxos de nutrientes no solo. Assim, a avaliação e a compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal é fundamental para a predição do

potencial produtivo do povoamento florestal e para subsidiar aplicação das técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento florestal.

Estudos onde se avaliou, em eucalipto, os efeitos da disponibilidade de água e nutrientes em condições não limitantes, mediante fertirrigação, foram desenvolvidos, em sua ampla maioria, para condições climáticas diferentes daquelas encontradas no Brasil (Pereira & Pallardy, 1989; Stewart et al., 1990; Olbrich et al., 1992; Reed & Tomé, 1998, Myers et al., 1996; Madeira et al., 2002). Para as condições brasileiras, a maioria dos trabalhos realizados se concentrou na avaliação do aumento do recurso água via irrigação (Stape, 2002; Reis, et al., 2006, Silva, 2006, Tatagiba, et al., 2007), registrando-se apenas dois trabalhos em condições de campo em que se avaliaram os efeitos da fertirrigação no crescimento de árvores de eucalipto (Stape, 2002 e Silva, 2006).

No trabalho de Stape (2002), a aplicação dos tratamentos de irrigação e fertirrigação foi iniciada aos três anos de idade, em árvores com 15 m de altura e índice de área foliar de 3 a 3,5. Nessas condições, constatou-se, nas avaliações realizadas até 5,5 anos, que não houve efeito da adição de água e nutrientes (fertirrigação) comparativamente à adição, apenas, de água (irrigação). Este fato pode ter sido decorrente da faixa de idade da plantação em que as avaliações foram feitas. De acordo com Barros et al. (2005) a maior proporção de nutrientes requeridos por espécies de rápido crescimento, como as de *Eucalyptus*, deve ser fornecida até a idade de três anos. Assim, se nas plantações avaliadas por Stape (2002) o regime de adubação seguiu o que se faz normalmente, a chance de resposta à adubação era pequena. Após aquela idade, os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica são capazes de atender a maior parte da demanda das plantas até o final da rotação (idade de corte) (Barros et al., 2005) diminuindo sensivelmente a resposta à fertilização.

Posteriormente, Silva (2006) aplicou tratamentos de irrigação e fertirrigação em plantios com um ano de idade, e avaliou seus efeitos no crescimento da floresta até a idade de três anos (biomassa e nutrientes), quatro anos (altura total, *dap*, área basal e volume de tronco). Ao final deste período, ele observou que o aumento na disponibilidade de água e nutrientes, via fertirrigação, permitiu obter o maior índice de área foliar, maior crescimento (área basal e volume), maior produção de biomassa e maior acúmulo de nutrientes, além de influenciar a eficiência de utilização destes.

Portanto, inexistem trabalhos, desenvolvidos nas condições climáticas brasileiras, que tenham avaliado os efeitos na alteração na disponibilidade de água e nutrientes mediante irrigação e fertirrigação, durante um ciclo de corte, considerando distintos materiais genéticos clonais de eucalipto.

Em culturas anuais, o suprimento adequado de água e nutrientes durante todo o ciclo de crescimento, vegetativo e reprodutivo, contribuem para o aumento da produção, da aquisição de nutrientes e eficiência nutricional (Faria et al., 2000; Fernandes et al., 2002, Silva et al., 2007; Vila Boas et al., 2007). Efeito semelhante tem sido observado para culturas agrícolas de ciclo mais longo (Santana et al., 2004; Dantas Neto et al., 2006, Gomes et al., 2007; Maciel et al., 2007;). Portanto, pode-se antever que efeitos comparáveis possam ser observados em plantações de eucalipto, especialmente naquelas de ciclo mais curto.

O incremento volumétrico acumulado é uma medida normalmente utilizada na avaliação da produtividade das plantações florestais. Entretanto, em plantações em larga escala não há como medir o volume de todas as árvores, o que justifica a adoção de métodos de estimativas baseados na medição do *dap*, B e Ht.

Silva (2006) verificou que as curvas de *dap*, Ht, B e volume cilíndrico do tronco não atingiram um valor assintótico em plantios de eucalipto aos quatro anos de idade, mesmo nos tratamentos onde ocorreu a aplicação de água e fertilizantes via irrigação, ou seja, mesmo nesses tratamentos a taxa de crescimento ainda não havia paralisado, o que poderia ser esperado caso a capacidade produtiva do sítio já tivesse sido alcançada precocemente, o autor também verificou que essas altas taxas de crescimento eram mantidas principalmente nas árvores dominantes, enquanto as menores árvores já haviam atingido o ponto de máxima taxa de crescimento.

A biomassa da parte aérea representa a mais importante característica de um povoamento, pois freqüentemente reflete a produção final de madeira. As florestas localizadas em regiões tropicais, em razão das condições climáticas favoráveis, apresentam, de modo geral, produção elevada de biomassa. Temperatura, insolação e precipitação elevadas fazem com que essas florestas produzam até três vezes mais biomassa do que as florestas temperadas e boreais, num mesmo intervalo de tempo (Marion, 1979). Na literatura pode-se encontrar diferentes trabalhos mostrando a influência do uso de nutrientes e da irrigação na produção final de biomassa seca (Reed & Tomé,

1998; Neves, 2000; Hunter, 2001; Stape, 2002; Silva, 2006; Stape et al., 2008). Todos estes trabalhos destacam diferentes acúmulos de biomassa de acordo com as características genéticas das plantas e, principalmente, o manejo dado à água e aos nutrientes. Silva (2006) destaca que em seus resultados o crescimento e a partição de carbono para a biomassa de tronco e parte aérea foram positivamente influenciados pela aplicação de nutrientes, evidenciando o espaço para ganhos de produtividade em resposta à melhoria nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica favorável.

O conhecimento das características do sistema radicular das árvores (quantidade, distribuição em profundidade e interação com o solo), principalmente o das raízes finas, é fundamental para a definição e a tomada de decisões sobre práticas de preparo de solo e fertilização (local e época de aplicação) (Gonçalves & Mello, 2005).

A partição de carbono nas raízes é determinada, em grande parte pela disponibilidade de água e nutrientes no solo (Gonçalves & Mello, 2005). Reis et al. (1985) observaram em povoamentos de *E. grandis* que, com o decorrer do tempo, o acúmulo de biomassa radicular foi aproximadamente duas vezes maior num sítio de pior qualidade (solo pouco fértil e com maior déficit hídrico) relativamente a outro sítio de melhor qualidade, contribuindo para alterar a relação parte aérea/raiz de acordo com o sítio. Naqueles com menor disponibilidade de água e nutrientes as árvores tendem a aumentar a partição de carbono nas raízes para aumentar sua superfície de aquisição desses recursos. Reis et al. (2006) avaliaram clones de eucalipto até a idade de 38 meses, sob condição de irrigação por sulco, e atribuíram a maior produção de alguns clones à menor partição de carbono no sistema radicular, e, conseqüentemente, maior partição para a parte aérea.

Gonçalves et al. (2004) citam a densidade básica da madeira como o atributo mais comumente medido para a determinação da qualidade de polpa de celulose, tendo este com forte controle genético. Os mesmos autores dizem que práticas silviculturais como o espaçamento, controle de plantas daninhas, fertilização e irrigação atuam de maneira variada sobre as características das fibras do tronco e conseqüentemente na densidade básica da madeira. Silva (2006) constatou em seus estudos redução na densidade básica do tronco em razão do aumento na disponibilidade de hídrica, não sendo revertida mesmo com o aumento da suplementação nutricional. Resultado semelhante ao encontrado por Tomazello Filho (2006) que observou tendência de queda na densidade básica em parcelas

experimentais de clones de eucalipto que receberam tratamento de fertirrigação por um período de 85 meses.

O índice de área foliar é a área total de folhas verdes que é projetada por unidade de superfície de solo (Chen et al., 1997), e é uma característica determinante da produtividade das florestas por sua relação com a captura de radiação solar para a fotossíntese (Whitehead et al., 2004). Esses autores afirmam que, para plantações de eucalipto na Austrália, o IAF tende a ser menor do que o verificado em outras espécies, atribuindo isso à baixa disponibilidade de água e de nutrientes nas regiões onde são cultivados. Eles conseguiram elevar os valores de IAF aumentando a disponibilidade de água e de nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2006) para plantações de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, onde a aplicação de fertirrigação aumentou o IAF e, conseqüentemente, a produção. No trabalho de Stape (2002) o aumento da IAF foi decorrente da aplicação de irrigação a plantios de eucalipto.

A área foliar específica (AFE), também conhecida como massa foliar específica, é definida como a área foliar por unidade de matéria seca de folhas. É uma característica que reflete a eficiência com que o carbono é usado para produzir superfície de interceptação de luz e fotossíntese, além de, segundo Pierce et al. (1994), estabelecer importante ligação entre o carbono na planta e o uso de água. Espécies de plantas que crescem em ambientes com limitação hídrica têm, tipicamente, sua AFE reduzida quando comparadas a plantas que crescem em áreas sem limitação hídrica (Pierce et al., 1994). Para florestas de eucalipto na Austrália, Specht & Specht (1989) encontraram decréscimo na AFE média com o aumento do déficit hídrico do solo. Silva (2006) observou, em plantações de eucalipto de três anos de idade, que plantas com maior acúmulo de biomassa causado pela maior disponibilidade de água (via irrigação) e nutrientes (via fertirrigação) apresentaram maior AFE.

Araújo (2000) diz que o conteúdo total de nutrientes na planta é tido como o mais simples indicador da eficiência de aquisição dos mesmos, permitindo comparações preliminares entre materiais genéticos, ainda que não dê visibilidade aos mecanismos envolvidos na absorção. Gonçalves & Mello (2005) sugerem que em condições de menor disponibilidade de água e nutriente a densidade de raízes finas seria ampliada, permitindo que um maior volume de solo fosse explorado, aumentando a aquisição de água e nutrientes pelas árvores.

A eficiência de utilização de um nutriente (EUN) pode ser expressa pela relação entre biomassa ao quadrado, da árvore ou de um compartimento da árvore, e o conteúdo total do nutriente na árvore, ou no compartimento de interesse (Siddiqui & Glass, 1981; Neves, 2000). Ela expressa o quociente entre a biomassa e o teor do nutriente, varia com a espécie, em função das diferenças genotípicas ou pela interação genótipo-ambiente. Essas diferenças podem alterar a capacidade de absorção, transporte e utilização de nutrientes das plantas (Santana, 2000). Silva (2006) relata aumento na EUN para N, P e K em plantas de eucalipto com um ano de idade que receberam tratamentos de irrigação. Já as plantas que receberam água e nutrientes via irrigação (fertirrigado) apresentaram menor eficiência. O mesmo autor observou que aos três anos de idade a EUN para P foi reduzida, e atribuiu a isso ao maior transporte de P no solo devido à maior umidade presente, uma vez que foi constatada elevação no conteúdo de P nas árvores desta idade.

Assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o crescimento de árvores de povoamentos de eucalipto ao longo de um ciclo de corte e se o acúmulo de biomassa e nutrientes e a eficiência de uso de recursos são afetados pela quantidade de água e nutrientes minerais (via irrigação ou fertirrigação).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do experimento

O experimento foi instalado no município de Santana do Paraíso, estado de Minas Gerais, localizado a 19°18'23" S, 42°22'46 W e 220 m de altitude, na bacia do Rio Doce, em áreas da Celulose Nipo Brasileira S.A (CENIBRA).

A classificação climática da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca de inverno, precipitação média anual de 1.163 mm, temperatura média anual de 25,2 °C e umidade relativa média de 78 %. Os dados climáticos da área experimental foram obtidos por meio de uma estação climatológica localizada na região de Belo Oriente, próxima ao experimento (cerca de 7 km), e consistiram de médias mensais de precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima e de radiação solar global, para o período de outubro de 2001 a agosto de 2008 (Quadro 1).

Quadro 1 – Médias mensais de precipitação, temperatura e radiação solar no período de outubro de 2001 a agosto de 2008.

Mês	Precipitação	Temperatura Média	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Radiação Total
	mm	°C			MJ m ⁻² dia ⁻¹
Jan	190,3	25,2	31,5	21,2	19,3
Fev	202,1	25,3	32,0	20,9	20,6
Mar	131,2	25,1	31,6	20,9	19,4
Abr	77,3	24,0	30,5	19,9	16,4
Mai	25,2	21,4	28,5	16,8	14,1
Jun	11,8	19,9	27,6	14,9	13,0
Jul	9,7	19,5	27,5	13,8	13,6
Ago	8,9	20,9	28,7	15,1	15,5
Set	39,0	22,3	29,1	17,0	15,5
Out	62,9	24,5	31,4	19,3	18,7
Nov	183,1	24,6	30,5	20,5	17,2
Dez	305,3	25,0	31,2	20,9	21,0

O relevo é fortemente ondulado, com interflúvios normalmente estreitos, levemente aplanados e encostas com pendentes longas, de forma convexo-concava, com declividade chegando a até 45 graus.

A vegetação natural é caracterizada por floresta estacional semidecidual, formada por tipos arbóreos de médio a grande porte, com distribuição espaçada, que se intercalam com tipos de menor tamanho, a maior parte dessa vegetação foi substituída por pastagem e, atualmente, as áreas degradadas foram e vêm sendo aproveitadas para o plantio de eucalipto (Oliveira & Leite, 2000).

O solo da área experimental, localizada na posição de encosta, é classificado como Cambissolo Háptico (Menezes, 2005). Foram realizadas análises químicas e físicas em amostras de solos (0-20, 20-40 e 40-60 cm) antes da instalação do experimento (Quadro 2). Para auxiliar na determinação da capacidade de água disponível foi determinada a curva de retenção de água em cada horizonte do perfil do solo (A, AB, B11, B12 e C) (Quadro 3).

Os tratamentos correspondem a três combinações de aplicação de água e de nutrientes ao solo (irrigado, fertirrigado e controle - sem irrigação e fertirrigação) (Quadro 4), um espaçamento (3 x 3,33 m, totalizando 1001 plantas por hectare) e quatro materiais genéticos clonais de eucalipto, dois clones de Híbrido de *Eucalyptus grandis* – Rio Claro (57 e 2719); um clone de *Eucalyptus grandis* (129) e um híbrido clonal de *E. grandis* x *E. urophylla*, “urograndis” (1215).

O experimento ocupa uma área de 5,4 ha, sendo 2,6 ha irrigados e fertirrigado, e 2,8 ha sem fertirrigação ou irrigação, tratamento controle. Aproximadamente um mês antes do plantio, em toda a área experimental, foram aplicados 3.000 kg ha⁻¹ de calcário (40 % CaO, 10 % MgO e 15 % de umidade), a lançar em duas faixas laterais, de 1 m de largura distanciadas de 1 m do centro da cova, e 800 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (GAFSA), aplicado em dois filetes laterais no limite de projeção da copa, com cerca de 5 cm de largura, sem incorporação. Após o coveamento manual (30 x 30 x 30 cm), realizou-se o plantio, em outubro de 2001.

Quadro 2 – Caracterização física e química do solo da área experimental

Característica	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Análise textural (%)			
-Areia grossa	17,10	16,30	21,80
-Areia fina	11,50	10,70	12,90
-Silte	6,00	6,70	6,90
-Argila	65,40	66,60	58,40
Argila dispersa em água (%)	17,80	3,40	45,10
pH em água	4,52	4,44	4,48
P (mg dm ⁻³) ^{1/}	1,76	1,24	1,10
K (mg dm ⁻³) ^{1/}	30,50	14,20	11,20
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	0,45	0,17	0,11
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	0,14	0,09	0,08
Na (mg dm ⁻³) ^{2/}	5,00	3,60	3,00
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	0,96	0,92	0,74
S (mg dm ⁻³) ^{3/}	54,50	118,50	149,30
Zn (mg dm ⁻³) ^{1/}	0,52	0,27	0,11
Cu (mg dm ⁻³) ^{1/}	2,09	2,35	2,15
Fe (mg dm ⁻³) ^{1/}	59,80	50,40	42,40
Mn (mg dm ⁻³) ^{1/}	31,10	16,90	12,50
B (mg dm ⁻³) ^{4/}	0,28	0,20	0,14
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,69	0,31	0,23
t (cmol _c dm ⁻³)	1,65	1,24	0,97
m (%)	62,20	70,30	70,60
M.O. (dag dm ⁻³)	1,80	1,17	0,94

pH = relação 1:2,5; 1/Extrator Mehlich-1; 2/Extrator KCl 1mol/L; 3/ Extrator Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Chesnin & Yien, 1950); 4/ Extrator água quente; SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; t = SB + Al³⁺; m = 100 Al³⁺/ t; M.O. = 1,724 x C.O. (EMBRAPA, 1997).

Logo após o plantio, foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento com o objetivo de aplicar uma lâmina complementar de irrigação, considerando 5 mm dia⁻¹ a capacidade máxima de operação do sistema. A demanda de água foi estimada pelo método da evapotranspiração de referencia – Et₀, calculada pelo método de Penman-Monteith. O regime pluviométrico e a lâmina de irrigação aplicada durante o período de condução do experimento são apresentados na Figura 1.

Quadro 3 – Retenção de água do perfil de um Cambissolo Háplico utilizado no experimento.

Horizonte	Profundidade		Água Retida		Água disponível
	Inicial	Final	- 10 kPa	-1500 kPa	
	----- cm -----		----- m ³ m ⁻³ -----		
A	0	10	0,272	0,191	0,081
AB	10	20	0,290	0,208	0,082
Bi1	20	90	0,351	0,248	0,103
Bi2	90	145	0,324	0,235	0,089
C	145	>	0,319	0,231	0,088

Após o plantio, realizaram-se as adubações de implantação: 180 g planta⁻¹ de NPK 06-30-06, em 24/10/01, 20 kg ha⁻¹ Produbor (10 % B) em 29/11/01. Nas adubações de manutenção foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de Produbor em 08/05/02 e 400 kg ha⁻¹ de KCl + 2 % B (07/05/02). No tratamento fertirrigado foram aplicados, por meio de fertirrigação, a partir de 28/08/02, fertilizações adicionais calculadas em função da curva estimada de demanda de nutrientes (N, P, K, S e micronutrientes) para plantios de eucalipto com produtividade de 360 m³ ha⁻¹ de tronco aos 6 anos. As fertirrigações eram realizadas três vezes por semana e as quantidades aplicadas de cada um dos nutrientes estão descritas no Quadro 5.

Quadro 4 – Descrição dos tratamentos de água e nutrientes.

Tratamentos	Fertilização	Irrigação Suplementar
Controle	Nutricalc ^{1/} (35 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Sem
Irrigado	Nutricalc (35 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Com (100% ETc)
Fertirrigado	Nutricalc (60 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Com (100% ETc)

^{1/} Barros et al. (1995) Os valores entre parênteses referem-se a produtividade esperada; ETc – Evapotranspiração da cultura;

Quadro 5 – Total de suplementação nutricional fornecido pelo tratamento fertirrigado no período de agosto de 2002 até junho de 2008.

N	P	K	Ca	Mg	B	Zn	Cu	Mo
----- kg ha ⁻¹ -----				----- kg ha ⁻¹ -----				
2958,4	206,4	3440,0	1100,8	75,7	53,7	49,5	26,8	4,5

2.2. *Variáveis medidas.*

Em cada parcela experimental, composta por 40 covas, na idade de 81 meses, foi determinado o *dap* e a altura total de todas as plantas, sendo possível então calcular o volume cilíndrico e a área basal de cada uma das árvores. Os valores de volume cilíndrico foram então postos em ordem crescente e então divididos em cinco diferentes classes de produtividade (1, 3, 5, 7 e 9) sendo que a classe de produtividade 1 corresponde as plantas de menor volume cilíndrico (totalmente dominadas) e a classe de produtividade 9 representam as árvores de maior volume cilíndrico (dominantes), os limites para a determinação de cada classe de produtividade foram estabelecidos através da função percentil (Microsoft© Office© Excel, 2007) para os valores de percentis iguais a 10 %, 30 %, 50 %, 70 % e 90 %.

Em cada parcela experimental foram medidos os *dap* e a altura total de todas as árvores, e a cada três meses a partir de 13 meses até os 81 meses de idade. Com essas informações foram ajustadas equações de regressão, de modo a se obter as curvas que descrevem o crescimento para *dap*, altura total, área basal e volume de tronco em função da idade dos plantios.

Visando a determinação da biomassa dos diferentes componentes da parte área e seus respectivos conteúdos de nutrientes minerais, nas parcelas correspondentes aos tratamentos com água e nutrientes (irrigado, fertirrigado e controle), cinco árvores foram abatidas (uma árvore em cada classe de produtividade) para cada material genético. Após o abate, o tronco das árvores foram submetidos á cubagem pelo método de Smalian e seus componentes (folhas, galhos, casca e lenho) separados e pesados (biomassa fresca). Para a estimativa da biomassa seca desses componentes, após homogeneização, foi retirada uma amostra que foi pesada (biomassa fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 65 °C, até peso constante. A partir do peso de biomassa fresca total de cada compartimento e o peso da biomassa seca de cada amostra, foi estimado o peso da biomassa seca total dos respectivos compartimentos, para cada árvore abatida.

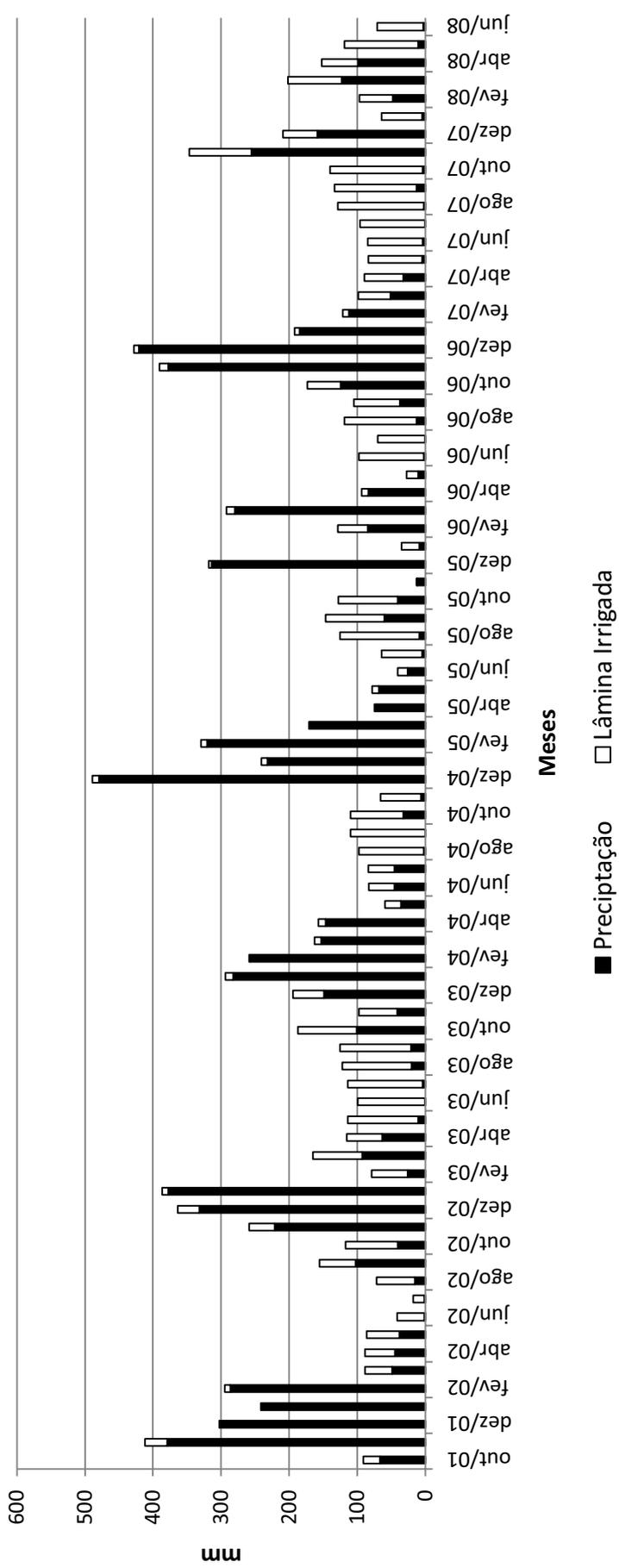


Figura 1 – Regime pluviométrico e lâmina de irrigação aplicada ao solo em plantios de *Eucalyptus* submetidos a diferentes tratamentos de água e nutrientes.

Para a realização da cubagem de cada tronco das árvores abatidas, foram retirados e medidos os diâmetros de cinco discos: na base, a 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial do tronco, a partir dessa informação foi realizada a determinação do volume de tronco usando a fórmula de Smalian (Campos & Leite, 2006):

$$V_t = \frac{\pi L}{80.000} (D_{Base}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2)$$

em que:

V_t = volume do fuste, em m^3 ;

D_i = Diâmetro do disco de madeira, em cm;

L = comprimento do fuste, em m.

A coleta de raízes finas (< 2 mm diâmetro), visando a avaliar sua distribuição, superfície total e biomassa, foi realizada em um quarto da área útil das árvores abatidas utilizando-se unidades amostrais de 4 cm de diâmetro por 20 cm de altura, considerando o plano original do solo nas camadas de: 0-20, 20-40 e 40-60 cm distribuídos ao longo da linha de plantio(L), entre linha (E) e de uma diagonal(D) a 45 graus entre os eixos L e E (Figura 2). Posteriormente, o solo de cada unidade amostral foi colocado em peneiras e realizado a separação manual das raízes da massa de solo. As raízes finas (< 2 mm diâmetro), foram separadas com a ajuda de gabaritos e as raízes mortas foram separadas com base na análise manual de flexibilidade e cor da raiz. Raízes finas ocorrem em camadas mais profundas do solo (Neves, 2000), mas espera-se que os primeiros 60 cm contêm 90 % ou mais da biomassa total de raízes finas (Bouillet et al., 2002).

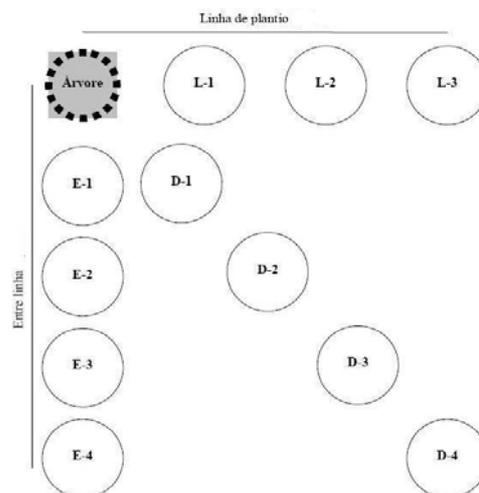


Figura 2 – Distribuição dos pontos de amostragem em $\frac{1}{4}$ da área útil de uma árvore para a coleta de raízes finas, em plantas submetidas à aplicação diferenciada de água e nutrientes.

Após a coleta as amostras de raízes finas foram lavadas em água corrente, imersas em solução de HCl 3 % trinta segundos e, após, em água destilada (Bataglia, et al., 1978), sendo então postas para secar em estufa de circulação forçada até peso constante.

Para a determinação da superfície total e a área radicular específica, as amostras das raízes finas foram colocadas sobre transparências e digitalizadas, com uma resolução de 600 dpi utilizando-se scanner HP Scanjet 8200. Para o processamento das imagens foi utilizado o software QuantRoot©(Fernandes Filho, 2001), convertendo-se os valores de pixel das imagens em valores de preto e branco (imagens binárias). Em seguida utilizou-se o filtro “Mediana” para a redução de pixels isolados e, na sequência, redução manual de ruídos da imagem.

Com as imagens processadas, obtiveram-se os atributos morfométricos utilizados neste trabalho (diâmetro e comprimento). Com o auxílio do gerenciador de planilhas Microsoft© Office© Excel 2007 calculou-se a superfície radicular.

A superfície de raízes finas (S_{RF}), representativa da extensão da superfície de aquisição de água e nutrientes minerais, será calculada pela fórmula:

$$S_{RF} = \pi \times D \times L_R$$

onde:

- S_{RF} = superfície de raízes finas (cm^2);
- D = diâmetro (cm);
- L_R = comprimento Radicular (cm).

Adicionalmente, amostras extras de raízes finas foram retiradas e mantidas hidratadas em uma solução contendo água e álcool (30 %), estas amostras tiveram sua superfície determinada quando hidratada e, posteriormente, quando seca, sendo assim possível a determinação de um fator de correção entre a superfície seca e úmida, utilizado para corrigir a superfície radicular obtidas para todas as outras amostras.

As amostras de raízes submetidas à digitalização foram então pesadas e pelo quociente entre a área radicular (m^2) e a massa seca (kg) chegou-se aos valores de área radicular específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$).

A quociente entre a área total de raízes de uma árvore e o área de solo por ela explorada fornece o índice de área radicular expresso em $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ de solo.

Para a determinação da área foliar específica (AFE) foi coletada uma amostra de aproximadamente 50 g de folhas verdes, após a homogeneização de toda a folhagem, no momento da quantificação de toda a matéria fresca dos componentes da parte aérea das

árvores abatidas. As folhas serão conduzidas para o laboratório em sacolas plásticas e mantidas refrigeradas em caixa de isopor. A AFE ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) foi calculada pela relação entre a área foliar, determinada em um medidor de área foliar LI-3000 (LI-Cor, EUA), e da massa seca de folhas. O valor de AFE, juntamente com a massa seca total de cada árvore e a respectiva área útil, permite o cálculo da área de folhas (m^2) por área de solo (m^2), ou seja, o índice de área foliar (IAF $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).

Sub-amostras do material vegetal seco foram moídos e mineralizados. Nos extratos da mineralização nítrico-perclórica foram determinados os teores de P (colorimetria), K (fotometria de emissão de chama), S (turbidimetria de sulfatos), Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu (espectrofotometria de absorção atômica). Já o teor de N foi determinado pelo método de Kjeldahl. O B foi determinado colorimetricamente, após calcinação do material vegetal.

Por meio do quociente entre a produção de biomassa ao quadrado da parte aérea, tronco, folhas e raiz fina e o conteúdo de nutrientes na árvore em cada um desses componentes foram obtidos as respectivas eficiências de utilização ($\text{EU} = (\text{kg de biomassa})^2 / \text{kg de nutriente}$), conforme proposto por Siddiqui & Glass (1981).

Para a determinação da densidade da madeira foram retirados, nas árvores abatidas, discos de madeira de 3,5 a 4,5 cm de espessura na base, no *dap*, e aos 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial do tronco. Os discos foram cortados na forma de cunha (1/4 do volume) e imersos em água até sua saturação completa e, então, obtido o peso úmido e seco para a determinação do valor da densidade do lenho, pelo método da balança hidrostática (Tomazello Filho, 2006).

A eficiência de utilização da água para a produção de biomassa de tronco foi obtida pelo relacionamento entre o peso da biomassa de tronco e a lâmina d'água total acumulada aplicada no experimento, seja ela via precipitação ou via irrigação, durante todo o ciclo.

Os efeitos médios dos tratamentos de água e nutrientes sobre as variáveis de biomassa (tronco e parte aérea), área foliar específica e índice de área foliar, foram plotados juntamente com os dados obtidos por Silva (2006), compondo o comportamento dessas variáveis ao longo de um ciclo completo de crescimento da cultura do eucalipto.

2.3. Análise dos dados

Os dados obtidos nas árvores abatidas aos 81 meses foram submetidos à análise de variância, segundo esquema de ANOVA constante no Quadro 6.

Para a obtenção do Resíduo, fez-se o agrupamento dos graus de liberdade aos efeitos de alta ordem (cúbico e quártico) da classe de produtividade em cada combinação clone e tratamento com água e nutrientes. Os graus de liberdade referentes aos tratamentos com água e nutrientes dentro de cada clone foram desdobrados em contrastes: C₁: Irrigado vs Controle – Efeito da suplementação hídrica; C₂: Fertirrigado vs Irrigado – Efeito da suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica; C₃: Fertirrigado vs Controle – Efeito conjunto da suplementação hídrica e nutricional, testados por F, até ao nível de 10 % de probabilidade.

Para se avaliar o efeito da classe de produtividade sobre as variáveis estudadas foram ajustadas equações de regressão lineares ou curvilíneas (Quadráticas ou Quadráticas base raiz quadrada), sendo que os parâmetros das equações foram testados com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância até o nível de 20 % de probabilidade.

Para as características dendrométricas: *dap*, altura total, área basal e volume de tronco, foram ajustados modelos não lineares que descrevem o comportamento dessas variáveis ao longo do tempo, com o auxílio do procedimento “NonLinear Estimation” – método “Quasi Newton”- do software Statistica 7.0 (StatSoft, 2004).

Quadro 6 – Esquema da análise de variância utilizada neste trabalho

FONTES DE VARIAÇÃO	Graus de Liberdade
Clone	3
Tratamento água e nutrientes d/ Clone 57	2
Tratamento água e nutrientes d/ Clone 129	2
Tratamento água e nutrientes d/ Clone 2719	2
Tratamento água e nutrientes d/ Clone 1215	2
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 57 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 57 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 129 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 129 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 2719 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 2719 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 1215 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 1215 e Tratamento Irrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 57 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 57 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 129 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 129 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 2719 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 129 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 1215 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 1215 e Tratamento Fertirrigado	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 57 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 57 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 129 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 129 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 2719 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 2719 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Linear) d/ Clone 1215 e Tratamento Controle	1
Classe de Produtividade (Ef. Curvilíneo) d/ Clone 1215 e Tratamento Controle	1
Resíduo	24
Total	59

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Características dendrométricas

3.1.1. Equação de volume

Para o ajuste das equações de volume individual de tronco foi ajustado o modelo de Schumacher e Hall (Campos e Leite, 2006): $V_t = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} + \varepsilon_i$, em que V_t é o volume individual de tronco em m^3 ; dap é o diâmetro à 1,3 m de altura, em cm; Ht representa a altura total do tronco, em m; β_0 , β_1 e β_2 os parâmetros da equação a serem estimados e ε_i o erro experimental.

Em razão das equações de volume ajustadas a nível de material genético clonal de eucalipto aqui estudados não terem diferido entre si, foi ajustado uma única equação para os quatro materiais genéticos sendo que todos os parâmetros da equação foram altamente significativos pelo teste F ($p < 0,001$):

$$V_{Tronco} = 0,000065 dap^{1,6921} Ht^{1,2075}$$

A partir desta equação foi possível estimar o volume sólido de tronco para cada uma das árvores das parcelas experimentais.

3.1.2. Variáveis de Crescimento

As equações que descrevem o crescimento das variáveis em, dap (Quadro 7), Ht (Quadro 8), B (Quadro 9) e V_t (Quadro 10) em função da idade e em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes, ajustaram-se bem aos dados observados. Para as variáveis dap , Ht e B o modelo de melhor ajuste foi o de Gompertz ($\hat{y} = a e^{(-e^{(b-cX)})} + \varepsilon$), e para o volume de tronco o modelo de melhor ajuste foi o Logístico ($\hat{y} = \frac{a}{1+b e^{-cX}} + \varepsilon$).

Quadro 7 - Equações ajustadas relacionando *dap* (\hat{y} , cm) com a idade (meses) em resposta aos tratamentos com água e nutrientes na Região do Vale do Rio Doce, MG.

Clone	Tratamento	Equação	$r_{\hat{y}}$	n
57	Controle	$\hat{y} = 18,28 e^{(-e^{(0,6126-0,0489X)})}$	0,9967	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 22,21 e^{(-e^{(0,5338-0,0408X)})}$	0,9957	27
	Irrigado	$\hat{y} = 17,70 e^{(-e^{(0,2794-0,0392X)})}$	0,9922	27
129	Controle	$\hat{y} = 16,65 e^{(-e^{(0,8043-0,0585X)})}$	0,9960	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 20,49 e^{(-e^{(0,6369-0,0567X)})}$	0,9933	27
	Irrigado	$\hat{y} = 16,81 e^{(-e^{(0,4171-0,0523X)})}$	0,9933	27
2719	Controle	$\hat{y} = 16,78 e^{(-e^{(0,5890-0,0593X)})}$	0,9899	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 18,45 e^{(-e^{(0,4726-0,0515X)})}$	0,9854	27
	Irrigado	$\hat{y} = 17,67 e^{(-e^{(0,3619-0,0503X)})}$	0,9931	27
1215	Controle	$\hat{y} = 18,34 e^{(-e^{(0,7094-0,0541X)})}$	0,9951	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 18,90 e^{(-e^{(0,8527-0,0598X)})}$	0,9933	27
	Irrigado	$\hat{y} = 19,28 e^{(-e^{(0,5483-0,0538X)})}$	0,9954	27

Quadro 8 - Equações ajustadas relacionando a altura total (\hat{y} , m) com a idade (meses) em resposta aos tratamentos com água e nutrientes na Região do Vale do Rio Doce, MG.

Clone	Tratamento	Equação	$r_{\hat{y}}$	n
57	Controle	$\hat{y} = 30,46 e^{(-e^{(0,6022-0,0335X)})}$	0,9802	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 34,22 e^{(-e^{(0,6356-0,03909X)})}$	0,9850	27
	Irrigado	$\hat{y} = 32,85 e^{(-e^{(0,3203-0,0221X)})}$	0,9888	27
129	Controle	$\hat{y} = 26,47 e^{(-e^{(1,0095-0,0580X)})}$	0,9926	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 32,60 e^{(-e^{(0,6474-0,0417X)})}$	0,9707	27
	Irrigado	$\hat{y} = 26,60 e^{(-e^{(0,5095-0,0447X)})}$	0,9911	27
2719	Controle	$\hat{y} = 30,70 e^{(-e^{(0,5942-0,0378X)})}$	0,9828	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 33,71 e^{(-e^{(0,5619-0,0332X)})}$	0,9798	27
	Irrigado	$\hat{y} = 33,24 e^{(-e^{(0,4145-0,0305X)})}$	0,9363	27
1215	Controle	$\hat{y} = 27,96 e^{(-e^{(0,6713-0,0437X)})}$	0,9890	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 29,79 e^{(-e^{(0,6830-0,0388X)})}$	0,8188	27
	Irrigado	$\hat{y} = 28,65 e^{(-e^{(0,4798-0,0425X)})}$	0,9389	27

Quadro 9 - Equações ajustadas relacionando área basal (\hat{y} , m² ha⁻¹) com a idade (meses) em resposta aos tratamentos com água e nutrientes na Região do Vale do Rio Doce, MG.

Clone	Tratamento	Equação	$r_{\hat{y}}$	N
57	Controle	$\hat{y} = 27,27 e^{(-e^{(1,1513-0,0403X)})}$	0,9937	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 33,82 e^{(-e^{(1,0777-0,0311X)})}$	0,9922	27
	Irrigado	$\hat{y} = 25,04 e^{(-e^{(0,8888-0,0315X)})}$	0,9924	27
129	Controle	$\hat{y} = 23,62 e^{(-e^{(1,3706-0,0519X)})}$	0,9962	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 35,07 e^{(-e^{(1,1559-0,0478X)})}$	0,9922	27
	Irrigado	$\hat{y} = 24,23 e^{(-e^{(1,0291-0,0468X)})}$	0,9945	27
2719	Controle	$\hat{y} = 21,82 e^{(-e^{(1,0803-0,0492X)})}$	0,9907	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 30,02 e^{(-e^{(0,9516-0,0390X)})}$	0,9865	27
	Irrigado	$\hat{y} = 25,48 e^{(-e^{(0,9333-0,0432X)})}$	0,9934	27
1215	Controle	$\hat{y} = 27,41 e^{(-e^{(1,2535-0,0460X)})}$	0,9956	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = 31,65 e^{(-e^{(1,3220-0,0483X)})}$	0,9934	27
	Irrigado	$\hat{y} = 30,88 e^{(-e^{(1,1290-0,0474X)})}$	0,9934	27

Quadro 10 - Equações ajustadas relacionando volume de tronco (\hat{y} , m³ ha⁻¹) com a idade (meses) em resposta aos tratamentos com água e nutrientes na Região do Vale do Rio Doce, MG.

Clone	Tratamento	Equação	$r_{\hat{y}y}$	n
57	Irrigado	$\hat{y} = \frac{491,60}{1 + 15,97 e^{-0,051X}}$	0,9963	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = \frac{602,88}{1 + 27,70 e^{-0,063X}}$	0,9976	27
	Controle	$\hat{y} = \frac{510,61}{1 + 25,74 e^{-0,067X}}$	0,9962	27
129	Irrigado	$\hat{y} = \frac{447,22}{1 + 15,34 e^{-0,067X}}$	0,9943	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = \frac{794,81}{1 + 16,54 e^{-0,059X}}$	0,9883	27
	Controle	$\hat{y} = \frac{437,92}{1 + 28,39 e^{-0,079X}}$	0,9943	27
2719	Irrigado	$\hat{y} = \frac{558,56}{1 + 13,81 e^{-0,056X}}$	0,9923	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = \frac{629,07}{1 + 18,42 e^{-0,061X}}$	0,9957	27
	Controle	$\hat{y} = \frac{443,97}{1 + 17,83 e^{-0,067X}}$	0,9936	27
1215	Irrigado	$\hat{y} = \frac{579,58}{1 + 15,28 e^{-0,064X}}$	0,9893	27
	Fertirrigado	$\hat{y} = \frac{612,04}{1 + 27,60 e^{-0,071X}}$	0,9961	27
	Controle	$\hat{y} = \frac{524,68}{1 + 20,99 e^{-0,064X}}$	0,9918	27

A partir dessas equações foram obtidas as curvas que descrevem o crescimento em *dap* (Figura 3); altura total (Figura 4); área basal (Figura 5) e volume de tronco (Figura 6), para cada material genético estudado em função da idade dos plantios, dentro de cada tratamento de água e nutrientes minerais. O tratamento fertirrigado levou a um maior crescimento em *dap*, Ht, B e Vt, nos quatro materiais genéticos estudados. Apesar de nem sempre apresentar os maiores valores, o clone 129 foi o que mais respondeu a aplicação conjunta de água e nutrientes em crescimento das quatro variáveis estudadas (*dap*, Ht, B e Vt). Sendo que para volume de tronco este material genético apresentou uma resposta positiva de 56 % em relação ao tratamento controle enquanto que para o mesmo clone a

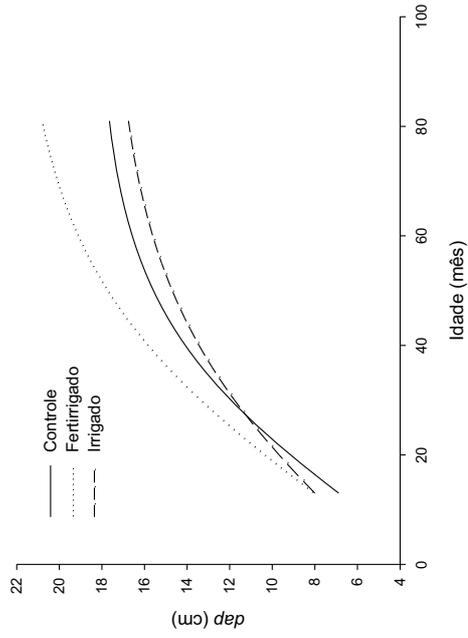
resposta a aplicação apenas de água, via irrigação, teve um incremento de 6 % em relação ao tratamento controle. Assim como observado no clone 129, houve uma baixa resposta das variáveis de crescimento (*dap*, Ht, B e Vt) ao tratamento irrigado sendo que nos clone 2719, 1215 também foi baixa e chegando a ser negativa para o clone 57. Este menor crescimento do tratamento irrigado no clone pode ter ocorrido principalmente devido a um maior favorecimento na localização da parcela experimental do tratamento controle, que estava em uma posição de declividade muito menor daquela observada no tratamento irrigado.

As equações e as curvas que descrevem o comportamento médio dos quatro materiais genéticos estudados estão descritos no Quadro 11 e Figura 7.

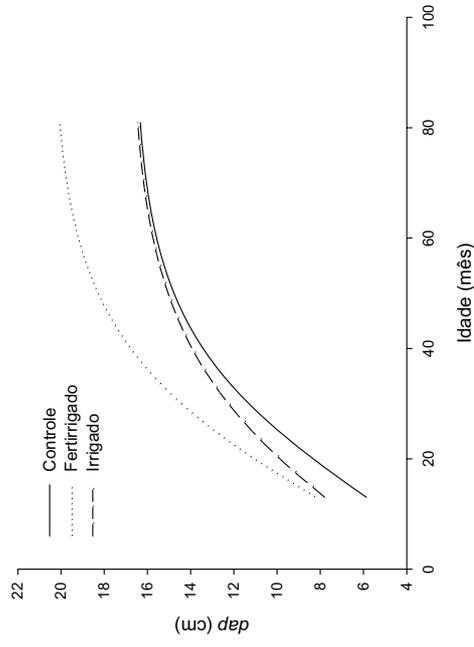
Quadro 11 – Equações que descrevem o comportamento médio das variáveis de crescimento de uma floresta clonal de eucalipto submetida a fornecimento controlado de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce – MG.

Variável	Tratamento	Equação	$r_{\hat{y}y}$	n
<i>dap</i>	Controle	$\hat{y} = 17,50 e^{(-e^{(0,6742 - 0,0028X)})}$	0,9812	108
	Fertirrigado	$\hat{y} = 19,92 e^{(-e^{(0,6132 - 0,0038X)})}$	0,9647	108
	Irrigado	$\hat{y} = 17,80 e^{(-e^{(0,4001 - 0,0490X)})}$	0,9535	108
Ht	Controle	$\hat{y} = 28,64 e^{(-e^{(0,6937 - 0,0425X)})}$	0,9787	108
	Fertirrigado	$\hat{y} = 32,51 e^{(-e^{(0,6192 - 0,0357X)})}$	0,9665	108
	Irrigado	$\hat{y} = 29,56 e^{(-e^{(0,7971 - 0,0344X)})}$	0,9629	108
B	Controle	$\hat{y} = 24,96 e^{(-e^{(1,2060 - 0,0463X)})}$	0,9818	108
	Fertirrigado	$\hat{y} = 32,08 e^{(-e^{(1,1157 - 0,0417X)})}$	0,9428	108
	Irrigado	$\hat{y} = 26,10 e^{(-e^{(0,9940 - 0,0427X)})}$	0,9165	108
Vt	Controle	$\hat{y} = \frac{477,63}{1 + 22,41 e^{-0,0685X}}$	0,9908	108
	Fertirrigado	$\hat{y} = \frac{659,71}{1 + 21,02 e^{-0,0628X}}$	0,9574	108
	Irrigado	$\hat{y} = \frac{513,15}{1 + 14,55 e^{-0,0591X}}$	0,9433	108

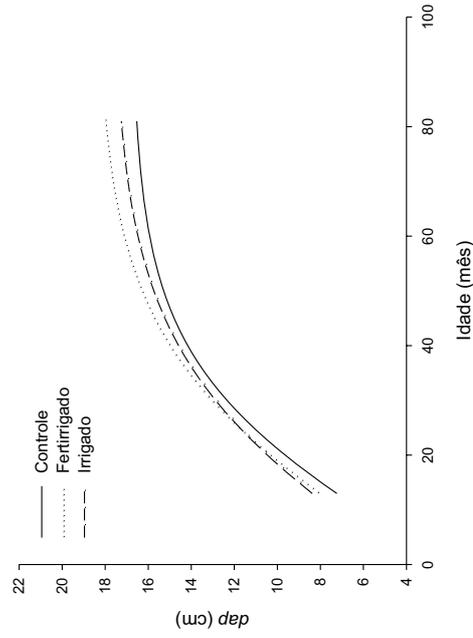
Clone 57



Clone 129



Clone 2719



Clone 1215

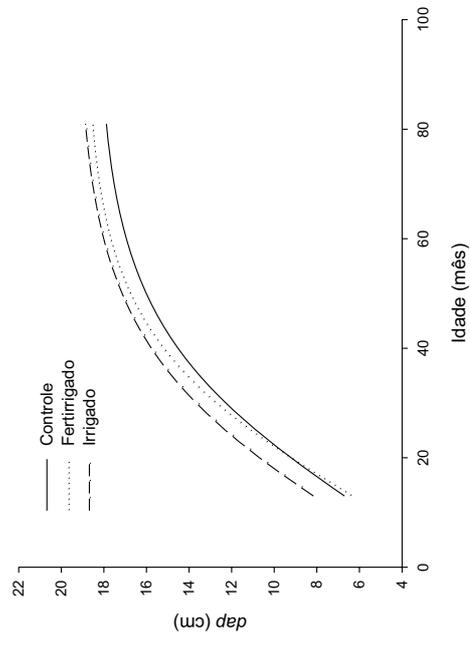
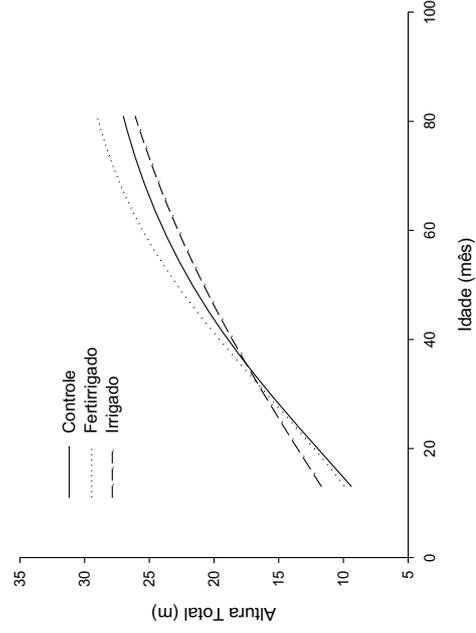
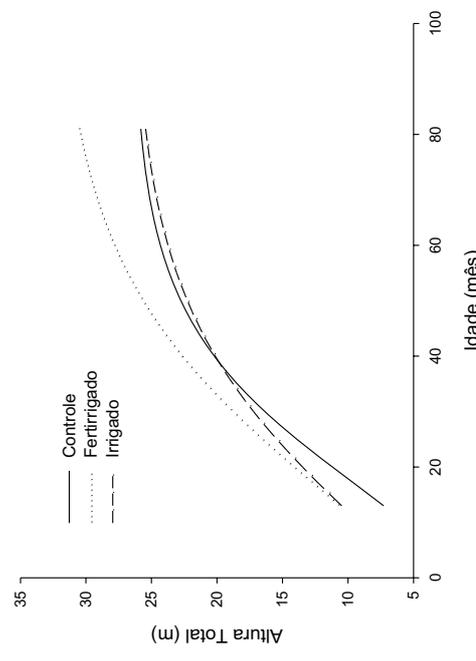


Figura 3 – Crescimento em diâmetro à 1,3 m de altura (*dap*) em função da idade para quatro materiais genéticos clonais de eucalipto, em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes para a região do Vale do Rio Doce, MG.

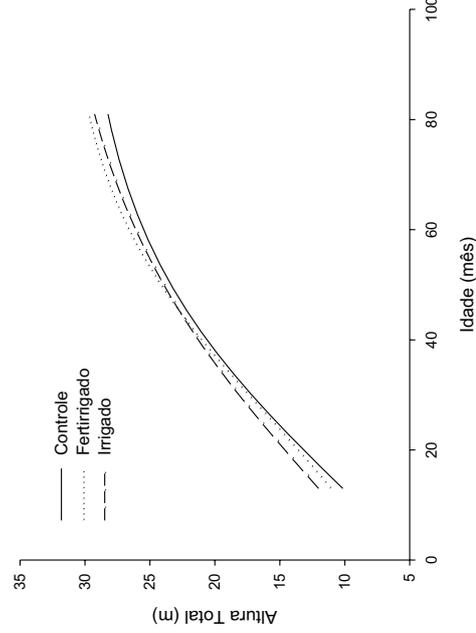
Clone 57



Clone 129



Clone 2719



Clone 1215

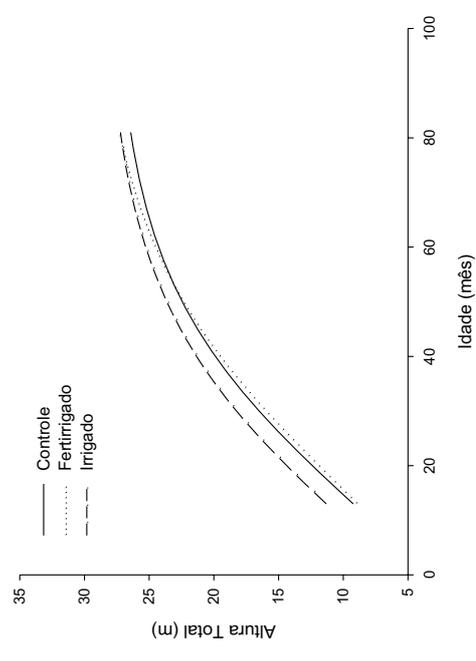


Figura 4 – Crescimento em altura total em função da idade para quatro materiais genéticos clonais de eucalipto, em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes para a região do Vale do Rio Doce, MG.

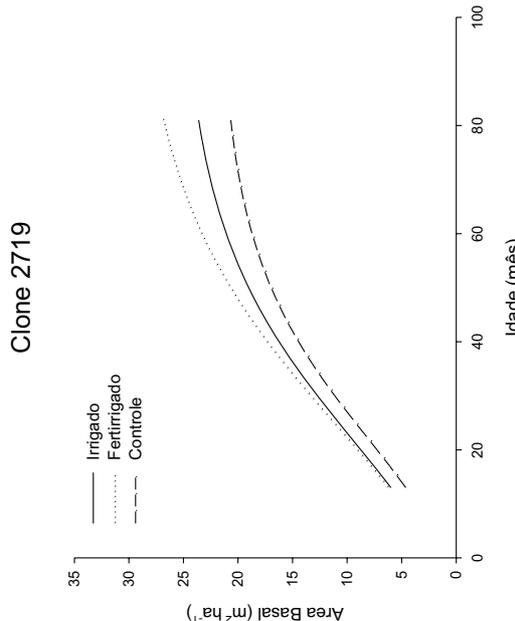
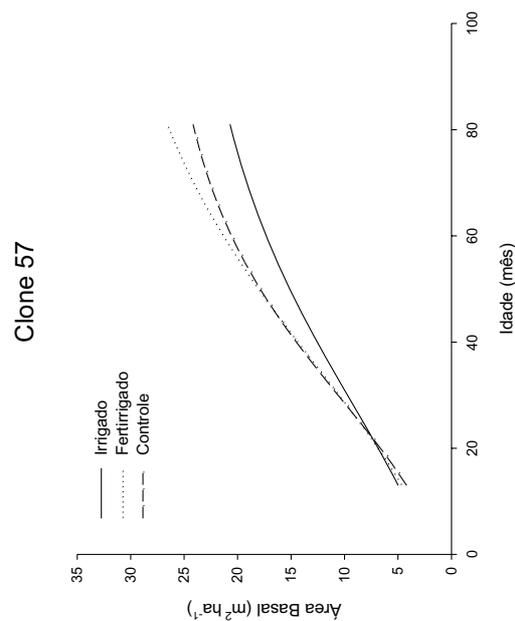
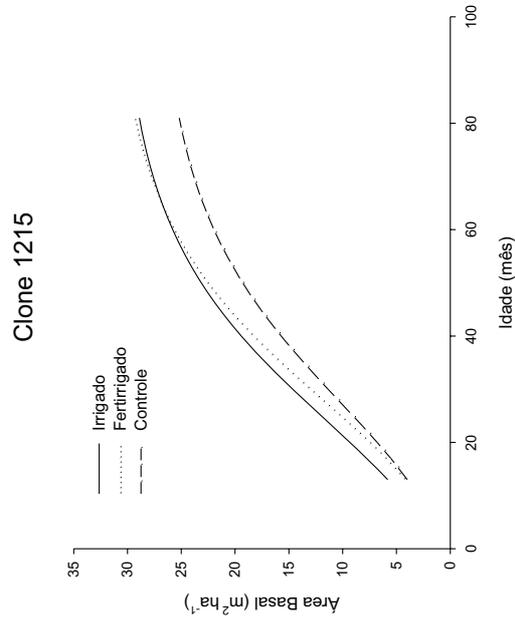
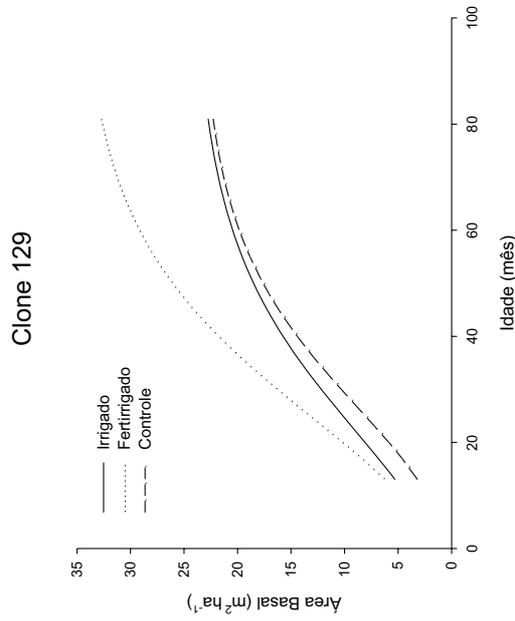
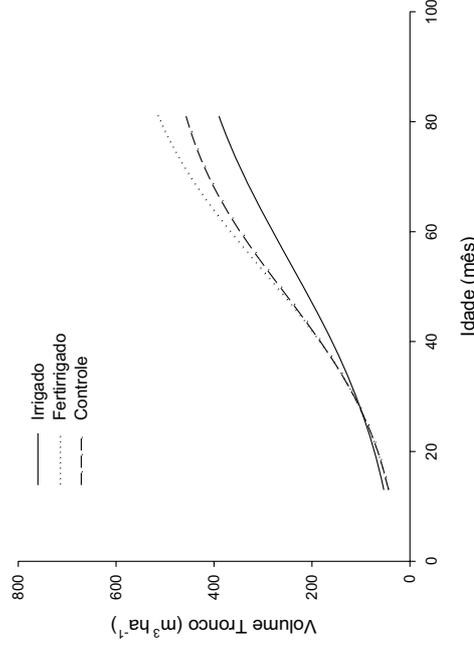
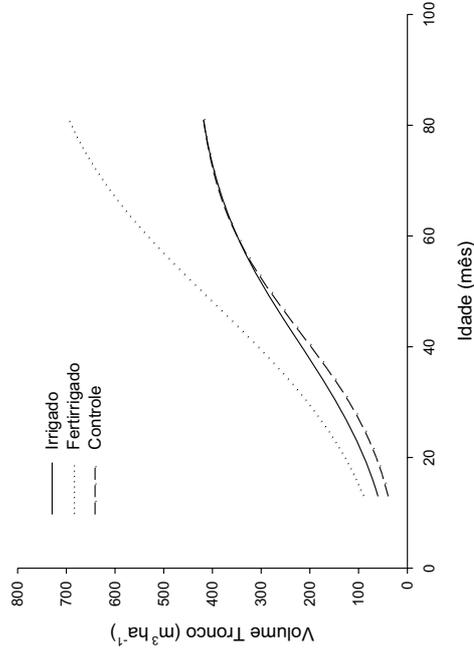


Figura 5 – Crescimento em área basal em função da idade para quatro materiais genéticos clones de eucalipto, em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes para a região do Vale do Rio Doce, MG.

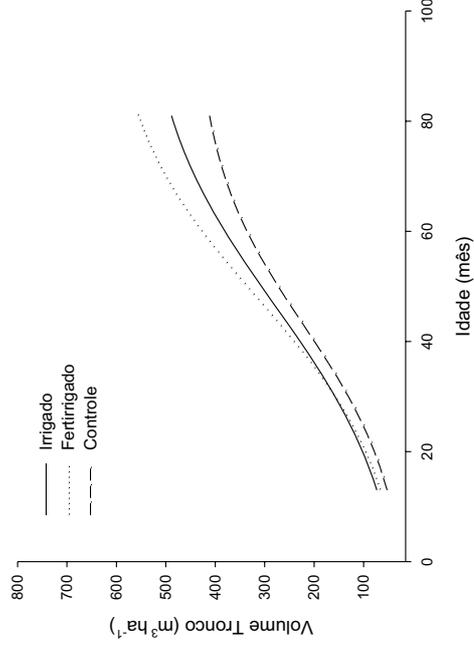
Clone 57



Clone 129



Clone 2719



Clone 1215

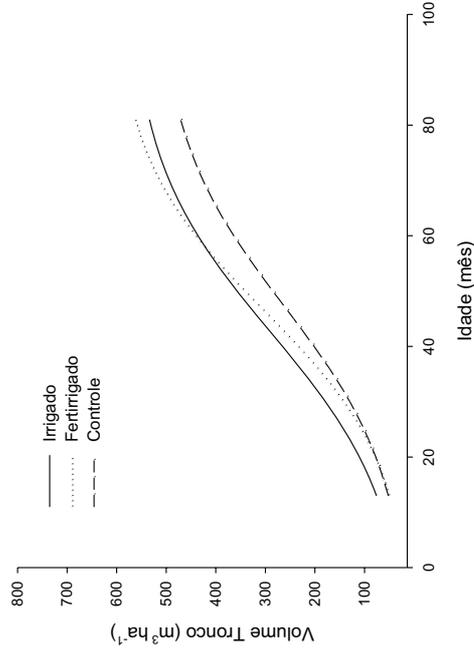


Figura 6 – Crescimento em volume de tronco com casca em função da idade para quatro materiais genéticos clonais de eucalipto, em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes para a região do Vale do Rio Doce, MG.

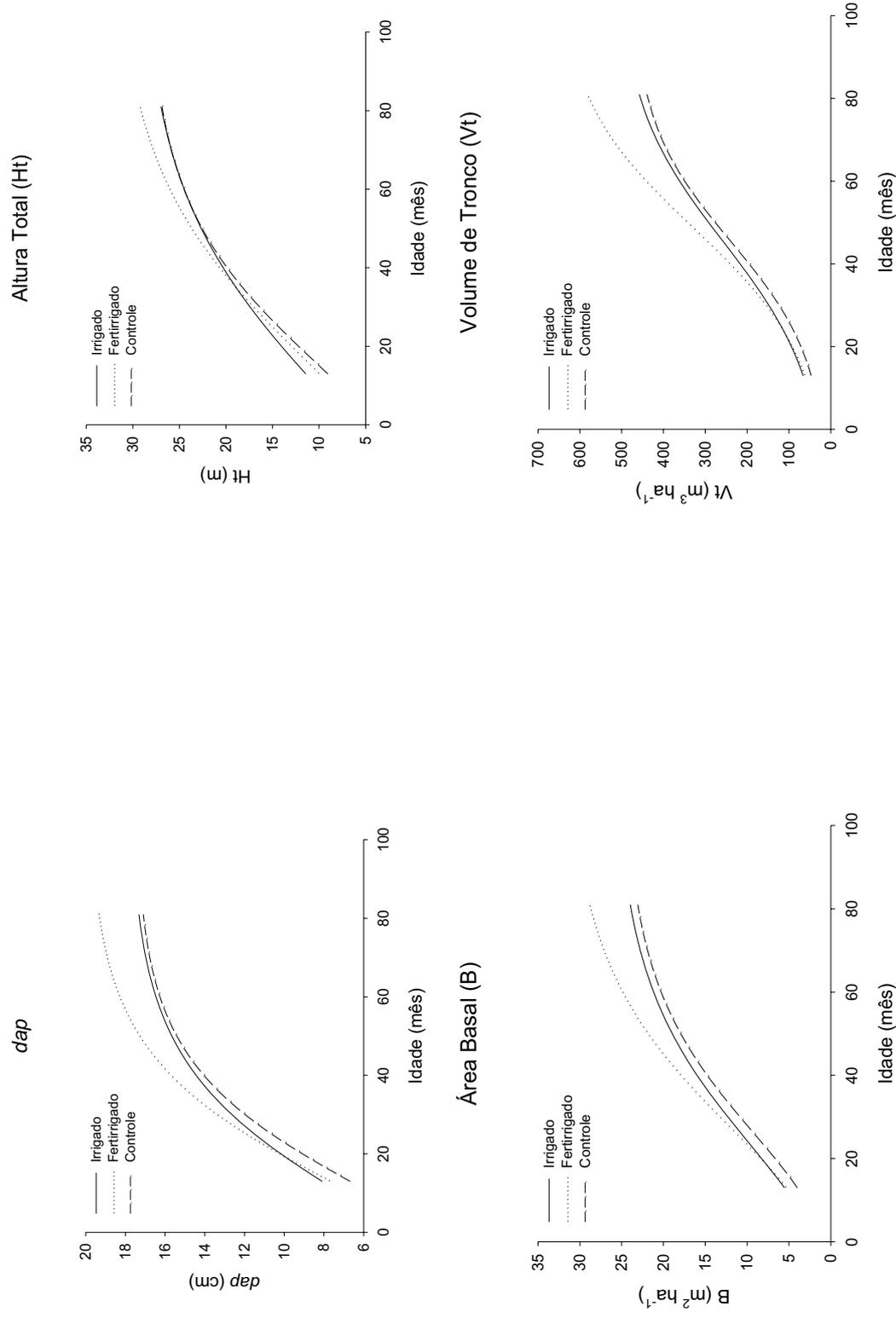


Figura 7 – Comportamento médio das variáveis de crescimento de diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto submetidos a aplicação controlada de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce - MG

Em média, o tratamento fertirrigado elevou a maiores crescimentos em *dap*, Ht, B e Vt sendo que na média houve um incremento na produção de volume de tronco de 29,8 % em resposta ao tratamento fertirrigado, enquanto que o tratamento irrigado levou a ganho de apenas 4,3 % em relação ao tratamento controle. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Silva (2006), que observou o maior crescimento de plantas que receberam tratamento de aplicação conjunta de água e nutrientes a partir do plantio até a idade de quatro anos. Observa-se que em idade iniciais as plantas do tratamento irrigado apresentam taxas de crescimento próximas as do tratamento fertirrigado, mas em idades mais avançadas essas taxas não são mantidas, o que provavelmente deve-se a fatores de ordem nutricional, ou seja, a adubação aplicada na ocasião do plantio no tratamento irrigado não foi suficiente para a manutenção de taxas de crescimento comparáveis ao do tratamento fertirrigado durante todo o ciclo de crescimento das plantas. Stape (2002) também encontrou resposta positiva à aplicação conjunta de água e nutrientes, em seu trabalho, este autor não constatou diferença na produção volumétrica de tronco em resposta a aplicação conjunta de água e nutrientes quando comparada com a aplicação apenas de água. Deve-se considerar a propósito que Stape (2002) iniciou a aplicação de seus tratamentos quando as plantas já tinham três anos de idade e o índice de área foliar era igual a $3 - 3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Barros et al. (2005) destacam que a maior proporção de nutrientes requeridos por espécies florestais de rápido crescimento, como as do eucalipto, devem ser fornecidas até a idade de três anos. Após essa idade, os processos de ciclagem biogeoquímica são capazes de atender a demanda até o final da rotação (idade), diminuindo sensivelmente a resposta à fertilização.

O incremento médio anual (IMA) dos materiais genéticos estudados, aos 81 meses de idade (Quadro 12) indica qual foi o ganho médio anual de madeira em volume de tronco, ou seja, a produtividade da floresta. O tratamento fertirrigado foi o que apresentou maiores valores de IMA, atingindo em média o valor de $86,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, já o tratamento irrigado ($67,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), em média, foi ligeiramente maior quando comparado ao tratamento controle ($65,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Como que para as condições tropicais as maiores restrições ao crescimento florestal são de ordem hídrica e nutricional e no tratamento fertirrigado não há qualquer restrição ao crescimento, pode dizer que o valor de IMA alcançado no tratamento fertirrigado indica um potencial de crescimento da cultura do eucalipto para a região do Vale do Rio Doce, MG. A propósito, o valor de IMA aqui descrito como potencial ($86,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) encontra-se dentro de uma faixa de produtividade potencial que varia de 80 a $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ encontrada em uma rede de

experimentos em oito diferentes pontos no Brasil, que avaliam o potencial de produtividade de eucalipto no país (J. L. Stape, comunicação pessoal).

Quadro 12– Valores de Incremento Médio Anual (IMA, $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) para quatro materiais genéticos de eucalipto em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG.

Material Genético	Irrigado	Fertirrigado	Controle
	IMA ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)		
57	57,8	76,4	67,7
129	62,0	103,3	61,9
2719	72,4	82,6	61,0
1215	79,1	83,5	69,7
Média	67,8	86,5	65,1

Em termos florestais, o crescimento pode ser definido, como sendo a mudança em um atributo do povoamento, dentro de um período de tempo estabelecido. Logo, crescimento é o conceito biológico da taxa de produção e a produção é o total acumulado de um determinado intervalo de tempo. Tal crescimento é definido na literatura como incremento corrente anual (ICA) e corresponde ao valor do incremento volumétrico no período de um ano (Demolinari, 2006), suas curvas são um importante indicador da taxa de crescimento de uma floresta, mostrando a idade onde a taxa de crescimento é máxima. O valor de ICA de todos os materiais genéticos estudados foi influenciado pelos tratamentos de água e nutrientes. Esses tratamentos modificaram o ponto de máximo ICA, havendo um deslocamento do ponto de máximo da curva de ICA no tratamento fertirrigado para a direita, ou seja, as plantas neste tratamento foram capazes de manter taxas positivas de crescimento por um período maior de tempo, fato que só não ocorreu no clone 1215, onde o ponto de máximo ICA do tratamento fertirrigado foi praticamente o mesmo do tratamento controle (Figuras 8 a 11).

A idade técnica de colheita é aquela que o incremento médio é máximo, e, nesta idade, este incremento é igual ao incremento corrente anual, ou seja, $IMA=ICA$ (Campos & Leite, 2002), a idade em que este encontro acontece para cada material genético clonal de eucalipto estudado estão demonstrados nas Figuras 8 a 11. Nestas Figuras foi incluída também a curva que expressa à aceleração do crescimento. A curva de aceleração indica a tendência de como a taxa de incremento corrente está modificando com uma mudança unitária da idade (Campos & Leite, 2002).

A Figura 12 demonstra o comportamento médio das curvas de ICA, IMA e aceleração para os quatro materiais genéticos clonais de eucalipto estudados, se observa que em o ponto de máximo ICA no tratamento fertirrigado ocorreu aos 49 meses de idade, enquanto nos tratamentos irrigado e controle o pico do ICA se deu aos 46 meses, ou seja, no tratamento fertirrigado houve ganho de três meses de crescimento positivo em comparação aos demais. Também é possível dizer que a densidade de plantio (1001 árvores ha⁻¹) utilizado foi adequada para a produtividade alcançada. Ladeira (1999) destaca que em plantios densos a rápida ocupação do sítio e a intensificação da competição entre plantas, a estagnação do crescimento ocorre mais cedo, resultando em rotações mais curtas. Quanto à idade técnica de colheita esta ocorreu na média dos materiais genéticos aos 67 meses para o tratamento fertirrigado e aos 62 e 63 meses para os tratamentos irrigado e controle, respectivamente. Estes resultados reforçam a afirmação de que a melhoria hídrica e nutricional prolonga o tempo de crescimento da floresta, resultando em maiores produtividades.

3.2. Comportamento da Biomassa de Tronco, Área Foliar Específica e Índice de Área Foliar ao Longo de um Ciclo de Corte.

Na medição realizada aos 6,75 anos de idade, a biomassa de tronco do tratamento irrigado não diferiu do tratamento controle (Figura 13, contraste C₁), enquanto a aplicação conjunta de água e nutrientes levaram a uma produção de biomassa de tronco 28,6 % maior, mesmo em condições de alta disponibilidade hídrica (Figura 13, contraste C₂ e C₃). Tendência observada já os três anos de idade, onde a produção de biomassa de tronco no tratamento irrigado não manteve as mesmas taxas de crescimento igualando-se a produção de matéria seca no tratamento controle (Figura 13, contraste C₁), ao contrário, o tratamento fertirrigado foi capaz de manter suas taxas de crescimento das árvores alcançando uma produção de biomassa de tronco 22 % maior que no tratamento controle e irrigado (Figura 13, contrastes C₂ e C₃).

Aos dois anos de idade, a aplicação de água, via irrigação, levou a um aumento na produção de biomassa de tronco (ganho de 18 %) (Figura 13, contraste C₁).

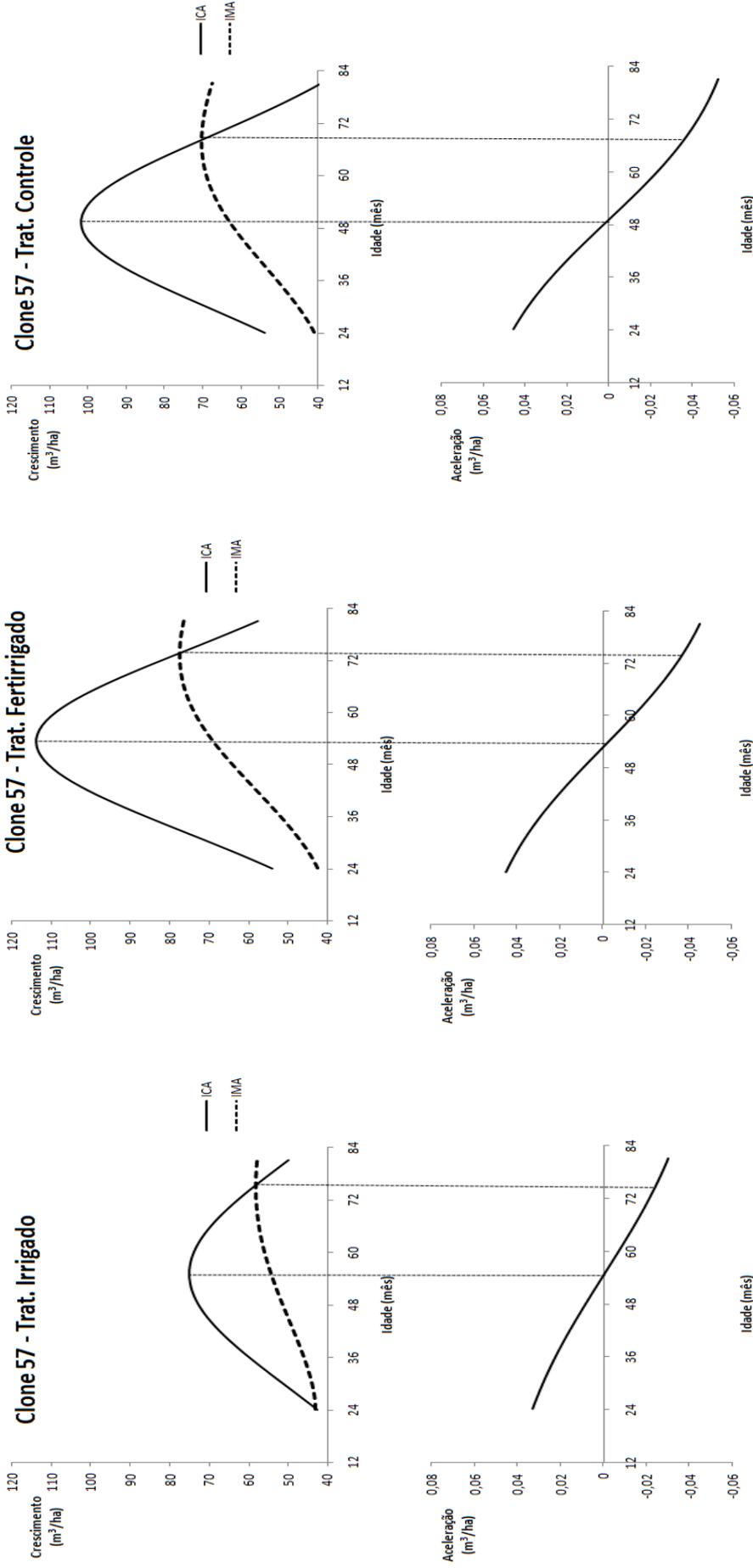


Figura 8 – Curvas de incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA) e aceleração para o clone 57 em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

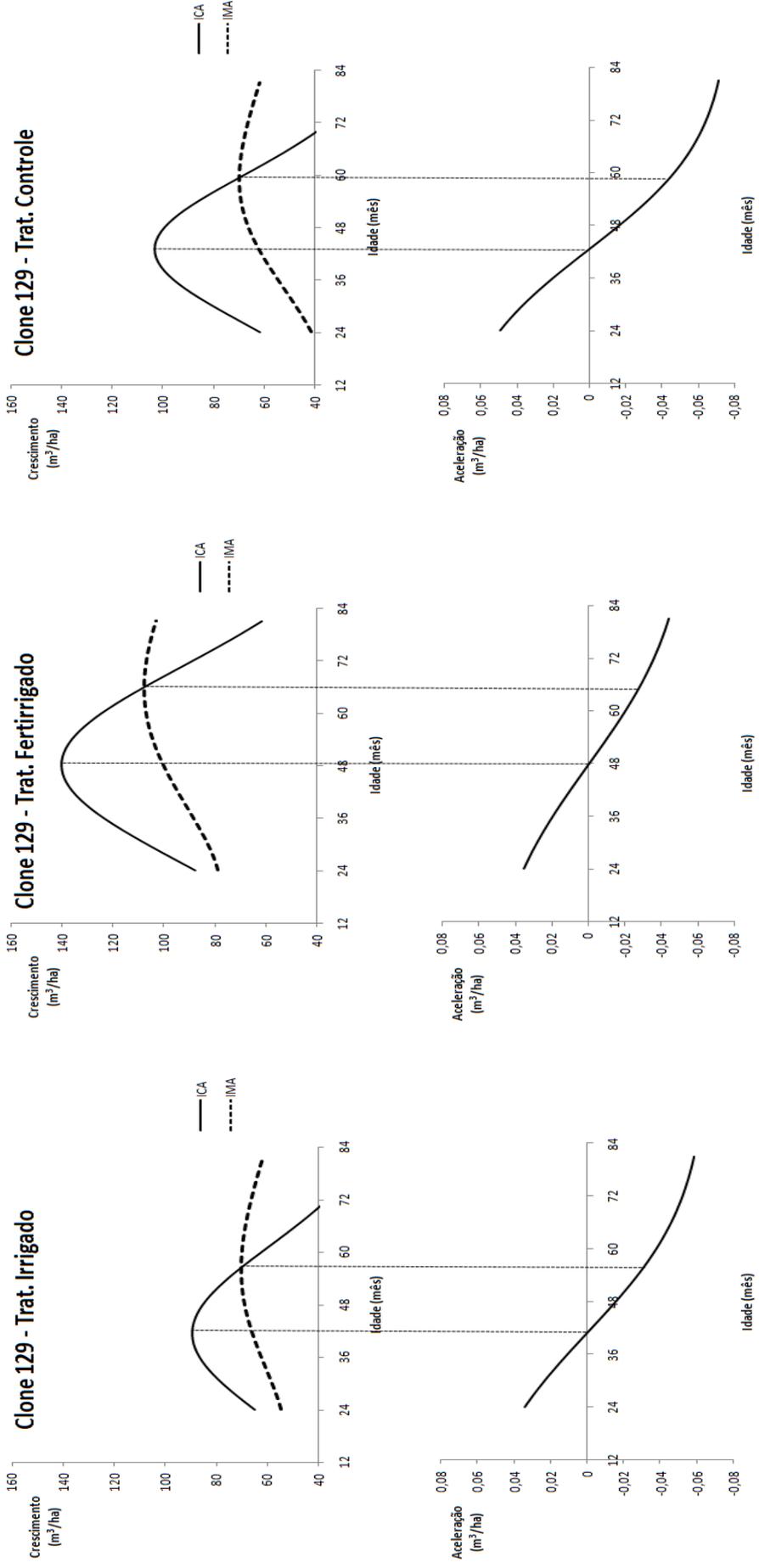


Figura 9 – Curvas de incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA) e aceleração para o clone 129 em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

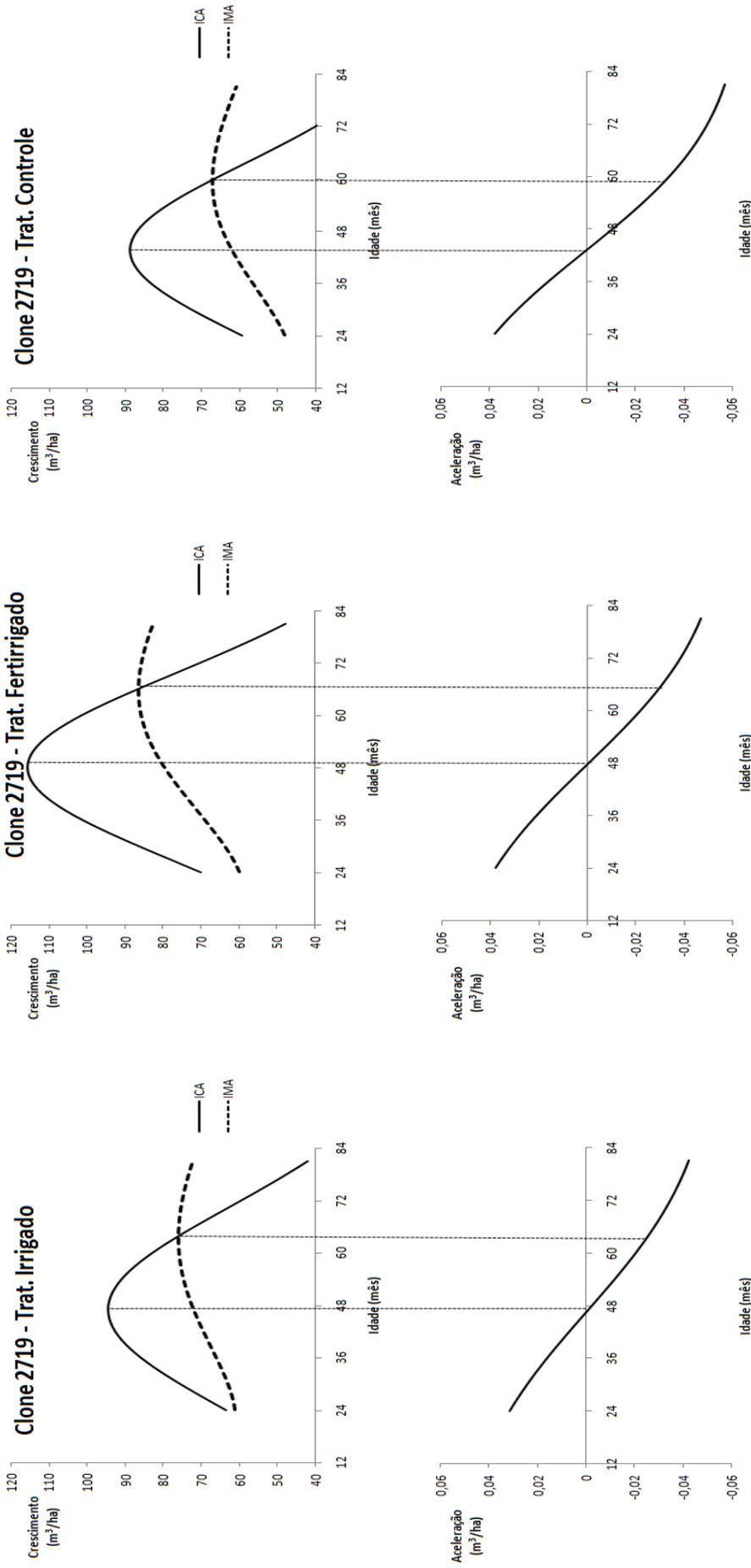


Figura 10 – Curvas de incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA) e aceleração para o clone 2719 em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

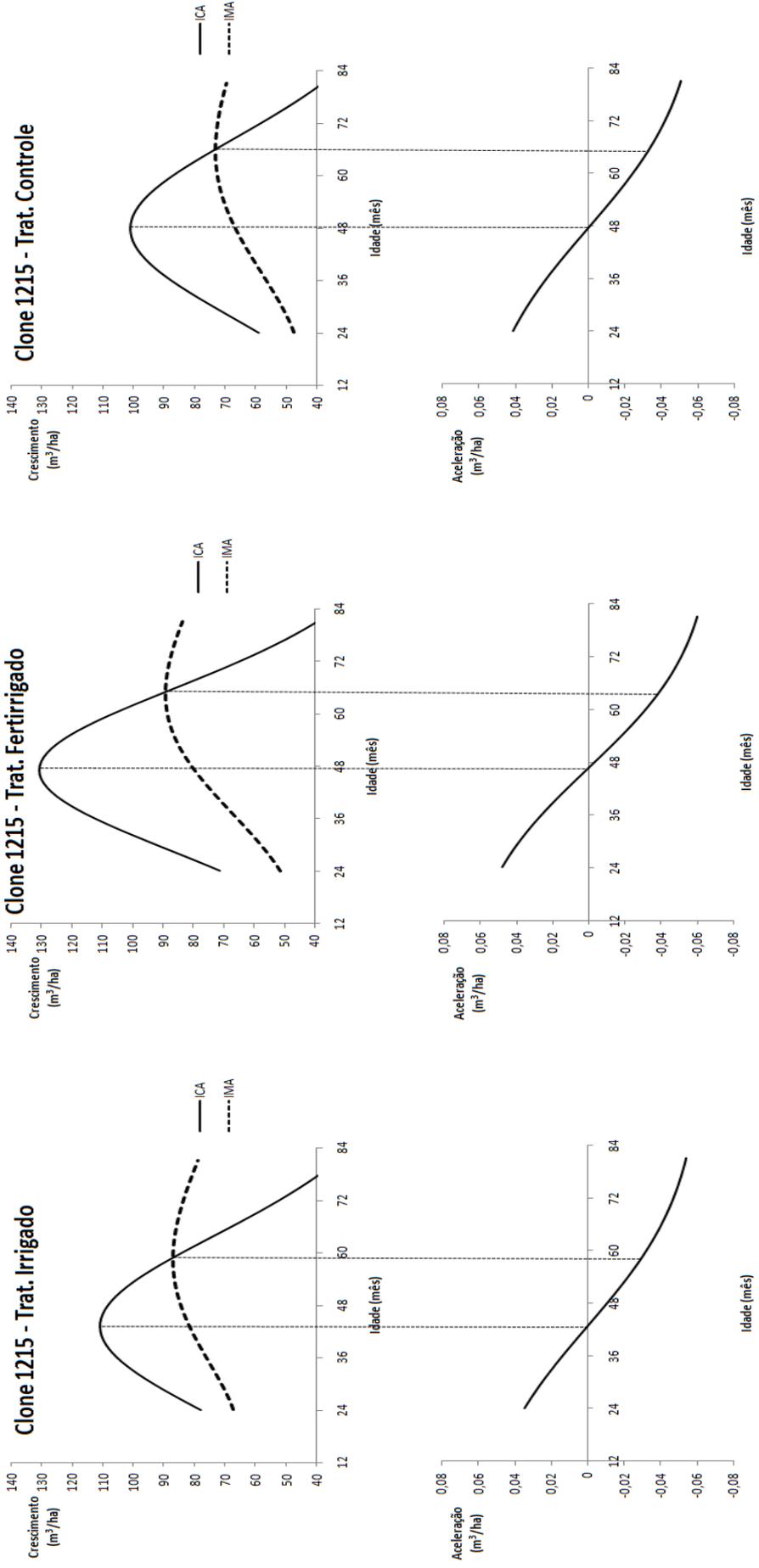


Figura 11 – Curvas de incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA) e aceleração para o clone 1215 em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

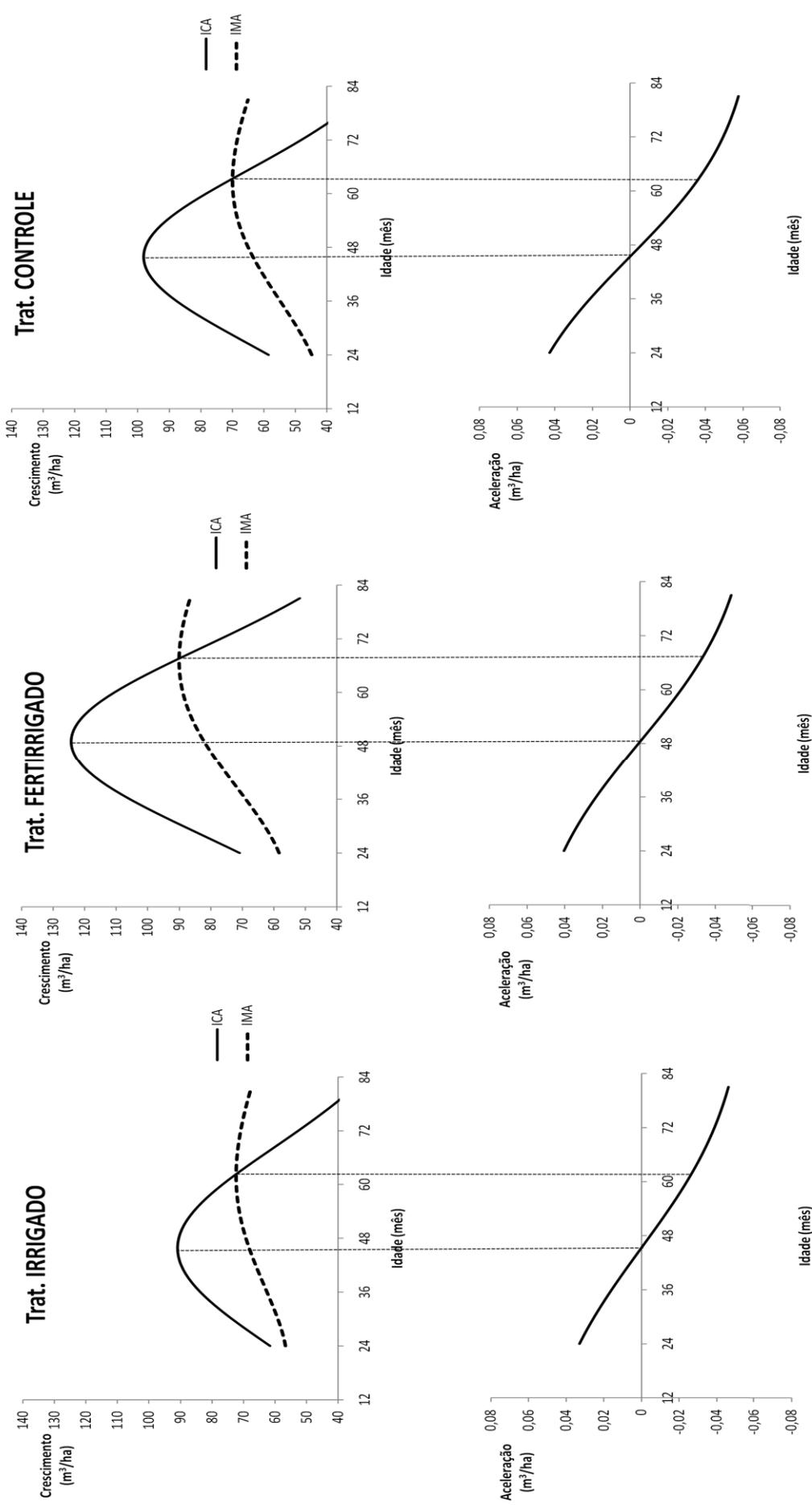


Figura 12 – Média das curvas de incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA) e aceleração dos materiais genéticos clonais de eucalipto em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais

O efeito da adição conjunta de água e nutrientes proporcionou um aumento de 34 % na biomassa (Figura 13 contraste C₃), enquanto o que se vê no contraste C₂ um ganho de 24 % em resposta a complementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica. No primeiro ano não houve resposta a aplicação controlada de água e nutrientes na produção de biomassa de tronco, uma vez que nesta idade não houve tempo hábil para que as plantas respondessem ao tratamento fertirrigado (Figura 6, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Os resultados aqui encontrados para o tratamento fertirrigado coincidem com aquele apresentados por Madeira et al. (2002), que também chegaram a ganhos expressivos na produção de biomassa de tronco em resposta a aplicação conjunta de água e nutrientes após seis anos em plantações de *Eucalyptus globulus* em Portugal.

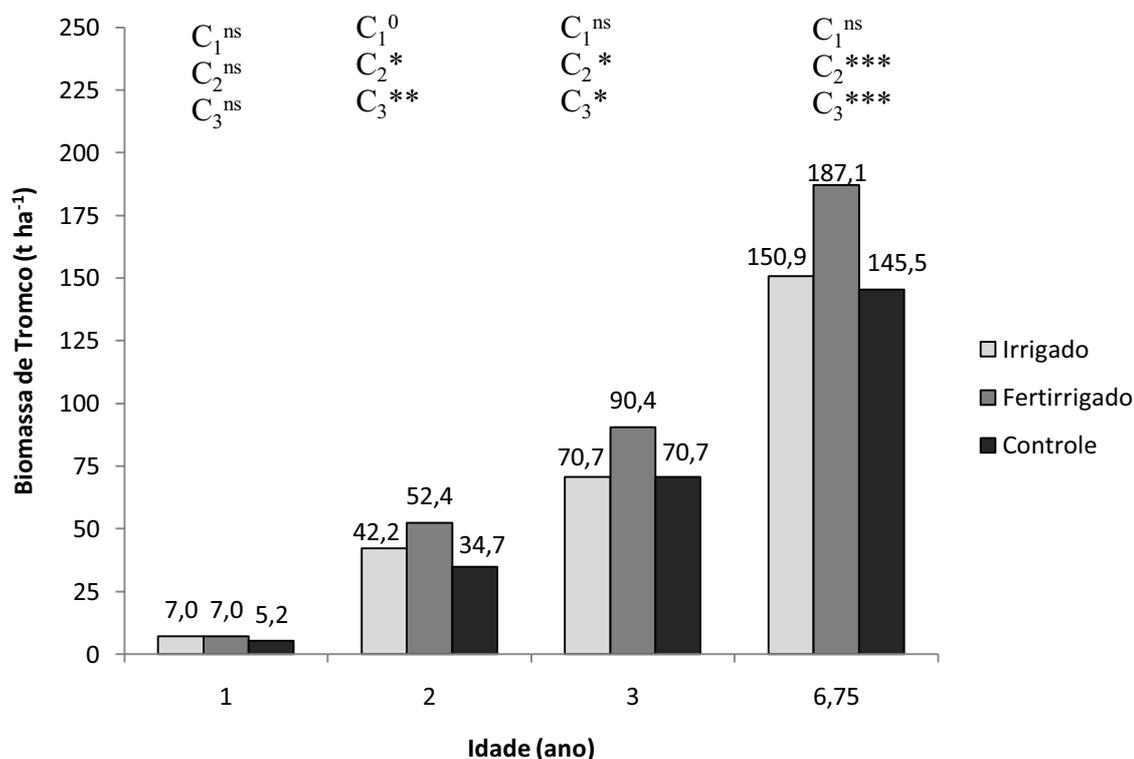


Figura 13 – Biomassa total de tronco ao longo de três diferentes idades em reposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce, MG. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Irrigado vs Fertirrigado e C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, ⁰ e ^{ns}, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente. Os dados relativos às idades de 1, 2 e 3 anos foram obtidos por Silva (2006).

Em síntese, o conjunto dos resultados obtidos para o crescimento e produção de biomassa de tronco não deixa dúvida sobre duas importantes observações: primeiro a da importância do fator nutriente, evidenciando que há “espaço” para ganho de produtividade em resposta à melhoria nutricional, mesmo em condição de disponibilidade hídrica favorável, fato que já havia sido observado por Silva,(2006) nas avaliações realizadas aos três anos de idade. Segundo que já aos três anos de idade já era possível ter uma clara idéia da produção de biomassa na idade final, uma vez que as mesmas relações de produção observadas nesta idade foram mantidas até a idade final.

Stape (2002), em seu trabalho, não observou diferenças na produção de biomassa de tronco entre os tratamentos fertirrigado e irrigado, este autor atribuiu esse resultado a uma boa base nutricional aplicada na implantação da floresta, vale lembrar que este autor iniciou a aplicação de seus tratamentos quando a floresta já tinha três anos de idade, fase em que a resposta às fertilizações adicionais são baixas. Neste trabalho apesar da boa base nutricional aplicada na implantação da floresta, as plantas do tratamento irrigado não foram capazes de manter taxas de crescimentos comparados com as observadas no tratamento fertirrigado, sendo, no entanto, capazes de crescer a uma taxa ligeiramente superior da observada para o tratamento controle.

A área foliar específica (AFE), que está relacionada à eficiência com que a planta utiliza o carbono para a produção de superfície de aquisição de luz e CO₂ sofreu influência da aplicação dos tratamentos de água e nutrientes logo no primeiro ano após o plantio (Figura 14, contrastes C₁ e C₃), mas não diferindo entre si. (Figura 14, contraste C₂).

No segundo ano, as árvores dos tratamentos de irrigação e fertirrigação continuaram a apresentar valores maiores de AFE, mesmo que no caso do tratamento fertirrigado isso tenha sido apenas uma tendência (Figura 14, contrastes C₁ e C₃). Aos 6,75 anos o tratamento irrigado ainda manteve maior valor de AFE enquanto os tratamentos fertirrigado e controle não diferiram entre si (Figura 14, contrastes C₁ e C₃). Houve uma redução no valor de AFE no tratamento fertirrigado quando comparado com o tratamento controle. Landsberg & Waring (1997), dizem que com o envelhecimento da floresta há uma redução da condutância estomática associada com reduções na condutividade hidráulica, esta por sua vez devido ao fato de que quanto maiores as árvores a água flui por caminhos mais longos e tortuosos, como resultado final, há uma redução na fotossíntese, e menos carbono está disponível para a manutenção da superfície foliar previamente adquirida, levando a uma abertura do dossel e uma redução no valor de AFE.

O IAF foi influenciado pela aplicação conjunta de água e nutrientes minerais atingindo o maior valor no segundo ano após o plantio (Figura 15), diferindo do tratamento controle até na idade de sete anos (Figura 15, contraste C₃), tal associação indica uma dependência pelo suprimento de água com adequado manejo nutricional. O aumento dos valores de IAF devido a adequados suprimentos de água e nutrientes é bem documentado em experimentos de irrigação em eucalipto (Pereira and Pallardy 1989, Olbrich et al. 1992, Hunter 2001, Stape, 2002).

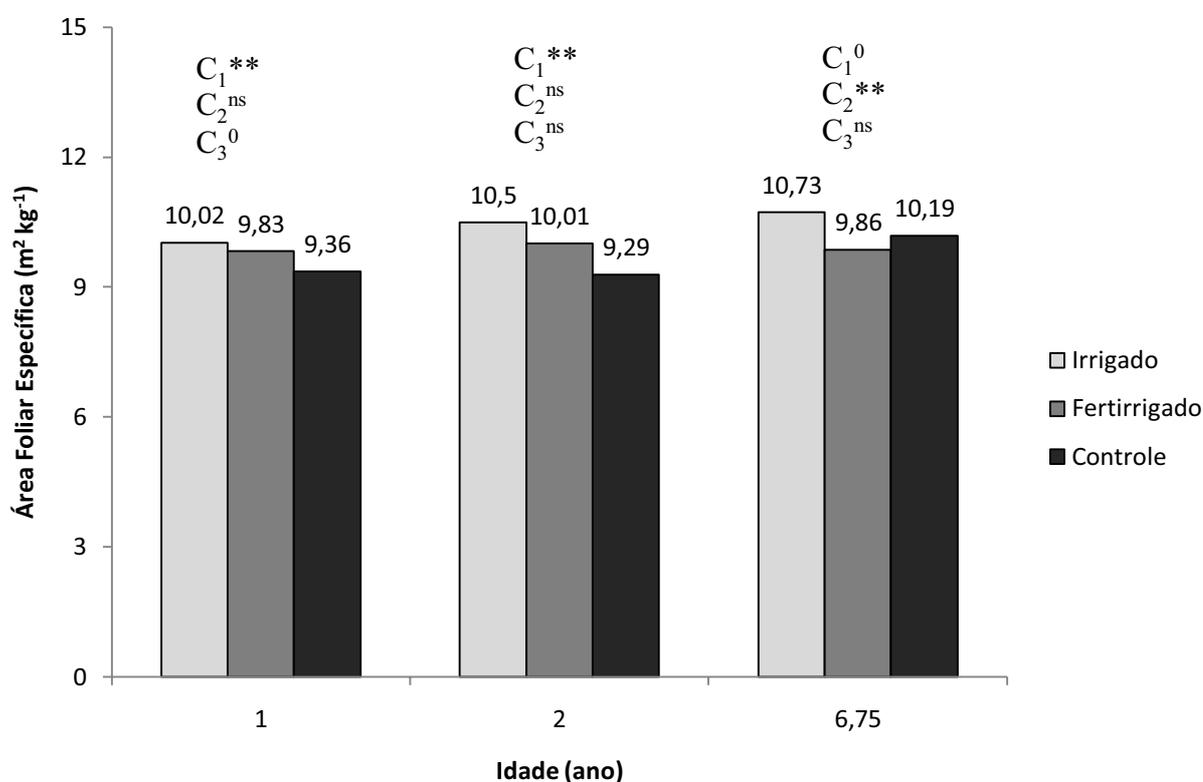


Figura 14 – Área foliar específica (AFE) ao longo de três diferentes idades em reposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce, MG. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Irrigado vs Fertirrigado e C₃: Fertirrigado vs Controle. **, ⁰ e ^{ns}, significativo a 1 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente. Os dados referentes as idade de 1 e 2 anos foram obtidos no trabalho de Silva (2006)

O IAF é uma importante variável em razão da interceptação de radiação solar aumentar, ainda que de modo curvilíneo, mediante curva tendendo à saturação, com o aumento do valor de IAF, relacionamento este que pode ser descrito pela lei de Beer (Landsberg & Gower, 1997). Numa aplicação da lei de Beer, vê-se que para valores de IAF superiores a 4,5-5 não mais ocorrem aumentos importantes na interceptação da radiação

solar. Como os valores de IAF para o tratamento fertirrigado sempre se mantiveram próximos a esse limite, e as vezes sendo até superiores, pode-se concluir que os maiores valores de matéria seca de tronco alcançados no tratamento irrigado não foram devido a uma maior interceptação de radiação solar.

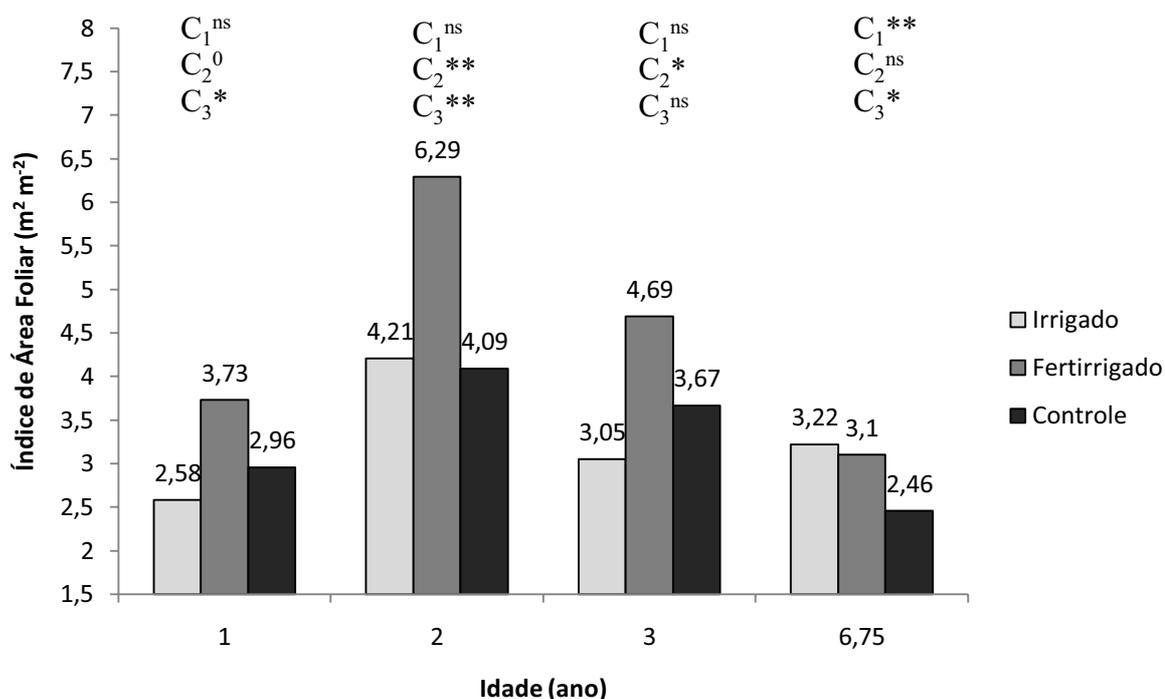


Figura 15 – Índice de área foliar (IAF) ao longo de quatro diferentes idades em reposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce, MG. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Irrigado vs Fertirrigado e C₃: Fertirrigado vs Controle. **, *, ⁰ e ^{ns}, significativo a 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente. Os dados referentes as idade de 1, 2 e 3 anos foram obtidos no trabalho de Silva (2006)

3.3. Avaliações Realizadas ao Final do Ciclo de Corte

3.3.1. Biomassa de Tronco, Parte Aérea, Folhas e Raízes Finas

A produção de biomassa de tronco, o componente de interesse para fins de produção de celulose, variou sua resposta aos tratamentos de água e nutrientes minerais com o material genético clonal de eucalipto. Os materiais genéticos clonais 57, 129 e 2719 responderam de forma positiva a aplicação conjunta de água e nutrientes minerais sendo que o clone 57 foi o que alcançou maior valor biomassa de tronco por hectare (223,6 t ha⁻¹), já o clone 129 foi o que apresentou maior ganho de biomassa em relação ao tratamento controle (aumento de 34 % em biomassa de tronco). O clone 1215, não respondeu, em termos de incremento de biomassa de tronco, à aplicação conjunta de água e nutrientes sendo que a única resposta significativa foi ao tratamento irrigado, com um incremento de 16 %, em relação ao tratamento controle (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Para a produção de biomassa de parte aérea, o comportamento dos materiais clonais estudados foi o semelhante daquele observado para a biomassa de tronco (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Em média o tratamento fertirrigado levou a uma maior biomassa de tronco e parte aérea (28,6 % e 28 %, respectivamente), em relação ao tratamento controle. Já a biomassa de tronco e parte aérea nas plantas do tratamento irrigado pouco se diferenciou daquelas do tratamento controle, aumento de 4 % e 3 %, respectivamente (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃). Ganhos expressivos de biomassa de tronco em função do aumento da disponibilidade de água e nutrientes minerais já foram observados por outros autores (Pereira e Pallardy, 1989; Hunter, 2001, Stape, 2002, Silva, 2006). A falta de resposta do tratamento irrigado neste trabalho contrasta fortemente com outros experimentos com irrigação (Pereira e Pallardy, 1989; Hunter, 2001, Stape, 2002). Vale lembrar que neste experimento houve um favorecimento na localização das parcelas do tratamento controle que foram alocadas em uma área com declividade do terreno bem inferior daquela observada nos locais onde estava às parcelas do tratamento irrigado, o que provavelmente melhorou as condições hídricas no local do tratamento controle.

Segundo Neves (2000) uma maior produtividade deve ser consequência de maior aquisição de recursos do ambiente (carbono, proveniente da fotossíntese e nutrientes minerais) pelas plantas, e ou, de utilização mais eficiente dos mesmos, justificando

investigar, para os clones estudados, o aparato fotossintético (representados pelas folhas) e o sistema de aquisição de água e de nutrientes do solo, representados pelas principalmente pelas raízes finas.

O tratamento fertirrigado influenciou de forma significativa na produção de biomassa de folhas para os clones 57, 129 e 2719 (Quadro 13, contraste C₃). Já para o clone 1215 a aplicação apenas de água, foi a que resultou em maior biomassa de folhas, também observado no tratamento fertirrigado, mas neste caso apenas em nível de tendência (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃), indicando uma permanência das folhas nas árvores por um período maior de tempo nos tratamentos irrigado e fertirrigado. Os dados apontam para uma estreita relação entre a produção de biomassa de tronco, e de parte aérea, com a biomassa total de folhas, entretanto, mais importante que a biomassa de folhas por si, é superfície total de interceptação de luz e aquisição de CO₂.

A produção de biomassa de raiz fina (< 2 mm diâmetro), assim como de outros componentes (parte aérea, tronco e folhas), foi influenciada pela aplicação conjunta de água e nutrientes. O clone 57 teve sua biomassa de raiz fina aumentada em 114 % em resposta ao tratamento fertirrigado, já no clone 129 apesar de numericamente ser superior a biomassa de raiz fina no tratamento fertirrigado não se diferenciou estatisticamente ($p > 0,1$) daquela observada para o tratamento controle, nos demais clones a maior produção de biomassa de raízes finas foi observada nas plantas do tratamento irrigado (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Em média a biomassa de raízes finas foi maior nas plantas do tratamento irrigado com um ganho médio de 100 % de biomassa em relação ao tratamento controle. As árvores do tratamento fertirrigado apresentaram uma biomassa de raízes finas em média 57 % superior daquela observada para o tratamento controle, não havendo diferença estatística entre a biomassa de raiz fina dos tratamentos irrigado e fertirrigado (Quadro 13, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Refinando mais a abordagem sobre a produção de biomassa de raiz fina, de modo a também considerar sua distribuição ao longo do perfil do solo, verifica-se que há decréscimo na densidade de raízes finas com o aumento da profundidade, sendo que na camada de 0-20 cm ocorreu maior concentração de raízes finas (Figura 16). Nos clones 57, 129 e 2719 a maior concentração de raízes na primeira camada (0-20 cm) ocorreu no tratamento fertirrigado. No clone 129 a densidade de raízes finas na camada superior foi

5,46 vezes superior à densidade encontrada na camada subsequente e no clone 2719 a densidade de raízes finas na camada superior (0-20 cm) chegou a 7,84 vezes a densidade encontrada na camada inferior (20 – 60 cm).

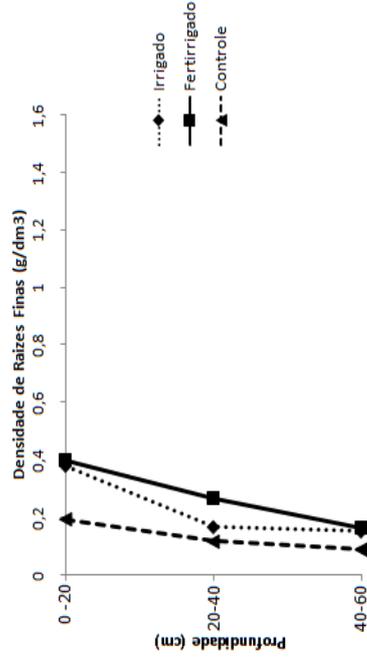
Quadro 13 – Biomassa dos diferentes componentes de plantios de eucalipto submetidos à diferente manejo de água e nutrientes minerais na região do Vale do Rio Doce – MG.

Material Genético	Tratamentos			Contrastes		
	Irrigado	Fertirrigado	Controle	C ₁	C ₂	C ₃
----- Parte Aérea (t ha ⁻¹) -----						
57	160,4	244,2	184,9	*	***	***
129	136,6	195,3	129,6	ns	***	***
2719	163,6	192,7	154,0	ns	*	**
1215	192,8	177,3	163,8	*	ns	ns
Média	163,3	202,4	158,1	ns	***	***
----- Tronco (t ha ⁻¹) -----						
57	144,8	223,6	169,6	⁰	***	***
129	126,3	181,9	119,5	ns	*	**
2719	153,5	178,6	142,0	ns	*	**
1215	178,9	164,1	151,0	*	ns	ns
Média	150,9	187,1	145,5	ns	***	***
----- Folha (t ha ⁻¹) -----						
57	4,2	5,0	3,7	ns	⁰	**
129	2,8	3,1	2,2	ns	ns	⁰
2719	2,8	3,2	2,2	ns	ns	*
1215	3,0	2,5	2,4	ns	ns	ns
Média	3,2	3,5	2,6	*	ns	**
----- Raiz Fina (t ha ⁻¹) -----						
57	1,2	1,5	0,7	**	ns	***
129	0,8	0,6	0,4	*	ns	ns
2719	1,6	1,1	0,7	***	***	*
1215	2,0	1,4	1,0	***	*	*
Média	1,4	1,1	0,7	***	ns	***

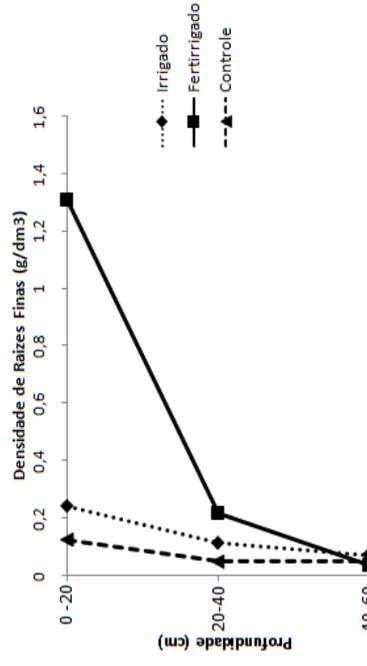
C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, ⁰ e ns, significativo a 0,1%, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Nos outros dois clones, apesar de haver efeito da aplicação de água e nutrientes, as raízes se distribuíram mais uniformemente ao longo do perfil estudado (0-60 cm) (Figura 16).

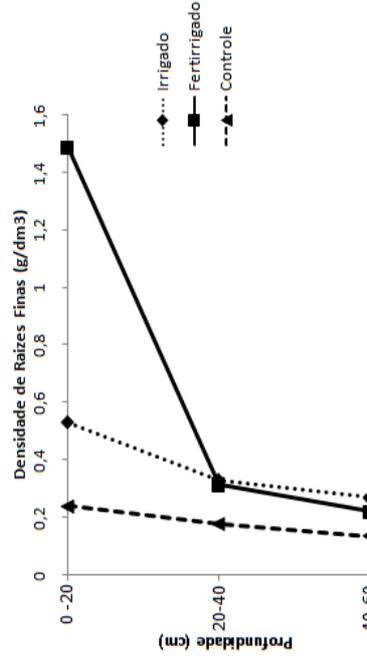
Clone 57



Clone 129



Clone 2719



Clone 1215

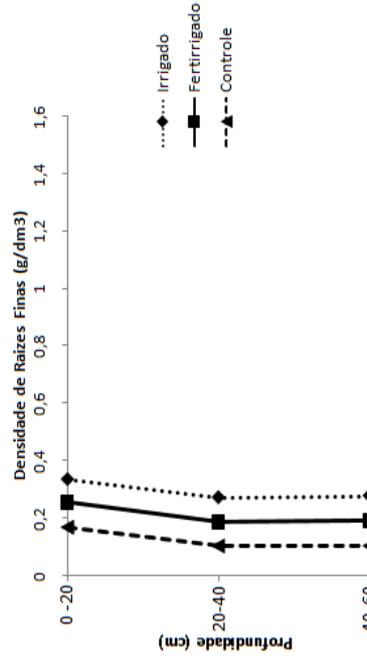


Figura 16 – Densidade de raízes finas ao longo de um perfil de solo em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes minerais em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, MG.

Em média os tratamentos fertirrigado e irrigado elevaram a densidade de raízes finas na camada superficial (0 – 20 cm), porém nas camadas inferiores (20 – 40 e 40 -60 cm) não houve diferença entre a quantidade de raízes observadas nestes tratamentos daquelas observadas para o tratamento controle (Figura 17).

Apesar dos valores de superfície radicular total nos tratamentos de água e nutrientes serem praticamente o dobro daquele encontrados no tratamento controle, a distribuição percentual da superfície ao longo do perfil de solo estudado não foi influenciada pelos tratamentos. Em média, 49,2 % do total da superfície radicular estão concentrados na camada dos primeiros 20 cm de solo, a camada seguinte (20-40 cm) concentra 26,1 % do total de superfície radicular e a camada de 40-60 cm corresponde a 24,7 % do total da superfície de aquisição de água e nutrientes minerais (dados não mostrados).

Gonçalves (1984) também constatou que os pesos médios de raízes finas decrescem exponencialmente de 790 para 45 kg ha⁻¹, respectivamente, nas camadas de 0-10 para 100-150 cm. O mesmo autor verificou, que, em média, quase 40 % das raízes finas, que cumprem função de absorção de água e nutrientes, estavam na camada de 0-10 cm do solo, exatamente onde ocorrem, mais ativa e efetivamente, os principais processos biológicos.

Kätterer et al. (1995), estudaram os efeitos da aplicação de água e nutrientes em plantios de *E. globulus* em Portugal, encontraram maior produção de biomassa de raízes finas (< 2 mm diâmetro), e de superfície radicular total, nos tratamentos que receberam aplicação de água e nutrientes, sendo que a maior concentração de raízes se deu na camada de 0-20 cm.

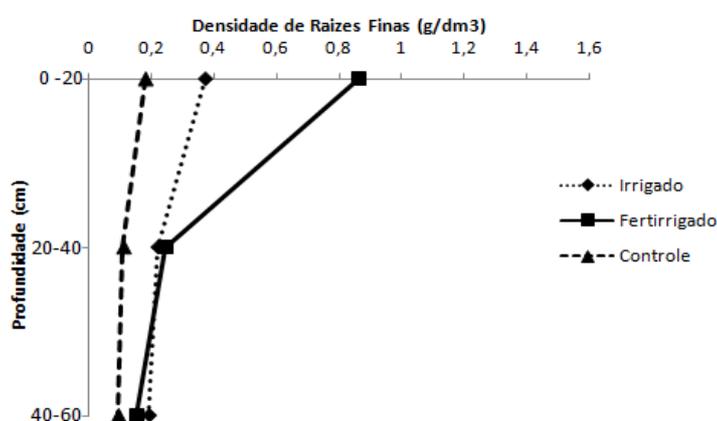


Figura 17 – Média da distribuição da densidade de raízes finas para quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto ao longo de perfis de solo submetidos a diferentes tratamentos de água e nutrientes.

3.3.2. Densidade Básica do Lenho

Aprofundando a análise da influência dos tratamentos de água e nutrientes sobre a produção de biomassa de tronco, observa-se que, em média, houve redução nos valores de densidade básica do lenho em resposta aos tratamentos de água e nutrientes (Quadro 14, contrastes C₁, C₂ e C₃) resultados semelhantes foram observados por Silva (2006) e Tomazello Filho (2006) que também constataram redução na densidade básica da madeira em resposta a aplicação contínua de água e nutrientes. O maior valor encontrado foi para o clone 1215 no tratamento irrigado (512 kg m⁻³) e o menor para o clone 129 também no tratamento irrigado (447 kg m⁻³), ou seja, uma variação de 13 %. Downes et al., (2002) dizem que em geral, com a redução do tempo de rotação provocado por plantios com altas taxas de crescimento, leva a colheita de troncos com alta proporções de madeira recém formada de baixa densidade. A densidade básica da madeira é importante quando o produto de interesse da empresa florestal é a celulose. Para tal, valores de densidade na faixa de 460-480 a 540-550 kg m⁻³ são atualmente considerados os mais adequados. Assim, é possível dizer que os valores médios dos clones 57, 2719 e 1215 apresentaram valores de densidade de lenho considerados adequados, enquanto o valor observado para no clone 129 situou-se abaixo dessa faixa (Quadro 14). O rendimento do processo de obtenção de celulose está relacionado à densidade da madeira, uma vez que as madeiras mais densas implicam na adição aos digestores de maior quantidade de matéria seca por unidade de tempo, já que os mesmos são preenchidos e alimentados em base volumétrica (Foelkel, 1997).

Quadro 14 – Valores de densidade básica do lenho para quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto em resposta à aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

Material Genético	Tratamentos			Contrastes		
	Irrigado	Fertirrigado	Controle	C ₁	C ₂	C ₃
	----- Densidade de Lenho (kg m ⁻³) -----					
57	471	501	494	**	***	ns
129	447	454	456	ns	ns	ns
2719	475	482	498	**	ns	**
1215	512	480	503	ns	***	**
Média	476	479	488	**	ns	*

C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, * e ^{ns}, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

3.3.3. *Partição de Biomassa*

A partição de biomassa para a parte aérea sofreu maior influência dos tratamentos de água e nutrientes que para o tronco analisado individualmente. Para a parte aérea, houve maior frequência de respostas significativas ($p < 0,1$) para os tratamentos de água e nutriente, e o que se percebe é uma redução na partição de biomassa para a parte aérea nas plantas fertirrigadas, mesmo que em alguns casos isso tenha ocorrido apenas em nível de tendência (Quadro 15, contrastes C_1 , C_2 e C_3). Para a partição de biomassa no tronco foram poucos os casos onde foi observada resposta significativa aos tratamentos aplicados (Quadro 15, contrastes C_1 , C_2 e C_3), sendo que a média geral foi de 82,9 %. Número próximo ao do encontrado por Neves (2000) que estudando oito diferentes clones de eucalipto também não encontrou diferença significativa para a partição de biomassa no tronco chegando a uma média de 80,5 %. Madeira et al. (2002), estudando, em Portugal, o efeito da aplicação controlada de água e nutriente em *E. globulus* após seis anos, verificaram uma partição de biomassa para o tronco variando entre 75 a 81 %.

Não foi observado efeito significativo dos tratamentos de água e nutrientes sobre a partição de biomassa para as folhas, para nenhum dos quatro materiais genéticos estudados, sendo que na média dos materiais genéticos houve uma elevação na alocação de biomassa para as folhas em resposta ao tratamento irrigado (Quadro 15, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

A partição de biomassa para a raiz fina respondeu mais a aplicação controlada de água, visto a maior frequência de efeitos significativos ($p < 0,1$), elevando a partição de biomassa para esse compartimento. A fertirrigação elevou a partição de biomassa para a raiz fina apenas para o clone 1215, não sendo observado efeito significativo ($p > 0,1$) para os outros três materiais genéticos. Na média dos quatro materiais genéticos, observou-se elevação na biomassa de raiz fina em resposta ao tratamento irrigado e não foi verificada influência da fertirrigação sobre a partição de biomassa para as raízes finas (Quadro 15, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

Alguns trabalhos indicam que a concentração de compostos orgânicos no solo é influenciada por de entradas de carbono via produção de raízes finas, especialmente em áreas influenciadas por irrigação e aplicação de fertilizantes (Janzen et al., 1997, Turner & Lambert, 2000 e Madeira et al., 2002). O aumento observado na partição de carbono para as raízes finas indicam que os tratamentos de água e nutrientes podem aumentar a entrada

de material orgânico no solo, o que, por sua vez, leva a um aumento na sustentabilidade da produção florestal neste sítio, pela manutenção de níveis adequados de matéria orgânica.

Quadro 15 – Partição de biomassa nos diferentes componentes de quatro materiais genéticos clonais de eucalipto em resposta à aplicação controlada de água e nutrientes minerais.

Material Genético	Tratamentos			Contrastes		
	Irrigado	Fertirrigado	Controle	C ₁	C ₂	C ₃
----- Parte Aérea (%) -----						
57	89,5	90,3	90,3	***	***	ns
129	87,1	90,3	90,2	***	***	ns
2719	89,8	91,2	91,7	***	***	**
1215	88,1	90,2	91,2	***	***	***
Média	88,6	90,5	90,9	***	***	***
----- Tronco (%) -----						
57	81,3	82,5	82,7	ns	ns	ns
129	80,3	84,0	83,0	**	***	ns
2719	84,3	84,4	84,0	ns	ns	ns
1215	81,8	82,2	84,3	*	ns	*
Média	81,9	83,3	83,5	**	**	ns
----- Folha (%) -----						
57	2,2	1,8	1,9	ns	0	ns
129	2,0	1,5	1,7	ns	*	ns
2719	1,6	1,5	1,5	ns	ns	ns
1215	1,4	1,4	1,3	ns	ns	ns
Média	1,8	1,6	1,6	0	*	ns
----- Raiz Fina (%) -----						
57	0,9	0,6	0,4	**	0	ns
129	0,7	0,3	0,3	***	***	ns
2719	1,2	0,6	0,6	***	***	ns
1215	0,8	0,8	0,5	*	ns	*
Média	0,9	0,6	0,5	***	***	ns

C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, * e ^{ns}, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Avaliando o efeito da classe de produtividade, ou seja, do grau de dominância, sobre a partição de biomassa na parte aérea e no tronco, percebe-se novamente que a parte aérea sofreu maior influência da classe de produtividade que o tronco, uma vez que, 67 % das possíveis combinações entre tratamento de água e nutrientes e clones foram significativas ($p < 0,2$) (Linear ou Curvilíneo) para partição de biomassa na parte aérea, contra 33 % do total das mesmas combinações para o tronco (Figuras 18 e 19). Em ambos

os compartimentos (parte aérea e tronco) o que se observa é uma tendência de que o aumento da classe de produtividade ocorre um aumento na partição de biomassa nos dois compartimentos. Santana et al. (2000) relatam um aumento na partição de biomassa na parte aérea e tronco (de 78 para 89 %) com o aumento da qualidade do sítio florestal.

Também o efeito da classe de produtividade não foi muito freqüente, 42 % das possíveis combinações entre tratamento e material genético foram significativas ($p < 0,2$), essa indicam uma tendência de que com o aumento da classe de produtividade há uma redução na partição de biomassa para as folhas (Figura 20). Houve grande efeito da classe de produtividade sobre a partição que biomassa nas raízes finas, sendo que 83 % do total de possíveis combinações entre tratamento e clone foram significativas ($p < 0,2$), observa-se que há uma clara tendência de redução da partição de biomassa para as raízes finas com o aumento da classe de produtividade (Figura 21), esses resultados concordam com os encontrados por Mello et al. (1998), que encontraram menor partição de biomassa para raízes finas em clones mais produtivos.

3.3.4. *Relações Alométricas*

Determinar a massa total de árvores no campo pelo método destrutivo é sem dúvida o melhor método para se obter valores de alocação de biomassa nos diferentes compartimentos da árvore. Entretanto, o uso de relações alométricas como método indireto e não destrutivo de medida da biomassa dos compartimentos das árvores, é a estimativa freqüentemente preferida uma vez que consome menos tempo e é de menor custo que os métodos diretos (destrutivos) de medida (Xiao & Ceulemans, 2004).

Relações alométricas são equações que descrevem a relação observada entre massa e o tamanho de diferentes partes das plantas e simula como o carbono fixado na fotossíntese é alocado nos diferentes componentes das árvores, o que as torna muito importantes em modelos ecofisiológicos baseados em processos, como por exemplo, o 3-PG (Landsberg & Waring, 1997). Relações alométricas para árvores individuais podem, quase invariavelmente, serem descritas por equações de forma:

$$W_i = \beta_0 d a p^{\beta_1}$$

Onde W_i é a massa total da planta e i denota qualquer parte componente, β_0 e β_1 os parâmetros da equação (Landsberg & Waring, 1997).

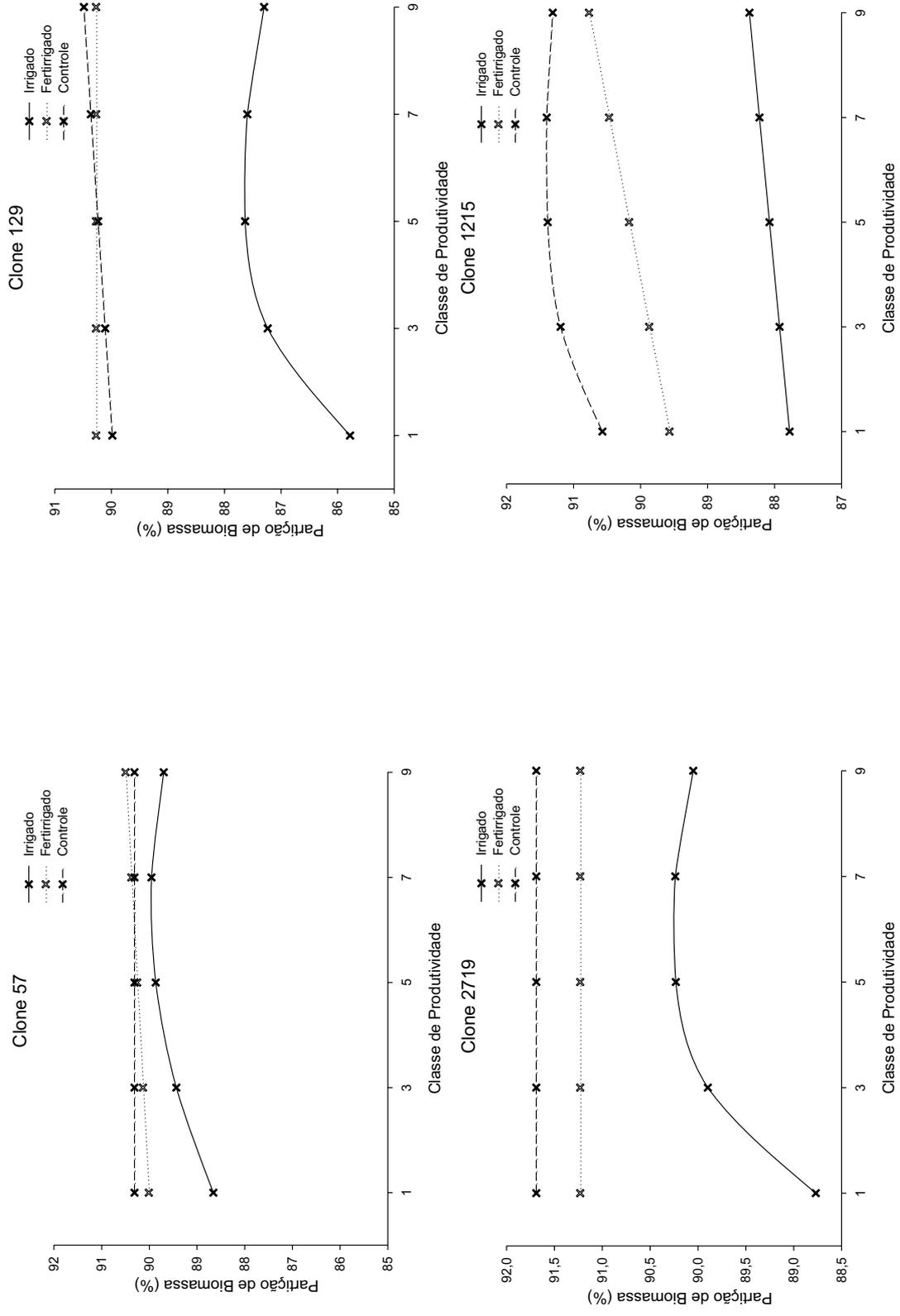


Figura 18 - Partição de biomassa na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

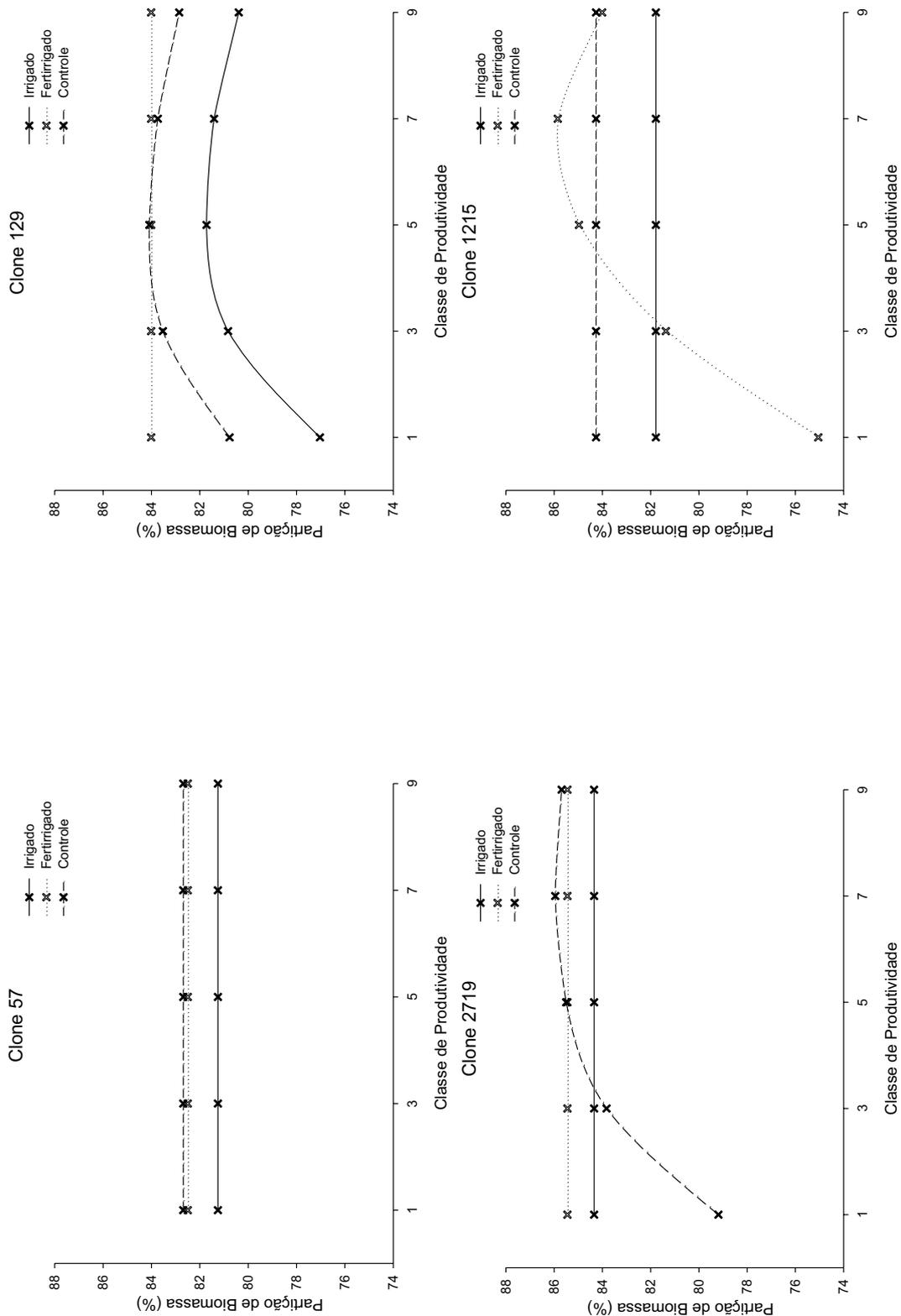


Figura 19 - Partição de biomassa no tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

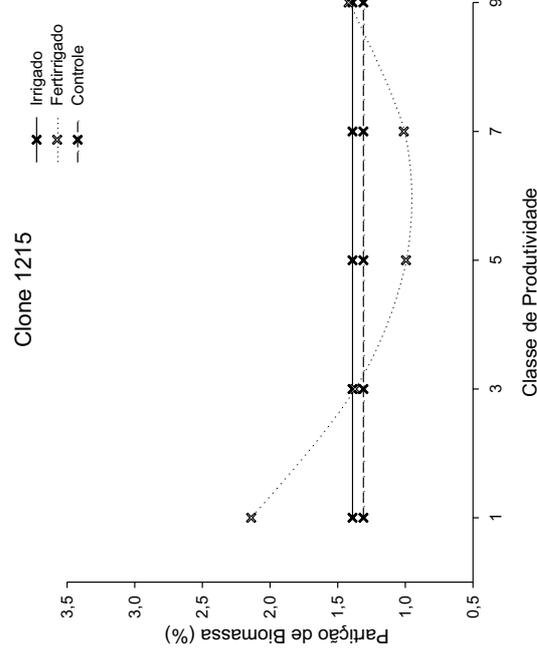
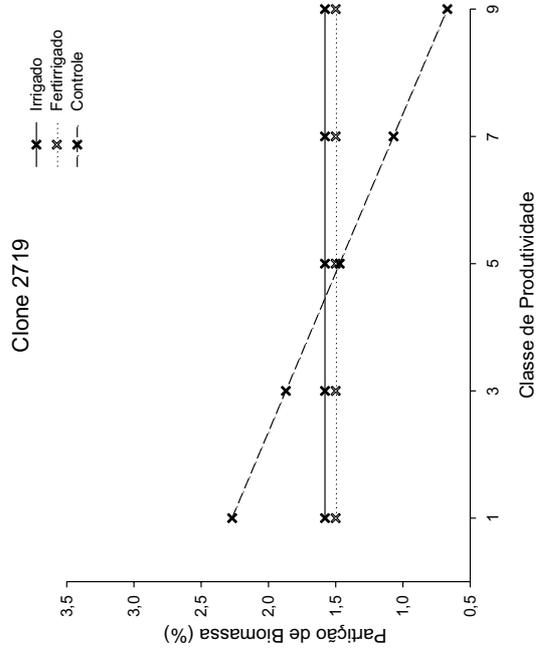
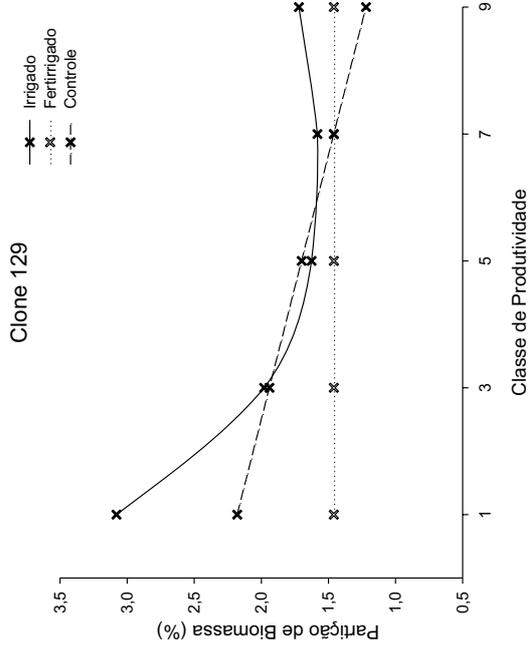
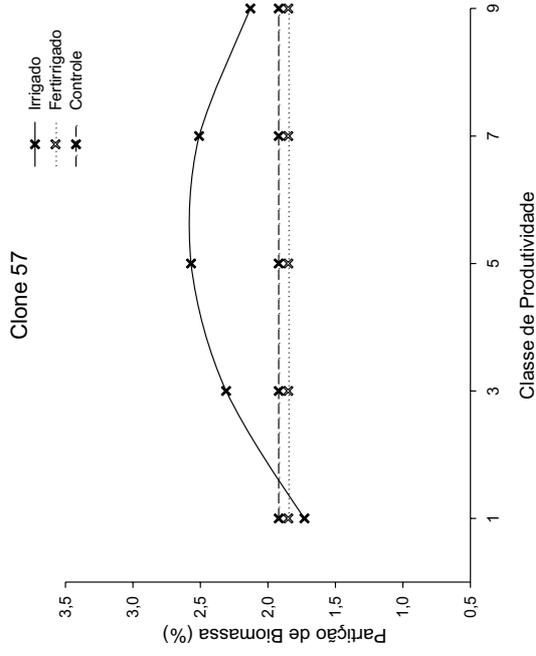


Figura 20 - Partição de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

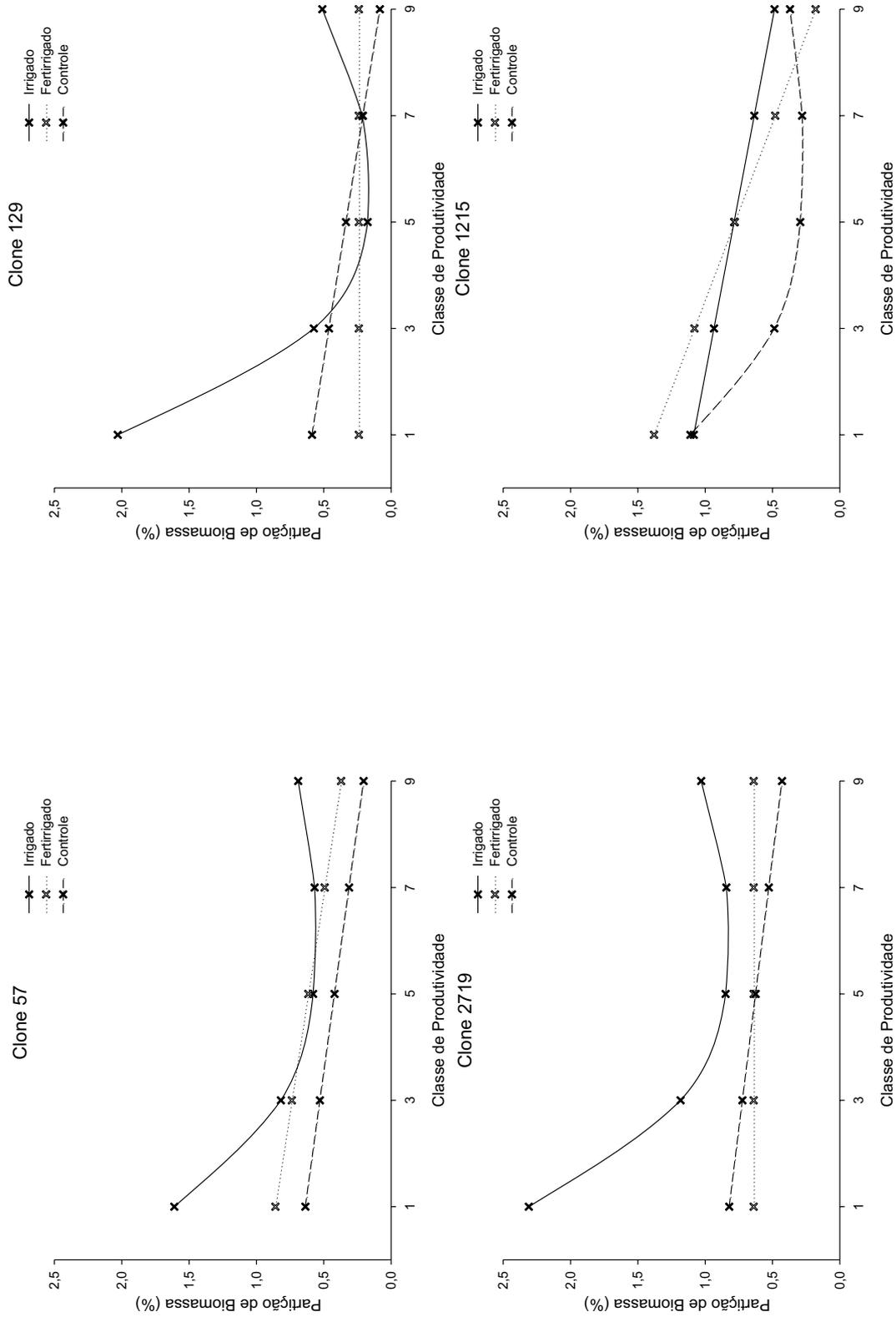


Figura 21 - Partição de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais hede eucalipto.

Neste trabalho foram ajustadas equações alométricas que descrevem o comportamento da biomassa de tronco em função do *dap* para os quatro materiais genéticos clonais de eucalipto estudados (Quadro 16), foi observado que estas equações não diferiram entre si com base na análise dos limites de confiança dos seus parâmetros, então, uma equação alométrica geral para a biomassa de tronco foi ajustada para os materiais genéticos estudados, sendo que ela é válida para uma faixa de valores de *dap* que varia de 10,28 a 25,46 cm. (Quadro 16).

Quadro 16 – Equações alométricas para biomassa de tronco^{1/} em função de *dap* (cm) de quatro materiais genéticos clonais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce – MG.

Material Genético	Equação	Limites de Confiança (95%)	r_{ŷy}	n^{3/}
57	$W_{Tronco} = 0,1023 \text{ dap}^{2,5050}$	a ^{2/} = (0,0266 – 0,1782) b ^{2/} = (2,2652 – 2,7448)	0,9912	15
129	$W_{Tronco} = 0,2213 \text{ dap}^{2,2294}$	a = (0,0162 – 0,4107) b = (1,9225 – 2,5365)	0,9809	15
2719	$W_{Tronco} = 0,1674 \text{ dap}^{2,3787}$	a = (0,0685 – 0,2664) b = (2,1770 – 2,5804)	0,9913	15
1215	$W_{Tronco} = 0,1229 \text{ dap}^{2,4369}$	a = (-0,0010 – 0,2469) b = (2,1053 – 2,7685)	0,9836	15
Eq. Geral	$W_{Tronco} = 0,1797 \text{ dap}^{2,3174}$	a = (0,0886 – 0,2708) b = (2,1500 – 2,4849)	0,9713	60

^{1/} expresso em kg/árvore; ^{2/} parâmetros da equação alométrica, os valores entre parênteses referem-se aos limites de confiança (95 % de probabilidade) inferior e superior de cada parâmetro, respectivamente; ^{3/} número de observações.

Adicionalmente, com base em dados obtidos por coletores de litter dispostos na área experimental mais a informação da biomassa de folhas presentes nas árvores abatidas para este estudo, foi possível ajustar uma equação alométrica para a biomassa acumulada de folhas dos materiais genéticos aqui estudados (Quadro 17).

Quadro 17 – Equações alométricas para biomassa de folhas^{1/} em função de *dap* em povoamentos clonais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce – MG.

Equação	Limites de Confiança (95%)	r_{ŷy}	n^{3/}
$W_{Folhas} = 0,1477 \text{ dap}^{1,5794}$	a ^{2/} = 0,0084 – 0,2670 b ^{2/} = 1,2501 – 1,9087	0,9028	34

^{1/} expresso em kg/árvore; ^{2/} limites de confiança inferior e superior de cada parâmetro da equação alométrica (95 % de probabilidade), respectivamente; ^{3/} número de observações.

3.3.5. Teor, Conteúdo e Partição de Nutrientes

3.3.5.1. Teor

Os teores dos macronutrientes na biomassa dos diferentes componentes da planta estão listados no Quadro 18. Os teores foliares encontrados para N, P, Ca, Mg e S, se encontram ligeiramente abaixo dos valores considerados adequados para o eucalipto (Silva, 2006). Já o teor de K apresentou valores muito abaixo da faixa considerada adequada para a cultura (Silva, 2006), indicando que este nutriente possa limitar a produção da floresta em uma nova rotação a não ser que seja feita sua correção, via adubação. Observa-se que há pouca variação no valor de teores entre os tratamentos de água e nutrientes, exceção para o potássio, que apresentou uma expressiva redução nas plantas do tratamento irrigado.

3.3.5.2. Conteúdo

Em média, o tratamento fertirrigado promoveu maior acúmulo de N, K, Ca e S na parte aérea e no tronco. No caso do Mg os tratamentos de irrigação e fertirrigação reduziram seu conteúdo em ambos os compartimentos (Quadros 19 e 20, contrastes C₁, C₂ e C₃). Observa-se que no caso do P há casos no tratamento irrigado onde o conteúdo nas plantas tem igual ou até maior valor que as do fertirrigado, isso pode ser explicado pela melhoria do transporte desse nutriente no solo, por difusão, graças a melhores condições hídricas, mas em média não houve diferença no conteúdo de P em resposta os tratamentos. Para o K, observou-se uma queda brusca no conteúdo desse nutriente nas plantas do tratamento irrigado (parte aérea e tronco), Ca e Mg também tiveram seus conteúdos reduzidos nas árvores que receberam os tratamentos de água, para Ca essa redução se deu nos clones 57, 129 e 2719 e para Mg a redução de conteúdo ocorreu em todos os clones estudados, mesmo que para o clone 57 o efeito tenha ocorrido apenas em nível de tendência. As quedas nos conteúdos de K, Ca e Mg, correlacionam-se com decréscimos dos teores desses nutrientes no solo, em profundidade, no tratamento irrigado (Quadro 19), consequência de uma possível lixiviação desses elementos no perfil do solo, causada, provavelmente, pela aplicação contínua de água, via irrigação.

A aplicação dos tratamentos de irrigação ou fertirrigação, em média, elevaram o valor do conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S na biomassa de folhas e raízes finas, no entanto não houve diferença significativa do conteúdo de Mg na biomassa de raízes finas entre os tratamentos fertirrigado e controle. Cabe também ressaltar, que assim como observado para

Quadro 18 – Teores de macronutrientes em componentes das árvores de quatro clones de eucalipto aos 81 meses submetidos à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG

	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre							
	Irr.	Fert.	Contr.	Irr.	Fert.	Contr.	Irr.	Fert.	Contr.	Irr.	Fert.	Contr.						
	Parte Aérea (g kg⁻¹)																	
57	1,52	1,51	1,72	0,26	0,19	0,22	0,84	1,68	1,71	2,66	2,40	2,43	0,45	0,33	0,50	0,26	0,33	0,14
129	1,42	1,30	1,72	0,28	0,25	0,31	0,8	1,71	1,71	2,43	2,90	4,44	0,48	0,43	0,83	0,33	0,35	0,20
2719	1,44	4,17	1,72	0,32	0,22	0,30	0,64	1,73	1,78	2,99	2,89	3,91	0,52	0,53	0,66	0,12	0,18	0,17
1215	1,32	4,36	1,47	0,25	0,23	0,31	0,67	1,75	1,52	2,38	2,53	2,69	0,39	0,44	0,62	0,16	0,22	0,24
Média	1,43	2,84	1,66	0,28	0,22	0,29	0,74	1,72	1,68	2,62	2,68	3,37	0,46	0,43	0,65	0,22	0,27	0,19
	Tronco (g kg⁻¹)																	
57	0,92	0,95	1,09	0,18	0,14	0,16	0,57	1,27	1,23	2,39	2,17	2,01	0,34	0,25	0,32	0,24	0,31	0,11
129	0,81	0,84	1,13	0,23	0,21	0,27	0,63	1,33	1,3	2,19	2,60	4,13	0,35	0,32	0,66	0,30	0,33	0,18
2719	0,98	3,92	1,19	0,28	0,17	0,23	0,49	1,30	1,34	2,72	2,56	3,42	0,46	0,46	0,54	0,07	0,16	0,15
1215	0,89	4,00	1,02	0,22	0,18	0,28	0,54	1,28	1,19	2,16	2,21	2,32	0,30	0,33	0,50	0,15	0,20	0,22
Média	0,90	2,43	1,11	0,23	0,18	0,24	0,56	1,30	1,27	2,37	2,39	2,97	0,36	0,34	0,51	0,19	0,25	0,17
	Folha (g kg⁻¹)																	
57	19,15	18,35	19,00	1,43	1,21	1,20	0,57	1,27	1,23	6,21	5,01	7,07	2,45	2,13	1,61	0,91	1,05	1,05
129	20,1	19,68	21,7	1,22	1,21	1,26	0,63	1,33	1,30	4,4	5,11	6,70	2,46	2,44	1,97	1,15	1,20	1,15
2719	20,04	18,57	18,56	1,24	1,17	1,20	0,49	1,30	1,34	6,88	7,69	9,53	2,14	2,24	2,66	1,38	1,00	1,11
1215	20,18	21,16	20,54	1,29	1,36	1,20	0,54	1,28	1,19	6,14	5,77	8,88	2,60	2,45	3,12	0,89	0,92	1,07
Média	19,87	19,44	19,95	1,30	1,24	1,22	0,56	1,30	1,27	5,91	5,90	8,05	2,41	2,32	2,34	1,08	1,04	1,10
	Raiz Fina (g kg⁻¹)																	
57	6,18	4,20	6,27	0,44	0,51	0,37	0,41	1,51	1,63	1,7	1,9	3,18	0,37	0,32	0,46	1,82	1,63	1,82
129	8,29	4,17	7,58	0,48	0,58	0,44	0,64	2,16	2,36	1,43	1,44	3,36	0,46	0,27	0,49	2,16	1,66	1,57
2719	4,76	6,62	7,56	0,40	0,46	0,45	0,21	2,45	2,35	1,71	1,48	3,88	0,39	0,35	0,53	1,52	1,47	1,56
1215	4,58	6,80	5,16	0,34	0,4	0,34	0,31	3,11	2,12	1,26	1,30	2,44	0,29	0,21	0,34	1,50	1,39	1,81
Média	5,95	5,45	6,64	0,42	0,49	0,40	0,39	2,31	2,12	1,53	1,53	3,22	0,38	0,29	0,46	1,75	1,54	1,69

Quadro 19 – Características químicas do solo realizada em quatro diferentes profundidades (0-20; 20-40; 40-60 e 60-100 cm) para os três tratamentos de experimento de fertirrigação.

TRATAMENTO	PROF. (cm)	pH ^{1/}	P ^{2/}	K ^{2/}	S ^{3/}	Ca ^{4/}	Mg ^{4/}	Al ^{4/}	H+Al ^{4/}	SB	t	m	MO ^{5/}	P rem
		H ₂ O	---- mg/dm ³ ----				----- cmol _c /dm ³ -----				%	dag/kg	mg/L	
Controle	0-20	5,14	1,63	60,75	25,20	1,94	0,42	0,24	4,65	2,51	2,75	14,13	2,52	23,85
	20-40	4,88	0,83	36,00	38,80	0,86	0,23	0,39	3,98	1,17	1,56	30,73	1,45	17,15
	40-60	4,80	0,88	31,00	56,88	0,65	0,20	0,46	3,63	0,93	1,39	39,28	1,10	11,78
	60-100	4,78	1,03	27,50	50,63	0,49	0,18	0,39	3,18	0,74	1,12	40,10	0,87	6,93
Fertirrigado	0-20	4,40	1,73	39,00	36,70	0,43	0,13	0,77	4,70	0,65	1,43	53,88	1,94	28,10
	20-40	4,30	0,83	23,25	51,10	0,14	0,04	0,72	3,95	0,24	0,96	75,30	1,16	22,55
	40-60	4,26	0,65	19,50	57,30	0,10	0,03	0,73	3,20	0,18	0,91	74,15	0,84	18,98
	60-100	4,21	0,78	17,75	60,00	0,10	0,04	0,51	2,90	0,18	0,68	74,23	0,65	13,80
Irrigado	0-20	4,29	1,78	21,50	38,88	0,27	0,10	1,09	6,65	0,43	1,51	71,43	2,62	19,60
	20-40	4,18	1,20	10,25	60,38	0,02	0,00	1,04	5,10	0,05	1,09	95,08	1,49	16,25
	40-60	4,30	1,40	6,50	65,25	0,00	0,00	0,96	4,28	0,02	0,99	97,73	1,19	14,98
	60-100	4,32	1,60	4,75	57,23	0,02	0,00	0,53	3,85	0,03	0,56	94,98	0,81	11,48

^{1/}pH = relação 1:2,5; ^{2/} Extrator Mehlich-1; ^{3/} Extrator Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L; ^{4/}Extrator KCl 1 mol/L; SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺; t = SB + Al³⁺; m = 100 Al³⁺/ t; ^{5/} M.O. = 1,724 x C.O. (Chesnin & Yien, 1950).

o tronco e parte aérea, houve uma queda no conteúdo de K na biomassa de folhas e raízes finas no tratamento irrigado (Quadro 20 e 21, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Na média dos materiais genéticos clonais de eucalipto o tratamento fertirrigado levou a maiores valores de conteúdo de macronutrientes na biomassa de tronco, sendo que foi observada a seguinte seqüência decrescente de conteúdo total de macronutrientes: N > Ca > K > Mg > S > P. O aumento do conteúdo de nutrientes no tronco promove uma maior exportação de nutrientes, levando a perdas econômicas.

3.3.5.3. Partição de nutrientes

A distribuição dos nutrientes nos compartimentos (folha, galho, casca, lenho, raiz) das plantas de eucalipto pode ser um indicativo de sua importância para a formação dos diferentes tecidos da planta e da eficiência de uso desses nutrientes. Diferenças entre a distribuição de nutrientes também estão relacionadas a diferenças de funções fisiológicas e de sua relativa mobilidade dentro da planta. A distribuição de nutrientes entre os componentes das árvores de eucalipto tem profunda influência de espécie, idade e tamanho das árvores e é também resultado de mudanças no suprimento externo de nutrientes (Grove et al., 1996).

Quadro 20 – Conteúdo de macronutrientes de componentes das árvores de quatro clones de eucalipto aos 81 meses submetidos à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG.

	Nitrogênio			Fósforo			Potássio			Contrastes								
	Irr.	Fert.	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	Irr.	Fert.	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	Contrastes					
													C ₁	C ₂	C ₃			
----- Parte Aérea (kg ha ⁻¹) -----																		
57	238,4	355,3	312,9	0	**	ns	36,8	43,4	39	ns	ns	ns	125,9	399,2	302,1	***	***	***
129	182,0	257,9	210,8	ns	0	ns	35,8	48,6	36,7	ns	**	**	107,5	335,5	207,0	***	***	***
2719	235,9	807,4	254,7	ns	***	***	52,2	40,8	43,6	*	**	**	101,5	328,0	264,7	***	***	**
1215	247,0	849,8	242,1	ns	***	***	46,6	35,8	47,0	ns	*	*	138,7	278,7	248,4	***	***	ns
Média	225,8	567,6	255,1	ns	***	***	42,9	42,2	41,6	ns	ns	ns	118,4	335,4	255,6	***	***	***
----- Tronco (kg ha ⁻¹) -----																		
57	121,8	200,9	181,9	0	*	ns	22,2	28,1	26,6	ns	0	ns	72,6	272,0	200,1	***	***	***
129	97,6	156,3	128,1	ns	0	ns	27,2	38,3	29,3	ns	**	*	78,1	244,1	144,6	***	***	***
2719	151,0	701,2	167,0	ns	***	***	42,9	29,6	32,3	**	***	ns	71,4	227,5	186,5	***	***	*
1215	154,1	750,5	152,5	ns	***	***	38,1	25,6	38,4	ns	***	***	105,3	193,0	177,3	***	***	ns
Média	131,1	452,2	157,4	ns	***	***	32,6	30,4	31,7	ns	ns	ns	81,9	234,2	177,1	***	***	***
----- Folha (kg ha ⁻¹) -----																		
57	81,7	91,8	70,3	ns	ns	*	5,7	6,1	4,4	*	ns	**	28	53,9	34,4	ns	***	***
129	55,9	61,1	48,4	ns	ns	ns	3,4	3,8	2,8	ns	ns	0	13,8	28,6	19,3	ns	**	*
2719	56,8	58,7	41,2	0	ns	*	3,6	3,7	2,7	ns	ns	0	15,5	42,2	23,1	0	***	***
1215	59,8	54,2	50,1	ns	ns	ns	3,8	3,4	2,8	0	ns	ns	16,5	25,4	21,5	ns	*	ns
Média	63,6	66,5	52,5	*	ns	**	4,1	4,3	3,2	**	ns	***	18,5	37,5	24,6	ns	***	**
----- Raiz Fina (kg ha ⁻¹) -----																		
57	7,2	6,1	4,5	ns	ns	ns	0,5	0,8	0,3	0	*	***	0,4	2,2	1,2	0	***	*
129	5,9	2,3	3,0	ns	0	ns	0,4	0,3	0,2	ns	ns	ns	0,5	1,3	0,9	ns	*	ns
2719	10,2	9,0	7,5	ns	ns	ns	0,8	0,6	0,4	**	ns	ns	0,4	3,4	2,3	***	***	*
1215	7,3	7,9	3,2	*	ns	*	0,5	0,4	0,2	**	ns	ns	0,5	3,6	1,4	*	***	***
Média	7,7	6,3	4,6	**	ns	0	0,6	0,5	0,3	***	ns	***	0,5	2,6	1,5	***	***	***

Irr.: Tratamento Irrigado; Fert.: Tratamento Fertirrigado; Contr.: Tratamento Controle. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, 0 ns, e ns, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Quadro 21 – Conteúdo de macronutrientes de componentes das árvores de quatro clones de eucalipto aos 81 meses submetidos à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG.

	Cálcio			Magnésio			Contraestes			Enxofre			Contraestes					
	Irr.	Fert.	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	Irr.	Fert.	Contr.	Parte Aérea (kg ha ⁻¹)			Fert.	Contr.	C ₁ C ₂ C ₃			
										C ₁	C ₂	C ₃			Irr.	Fert.	Contr.	C ₁
57	393,5	582,7	437,7	ns	**	*	68,3	80,0	91,4	***	0	0	39,9	80,6	28,1	0	***	***
129	320,0	576,4	517,4	**	***	ns	61,2	82,5	97,5	*	**	ns	44,4	67,1	26,0	*	**	***
2719	485,1	549,5	603,9	*	ns	ns	83,8	101,9	100,1	***	**	*	17,9	34,1	25,0	ns	*	ns
1215	441,6	431,2	440,4	ns	ns	ns	73,7	76,9	88,0	*	ns	0	32,6	40,3	39,9	ns	ns	ns
Média	410,1	535,0	499,9	**	***	ns	71,8	85,3	94,3	***	***	**	33,7	55,5	29,8	ns	***	***
Tronco (kg ha⁻¹)																		
57	318,5	481,5	320,4	ns	**	**	45,9	54,2	52,4	ns	ns	ns	31,5	69,7	21,0	0	***	***
129	268,4	481,5	433,7	**	***	ns	41,6	56,5	70,1	***	**	*	37,1	59,5	20,9	*	**	***
2719	416,5	451,5	497,5	ns	ns	ns	68,8	81,3	77,5	0	*	ns	10,6	27,1	19,5	ns	*	ns
1215	373,9	358,5	354,0	ns	ns	ns	53,0	55,5	63,9	*	ns	ns	28,1	34,1	33,9	ns	ns	ns
Média	344,3	443,3	401,4	*	***	ns	52,3	61,9	66,0	***	***	ns	26,8	47,6	23,8	ns	***	***
Folha (kg ha⁻¹)																		
57	23,8	25,1	26,1	ns	ns	ns	10,1	10,7	6,3	*	ns	**	3,7	5,3	4,0	ns	**	*
129	11,3	16,6	14,7	ns	ns	ns	6,7	7,8	4,7	ns	ns	*	3,2	3,7	2,5	ns	ns	*
2719	19,0	25,0	21,5	ns	ns	ns	6,0	7,2	5,9	ns	ns	ns	3,5	3,1	2,4	*	ns	ns
1215	18,0	13,6	19,5	ns	ns	ns	7,6	6,1	7,3	ns	ns	ns	2,6	2,3	2,6	ns	ns	ns
Média	18,0	20,1	20,5	ns	ns	ns	7,6	8,0	6,1	*	ns	*	3,3	3,6	2,9	ns	ns	**
Raiz Fina (kg ha⁻¹)																		
57	2,1	2,8	2,3	ns	0	ns	0,5	0,5	0,3	0	ns	*	2,1	2,5	1,4	*	ns	**
129	1,2	0,8	1,3	ns	ns	ns	0,4	0,2	0,2	*	**	ns	1,6	1,0	0,6	*	0	ns
2719	3,4	1,9	3,8	ns	***	***	0,8	0,5	0,5	***	***	ns	3,0	2,0	1,5	***	*	ns
1215	1,9	1,5	1,6	ns	ns	ns	0,4	0,2	0,2	**	**	ns	2,4	1,6	1,2	**	*	ns
Média	2,2	1,8	2,3	ns	0	*	0,5	0,4	0,3	***	***	ns	2,3	1,8	1,2	***	**	**

Irr.: Tratamento Irrigado; Fert.: Tratamento Fertirrigado; Contr.: Tratamento Controle. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, 0 e ns, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Os resultados encontrados apontam para uma influência dos tratamentos de irrigação e fertirrigação na partição de nutrientes nos diferentes componentes das plantas (parte aérea, tronco, folhas e raízes finas).

Para o N, na média dos materiais genéticos, houve redução de sua partição na parte aérea em resposta ao tratamento irrigado, mesma tendência foi observada para a partição de N no tronco em resposta a este tratamento (Quadro 22, contraste C_1). Para o tratamento fertirrigado, houve aumento na partição de N no tronco e parte aérea na média dos materiais genéticos (Quadro 22, contraste C_3). Na comparação entre o tratamento irrigado e fertirrigado houve aumento da partição de N para o tronco e parte aérea (Quadro 22, contraste C_2).

Em média, a partição de P para a biomassa de parte aérea e tronco aumentou em resposta a aplicação do tratamento irrigado (Quadro 22, contraste C_1). Já a aplicação do tratamento fertirrigado elevou a partição de P na parte aérea e não modificou a partição no tronco (Quadro 22, contraste C_3), enquanto que na comparação entre os tratamentos fertirrigado e irrigado, houve redução na partição de P tanto na parte aérea como no tronco (Quadro 22, contraste C_2).

A partição de K, assim como observado para os nutrientes anteriormente discutidos, foi afetada de pelos tratamentos de água e nutrientes minerais, mais intensamente quando se analisa toda a parte aérea, do que quando o tronco focado individualmente, uma vez que no tronco não foi observado efeito significativo ($p < 0,1$) para nenhum dos contrastes testados (Quadro 22, contrastes C_1 , C_2 e C_3). A aplicação de irrigação e fertirrigação elevaram a partição de K para a parte aérea de maneira significativa ($p < 0,1$) (Quadro 22, contraste C_1 e C_3). Não foi observado efeito da suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica sobre a partição de K na biomassa de parte aérea (Quadro 22, contraste C_2).

Ca, em média, teve sua partição para a biomassa de parte aérea e tronco aumentada de forma significativa ($p < 0,1$) em resposta aos tratamentos de irrigação e fertirrigação (Quadro 23, contrastes C_1 e C_3). Na ausência de limitação hídrica a da adição suplementar de nutrientes reduziu a partição de Ca para a parte aérea e tronco (Quadro 23, contraste C_2).

Em média não houve resposta significativa ($p < 0,1$) da aplicação dos tratamentos de água e nutrientes sobre a partição de Mg na biomassa de tronco (Quadro 23, contrastes

C₁, C₂ e C₃). Na biomassa de parte aérea, em média, houve uma redução na partição de Mg, em resposta aos tratamentos irrigado e fertirrigado (Quadro 23, contrastes C₁ e C₃). Considerando o contraste entre o tratamento fertirrigado e irrigado, houve uma ligeira redução, estatisticamente significativa ($p < 0,1$), na porcentagem de Mg alocada na biomassa da parte aérea (Quadro 23, contraste C₂).

Os materiais genéticos estudados, em média, não alteraram sua partição de S na biomassa de parte aérea e tronco em resposta a aplicação do tratamento irrigado (Quadro 23, contraste C₁). Já a aplicação conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação, elevou a partição de S para a biomassa de tronco e parte aérea (Quadro 23, contraste C₃), sendo que, a suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica também elevou a partição de S para a biomassa desses componentes (Quadro 23, contraste C₂).

Considerando que para a produção de celulose o tronco é o componente de interesse, uma elevação na partição de nutrientes minerais na biomassa de tronco resultaria em uma maior exportação de nutrientes da área de plantio, então a aplicação de água, via irrigação, elevou a exportação principalmente de P, Ca e Mg e a aplicação conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação, elevou a exportação principalmente de N, Ca, Mg e S. Para o K também foi observado elevação na sua partição para o tronco em resposta a aplicação dos tratamentos de água e nutrientes, porém não foi significativo ($p > 0,1$).

As folhas apesar de representarem em média apenas 1,7 % da biomassa total, alocou, em média, na sua biomassa 17 % do N, 7,7 % do P, 10 % do K, 3,8 % do Ca, 8,1 % do Mg e 7 % do S total de nutrientes absorvidos pelas plantas do experimento de água e nutrientes o que indica sua elevada função metabólica (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 1998).

Analisando o efeito dos tratamentos de água e nutrientes sobre a partição de N nas folhas, observa-se que em média o tratamento de irrigação elevou a partição deste macronutriente (Quadro 22, contraste C₁). Porém o tratamento fertirrigado reduziu a partição de N na biomassa de folhas quando comparado com o resultado encontrado para o tratamento controle (Quadro 22, contraste C₃). Sendo observado também uma redução da partição de N na comparação entre os tratamentos fertirrigado e irrigado (Quadro 22, contraste C₂).

Para P, o comportamento das plantas dos tratamentos irrigado e fertirrigado foi de aumentar a partição de P para a biomassa de folhas (Quadro 22, contrastes C₁ e C₃), não

sendo observado diferença significativa entre esses dois tratamentos (Quadro 22, contraste C₂).

O K, apesar de ter apresentado significativa ($p < 0,1$) redução em seu conteúdo na biomassa de folhas em resposta a aplicação apenas de água (Quadro 20), teve sua partição aumentada para a biomassa de folhas em resposta a aplicação dos tratamentos de água e nutrientes (Quadro 22, contrastes C₁ e C₃). Sobre condição de ausência de restrição hídrica a suplementação nutricional com K reduziu a sua partição para a biomassa de folhas (Quadro 22, contraste C₂).

Os tratamentos de água e nutrientes não alteraram a partição de Ca para a biomassa de folhas, sendo apenas observado uma redução na partição de Ca na comparação entre os tratamentos fertirrigado e irrigado (Quadro 23, contraste C₁, C₂ e C₃).

Já o Mg teve sua partição para a biomassa de folhas aumentada significativamente ($p < 0,1$) em resposta aos tratamentos de água e nutrientes minerais, sendo também observado uma redução na partição de Mg em resposta a suplementação nutricional na ausência de restrição hídrica (Quadro 23, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Não houve resposta quanto a partição de S na biomassa de folhas em resposta ao tratamento irrigado. Sendo observado apenas uma redução na porcentagem de S alocada na biomassa de folhas em resposta ao tratamento fertirrigado, redução que também foi observada em resposta a suplementação nutricional sobre em condição de alta disponibilidade de água (Quadro 23, contrastes C₁, C₂ e C₃).

As raízes finas (< 2 mm diâmetro), assim como as folhas, são órgãos de grande importância metabólica para as plantas, pois exercem as funções de absorção de água e nutrientes minerais. Neves (2000) constatou que em plantas de eucalipto as raízes finas são o órgão do sistema radicular onde é alocado maior parte dos nutrientes neles contidos.

Sendo órgão ativo e importante para o crescimento das plantas a partição de nutrientes para a biomassa de raízes finas foi fortemente influenciada pelos tratamentos de água e nutrientes minerais.

O tratamento irrigado elevou a partição de N para a biomassa de raízes finas, ao contrário a fertirrigação reduziu a partição de N na média dos materiais genéticos estudados, sendo também observada redução na partição de N no contraste entre o tratamento fertirrigado e irrigado (Quadro 22, contrastes C₁, C₂ e C₃).

O tratamento irrigado aumentou, significativamente ($p < 0,1$), a partição de P para a biomassa de raízes finas na média dos quatro materiais clonais de eucalipto, o que também foi observado para o tratamento fertirrigado. Não foi observado efeito significativo ($p > 0,1$) em resposta a suplementação nutricional na ausência de restrição hídrica (Quadro 22, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

Não houve resposta do tratamento irrigado sobre a partição de K para a biomassa de raízes finas, sendo que o tratamento fertirrigado levou a um aumento na partição de K para as raízes finas, aumento também observado em resposta a suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica (Quadro 22, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

Em média, houve aumento da partição de Ca para as raízes finas em resposta ao tratamento irrigado, já o tratamento fertirrigado reduziu a partição de Ca nas raízes finas, estatisticamente significativo. A suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica reduziu a partição de Ca para a biomassa de raízes finas (Quadro 23, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

O tratamento irrigado elevou a partição de Mg para a biomassa de raiz fina. Já o tratamento fertirrigado não modificou partição de Mg. Sobre condição de ausência de restrição hídrica a suplementação nutricional reduziu a partição de Mg para a biomassa de raízes finas (Quadro 23, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

A partição de S para a biomassa de raízes finas aumentou em resposta ao tratamento fertirrigado, não sendo observa resposta ao tratamento irrigado e sobre condição de ausência de restrição hídrica a suplementação nutricional elevou a partição de S para a biomassa de raízes finas (Quadro 23, contrastes C_1 , C_2 e C_3).

Analisando o comportamento da partição de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de acordo com as classes de produtividades, visto que a inclinação das curvas que descrevem o comportamento da partição de nutrientes em função do nível de dominância das plantas foi modificado pelos tratamentos.

Quadro 22 – Partição de nutrientes minerais nos diferentes componentes de quatro materiais genéticos clonais de eucalipto submetidos à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG.

	Nitrogênio						Fósforo						Potássio						Contrastes				
	Irr.		Contr.		C ₁	C ₂	C ₃	Irr.		Fert.		C ₁	C ₂	C ₃	Irr.		Fert.		Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	
	Fert.	Contr.	Fert.	Contr.	Contr.	Contr.	Contr.	Fert.	Contr.	Fert.	Contr.	Contr.	Contr.	Contr.	Fert.	Contr.	Fert.	Contr.	Contr.	Contr.	Contr.	Contr.	
Parte Aérea (%)																							
57	73	81,7	83,4	***	***	ns	90,1	86,4	85,9	81,9	***	***	***	ns	90,6	85,1	82,1	82,1	***	***	***	***	
129	74,8	69,2	76,7	0	***	***	86	77,9	81,9	***	***	***	***	***	95,2	79,5	81	81	***	***	***	***	
2719	77,8	91	75,2	ns	***	***	82,8	73,9	64,1	***	***	***	***	***	54,2	74,4	74,1	74,1	***	***	**	***	
1215	80	91,9	80,2	*	***	***	86,5	81,5	89,6	***	***	***	***	***	85,2	86,3	79,8	79,8	***	***	***	***	
Média	76,4	83,5	78,9	***	***	***	86,4	79,9	80,4	***	***	***	***	ns	81,3	81,3	79,3	79,3	***	***	ns	***	
Tronco (%)																							
57	39,6	46,6	48,4	**	*	ns	56,4	56,5	58,8	ns	ns	ns	ns	ns	54,6	58,7	54,4	54,4	ns	ns	ns	ns	
129	39,9	41,5	46,5	*	ns	0	64,9	61,4	65,3	ns	ns	ns	ns	ns	68,8	57,8	56,6	56,6	***	**	ns	ns	
2719	48,7	73,1	48,2	ns	***	***	67,8	52,1	52,7	ns	**	**	**	0	38,9	50,8	53,6	53,6	ns	ns	ns	ns	
1215	51,4	79,8	52	ns	***	***	71,3	59,2	65,9	***	***	***	***	ns	60,3	60,2	55,7	55,7	***	**	ns	ns	
Média	44,9	60,3	48,8	**	***	***	65,1	57,3	60,7	*	***	***	***	0	55,7	56,9	55,1	55,1	ns	ns	ns	ns	
Folha (%)																							
57	23,6	20,7	19,5	**	*	ns	13,4	11,8	9,9	***	*	*	*	*	19,4	11	9,5	9,5	***	***	***	ns	
129	23,4	16,9	17,7	***	***	ns	8,5	6,2	6,3	**	**	**	ns	ns	13,2	6,9	7,6	7,6	***	***	***	ns	
2719	19,4	6,7	13,4	***	***	***	5,8	7,4	5,6	ns	0	*	*	*	12,9	11	7,2	7,2	***	***	ns	**	
1215	18,8	8,7	15,1	*	***	***	6,8	7	3,6	***	ns	***	ns	***	8,1	6,9	6,4	6,4	ns	ns	ns	ns	
Média	21,3	13,3	16,4	***	***	***	8,6	8,1	6,4	***	ns	***	ns	***	13,4	9,0	7,7	7,7	***	***	***	0	
Raiz Fina (%)																							
57	3	1,4	1,3	**	**	ns	1,5	1,6	0,7	**	ns	**	ns	**	0,5	0,5	0,4	0,4	ns	ns	ns	ns	
129	3	0,6	1,2	**	***	ns	1,1	0,7	0,4	*	**	*	ns	ns	0,5	0,3	0,4	0,4	ns	ns	ns	ns	
2719	3,2	1	2,4	ns	***	*	1,5	1,2	0,9	0	ns	ns	ns	ns	0,4	0,9	0,7	0,7	*	**	**	ns	
1215	2,4	1,6	1,5	ns	ns	ns	1	1	0,3	*	ns	*	ns	*	0,3	1,1	0,5	0,5	0	***	***	***	
Média	2,9	1,2	1,6	***	***	0	1,3	1,1	0,6	***	ns	***	ns	***	0,4	0,7	0,5	0,5	ns	ns	***	**	

Irr.: Tratamento Irrigado; Fert.: Tratamento Fertirrigado; Contr.: Tratamento Controle. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *⁰ e ns, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Para a parte aérea e tronco é observado um claro aumento na partição de todos os macronutrientes para a biomassa desses componentes à medida que aumenta o nível de dominância das plantas, sendo que, o N foi o elemento de maior resposta em ambos os compartimentos das plantas de eucalipto uma vez que 92 % e 50 % do número total de possíveis combinações entre tratamento e material genético para parte aérea e tronco, respectivamente, foram significativas ($p < 0,2$). Ca, K e Mg foram os elementos que tiveram o segundo maior efeito da sua partição influenciada pelos tratamentos de água e nutrientes em função da classe de produtividade com 75 % das combinações entre tratamento e clone para parte aérea. Para o tronco o segundo elemento cujos tratamentos de água e nutrientes mais influenciaram na partição deste de acordo com as classes de produtividades foi o Ca com 42 % das possíveis combinações de água e nutrientes estatisticamente significativas ($p < 0,2$) (Figuras 22 – 26 e 28 – 32).

O S foi o terceiro elemento com maior número de respostas significativas considerando a parte aérea, com 67 % das 12 possíveis combinações tiveram efeito significativo ($p < 0,2$). Para o tronco o K, Mg e S foram os elementos de terceiro maior efeito com 33 % das combinações tratamento e clone com efeito significativo ($p < 0,2$) e o P foi o elemento de menor efeito 58 % e 25 % para parte aérea e tronco, respectivamente, de efeito significativo ($p < 0,2$) para a combinação tratamento e clone (Figuras 27 e 33).

Considerando os materiais genéticos estudados verifica-se a seguinte seqüencia crescente para a partição de nutrientes na parte aérea em resposta a aplicação dos tratamentos de água e nutrientes em função das classes de produtividade: 57 > 1215 > 2719 > 129. Considerando o tronco foi observado uma alteração na ordem crescente dos materiais genéticos: 1215 > 2719 > 129 > 57. Como o tronco é a parte de interesse comercial para o caso da produção de celulose o aumento da produtividade da floresta resultará em um aumento na exportação de nutrientes e isso acontece de forma mais intensa para o clone 1215.

A partição de macronutrientes na biomassa de folhas em função da classe de produtividade não foi observado uma tendência clara, não sendo assim possível determinar o comportamento da partição de nutrientes para a biomassa de folhas em respostas as classes de produtividade (Figuras 34 a 39).

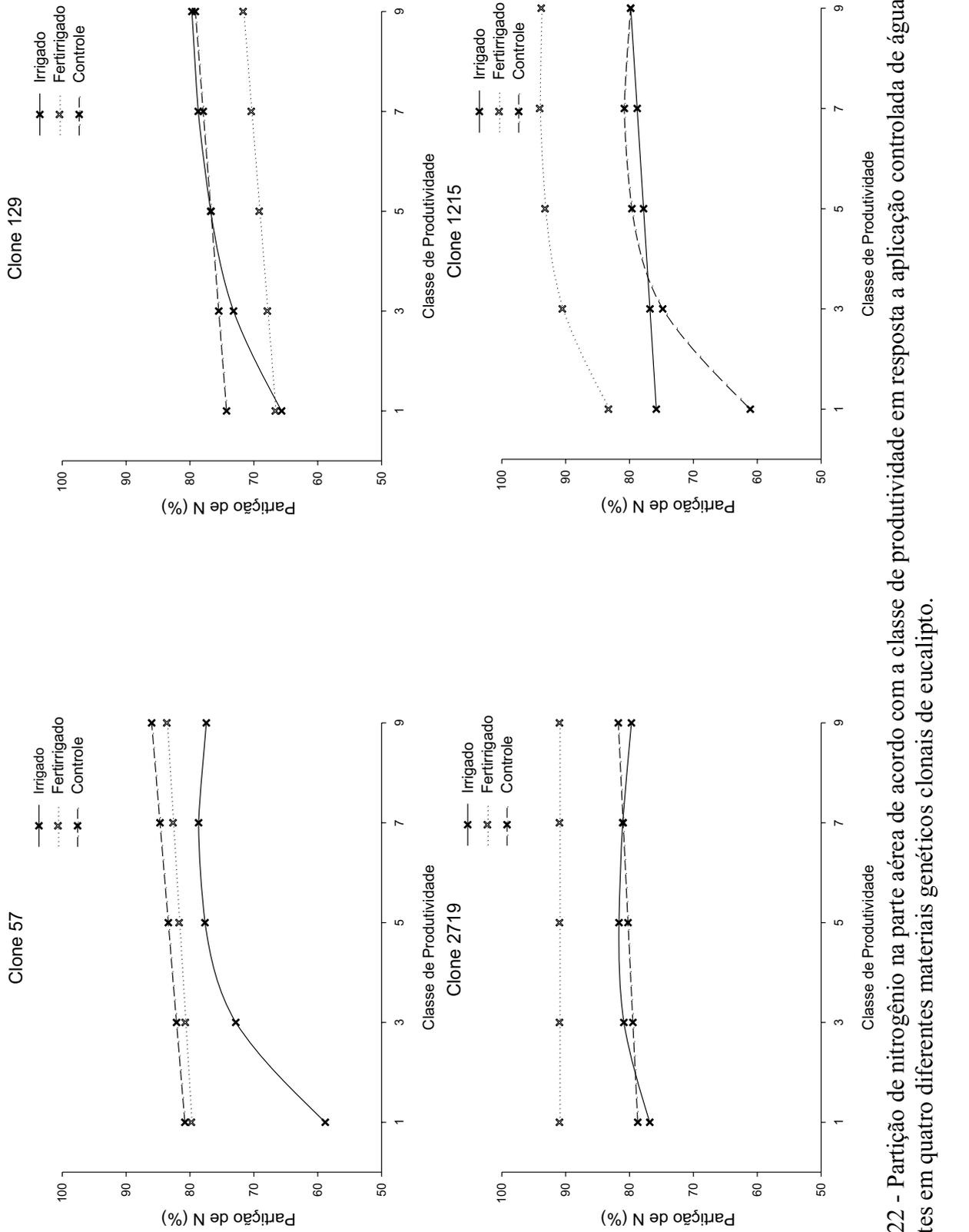


Figura 22 - Partição de nitrogênio na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

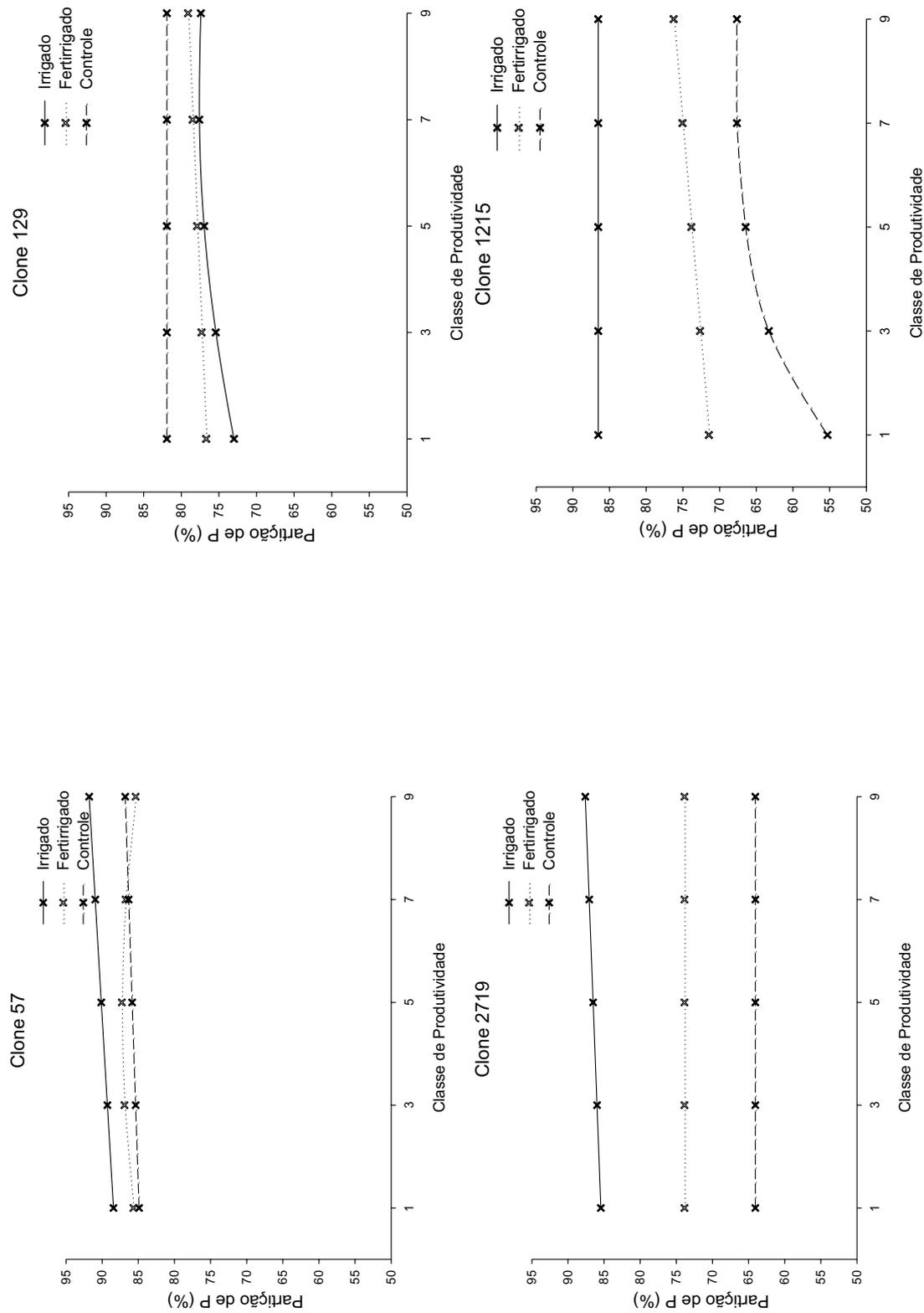


Figura 23 - Partição de fósforo na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

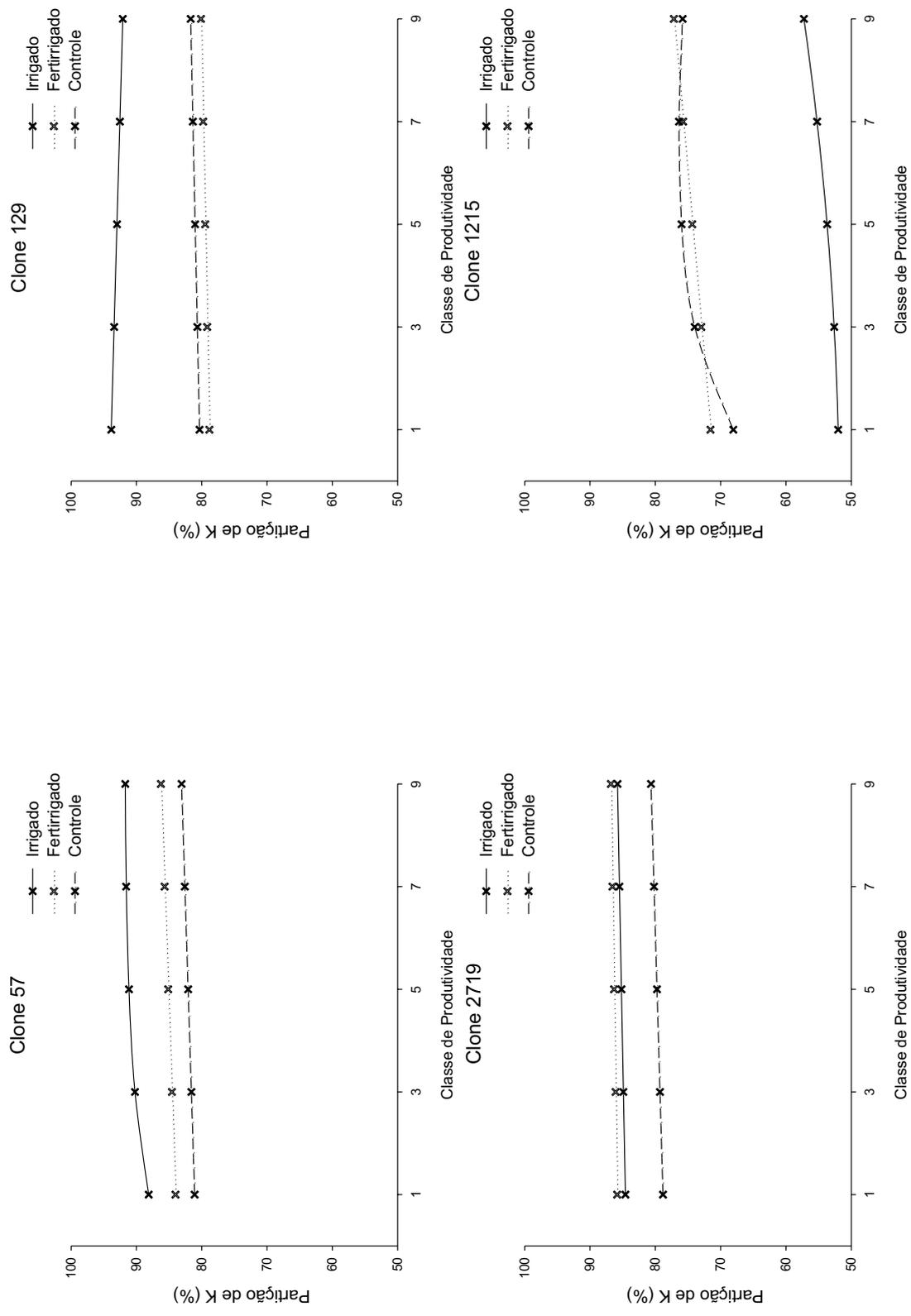


Figura 24 - Partição de potássio na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

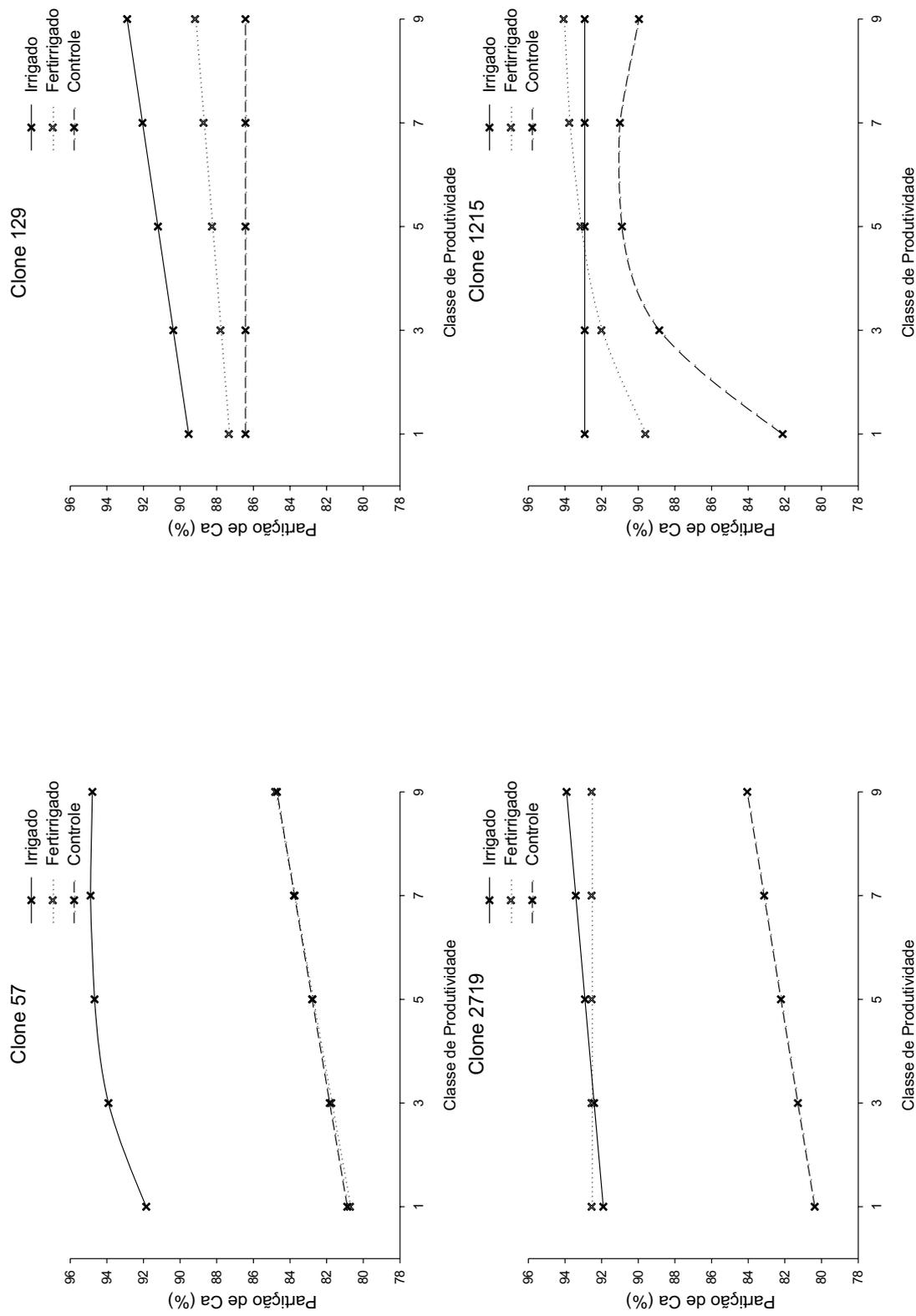


Figura 25 - Partição de cálcio na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

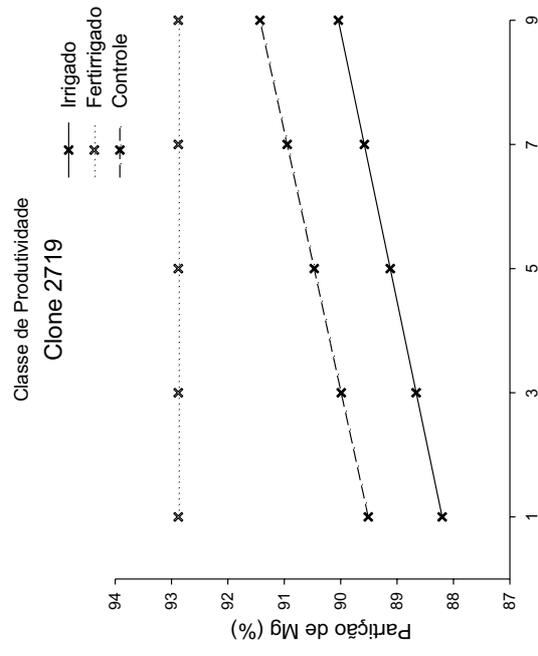
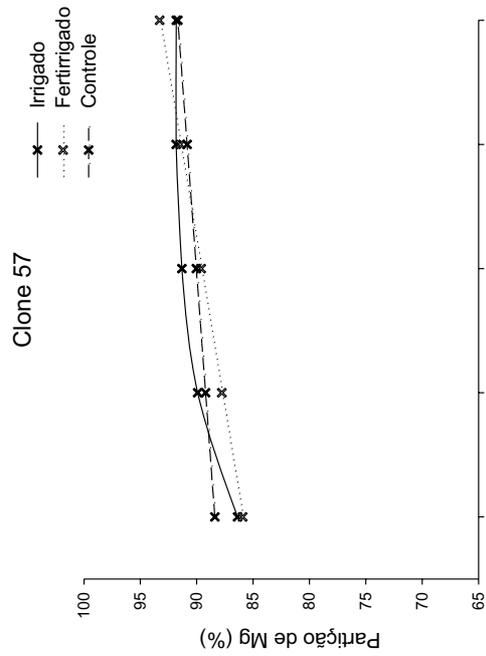
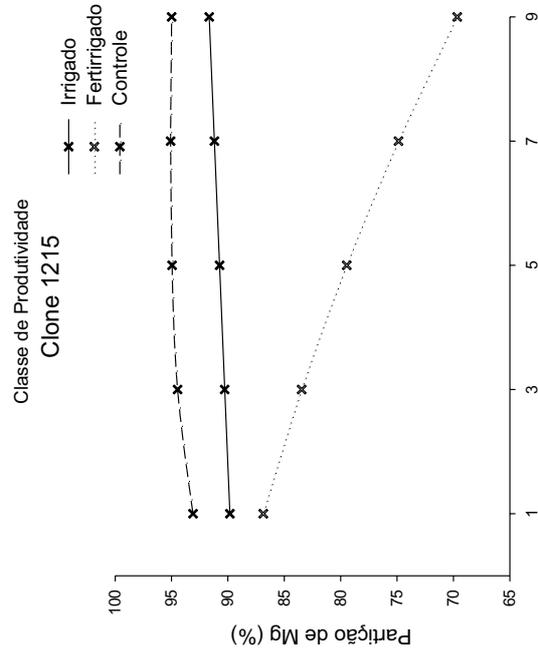
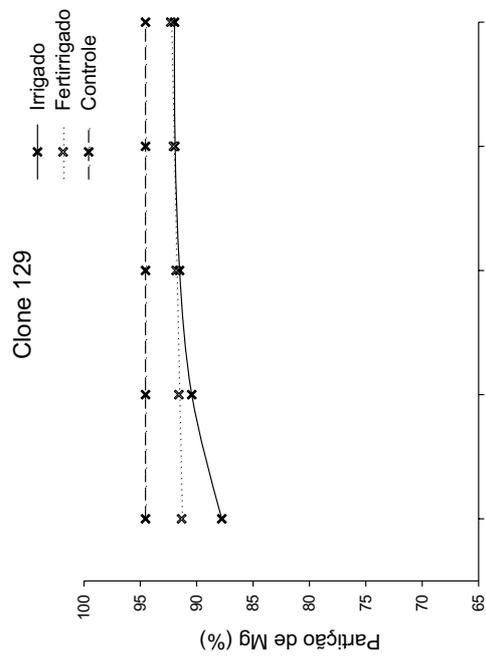


Figura 26 - Partição de magnésio na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

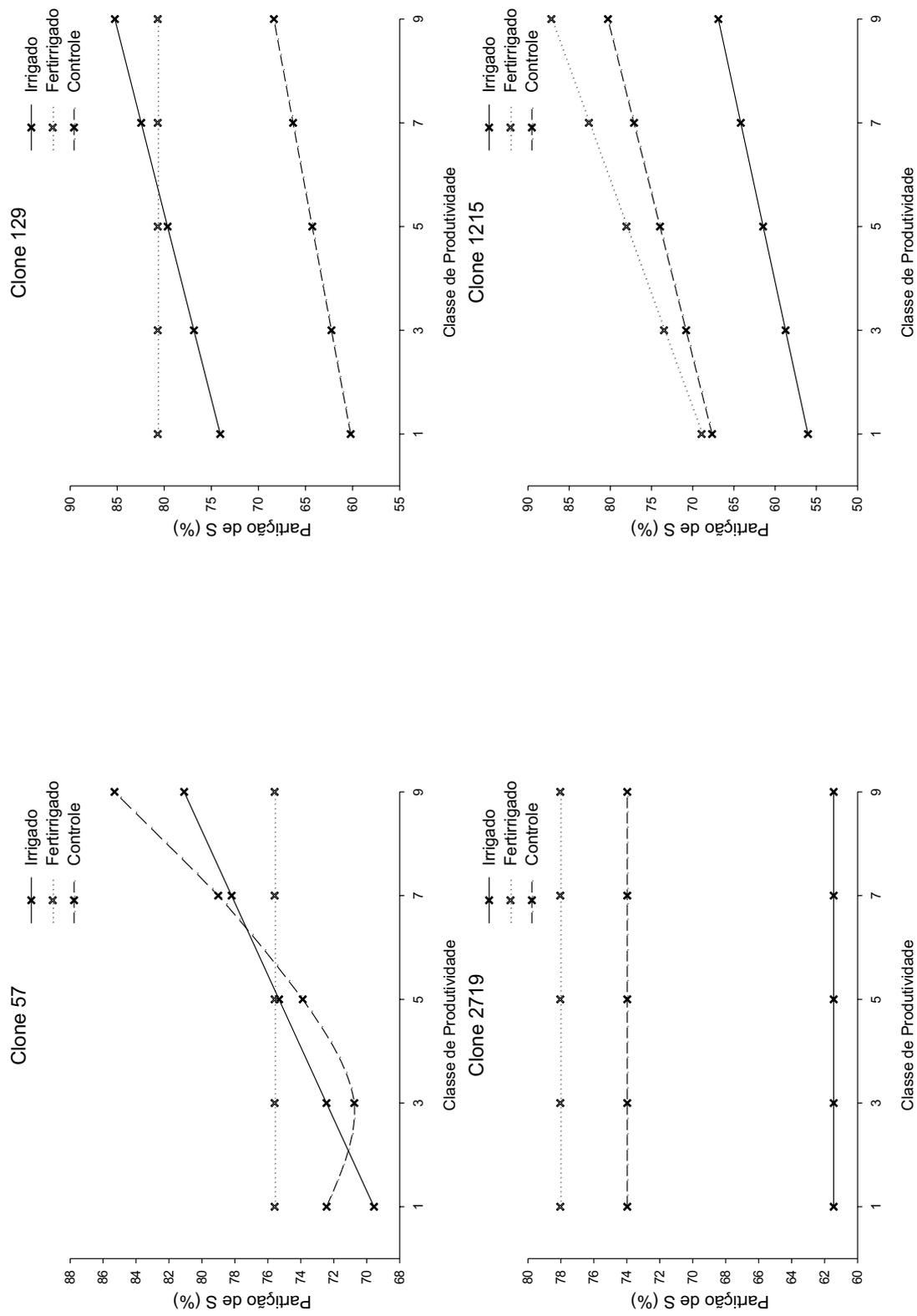


Figura 27 - Partição de enxofre na parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

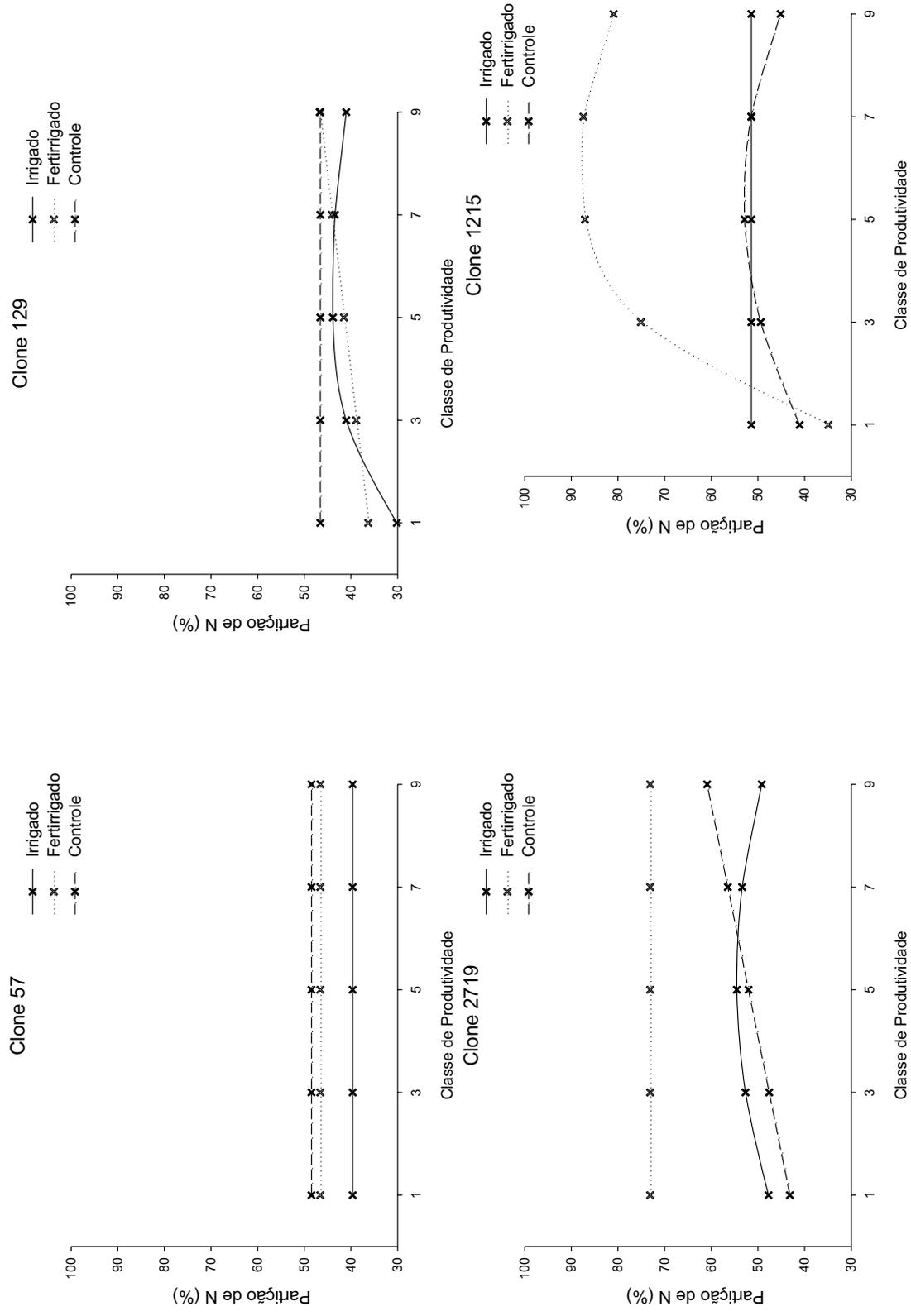


Figura 28 - Partição de nitrogênio para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

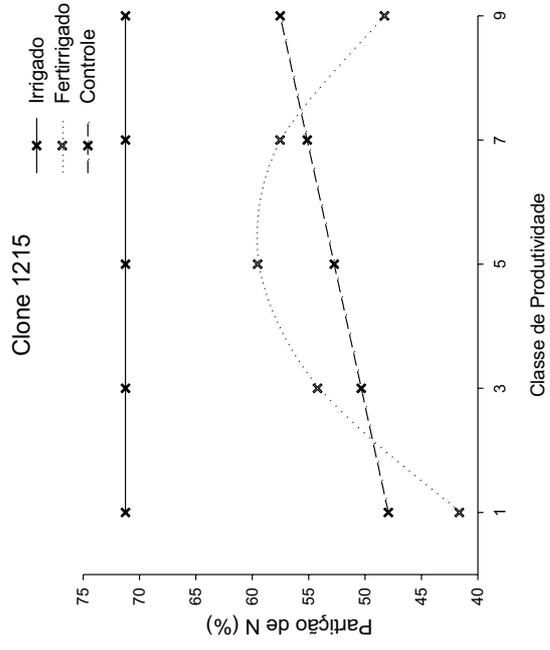
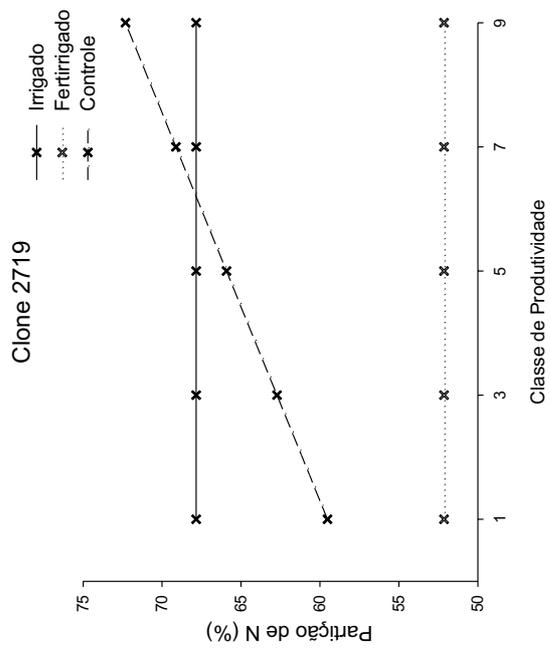
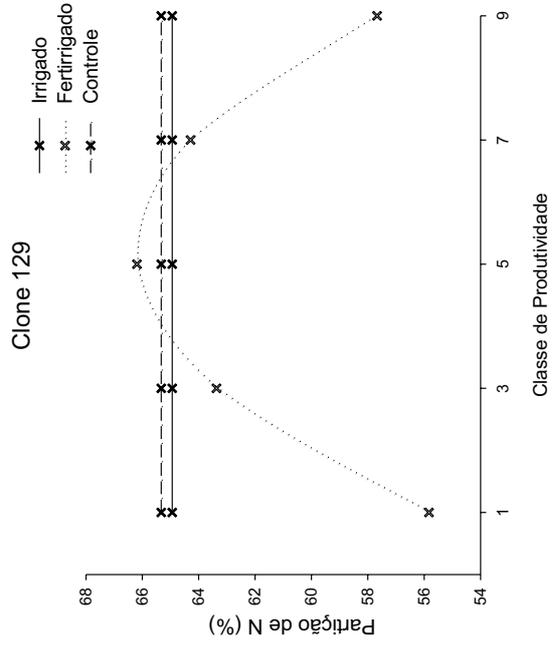
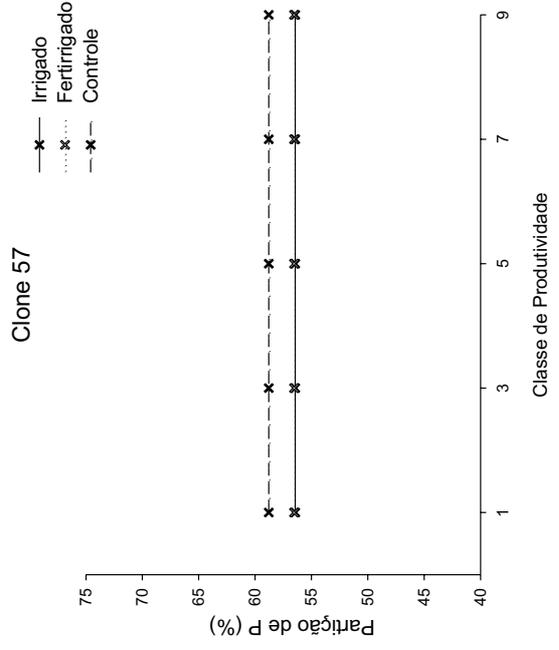


Figura 29 - Partição de fósforo para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

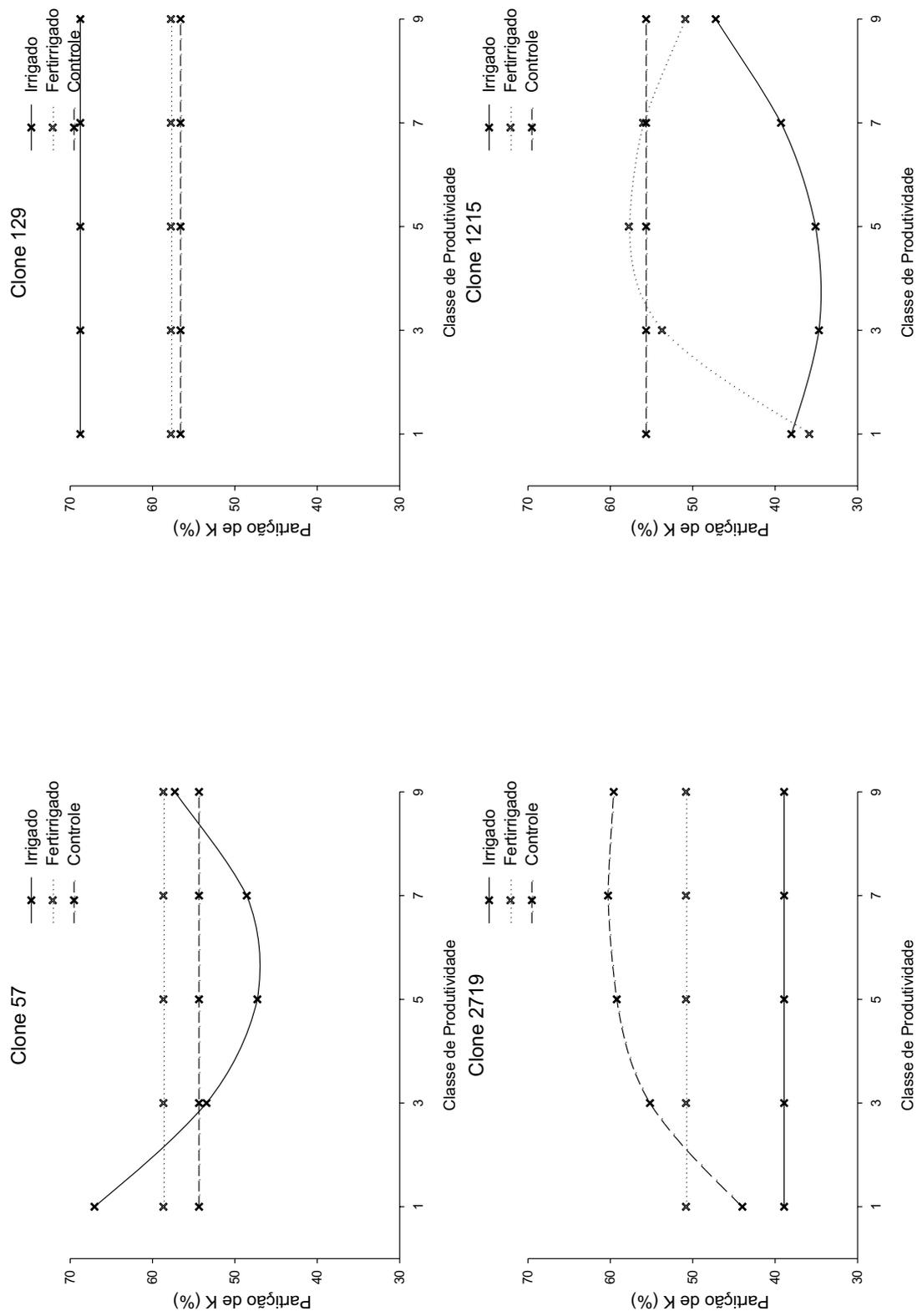


Figura 30 - Partição de potássio para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

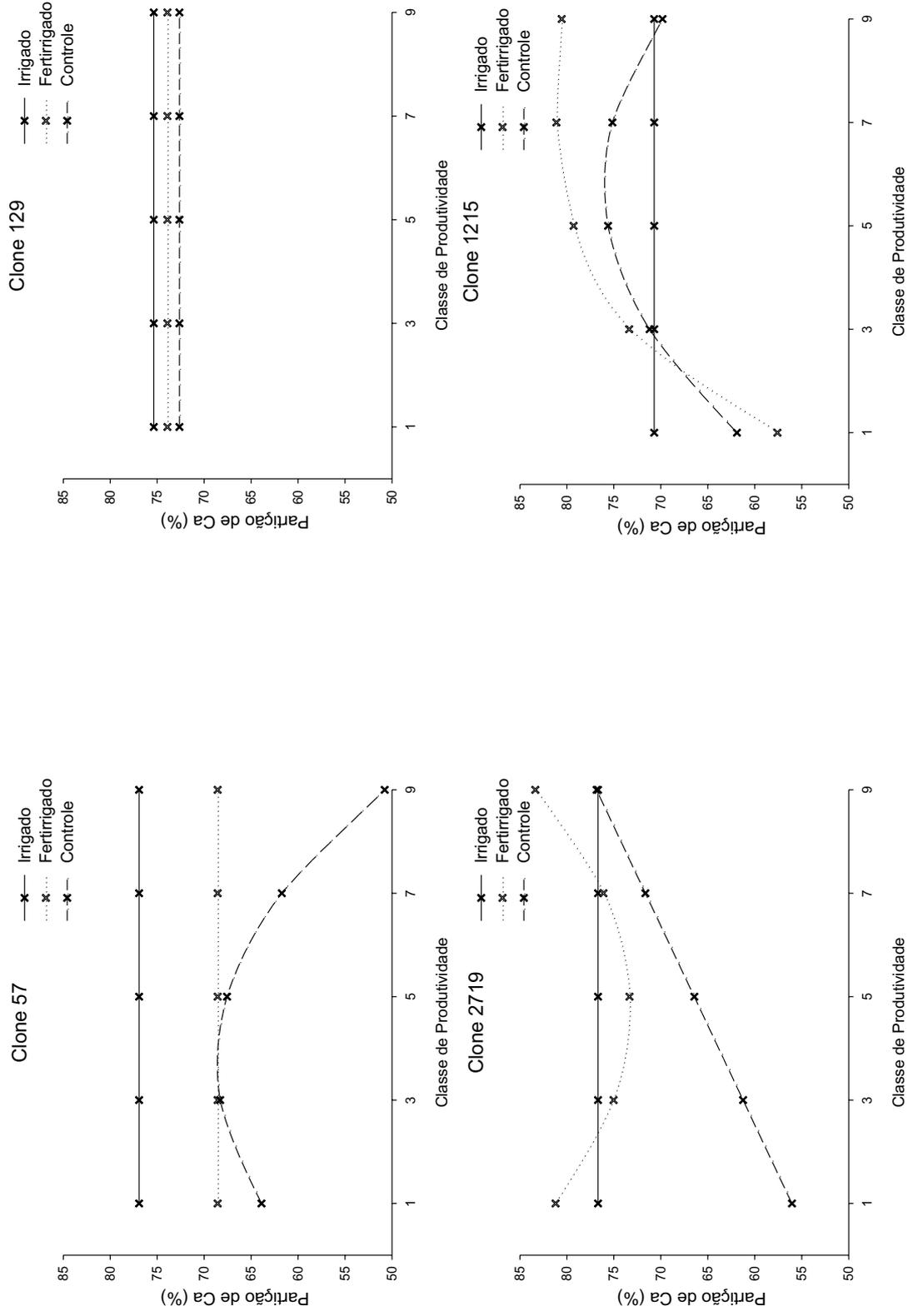


Figura 31 - Partição de cálcio para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

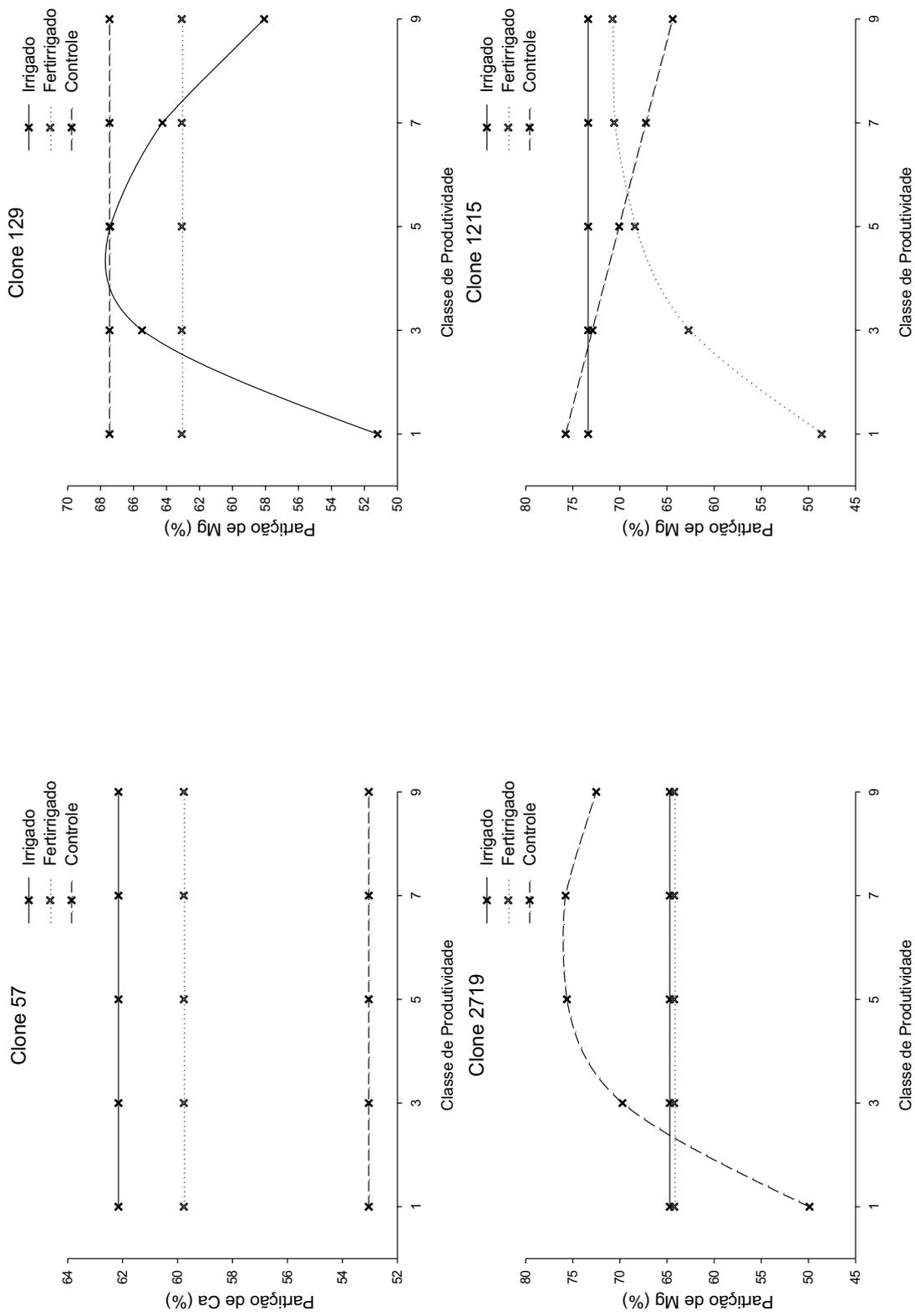


Figura 32 - Partição de magnésio para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

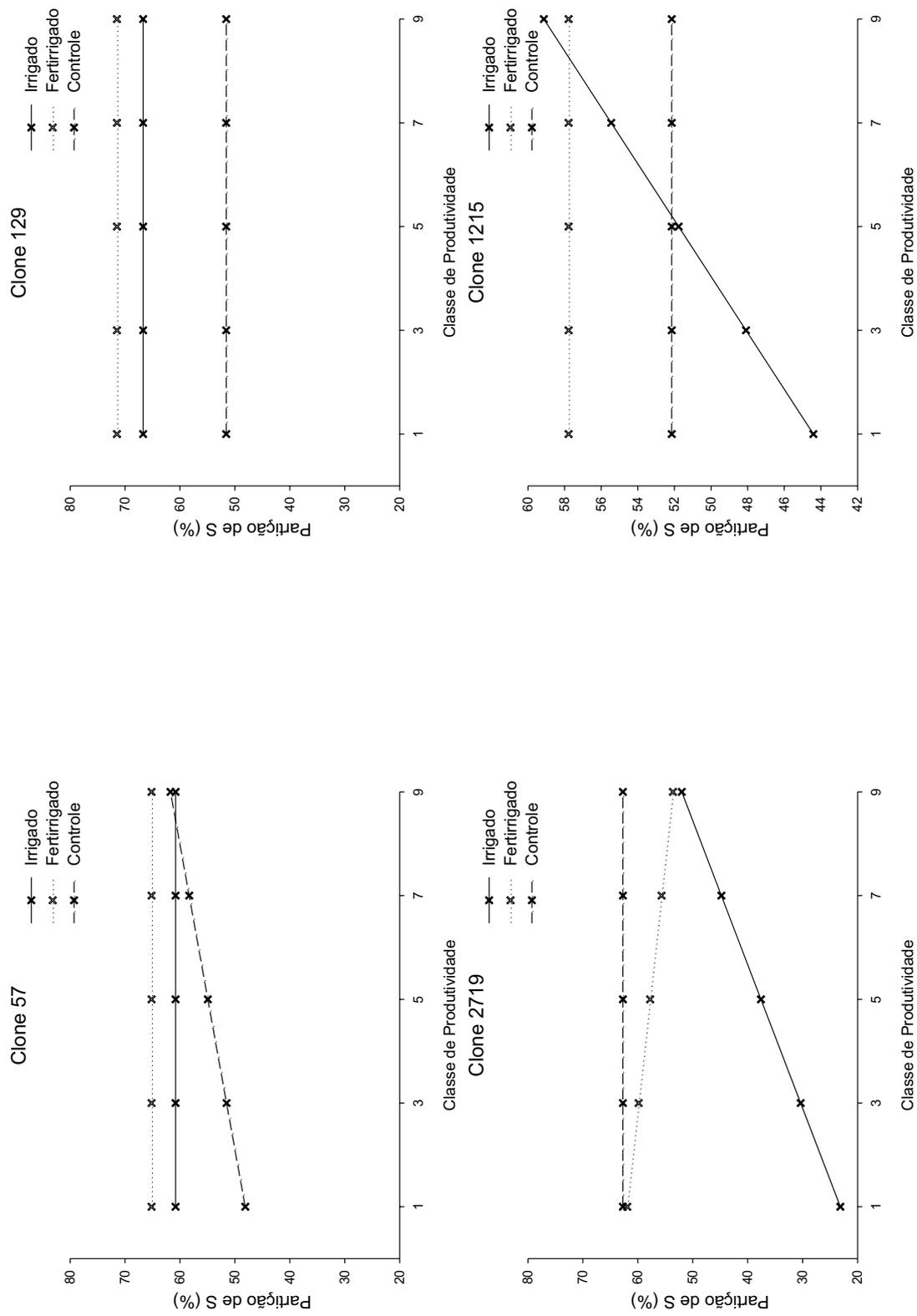


Figura 33 - Partição de enxofre para o tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

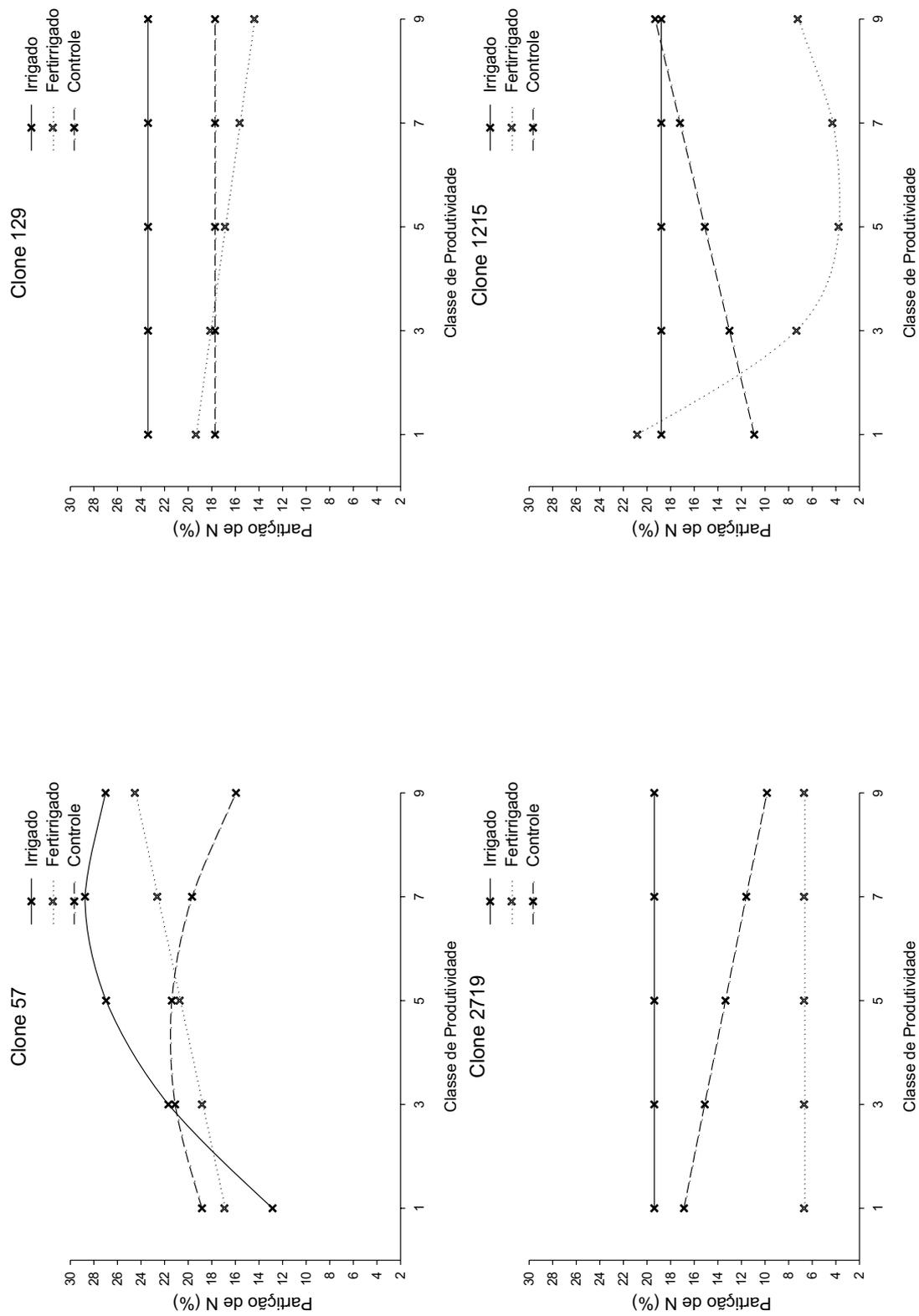


Figura 34 - Partição de nitrogênio para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

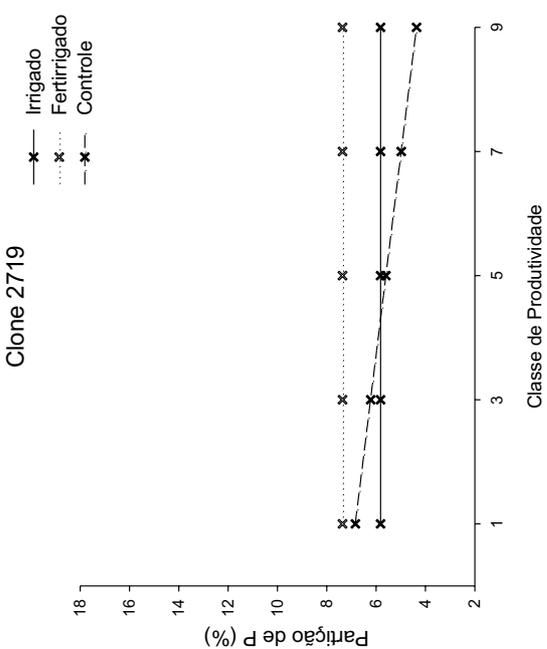
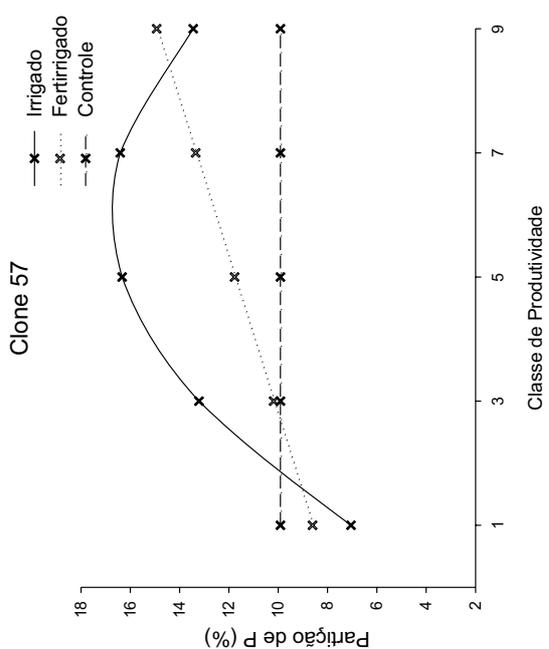
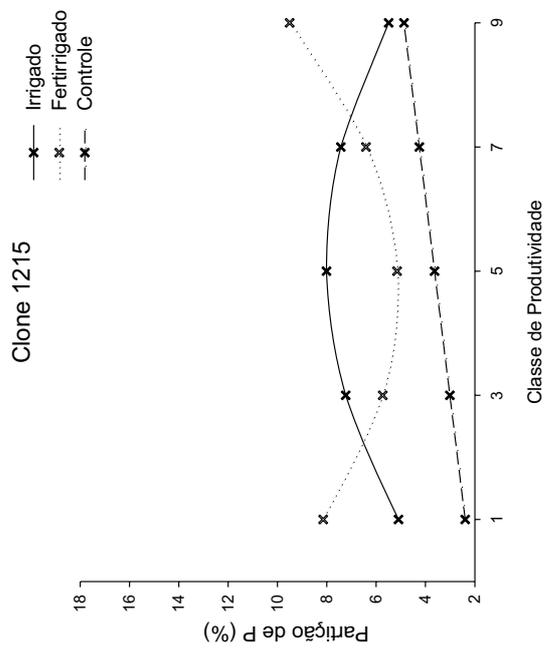
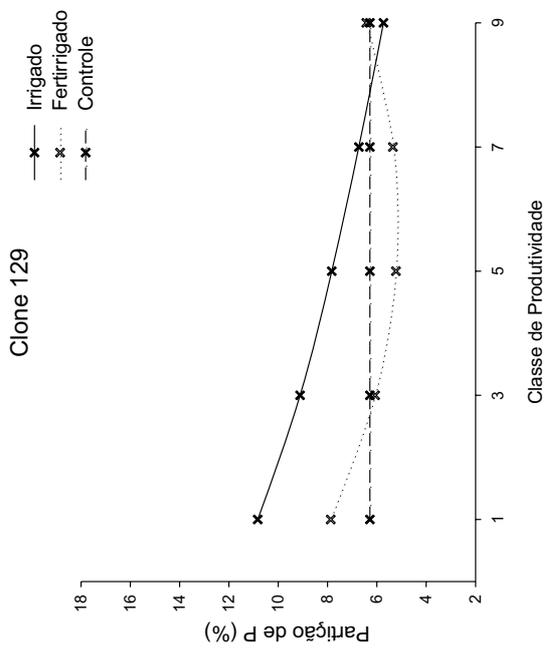


Figura 35 - Partição de fósforo para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

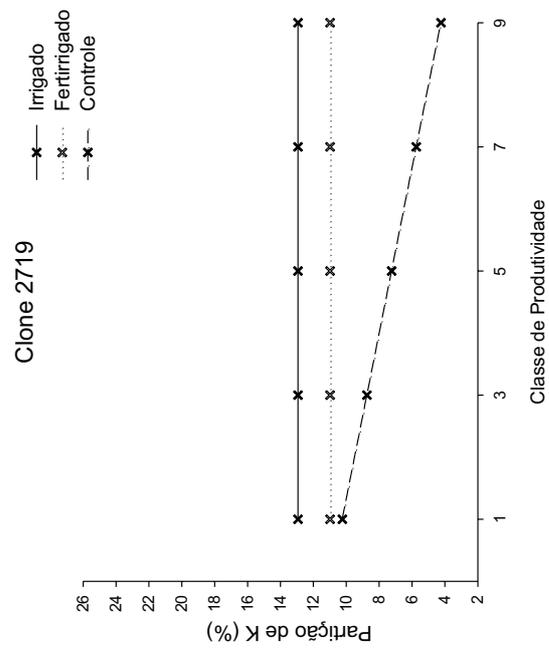
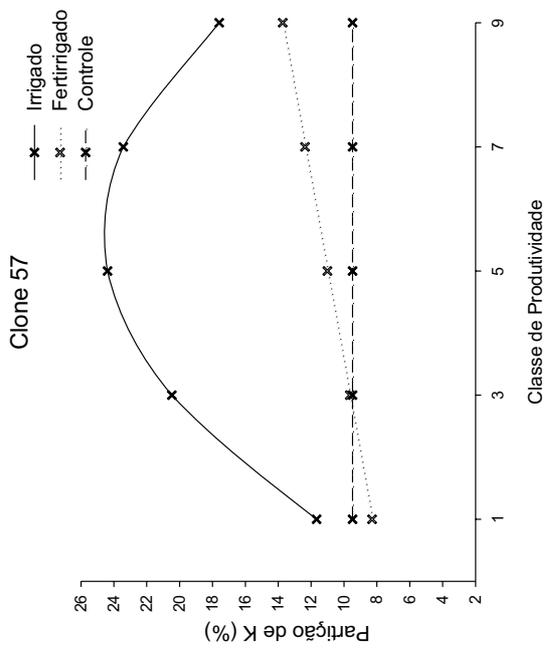
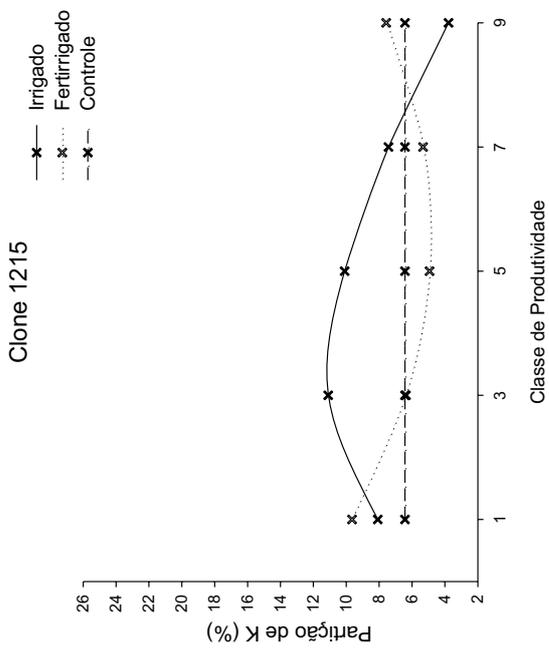
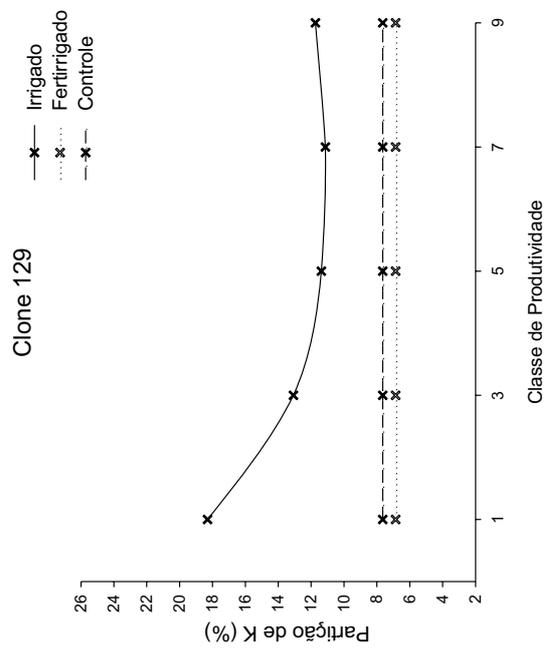


Figura 36 - Partição de potássio para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

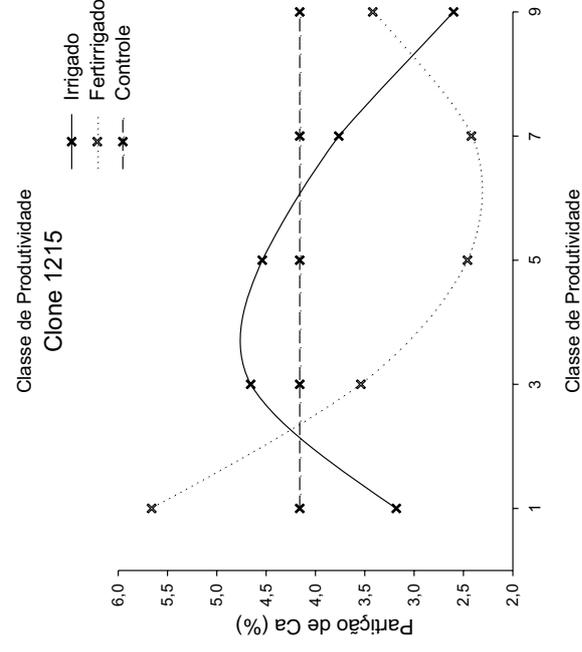
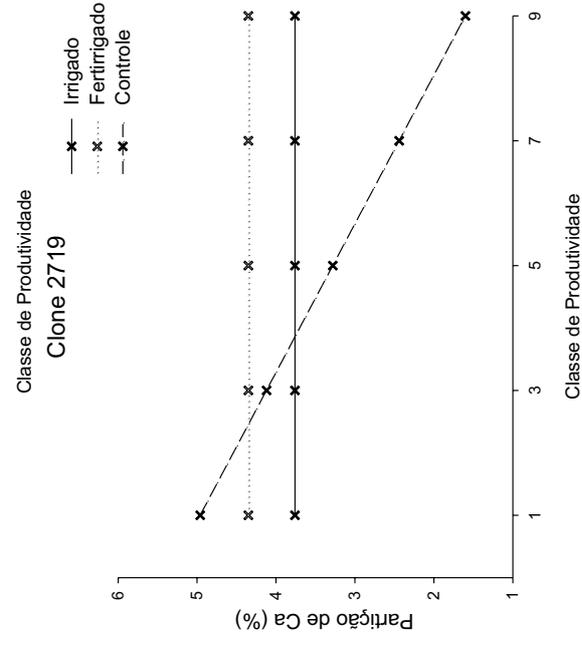
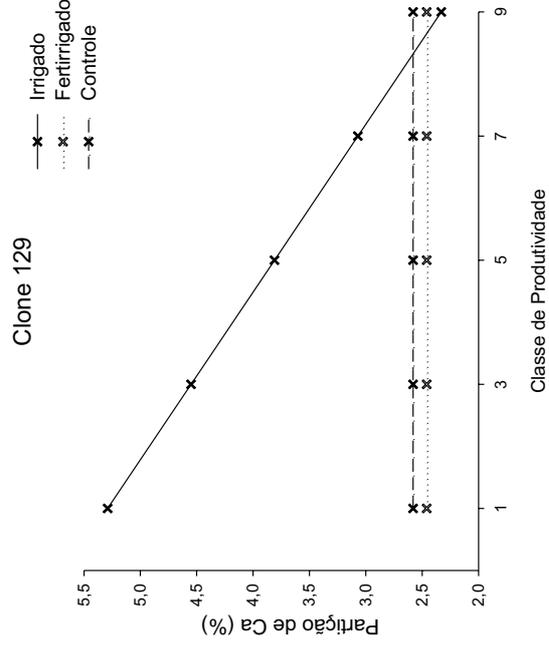
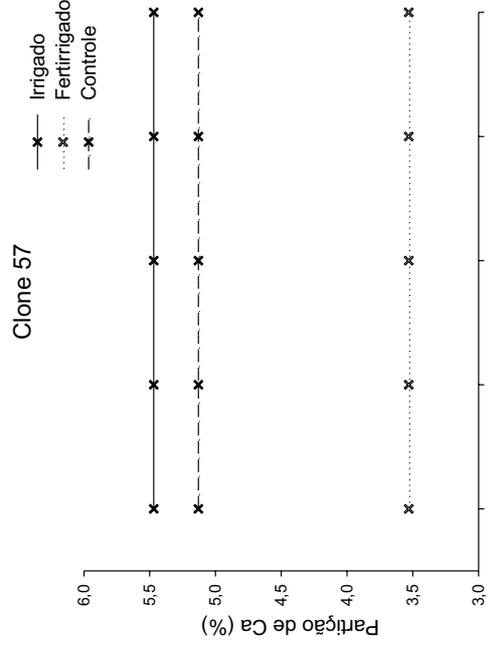


Figura 37 - Partição de cálcio para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em cinco quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

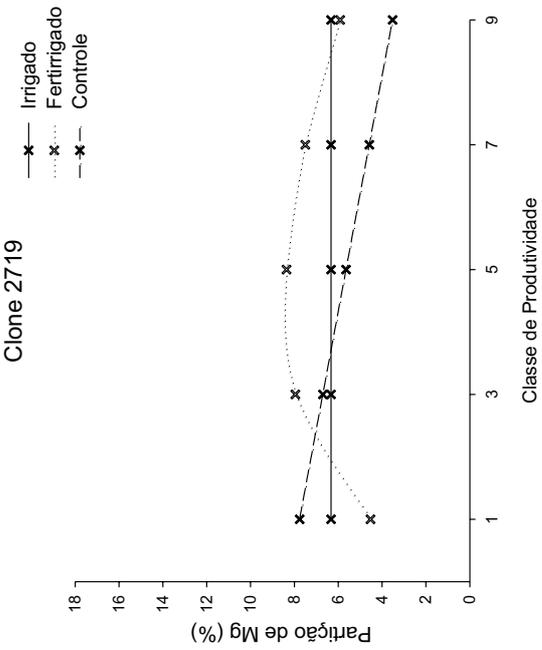
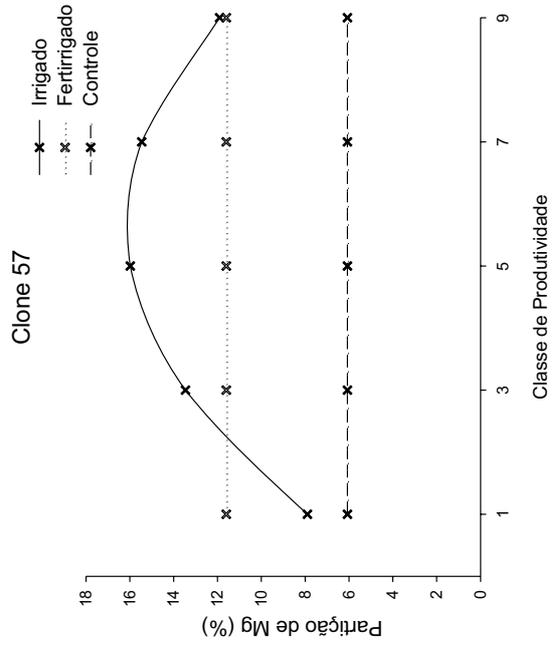
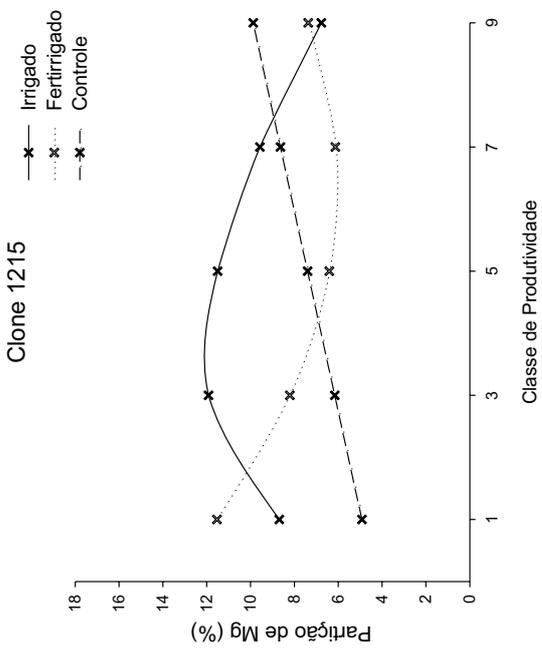
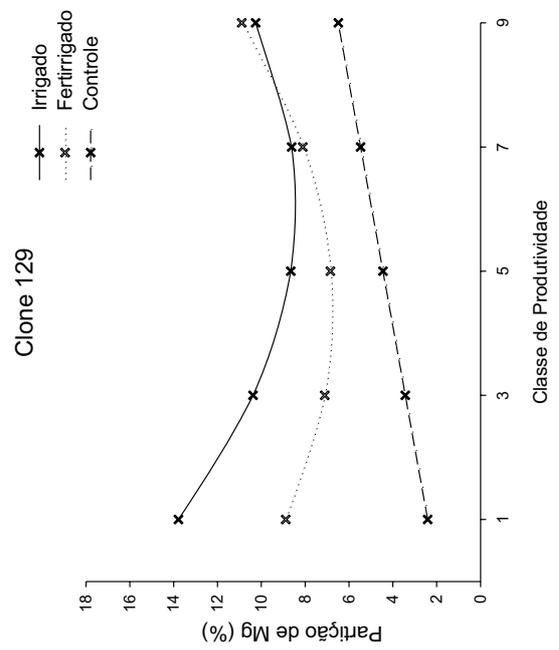


Figura 38 - Partição de magnésio para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

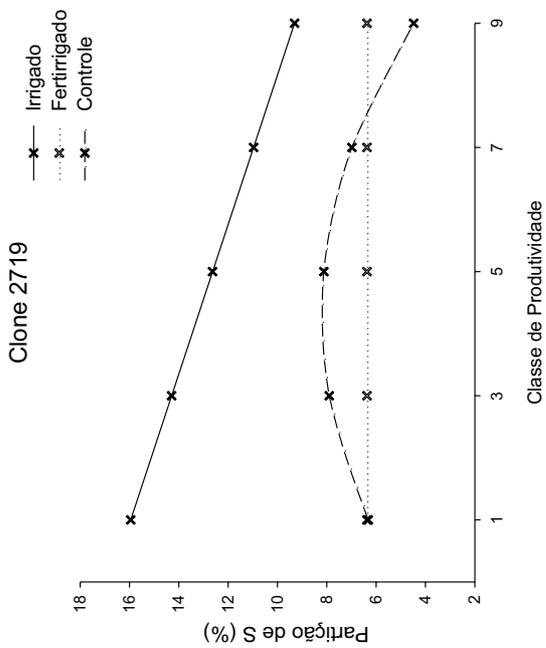
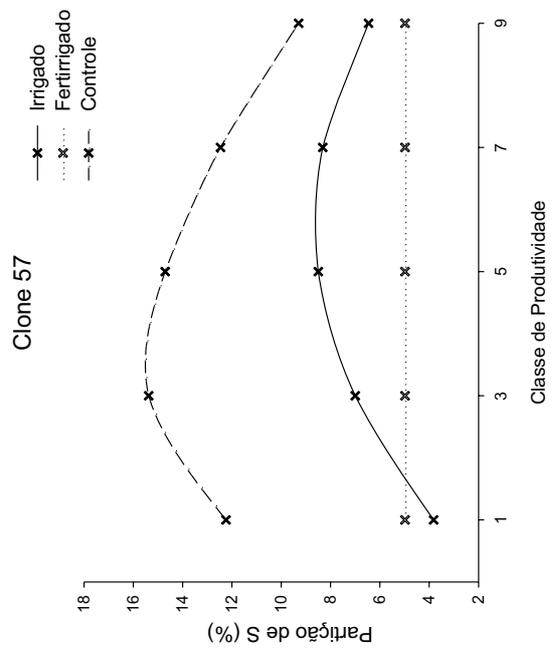
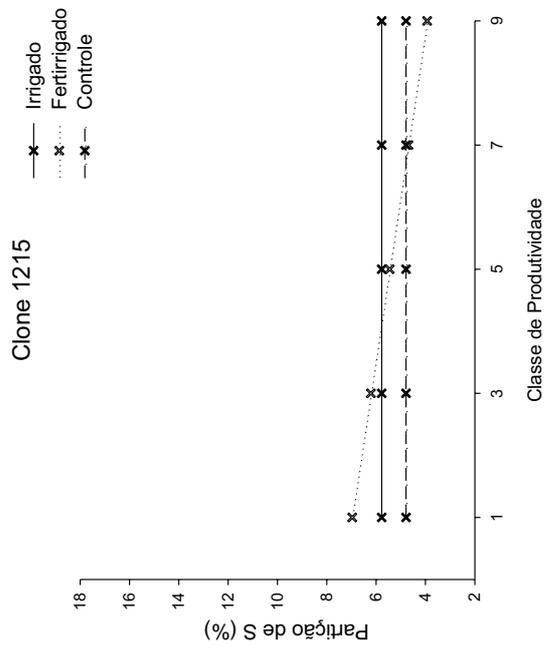
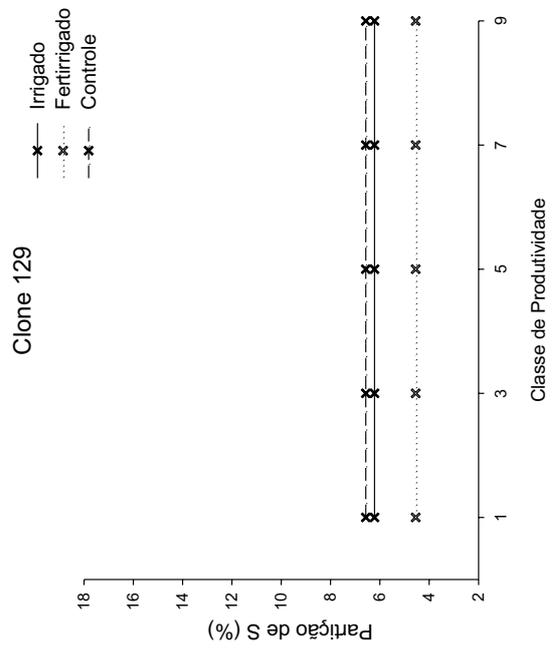


Figura 39 - Partição de enxofre para a folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

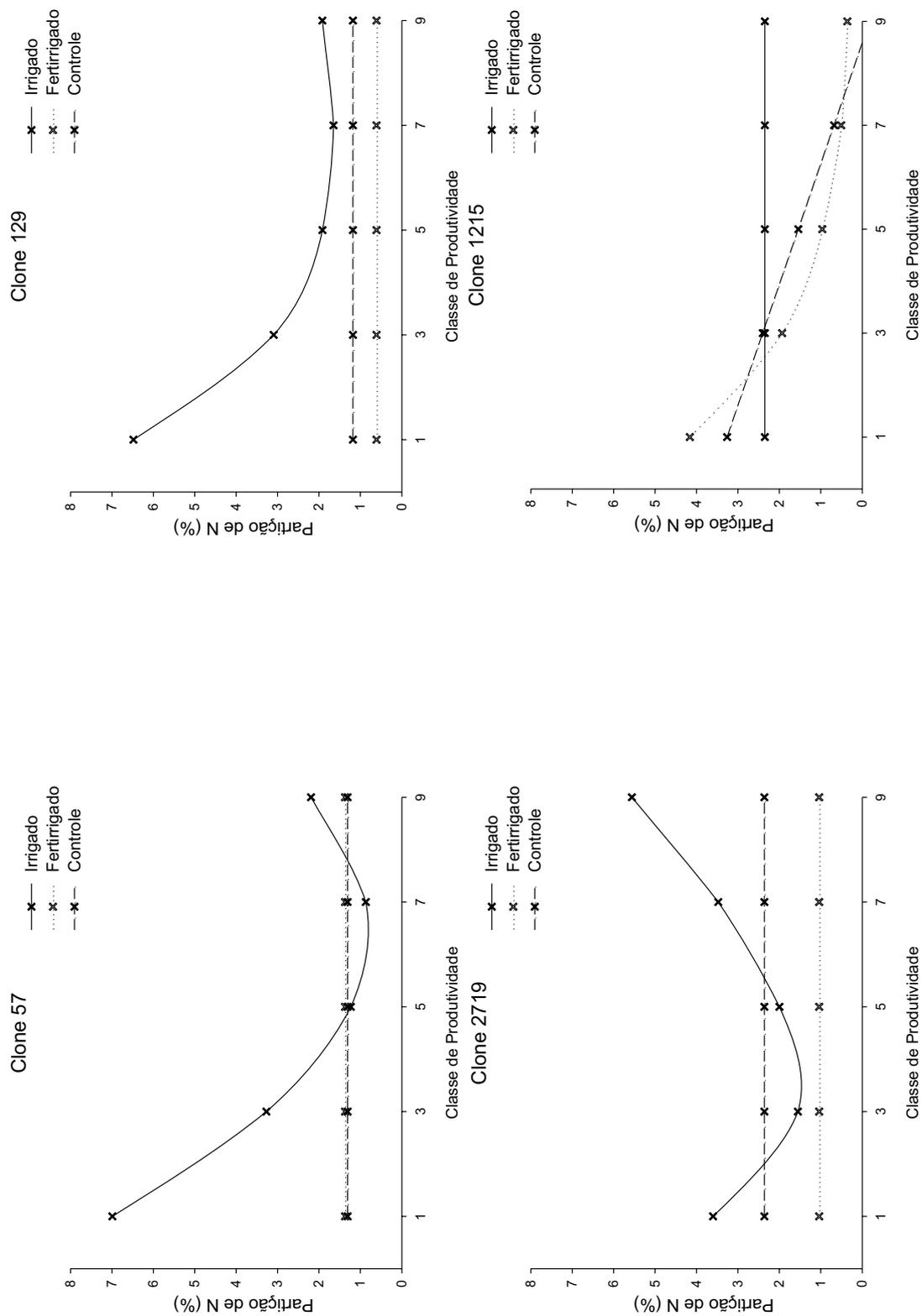


Figura 40 - Partição de nitrogênio para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

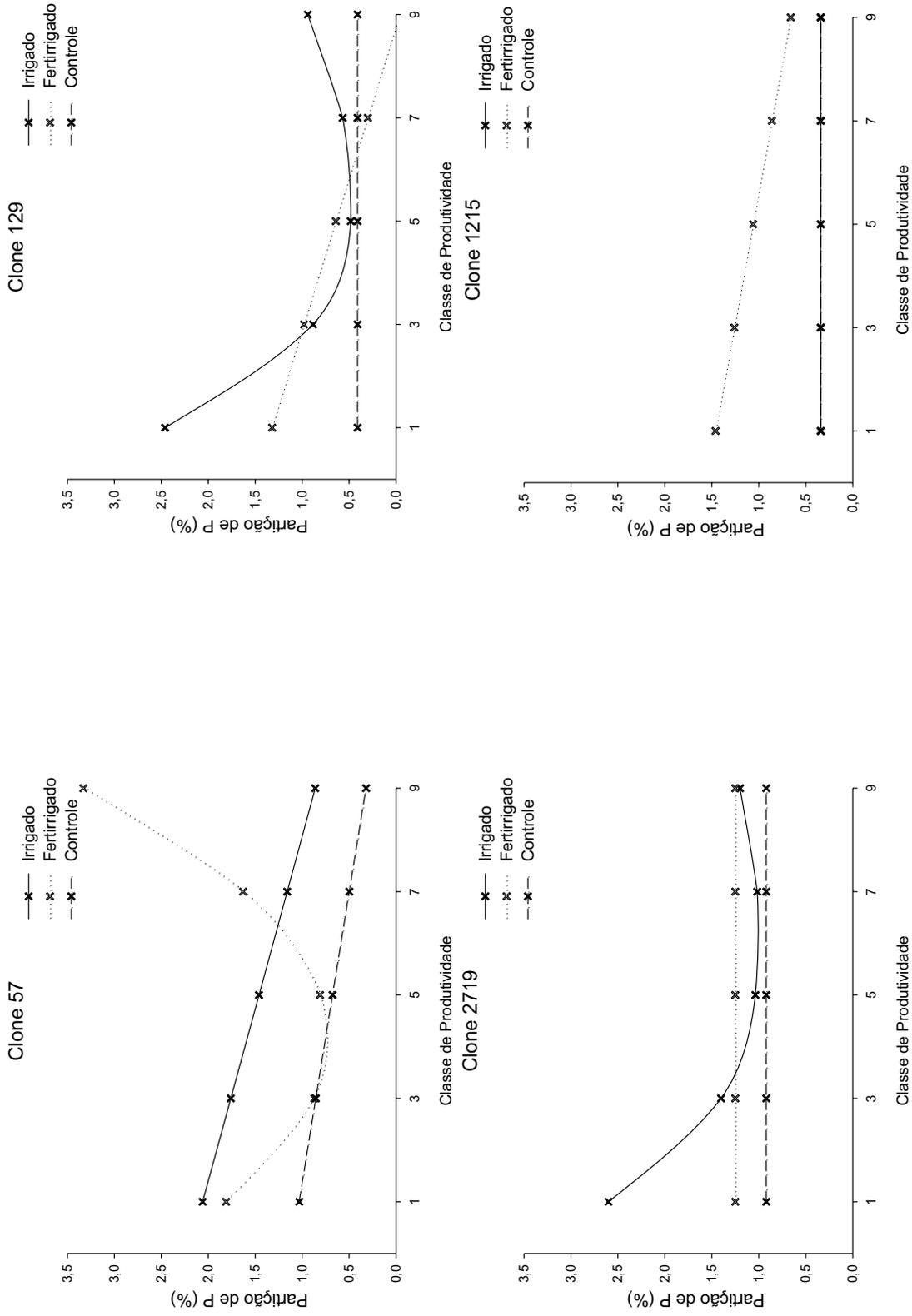


Figura 41 - Partição de fósforo para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

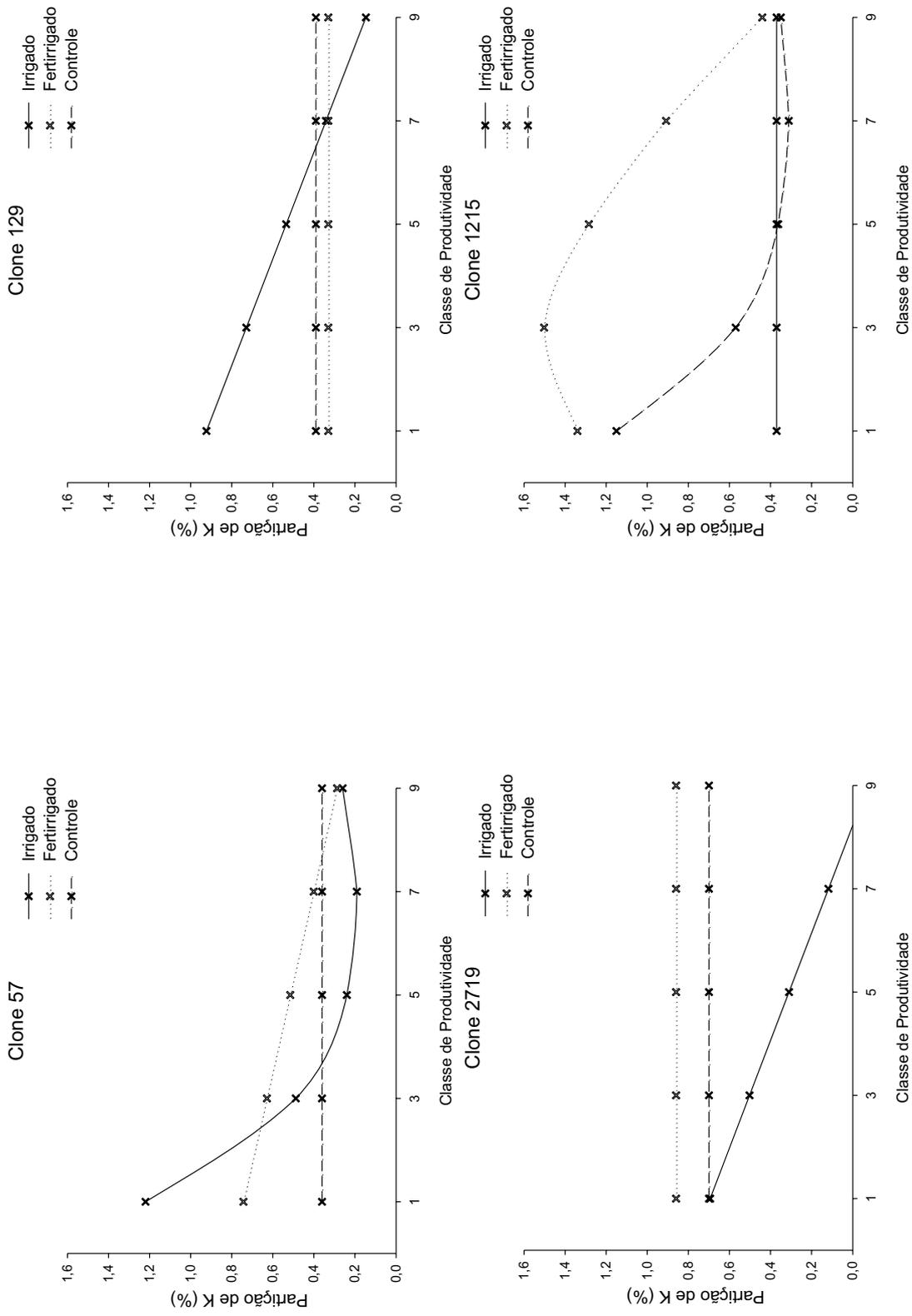


Figura 42 - Partição de potássio para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

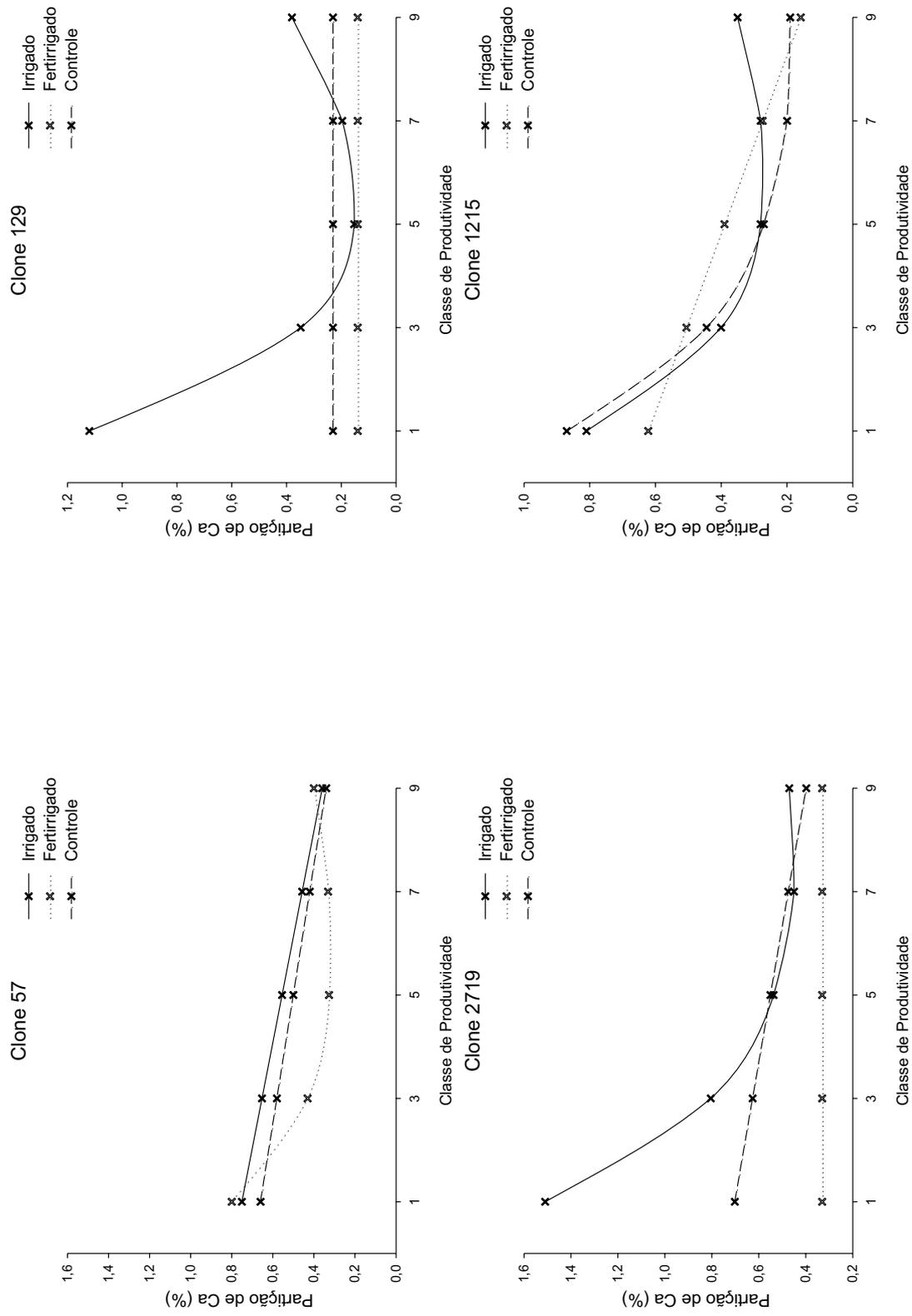


Figura 43 - Partição de cálcio para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

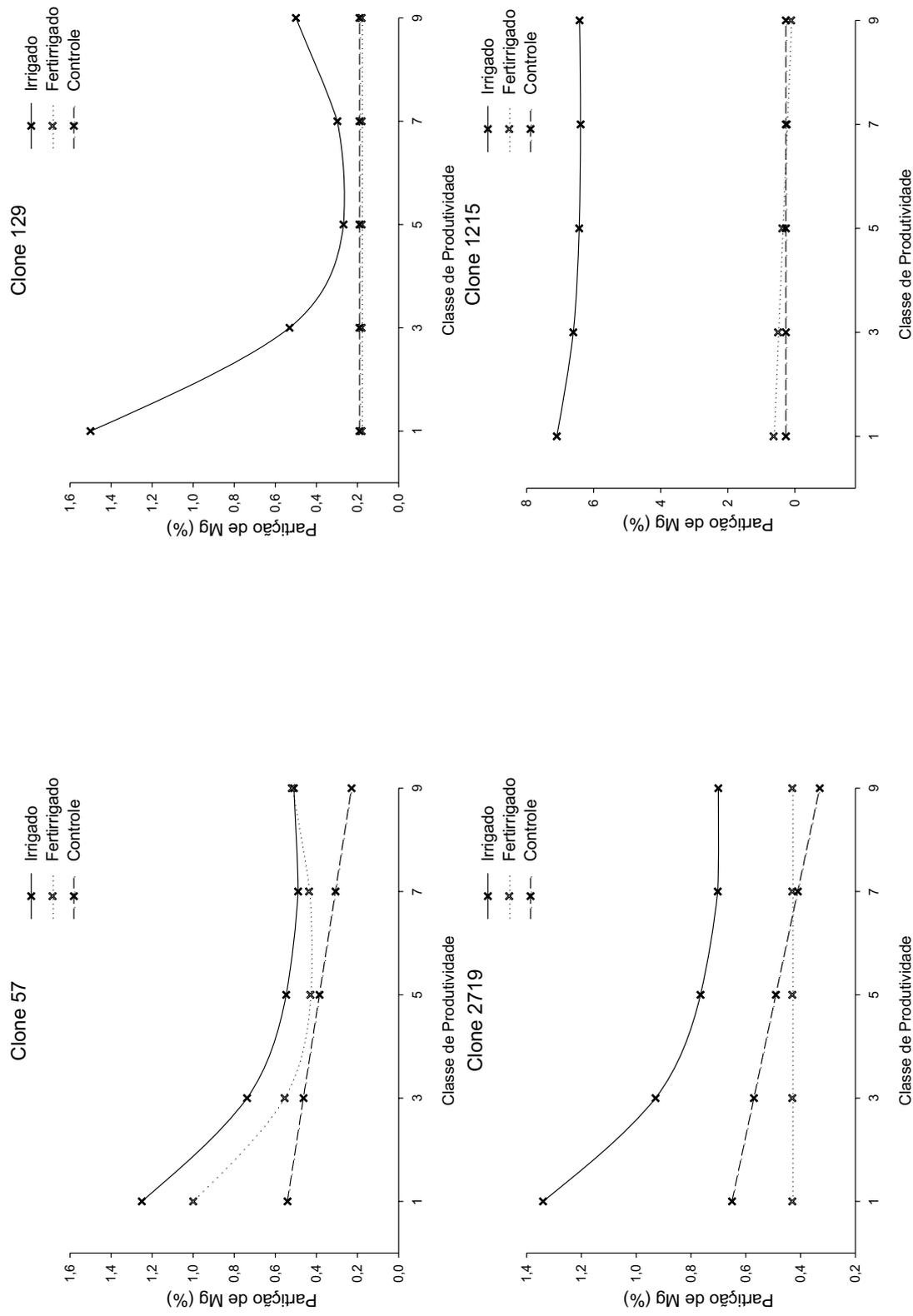


Figura 44 - Partição de magnésio para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

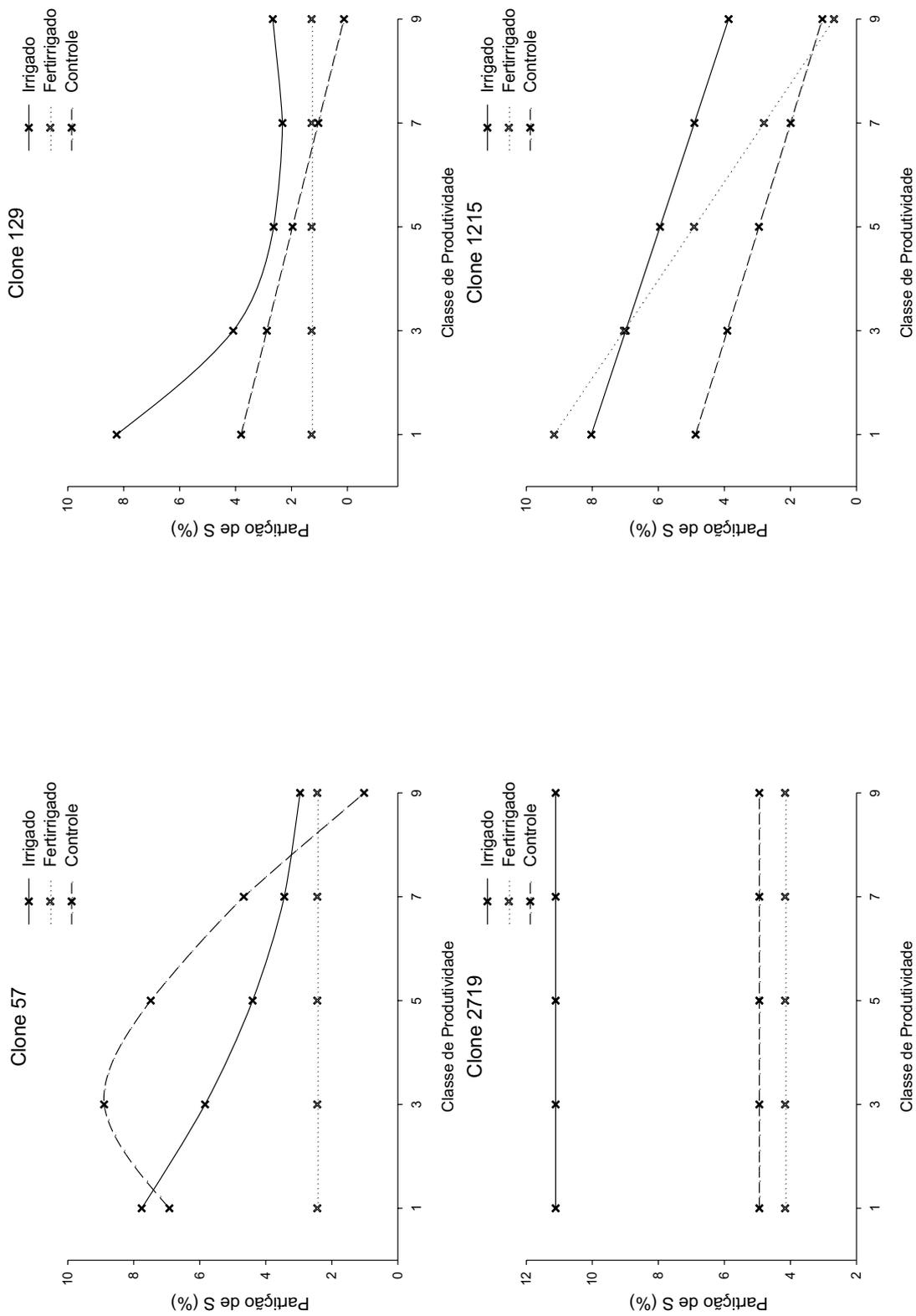


Figura 45 - Partição de enxofre para a raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

A biomassa de raízes finas apresentou uma tendência clara de redução na partição de macronutrientes para todos os materiais genéticos estudados em função da classe de produtividade. O Ca foi o elemento que apresentou maior efeito estatisticamente significativo ($p < 0,2$) de classe de produtividade onde 75 % das possíveis combinações de tratamento e clone apresentaram efeito linear ou curvilíneo. O P foi o segundo elemento mais responsivo ao aumento da classe de produtividade com 67 % de efeito estatisticamente significativo ($p < 0,2$). Em seguida para Mg e S, 58 % do total de possíveis combinações entre tratamento e clone foram significativas ($p < 0,2$), K veio em seguida com 50 % e por último o N com 42% das possíveis combinações de água e nutrientes com efeito significativo ($p < 0,2$) (Figuras 40 a 45).

Analisando os materiais genéticos isoladamente é possível observar uma seqüência decrescente de resposta ao efeito de classe de produtividade sobre a partição de nutrientes na biomassa de raízes finas: 57 > 1215 > 129 > 2719.

3.3.6. Propriedades Intensivas: Área Foliar Específica; Índice De Área Foliar; Área Radicular Específica e Índice De Área Radicular.

As propriedades intensivas são propriedades termodinâmicas que independem da quantidade de matéria, não podendo, então, serem somadas, são mais passíveis gde extrapolação. Seu oposto são as propriedades extensivas, que são diretamente proporcionais à sua quantidade de matéria. As propriedades extensivas são aditivas.

A área foliar específica (AFE) não foi muito influenciada pelos tratamentos de água e nutrientes minerais visto o baixo número de respostas significativas aos contrastes médios aqui avaliados. Não houve resposta significativa ($p < 0,1$) aos tratamentos de água e nutrientes minerais para os clones 129 e 1215. Nos clones 57 e 2719 houve apenas efeito da aplicação de água, via irrigação, que elevou o valor de AFE em ambos os clones. Também para os clones 57 e 2719 a suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica levou a uma redução no valor AFE, não sendo observado para estes clones efeito da aplicação conjunta de água e nutrientes minerais, via fertirrigação. Em média, apenas o tratamento irrigado influenciou o comportamento dos valores de AFE, onde houve elevação nesses valores (Quadro 24, contrastes C₁, C₂ e C₃).

Os resultados encontrados para o tratamento fertirrigado estão de acordo com o que diz Pierce (1994), o qual sugere que a AFE é reduzida com o aumento da limitação por água. Para o tratamento fertirrigado, apesar de ter reduzido a AFE, houve uma compensação por uma produção maior de biomassa de folhas, não havendo então redução na área foliar total.

O índice de área foliar (IAF) é um dos fatores determinantes da produção de plantações florestais, pois tem direta influência nos processos de interceptação de luz, fotossíntese e transpiração.

Os tratamentos de irrigação e fertirrigação elevaram o valor de IAF, significativamente ($p < 0,1$), nos clones 57 e 2719, para os clones 129 e 2719 os tratamentos de água e nutrientes (irrigação e fertirrigação) também elevaram o valor médio de IAF, entretanto não foi observada diferença significativa ($p > 0,1$) em comparação com o tratamento controle. Na média dos quatro materiais genéticos houve aumento significativo ($p < 0,1$) nos valores de IAF em resposta aos tratamentos de irrigação e fertirrigação (Quadro 24, contrastes C_1 , C_2 e C_3). Aumentos nos valores de IAF devido ao melhor fornecimento de água também foram obtidos em outros trabalhos com fornecimento controlado de água em eucalipto (Pereira & Pallardy, 1989; Olbrich et al., 1992; Hunter, 2001; Silva, 2006). Stape et al., (2007), em seu experimento de irrigação e fertirrigação em eucalipto, encontraram diferença entre os tratamentos de água e nutrientes com o controle apenas nos períodos secos, onde ocorreu uma redução no valor de IAF no tratamento controle. Nos períodos chuvosos o autor não encontrou diferença significativa entre os tratamentos. Essa redução no valor de IAF nos períodos secos foi atribuída a aumentos no descarte de folhas pela copa reduzindo a transpiração e mantendo a planta viva.

A área radicular específica (ARE) segue o mesmo princípio que é utilizado para a definição de AFE, ou seja, trata-se da eficiência de como o carbono fixado na fotossíntese é utilizado pelas plantas para a produção de superfície de aquisição de recurso, que no caso das raízes finas esse recursos são água e nutrientes minerais.

Verificou-se que dos materiais genéticos de eucalipto avaliados neste trabalho os clones 129 e 57 não apresentaram resposta significativa ($p > 0,1$) à aplicação conjunta de água e nutrientes minerais. Os clones 2719 e 1215, ao contrário, aumentaram significativamente ($p < 0,1$) seu valor de ARE em resposta a aplicação conjunta de água e

nutrientes, sendo que na média dos materiais genéticos houve aumento no valor de ARE. Avaliando o efeito da irrigação, novamente o clone 129 não apresentou mudança significativa no valor de ARE, entretanto em média houve aumento do valor de ARE em resposta a irrigação (Quadro 24, contrastes C₁ e C₃). Não houve efeito de suplementação nutricional na ausência de limitação hídrica para nenhum dos clones de eucalipto aqui estudados (Quadro 24, contraste C₂).

Quadro 24 – Propriedades intensivas: AFE (Área Foliar Específica) IAF (Índice de Área Foliar), ARE (Área Radicular Específica) e IAR (Índice de Área Radicular) para quatro matérias genéticas clonais de eucalipto em resposta à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce - MG

Material Genético	Tratamento			Contrastes		
	Irigado	Fertirrigado	Controle	C ₁	C ₂	C ₃
----- AFE (m ² kg ⁻¹) -----						
57	11,45	9,98	10,49	0	*	ns
129	8,71	8,88	8,93	ns	ns	ns
2719	11,44	10,05	10,02	*	*	ns
1215	11,32	10,51	11,30	ns	ns	ns
Média	10,73	9,86	10,18	0	**	ns
----- IAF (m ² m ⁻²) -----						
57	4,45	4,42	3,47	0	ns	0
129	2,22	2,50	1,93	ns	ns	ns
2719	3,14	3,11	2,08	*	ns	0
1215	3,08	2,36	2,34	ns	ns	ns
Média	3,22	3,10	2,46	**	ns	*
----- ARE (m ² kg ⁻¹) -----						
57	15,29	14,21	12,60	0	ns	ns
129	16,64	18,56	17,08	ns	ns	ns
2719	14,75	14,91	12,21	0	ns	*
1215	13,90	14,35	11,40	0	ns	*
Média	15,15	15,51	13,32	*	ns	**
----- IAR (m ² m ⁻²) -----						
57	1,40	1,55	0,69	**	ns	***
129	1,01	0,98	0,43	**	ns	**
2719	1,73	1,42	0,65	***	**	**
1215	2,20	1,53	0,81	***	ns	***
Média	1,59	1,37	0,65	***	*	***

C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, 0 e ^{ns}, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Assim como o IAF refere-se a uma superfície foliar projetada em uma superfície de solo, o índice de área radicular (IAR) trata da superfície de raízes absorventes (m^2 de raízes finas, < 2 mm diâmetro) contida em uma área de $1 m^2$ de solo.

O IAR aumentou significativamente seu valor médio em resposta à aplicação controlada de água e nutrientes (via irrigação ou fertirrigação) para os quatro materiais genéticos estudados, em média o aumento no IAR foi de 145 % em resposta ao tratamento irrigado e de 110 % em resposta ao tratamento fertirrigado (Quadro 24, contrastes C_1 e C_3). Apenas no clone 2719 apresentou resposta significativa ($p < 0,1$) para a suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica, neste clone o IAR do tratamento irrigado foi 30 % maior que o IAR do tratamento fertirrigado (Quadro 24, contraste C_2).

Observou-se que a produção de biomassa de tronco aumenta de modo curvilíneo com o aumento dos valores de IAF, conforme observado na Figura 46. Essa relação está associada principalmente ao aumento da superfície de interceptação de radiação solar e foi também observada pelos autores Binkley et al. (2002) e Smethurst et al. (2003).

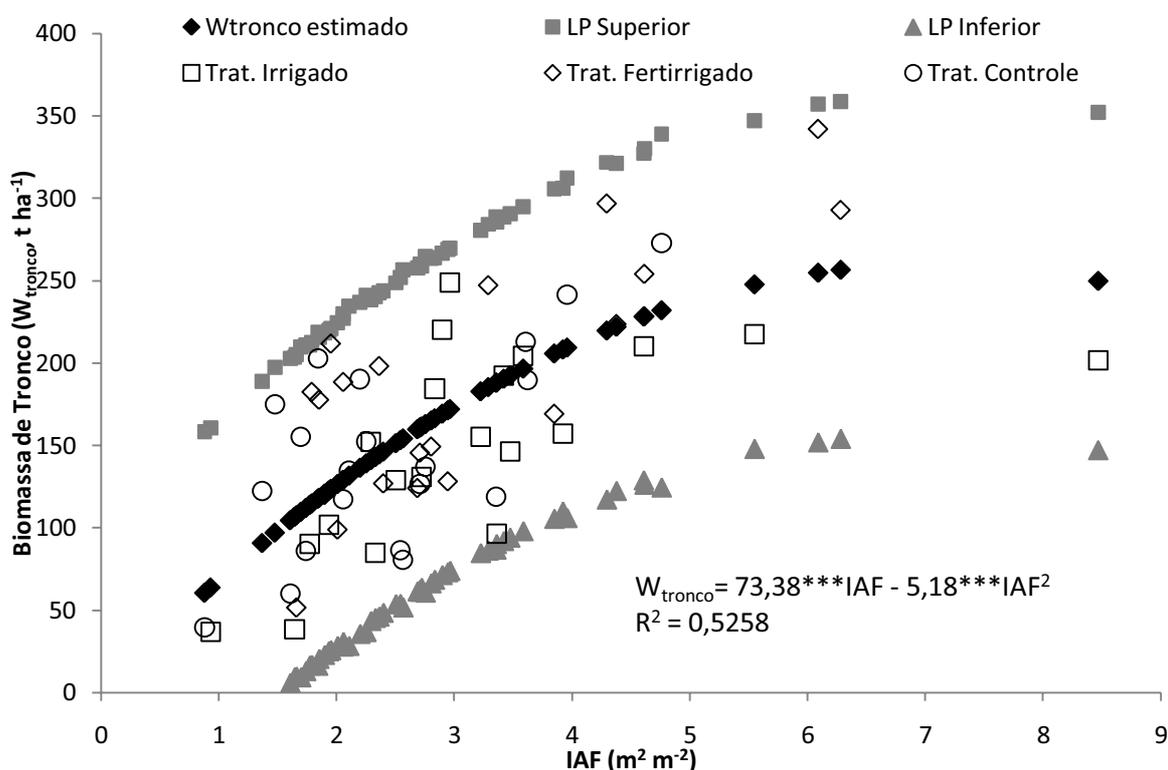


Figura 46 – Relação entre o índice de área foliar (IAF) e a produção de biomassa de tronco na média de quatro materiais genéticos de eucalipto em experimento de fertirrigação localizado no Vale do Rio Doce, MG. LP superior – Limite de previsão superior; LP Inferior – Limite de previsão inferior a 5 % de probabilidade para o modelo ajustado.

O IAF é o principal indicador da extensão da superfície de aquisição do recurso luminoso (Landsberg, 2003), mas observa-se que o IAF explica apenas 52,6 % da produção de biomassa do tronco, sendo que é observada uma grande variação vertical no valor final de produção de biomassa de tronco para um mesmo valor de IAF. Sendo assim, na tentativa de explicar parte dessa variação ajustou-se, por meio de múltipla regressão, um novo modelo para a produção de biomassa no tronco na idade final que além do efeito de IAF há ainda o efeito da qualidade dessa superfície foliar. A qualidade da superfície foliar está relacionada ao teor de água na folha e o “status” nutricional da folha representado pelo teor de nutrientes na folha. O Quadro 25 apresenta os valores dos parâmetros para equação ajustada.

Quadro 25 – Modelo ajustado para biomassa do tronco em função da extensão da superfície de aquisição de recurso luminoso e sua qualidade nutricional.

Parâmetros do Modelo	β's	Nível de Significância
Intercepto	-760,05	0,0000
IAF	95,38	0,0000
(IAF)²	-6,80	0,0001
Teor de Água	490,85	0,0052
Teor de Nitrogênio	10,51	0,0065
Teor de Potássio	4,18	0,0457
Teor de Magnésio	19,76	0,0552
Teor de Enxofre	346,33	0,0030
(Teor de Enxofre)²	-117,48	0,0085
R² ajustado		0,6931

Pela equação apresentada no Quadro 25 observa-se que nem todos os macronutrientes apresentaram efeito significativo ($p < 0,1$) sobre a produção de biomassa, observa-se também que os que apresentaram apenas o K não é constituinte de alguma proteína que participa do processo fotossintético, mas por outro lado é um principais responsáveis pelo controle da abertura estomática. Há também um expressivo aumento no valor de R² (de 52,6 % para 69,3 %), indicando que a inclusão destes parâmetros aumentou em aproximadamente 17 % a capacidade explicativa do modelo de produção de biomassa através da superfície foliar.

A capacidade de uma planta de absorver água e nutrientes minerais está diretamente relacionada com a superfície de aquisição desses recursos, assim esperava-se

que da mesma maneira que há uma relação entre a superfície de aquisição de luz e CO₂ (IAF) e o aumento na produção de biomassa de tronco (Figura 46) a mesma relação seria observada para IAR, mas não foi possível ajustar uma equação que descrevesse uma relação entre biomassa e IAR, indicando assim uma menor influência da superfície de aquisição de água e nutrientes sobre a produção (Figura 47).

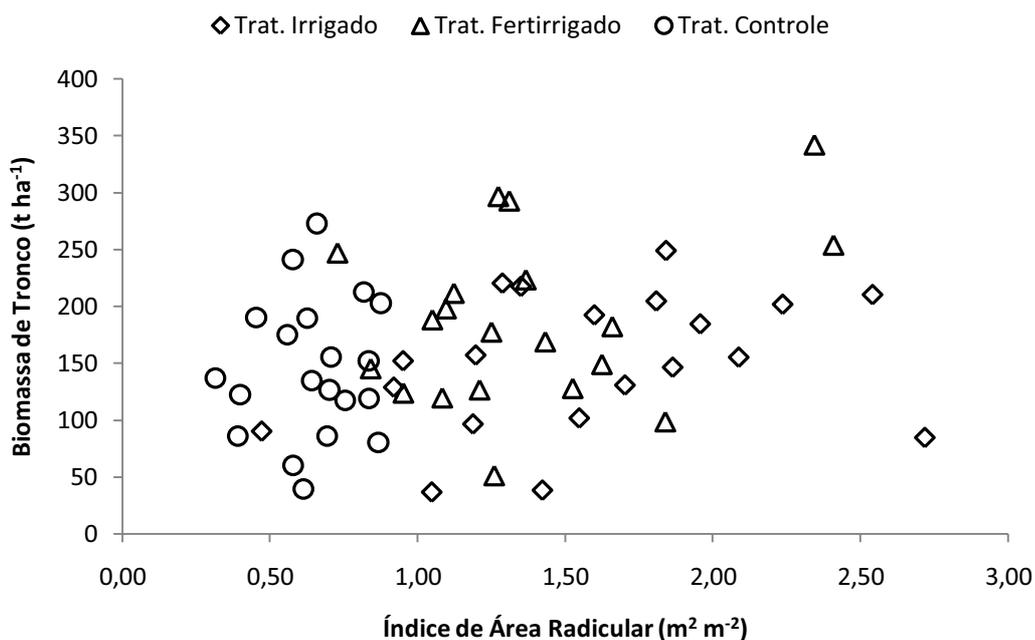


Figura 47 – Relação entre o índice de área radicular (IAR) e a produção de biomassa de tronco na média de quatro materiais genéticos de eucalipto em experimento de fertirrigação localizado no Vale do Rio Doce, MG.

Analisando os valores encontrados para ARE observa-se que há uma relação entre estes valores e os encontrados para a AFE (Figura 48)

Todos os materiais genéticos aqui estudados apresentaram diferença significativa entre os valores de ARE e AFE, indicando que para estes clones houve maior eficiência de uso de carbono para a produção de superfície de aquisição dos recursos água e nutrientes que do recurso luminoso. Resultado oposto daquele encontrado por Behling et al. (2008) que não observaram diferença significativa entre ARE e AFE em plantios comerciais de Teca (*Tectona grandis*) no estado do Mato Grosso. Entretanto esses autores também encontraram uma tendência de maiores valores para ARE.

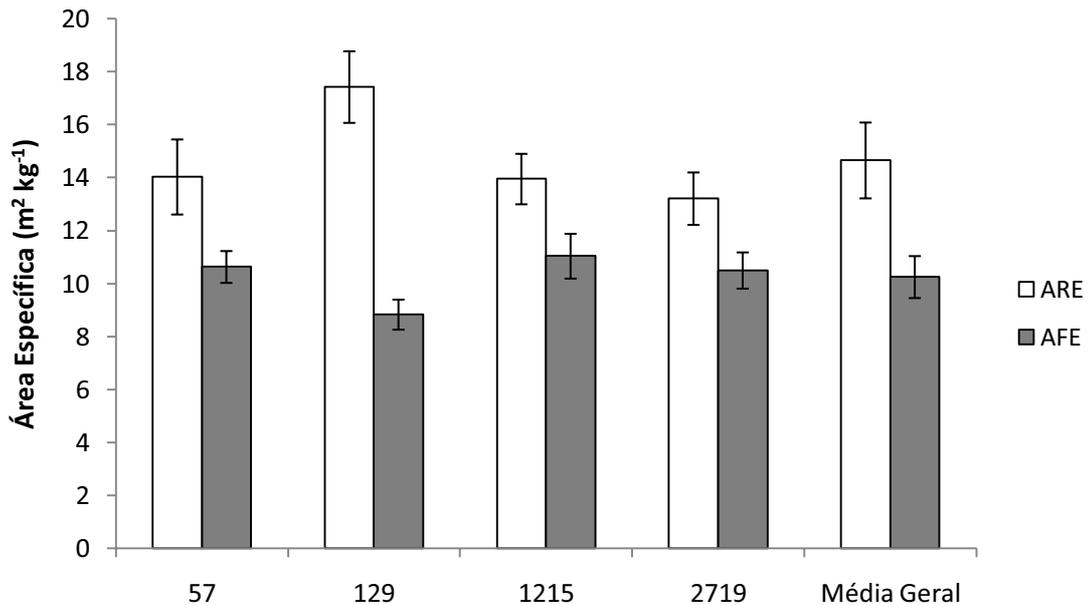


Figura 48 – Valores de área foliar específica (AFE) e área radicular específica (ARE) para quatro clones de eucalipto e uma média geral para os quatro clones estudados para a região do Vale do Rio Doce, MG. As barras representam o intervalo de confiança a 5 % de probabilidade.

O maior valor encontrado para ARE representa uma efetiva estratégia para maximizar a superfície radicular em relação ao investimento de carbono e provavelmente maximizar a absorção de recursos e o potencial de crescimento da floresta.

O’Grady et al., (2006) avaliaram plantios de *E. globulus* com idades entre 3 a 14 meses e sempre encontraram valores superiores de superfície radicular em relação a área foliar. Os mesmos autores relatam que aos 14 meses já não havia mais espaço para aumentos nos valores de superfície radicular, enquanto que a taxa aumento de área foliar continuava a cresce, mesmo depois do fechamento do dossel, indicando que os maiores valores de superfície radicular antes encontrado poderiam não diferir dos de área foliar no futuro, o que não foi observado no presente estudo.

As propriedades intensivas AFE, IAF, ARE e IAR sofreram influência das classes de produtividade em cada material genético.

A área foliar específica sendo significativa ($p < 0,2$) em 66 % das possíveis combinações entre tratamento e clone, apresentou uma clara tendência de redução de seu valor à medida que aumenta o nível de dominância das plantas (aumento da classe de produtividade) (Figura 49). Pierce (1994) relata que quanto maior a exposição das folhas

ao sol menor é seu valor de AFE, o que, segundo o autor, está relacionado a capacidade fotossintética das folhas. O aumento da classe produtiva também leva a um aumento do nível de dominância da planta a exposição do dossel ao sol.

Os valores de IAF tenderam a apresentar comportamento semelhante ao do AFE, ou seja, aumentando seu valor à medida que aumenta a classe de produtividade tendo apresentado resposta significativa ($p < 0,2$) em 58 % das possíveis combinações entre tratamento e clone (Figura 50).

O índice de área radicular (IAR) que teve um percentual de combinações entre tratamento e clone igual a 42 % apresentou uma tendência de elevação no seu valor com o aumento da classe de produtividade (Figura 51).

Para a área radicular específica (ARE), apesar de 50 % das possíveis combinações entre tratamento e clone terem sido significativas ($p < 0,2$) o efeito da classe de produtividade foi muito variado, sendo assim não foi possível determinar uma tendência clara de redução ou aumento no valor dessa variável em função do aumento de dominância das árvores (Figura 52).

3.3.7. Eficiência de Uso Nutrientes Minerais e Água

3.3.7.1. Eficiência no uso de nutrientes para a produção de biomassa de tronco e parte aérea.

A eficiência na utilização de nutrientes diz respeito à capacidade de utilização de nutrientes para a síntese de biomassa (Clarkson & Hanson, 1980). Quando a água e nutrientes são fatores limitantes do crescimento, o aumento da produtividade depende da eficiência das plantas em acessá-lo e usá-lo em seu crescimento (Sands & Mulligan, 1990).

Neste trabalho, a eficiência de utilização de macronutrientes minerais para a produção de biomassa de parte aérea, tronco e das superfícies de aquisição de recursos (folhas e raízes finas) foi altera significativamente ($p < 0,1$) pela manipulação no fornecimento de água e nutrientes minerais, via irrigação ou fertirrigação.

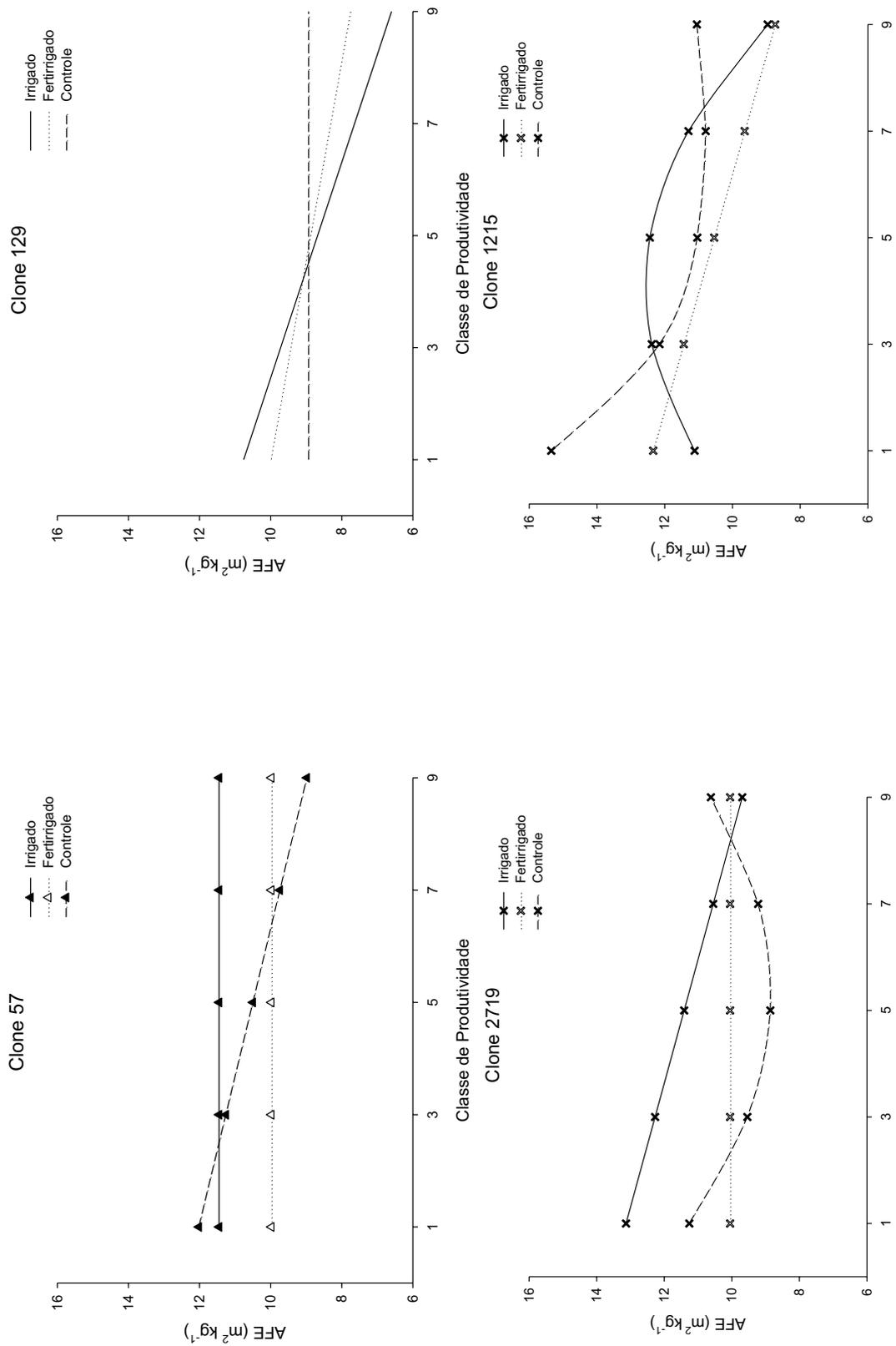


Figura 49 - Área foliar específica (AFE) de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

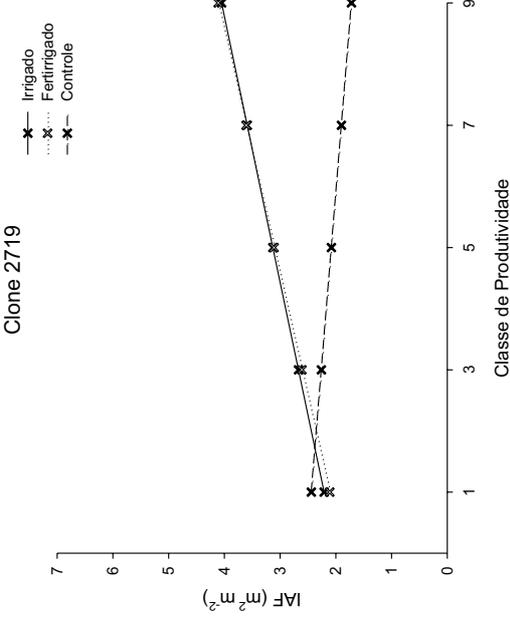
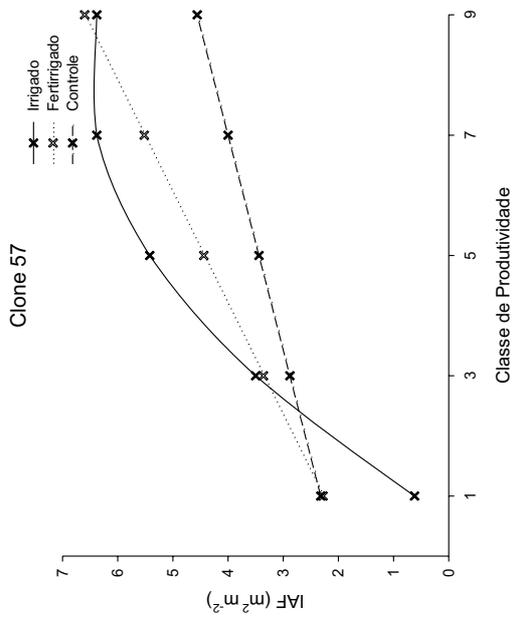
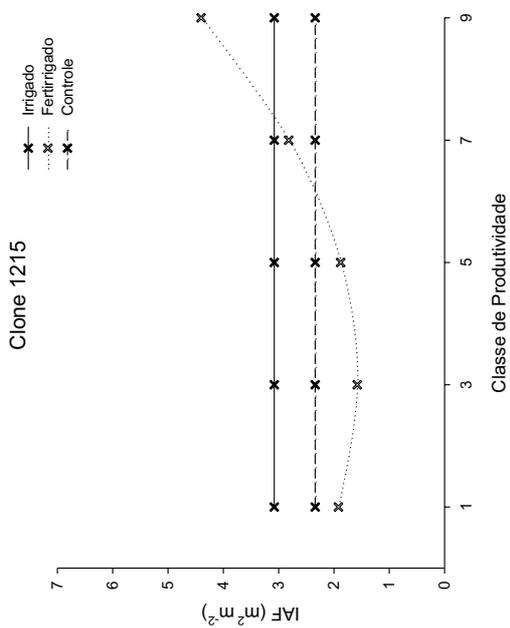
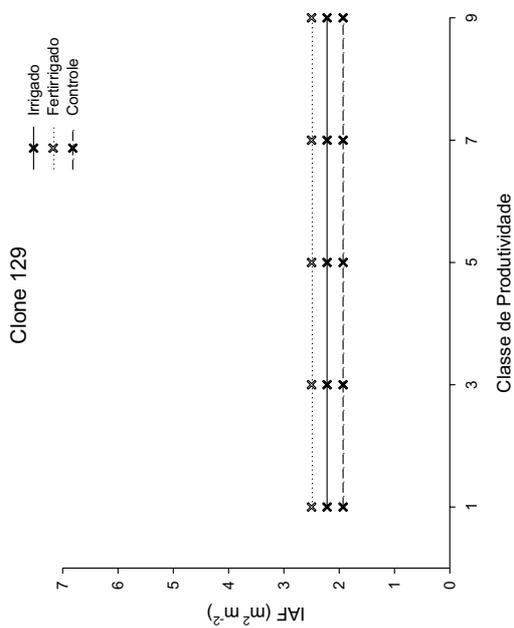


Figura 50 - Índice de área foliar (IAF) de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

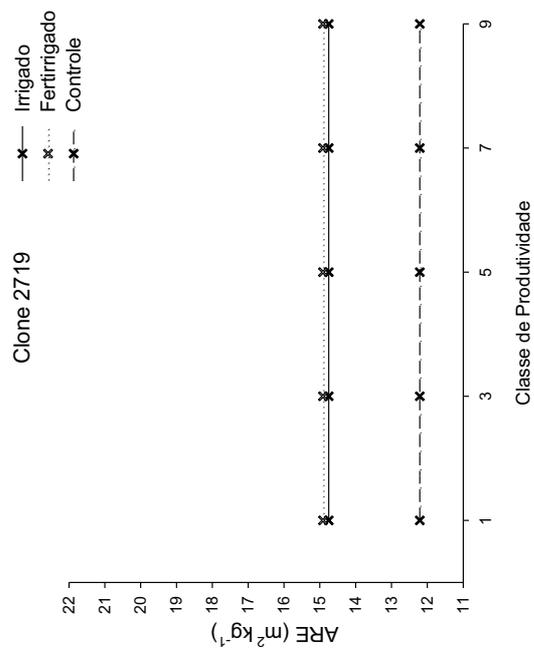
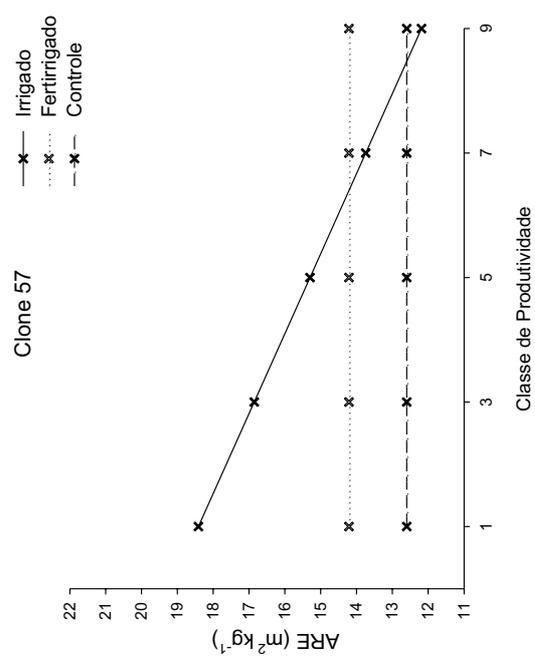
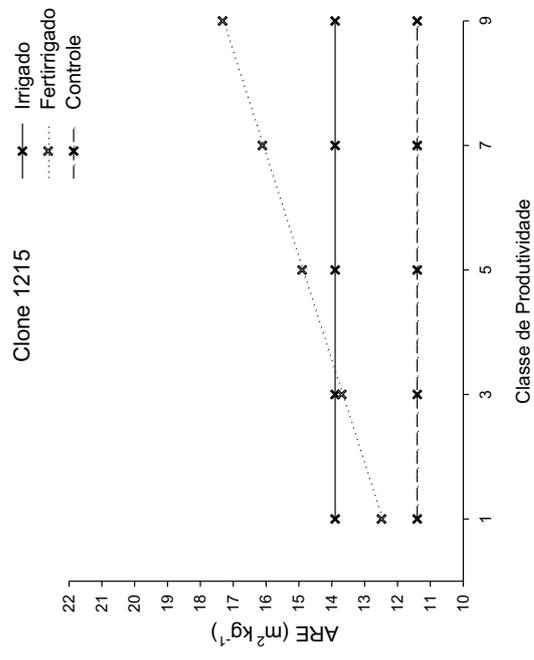
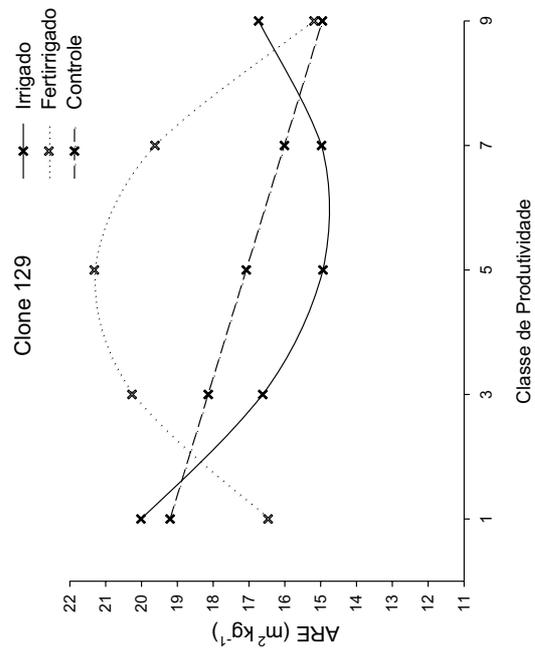


Figura 51 – Área Radicular Específica (ARE) de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

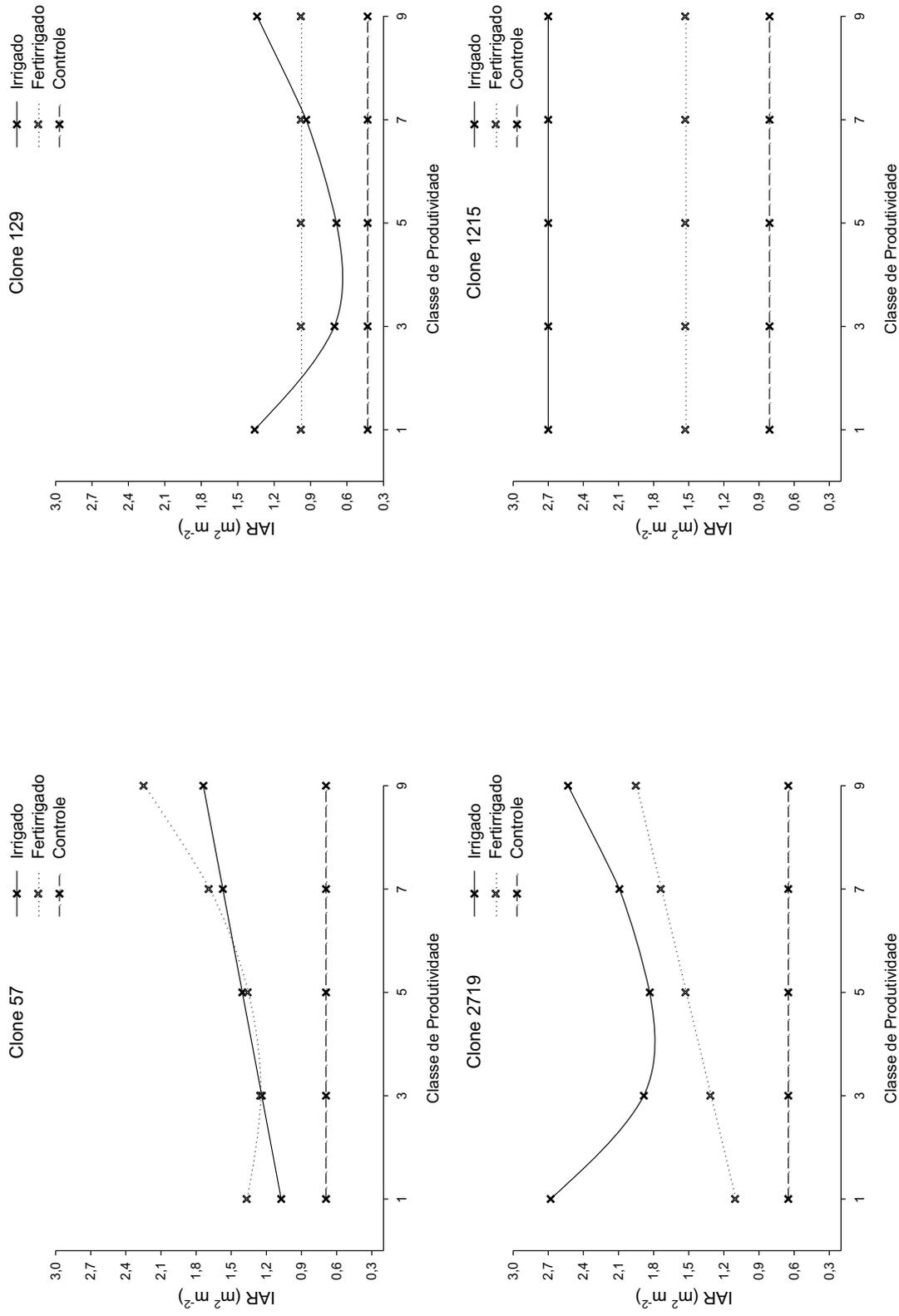


Figura 52 – Índice de Área Radicular (IAR) de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

Em média, a eficiência de utilização de N para a produção de biomassa de parte aérea e tronco foi maior nos tratamento de irrigação, sendo que para os clones 129, 2719 e 1215 a resposta foi significativa ($p < 0,1$). Somente as plantas do clone 57 não diferiram estatisticamente ($p > 0,1$) do controle (Quadro 26, contraste C_1). O tratamento fertirrigado elevou a eficiência de utilização de N para a produção de biomassa de parte aérea e tronco nos clones 57 e 129, e reduziu para os clones 2719 e 1215, que na média dos materiais genéticos apresentou valor de eficiência de uso de N numericamente superior, entretanto não foi observada diferença estatística ($p > 0,1$) entre os tratamentos fertirrigado e controle (Quadro 26, contraste C_3). Comportamento semelhante foi observado no contraste entre o tratamentos fertirrigado e irrigado, os clones 57 e 129 elevaram sua eficiência de utilização de N para a produção de biomassa de parte aérea e tronco enquanto os clones 2719 e 1215 tiveram seus valores de eficiência reduzidos, que em média reduziu o valor de eficiência de utilização (Quadro 26, contraste C_2).

Para P, em média, a eficiência de utilização desse nutriente para a produção de biomassa de tronco e parte aérea não sofreu alteração em resposta a aplicação de água, via irrigação, exceção foi o clone 1215, quando considerado somente a parte aérea, onde houve incremento no valor da eficiência de uso em resposta a esse tratamento (Quadro 26, contraste C_1). O tratamento fertirrigado, ao contrário, elevou a eficiência de uso de P para a produção de biomassa de tronco e parte aérea em todos os clones estudados (Quadro 26, contraste C_3). A suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica elevou a eficiência de utilização de P para a parte aérea nos clones 57, 129 e 2719 não diferindo no clone 1215, já para a biomassa de tronco houve aumento da eficiência de utilização de P nos clones 57 e 2719 não diferindo, entretanto, nos clones 129 e 1215, sendo que em média, houve incremento no valor de eficiência de uso (Quadro 26, contraste C_2).

O tratamento irrigado elevou significativamente a eficiência de uso de K para a produção de biomassa de tronco e parte aérea (Quadro 26, contraste C_1). Isso muito deve a uma queda no conteúdo de K observada na parte aérea e tronco das árvores do tratamento irrigado (Quadro 20). Esse aumento na eficiência de uso de K já havia sido observado por Silva (2006) em clones de eucalipto de três anos de idade submetidos à irrigação e fertirrigação. Apenas os clones 57 e 129 aumentaram suas eficiências de uso de K para a produção de biomassa de parte aérea em resposta ao tratamento fertirrigado (Quadro 26, contraste C_3). Houve redução da eficiência de uso de K para a produção de

biomassa de tronco e parte aérea em resposta a suplementação nutricional na ausência de restrição hídrica (Quadro 26, contraste C_2). Sendo que em média a aplicação do tratamento fertirrigado reduziu a eficiência de uso de K para a produção de biomassa de tronco e parte aérea.

A aplicação dos tratamentos de água e nutrientes (irrigação e fertirrigação) elevou o valor de eficiência de uso de Ca para a produção de biomassa de tronco e parte aérea nos clones estudados, exceção para o clone 57 no tratamento irrigado, onde houve efeito inverso, ou seja, redução na eficiência de uso de Ca (Quadro 26, contrastes C_1 e C_3). Sob alta disponibilidade hídrica o efeito da suplementação nutricional com Ca foi variando com o material genético, sendo que em média a fertirrigação elevou a eficiência no uso Ca (Quadro 27, contraste C_2).

Para os clones 129 e 1215 a aplicação do tratamento irrigado elevou a eficiência de uso de Mg sendo que nos clones 57 e 2719 sua eficiência não diferiu do tratamento controle, na média dos clones estudados houve aumento da eficiência de uso de Mg (Quadro 27, contraste C_1). O tratamento fertirrigado elevou a eficiência de uso de Mg em todos os clones (Quadro 27, contraste C_3). Em condição de alta disponibilidade hídrica os clones 57, 129 e 2719 aumentaram sua eficiência de utilização de Mg, mesmo que para o clone 2719 esse aumento não tenha sido significativo ($p > 0,1$), e o clone 1215 teve sua eficiência de uso de Mg reduzida em resposta ao tratamento fertirrigado. Já na média dos clones há uma elevação do valor de eficiência de uso (Quadro 27, contraste C_2).

Os clones estudados tiveram uma variação dos valores de eficiência de uso de S em resposta ao tratamento irrigado, sendo que em média não foi observada diferença estatística ($p > 0,1$) entre o tratamento irrigado e controle (Quadro 27, contraste C_1). O tratamento fertirrigado reduziu o valor de eficiência de uso de S com efeito significativo ($p < 0,1$) apenas no clone 57 (Quadro 27, contrastes C_3). Quando comparamos os tratamentos irrigado com o fertirrigado houve, em média, redução significativa na eficiência de uso de S em resposta a suplementação nutricional, não sendo observado efeito significativo ($p > 0,1$) para os clones 57 e 129 (Quadro 27, contraste C_2).

Em média, os maiores valores de eficiência de uso dos macronutrientes avaliados foram encontrados nos tratamentos de água e nutrientes, o que nos permite inferir sobre a provável redução da produtividade no ciclo seguinte, pois uma eficiência de uso de um nutriente alta ao final de um ciclo indica um baixo teor desse nutriente nos tecidos da

planta e também no solo, o que este pode ter limitado o crescimento na rotação corrente e limitará o crescimento da rotação do ciclo seqüente, ao menos que essa deficiência seja corrigida pela adição de nutrientes, via fertilização (Santana et al., 2000).

Na média geral dos tratamentos o clone 57 foi o mais eficiente para a utilização de N, P, Ca e Mg, enquanto o clone 1215 foi o mais eficiente na utilização de K e o clone 2719 obteve o maior valor de eficiência de S.

Observa-se também que todas as árvores, mesmo as do tratamento controle, obtiveram valores de eficiência na utilização maiores que aqueles imaginados no início do experimento uma vez que os valores de produtividade de tronco (Quadro 12) foram muito superiores aos que foram planejado para o tratamento fertirrigado ($60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e para os tratamentos irrigado e controle ($35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), indicando que os valores de eficiência de uso de nutrientes das curvas de demanda estimadas pelo NUTRICALC (Barros et al., 1995) (Quadro 4), subestimaram a produção de biomassa de tronco, necessitando assim de um novo ajuste, para uma melhor estimativa.

A eficiência nutricional tem caráter específico, ou seja, o fato de um clone apresentar-se eficiente na utilização de um nutriente não significa que utilize eficientemente os demais (Graham, 1984; Souza, 1994). Como citado por Teixeira (1987), Moraes (1988), Molica (1992) e Santana (1996), dificilmente será possível selecionar um clone que possua alta eficiência na utilização de nutrientes para a produção de biomassa de tronco de todos os nutrientes. Assim, o emprego de genótipos nutricionalmente eficientes, como estratégia para economizar nutrientes mais limitantes da produtividade, a interação genótipo-ambiente, as técnicas de manejo adotadas e aspectos relacionados à disponibilidade de fertilizantes (Graham, 1984).

3.3.7.2. Eficiência no uso de nutrientes para a produção de biomassa de folhas

O tratamento irrigado não alterou a eficiência com que as plantas utilizaram o N e P para a produção de biomassa de folhas (Quadro 26, contraste C₁). Ao contrário, o tratamento fertirrigado elevou a eficiência de uso de N e P para a produção de biomassa de folhas nos clones 57, 129 e 2719 não havendo resposta ao tratamento no clone 1215, sendo que em média este tratamento elevou a aumento na eficiência no uso de N e P para a produção de biomassa de folhas (Quadro 26, contraste C₃). Em média, a comparação do

tratamento irrigado versus o fertirrigado não foi observado efeito da aplicação de N e P sobre a eficiência de uso destes nutrientes para a produção de biomassa foliar, quando analisando os clones individualmente somente o clone 57 teve a sua eficiência de uso de N e P elevada. (Quadro 26, contraste C₂).

A eficiência de utilização de K para a produção de biomassa de folha aumentou em resposta a aplicação de água, via irrigação (Quadro 25, contraste C₁). Não houve resposta significativa ($p < 0,1$) na eficiência de uso de K em resposta ao tratamento fertirrigado (Quadro 26, contraste C₃). Já sobre condição de alta disponibilidade hídrica a suplementação nutricional reduziu a eficiência de uso de K em todos os clones de eucalipto estudados (Quadro 26, contraste C₂).

Para Ca a aplicação controlada de água e nutrientes (via irrigação ou fertirrigação) elevou sua eficiência de utilização para a produção de biomassa de folhas (Quadro 27, contrastes C₁ e C₃). Apenas o clone 57 apresentou aumento significativo ($p < 0,1$) no valor da sua eficiência de uso de Ca em resposta a suplementação nutricional na condição de ausência de limitação hídrica, sendo que em média não foi observado efeito da aplicação deste nutriente sobre a sua eficiência de uso (Quadro 27, contraste C₂).

A eficiência de uso de Mg para a produção de biomassa de folhas sofreu uma variação maior entre clones, sendo que em média não foi observado efeito significativo ($p > 0,1$) do tratamento irrigado em relação ao tratamento controle na eficiência de utilização de Mg (Quadro 27, contraste C₁). Somente o clone 2719 levou a um aumento significativo na eficiência de uso de Mg, já considerando a média dos clones estudados houve aumento da eficiência de uso de Mg em resposta a aplicação conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação (Quadro 27, contraste C₃), não sendo observado efeito significativo ($p > 0,1$) na média dos clones em resposta a aplicação conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação (Quadro 27, contraste C₂).

A aplicação dos tratamentos de água e nutrientes minerais elevou a eficiência no uso de S para a produção de biomassa de folhas em todos os clones estudados, (Quadro 27, contrastes C₁ e C₃). Não foi observado efeito da suplementação nutricional de condição de alta disponibilidade hídrica (Quadro 27, contraste C₂).

Observa-se que para todos os nutrientes estudados os tratamentos de água e nutrientes (irrigação ou fertirrigação) aumentaram a eficiência de uso de macronutrientes

para a produção de biomassa de folhas, o que nos leva a crer em uma maior eficiência também para a produção de superfície foliar total.

3.3.7.3. Eficiência no uso de nutrientes para a produção de biomassa de raízes finas

Os clones 57, 129 e 2719 elevaram sua eficiência de utilização de N em resposta a aplicação de água, via irrigação, ao contrário o clone 1215 reduziu seu valor de eficiência uso de N em resposta a este tratamento, na média dos clones não foi observado efeito deste tratamento (Quadro 26, contraste C₁). Efeito semelhante foi observado para o tratamento fertirrigado (Quadro 26, contraste C₃). Apenas o clone 2719 apresentou resposta significativa ($p < 0,1$) à suplementação nutricional em condição e elevada disponibilidade de água (Quadro 26, contraste C₂).

A aplicação dos tratamentos de água e nutrientes (irrigado e fertirrigado) aumentaram a eficiência de uso de P para a produção de biomassa de raiz fina (Quadro 26, contrastes C₁ e C₃). Os clones 2719 e 1215 reduziram significativamente ($p < 0,1$) os valores de eficiência de uso de P em resposta a adubação suplementar do tratamento fertirrigado, efeito também observado na média dos clones estudados (Quadro 26, contraste C₂).

Assim como ocorreu nos outros compartimentos da planta estudados neste trabalho (tronco, parte aérea e folhas) a eficiência no uso de K foi muito superior no tratamento irrigado, não havendo resposta significativa ($p > 0,1$) à aplicação conjunta de água e nutrientes minerais (Quadro 26, contrastes C₁ e C₃). Sob alta disponibilidade de água houve redução nos valores de eficiência do uso de K em resposta a suplementação nutricional (Quadro 26, contraste C₂).

Para Ca e Mg os tratamentos de água e nutrientes elevaram a eficiência de uso destes nutrientes para a produção de biomassa de raiz fina (Quadro 27, contrastes C₁ e C₃). O clone 1215 reduziu significativamente ($p < 0,1$) sua eficiência de utilização de Ca em resposta a suplementação nutricional em condição de alta disponibilidade hídrica, também observado na média dos clones, para Mg não houve resposta significativa ($p < 0,1$) para nenhum dos materiais genéticos de eucalipto estudados (Quadro 27, contraste C₂).

Quadro 27 – Valores de eficiência de uso de nutrientes minerais para a produção de biomassa dos diferentes componentes de quatro materiais genéticos clonais de eucalipto submetidos à aplicação controlada de água e nutrientes na região do Vale do Rio Doce, MG.

	Cálcio			Magnésio			Enxofre			Contrastes								
	Irr.	Fert.	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	Irr.	Fert.	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃	Contr.	C ₁	C ₂	C ₃		
	-----Parte Aérea (kg g ⁻¹)-----																	
57	66,3	102,4	78,5	0	***	***	387,4	747,1	376,9	ns	***	***	658,3	744,3	1339,5	**	ns	**
129	61,3	66,7	34,7	***	ns	***	310,3	465,3	183,2	*	**	***	434,3	579,3	648,5	ns	ns	ns
2719	55,4	68,3	39,9	*	*	***	321,4	368,6	238,3	ns	ns	***	1644,2	1111,3	1007,3	**	*	ns
1215	85,3	74,0	61,9	***	0	0	512,4	412,8	314,2	***	0	0	1335,2	858,8	737,6	**	*	ns
Média	67,1	77,9	53,8	***	**	***	382,9	498,4	278,2	***	***	***	1018,0	823,4	933,2	ns	0	ns
	-----Tronco (kg g ⁻¹)-----																	
57	66,8	103,9	93,0	***	***	0	477,2	926,2	550,7	ns	***	***	681,9	722,9	1585,1	**	ns	**
129	63,6	69,2	35,8	**	ns	***	396,6	591,1	219,1	*	**	***	444,2	566,9	684,6	ns	ns	ns
2719	56,8	72,2	41,2	*	*	***	344,3	402,3	262,1	ns	ns	*	2271,6	1220,6	1116,2	**	*	ns
1215	86,7	76,0	65,4	**	0	ns	620,2	492,1	372,9	***	0	0	1370,9	943,5	755,7	**	*	ns
Média	68,5	80,3	58,9	**	***	***	459,6	602,9	351,2	**	***	***	1192,1	863,5	1035,4	ns	*	ns
	-----Folha (kg g ⁻¹)-----																	
57	0,76	1,01	0,53	*	*	***	1,76	2,37	2,33	*	*	ns	4,89	4,80	3,49	*	ns	*
129	0,69	0,63	0,34	***	ns	**	1,15	1,26	1,17	ns	ns	ns	2,45	2,67	1,97	ns	ns	ns
2719	0,42	0,41	0,23	0	ns	0	1,33	1,41	0,85	0	ns	*	2,66	3,46	2,07	ns	ns	*
1215	0,51	0,50	0,32	*	ns	0	1,17	1,08	0,82	ns	ns	ns	3,54	2,85	2,21	*	ns	ns
Média	0,59	0,64	0,36	***	ns	***	1,35	1,53	1,29	ns	ns	0	3,39	3,45	2,43	**	ns	**
	-----Raiz Fina (kg g ⁻¹)-----																	
57	0,75	0,82	0,23	*	ns	*	3,50	4,64	1,56	*	ns	**	0,76	0,93	0,42	*	ns	***
129	0,53	0,42	0,12	0	ns	ns	1,74	2,29	0,84	ns	ns	ns	0,39	0,36	0,27	ns	ns	ns
2719	1,28	1,03	0,27	***	ns	**	5,43	4,11	1,93	***	ns	*	1,41	0,93	0,65	***	**	0
1215	1,48	0,92	0,30	***	*	*	6,38	5,68	1,99	***	ns	***	1,06	0,85	0,38	***	ns	**
Média	1,01	0,79	0,23	***	0	***	4,26	4,18	1,58	***	ns	***	0,90	0,77	0,43	***	0	***

Irr.: Trat. Irrigado; Fert.: Trat. Fertirrigado; Contr.: Trat. Controle. C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Fertirrigado vs Irrigado; C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, 0^{ns}, e ns, significativo a 0,1 %, 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Para o S, assim como os demais nutrientes, a aplicação controlada de água e nutrientes minerais elevou sua eficiência de uso para a produção de biomassa de raiz fina nos quatro clones estudados, sendo que o clone 129 este aumento se deu a nível de tendência (Quadro 27, contrastes C_1 e C_3). O clone 2719 foi o único que apresentou redução significativa ($p < 0,1$) do valor de eficiência de uso de S em resposta a aplicação de nutrientes em condição de alta disponibilidade de água (Quadro 27, contraste C_2)

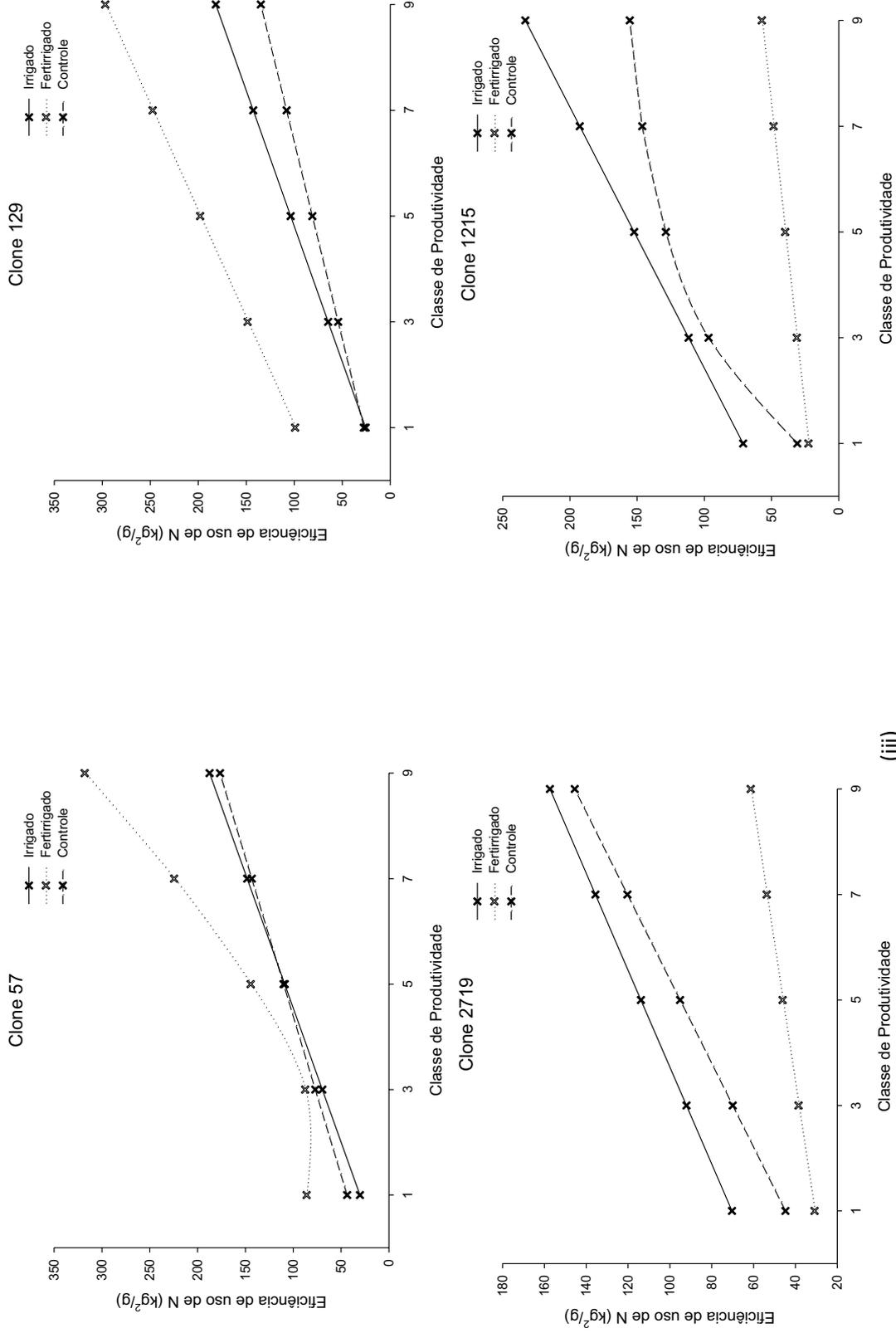
3.3.7.4. Eficiência de utilização de nutrientes de acordo com a classe de produtividade

A alta eficiência de utilização é sempre desejável, pois influencia diretamente a produtividade e a exportação de nutrientes através da colheita de biomassa (Paula, 1995). A alta eficiência de utilização de um determinado nutriente seria caracterizada por valores relativamente altos de eficiência de utilização denotando grande quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido, o que geralmente está associado à alta produtividade (Ladeira, 1999).

Todos os macronutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg e S) tiveram maior eficiência da utilização para a produção de biomassa de parte aérea e tronco com o aumento da classe de produtividade das plantas (Figuras 53 a 64). Ladeira (1999) diz que plantas de maior tamanho reduzem a proporção de biomassa alocada na copa da árvore, cujos componentes são ricos em nutrientes, e aumenta a proporção de biomassa alocada na madeira, componente que possui reduzidos teores de nutrientes.

A eficiência de utilização de macronutrientes minerais para a produção de biomassa de folhas, em média, aumentou em função do aumento das classes de produtividade (Figura 65 a 70).

Para a eficiência na utilização de macronutrientes para a produção de biomassa de raiz fina em função da classe de produtividade, observa-se que embora o efeito significativo ($p < 0,2$) tenha sido menor, 34 % das possíveis combinações entre tratamento e clone para todos os nutrientes, em média houve incremento na eficiência de uso com o aumento da classe de produtividade (Figura 71 a 76).



(iii)

(iv)

Figura 53 - Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

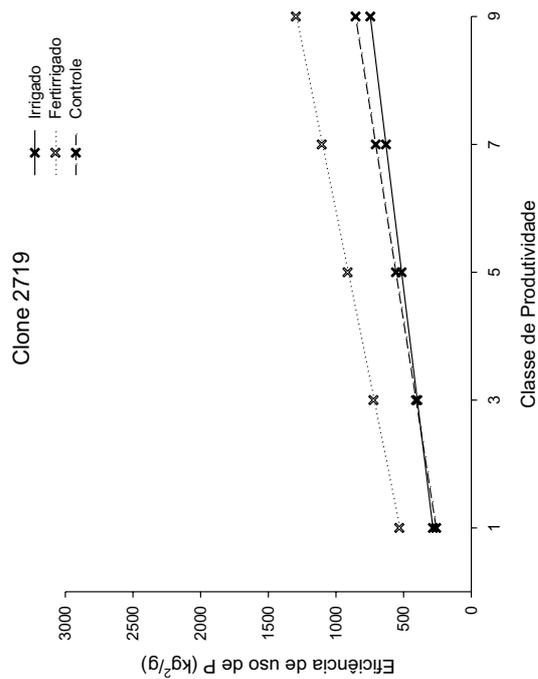
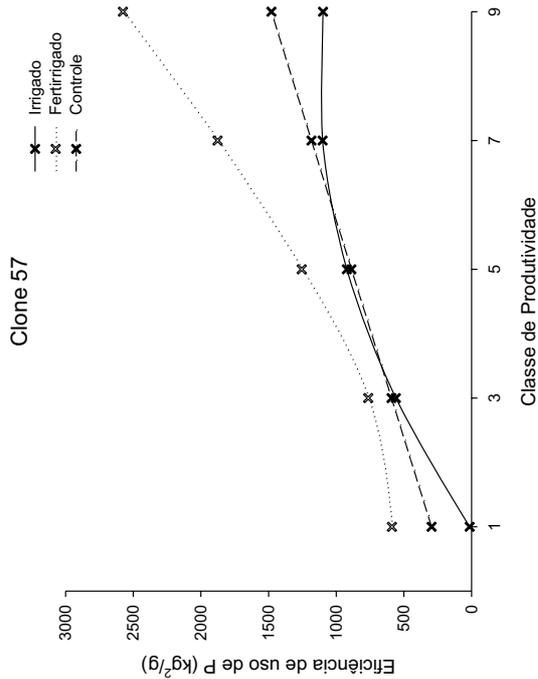
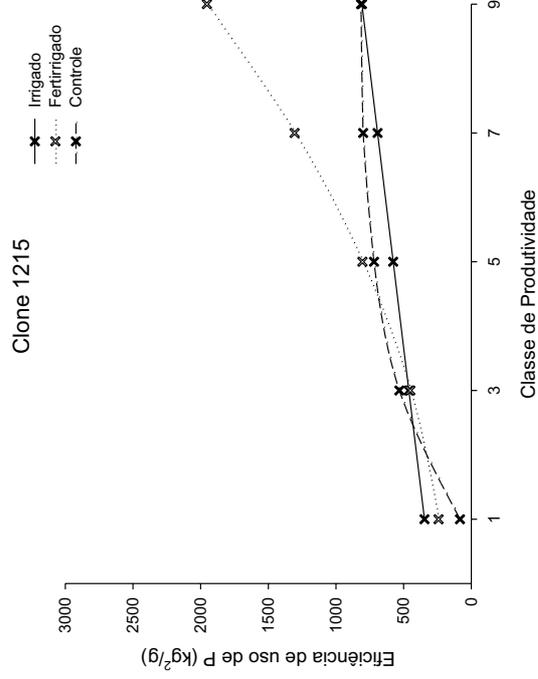
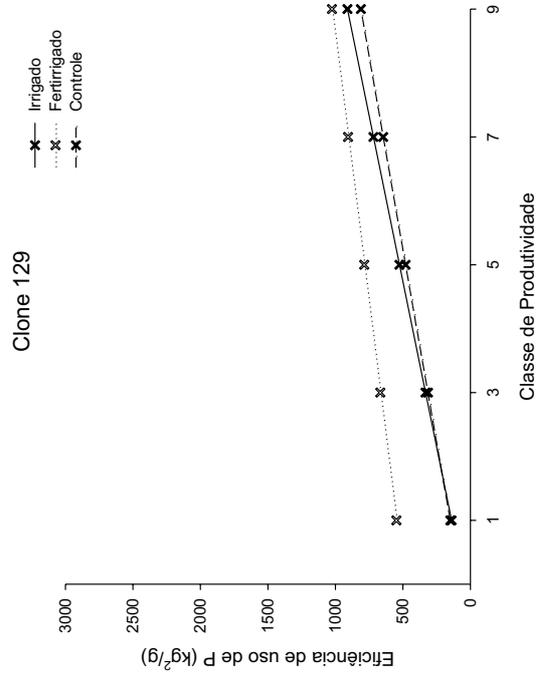


Figura 54 - Eficiência de uso de fósforo para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

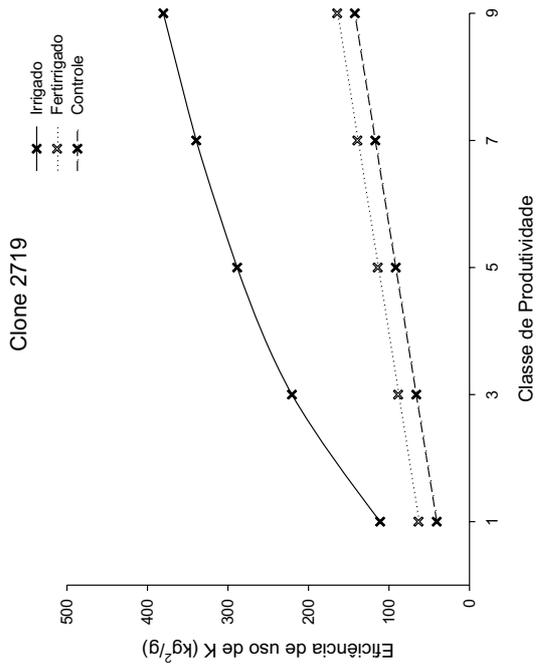
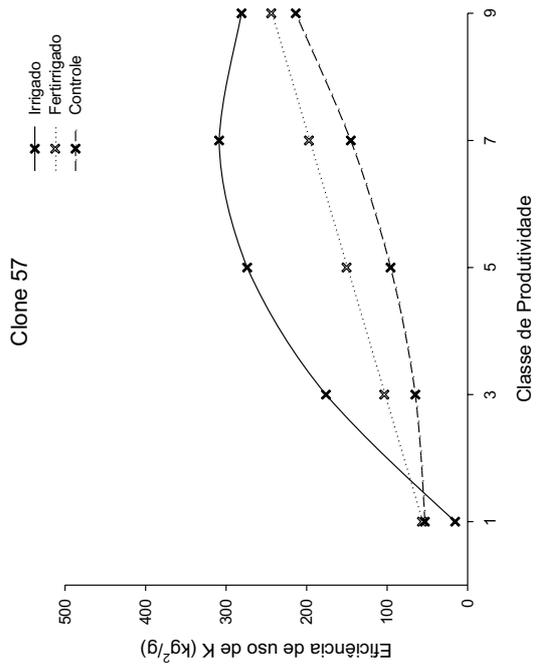
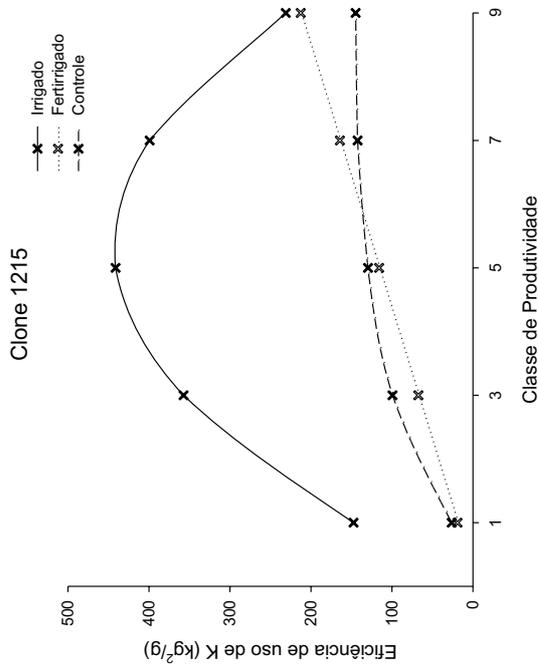
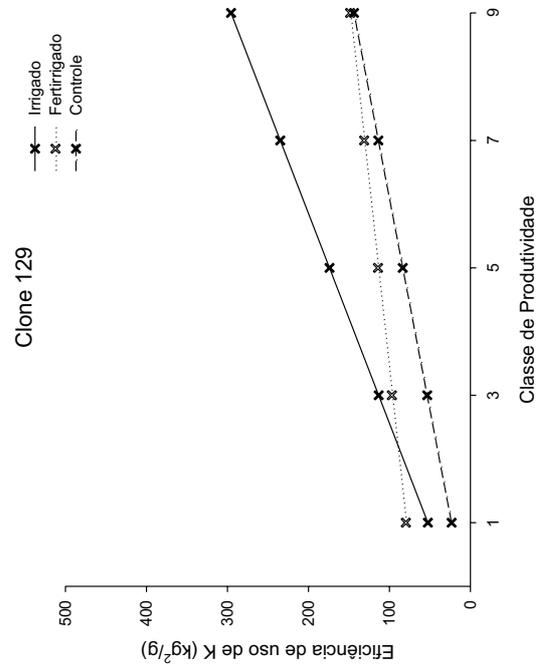


Figura 55 - Eficiência de uso de potássio para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

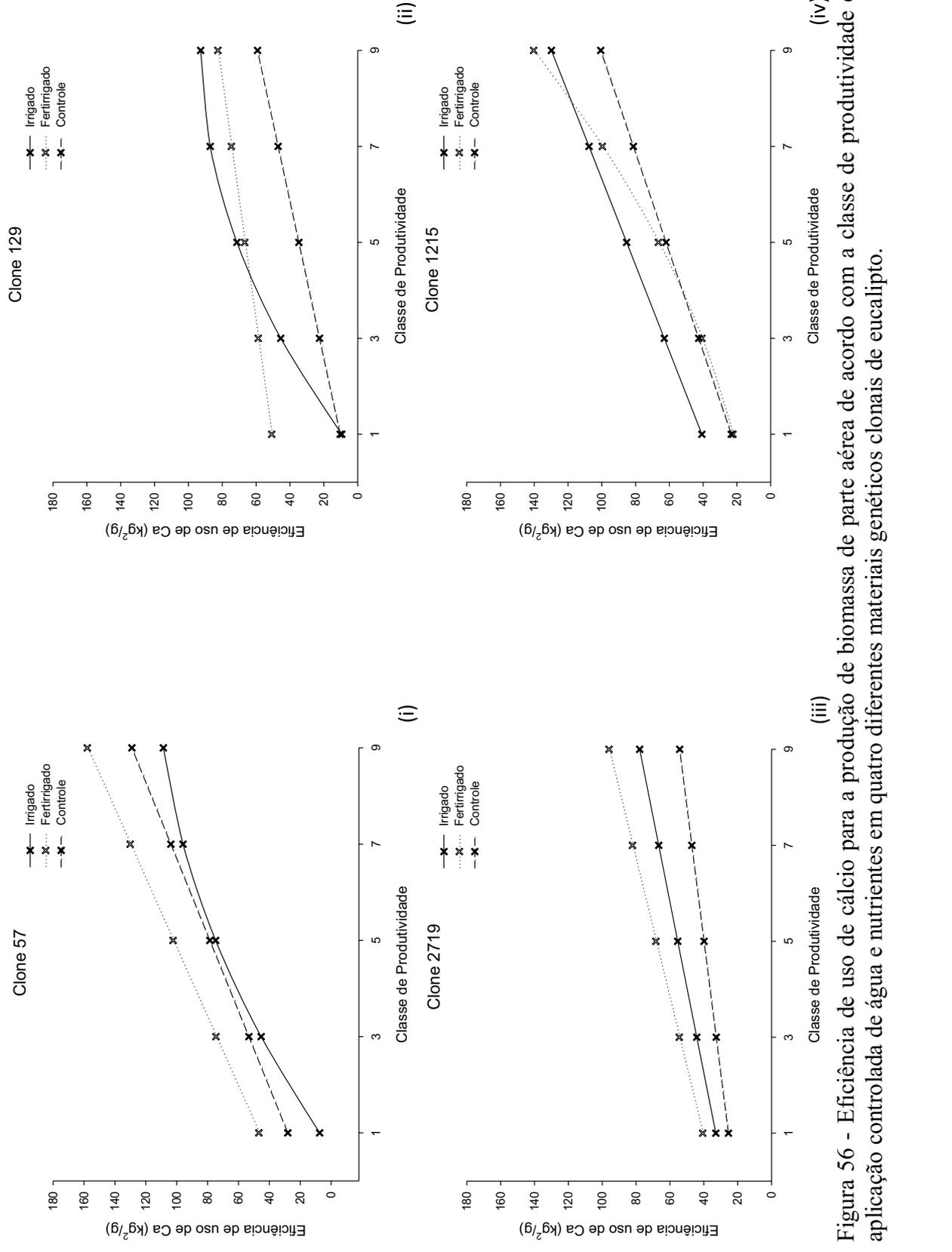


Figura 56 - Eficiência de uso de cálcio para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

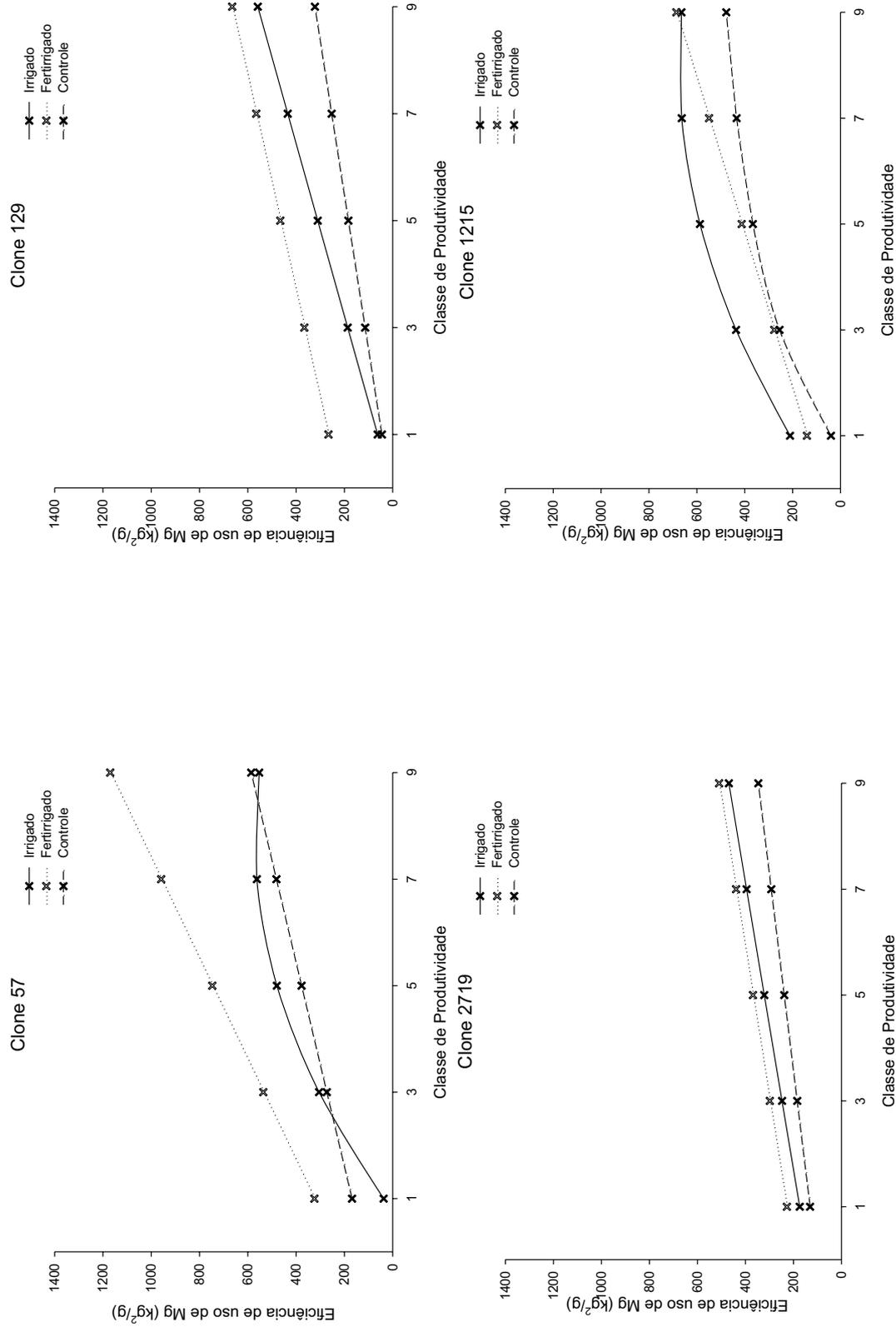


Figura 57 - Eficiência de uso de magnésio para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

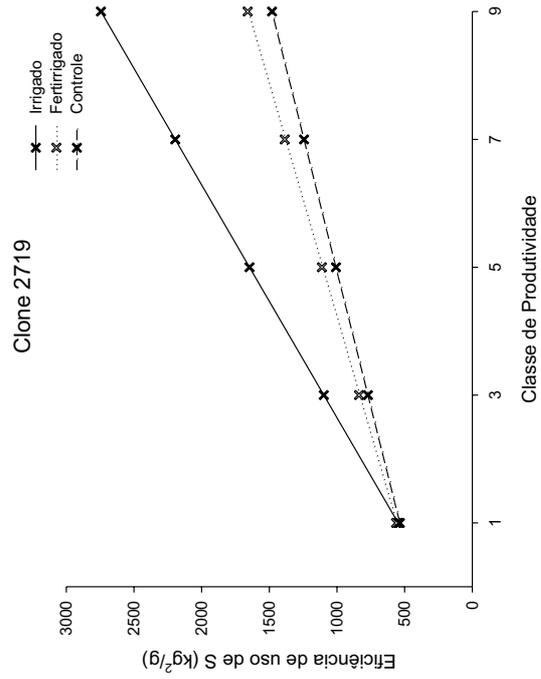
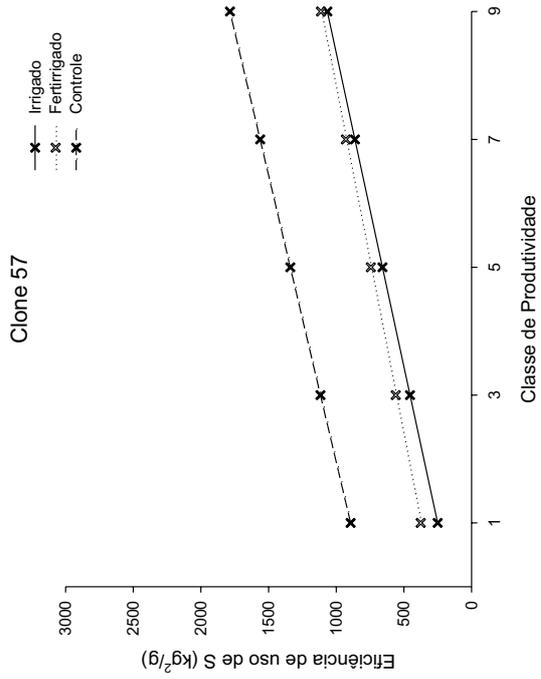
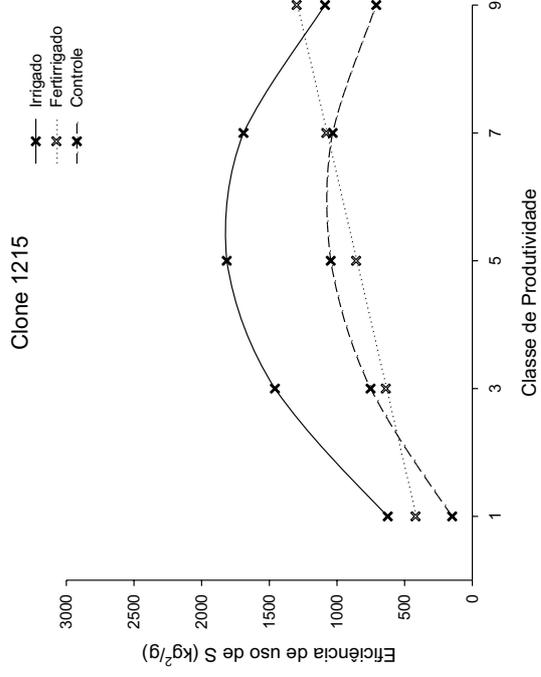
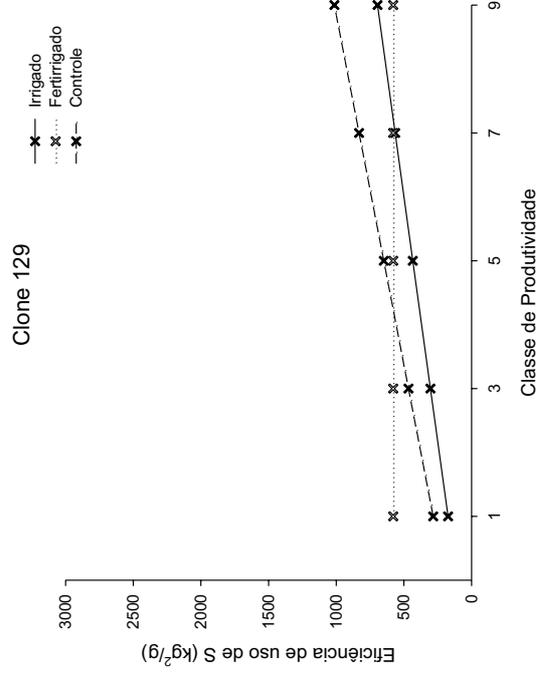


Figura 58 - Eficiência de uso de enxofre para a produção de biomassa de parte aérea de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

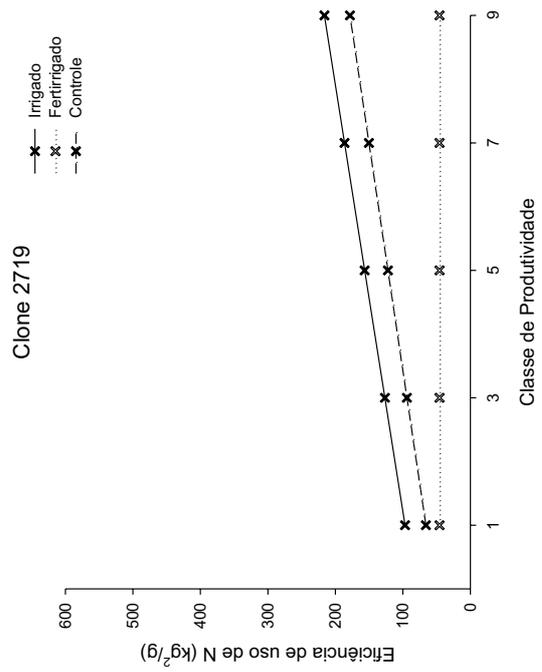
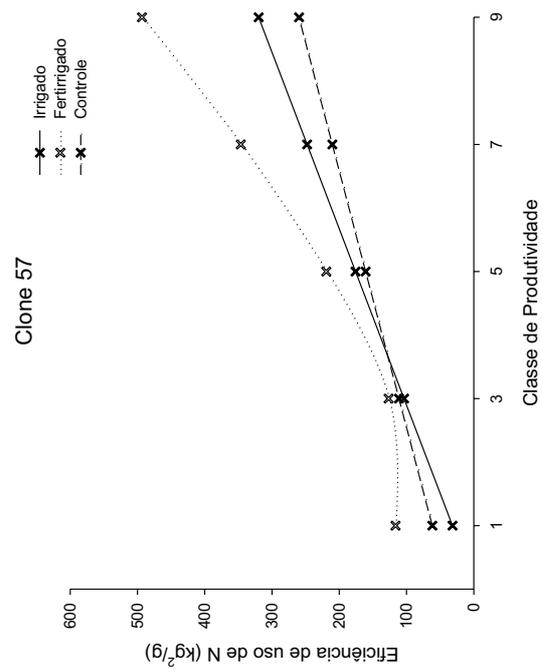
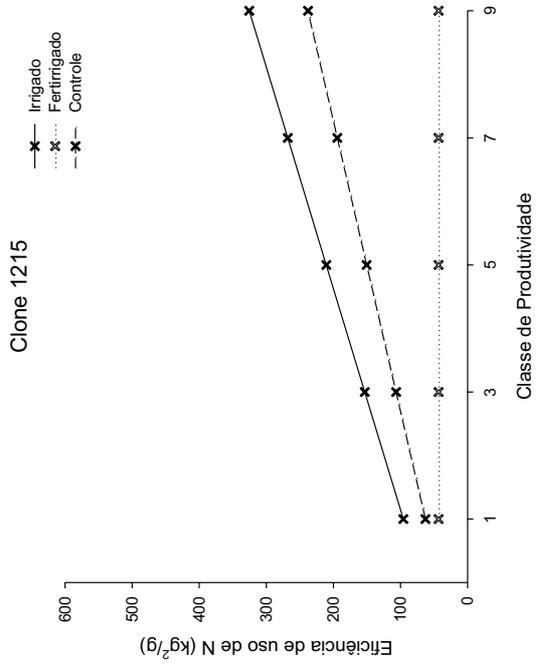
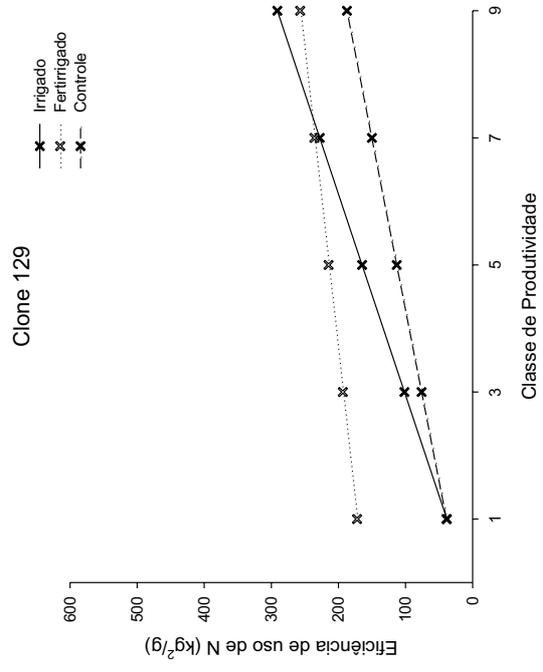


Figura 59 - Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

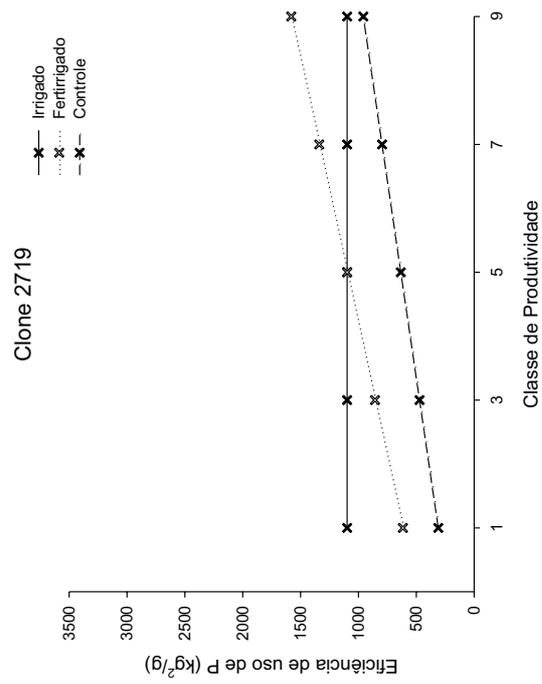
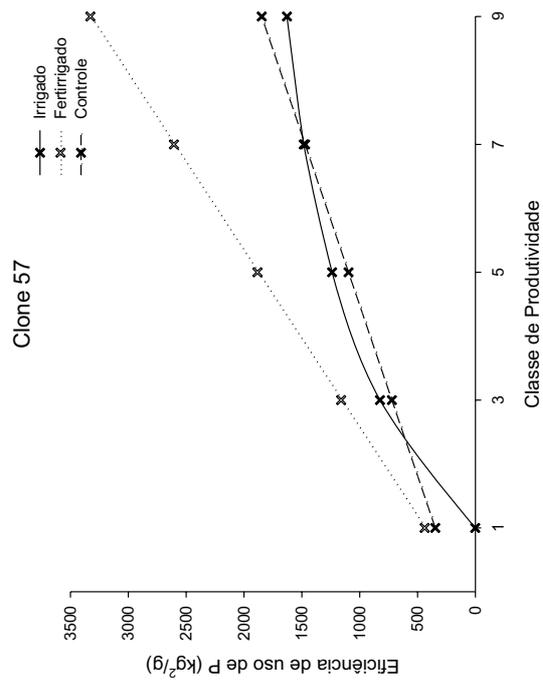
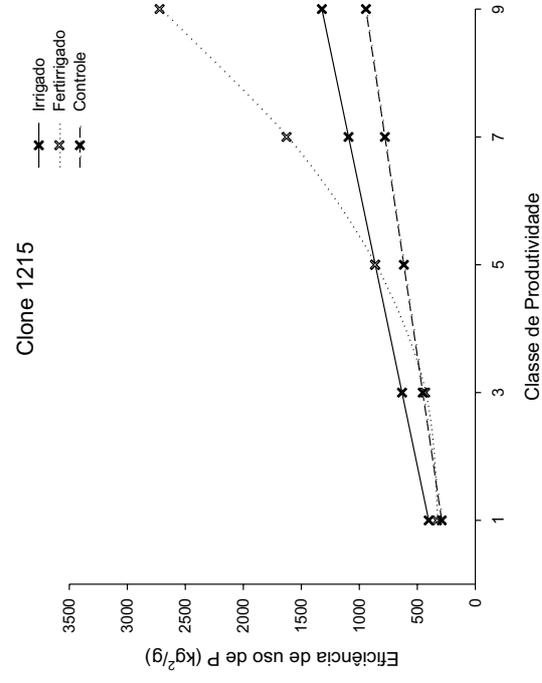
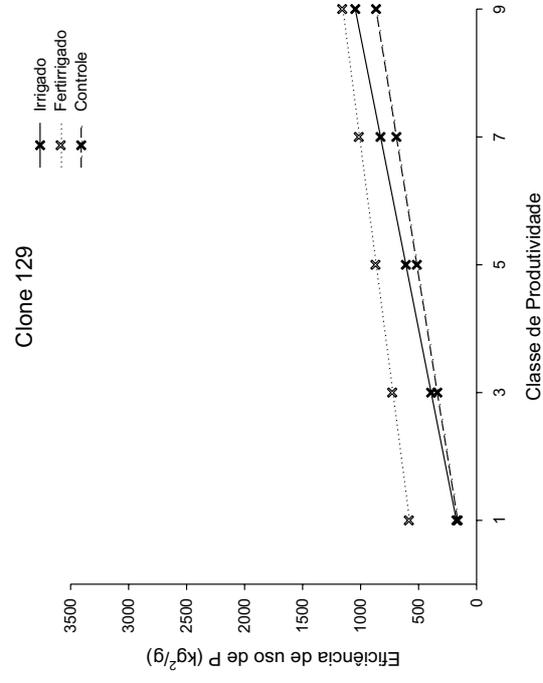


Figura 60 - Eficiência de uso de fósforo para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

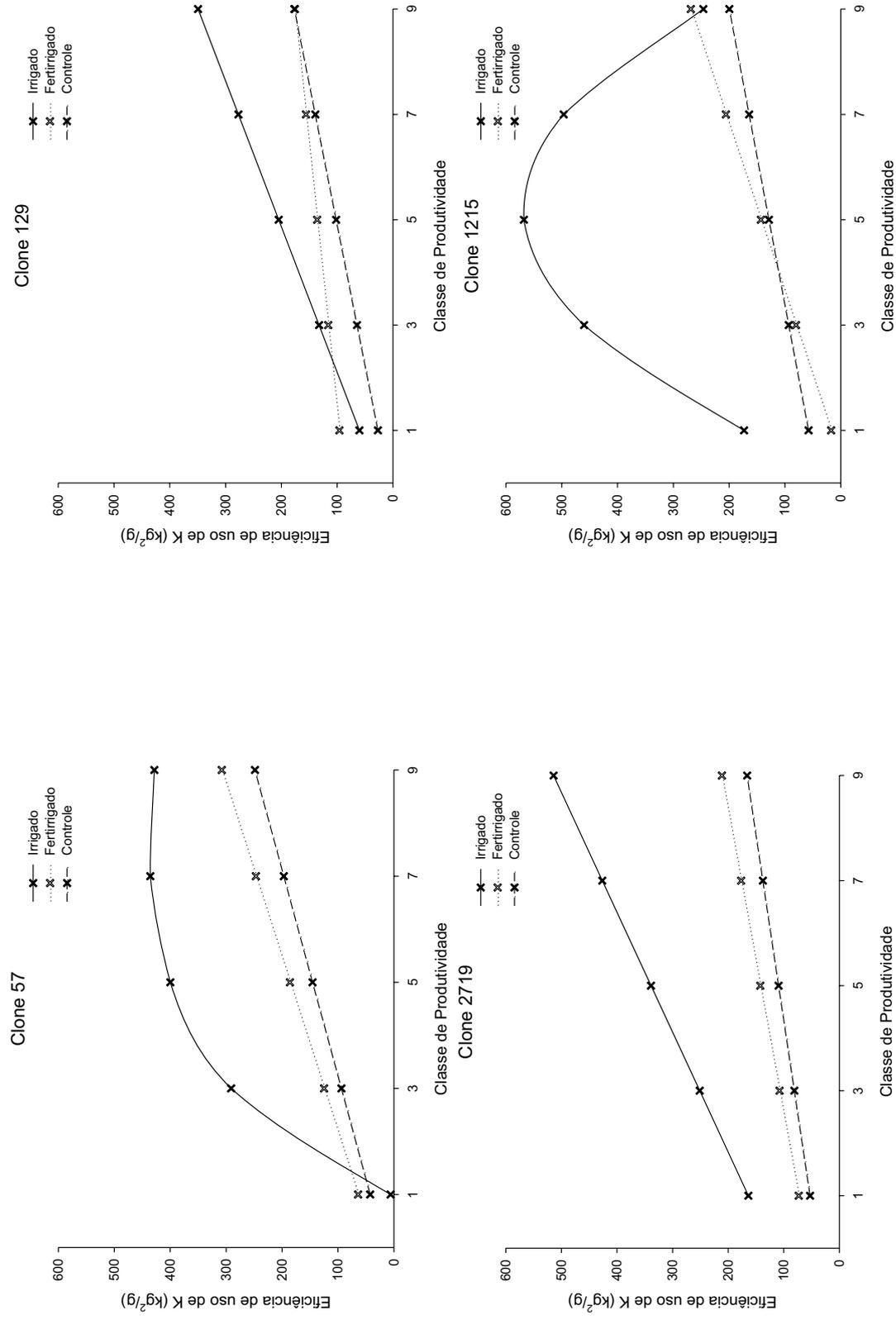


Figura 61 - Eficiência de uso de potássio para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto de eucalipto.

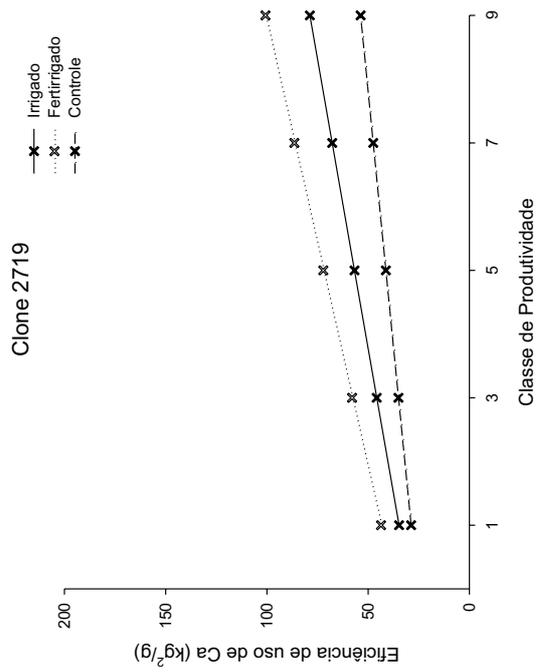
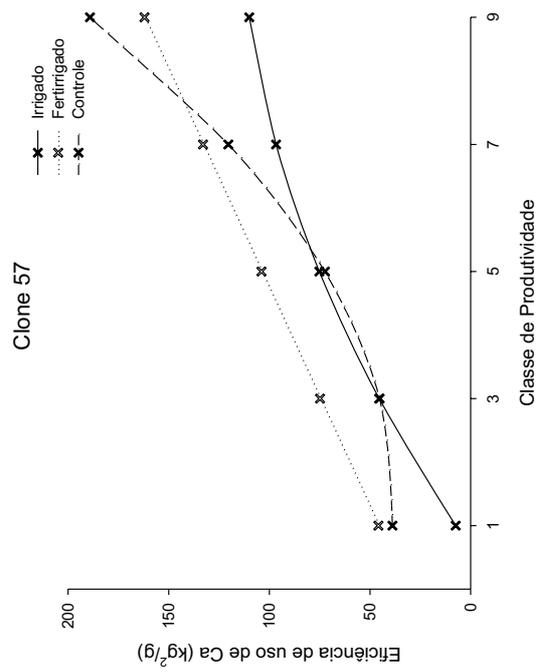
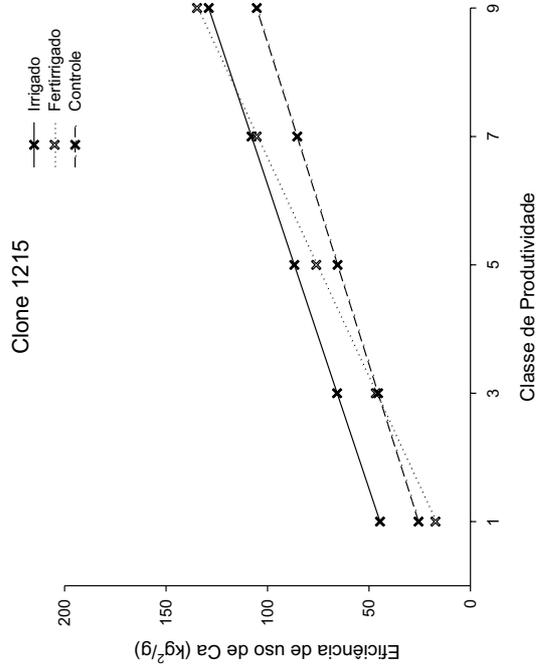
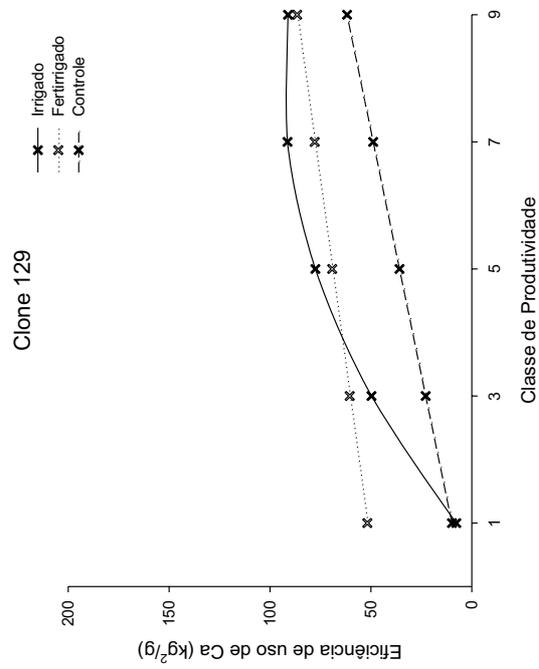


Figura 62 - Eficiência de uso de cálcio para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

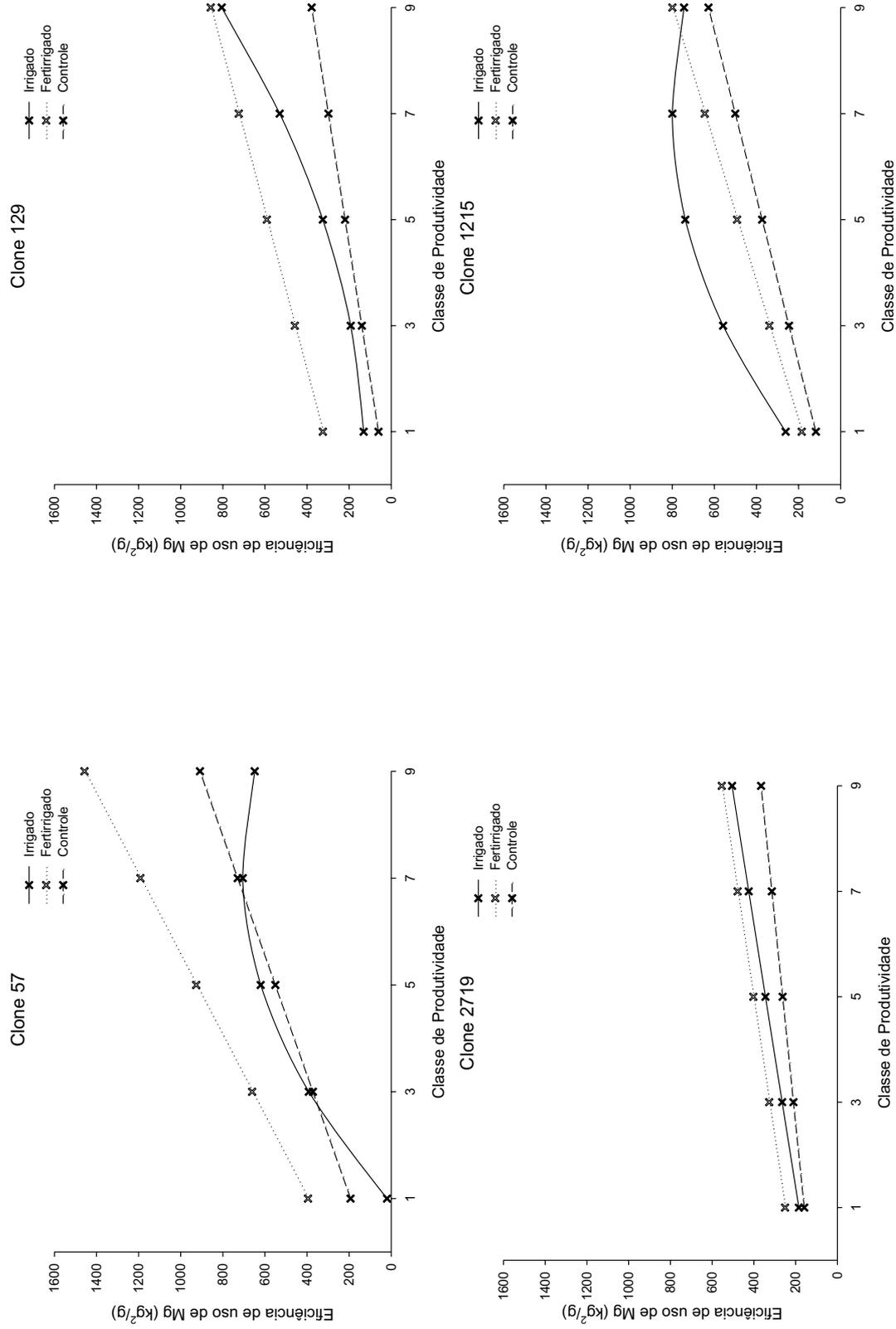


Figura 63 - Eficiência de uso de magnésio para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

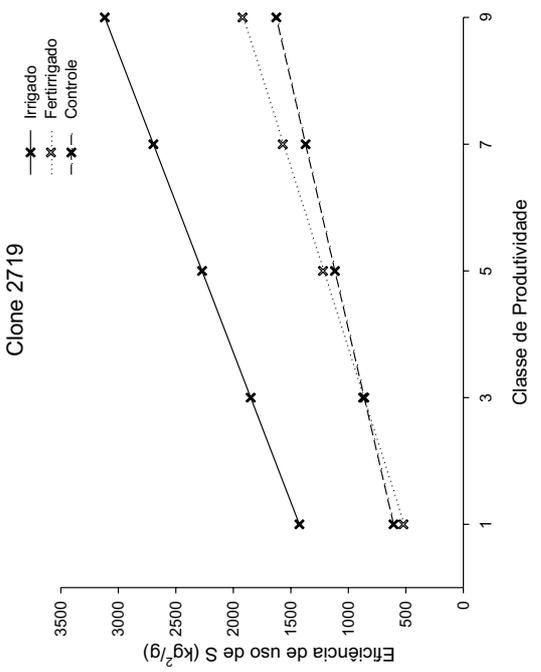
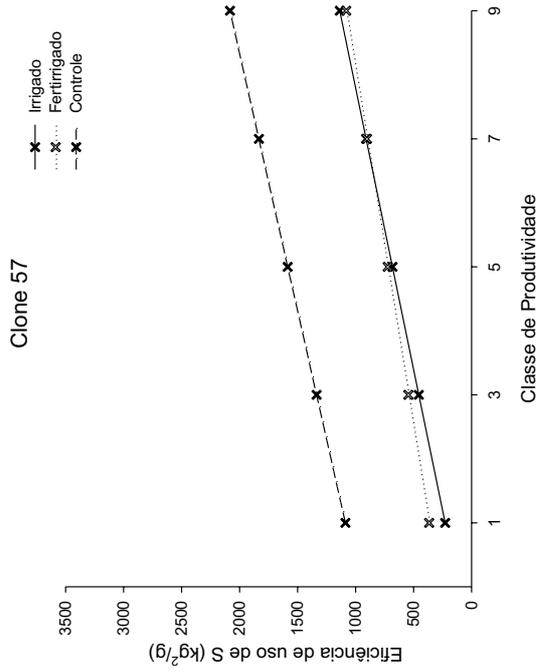
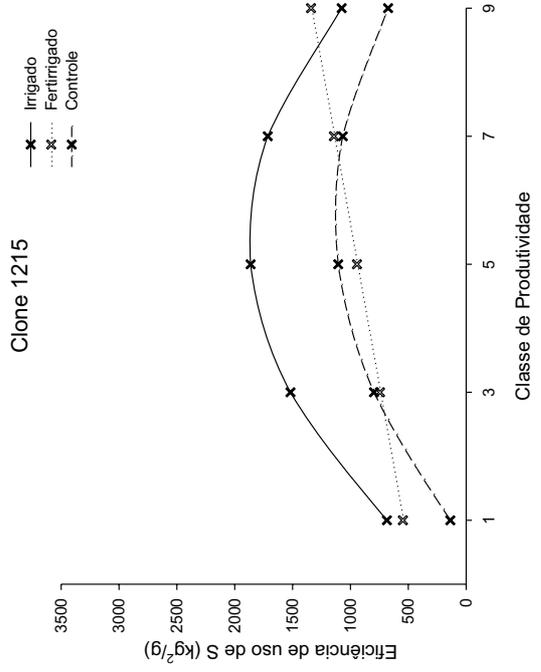
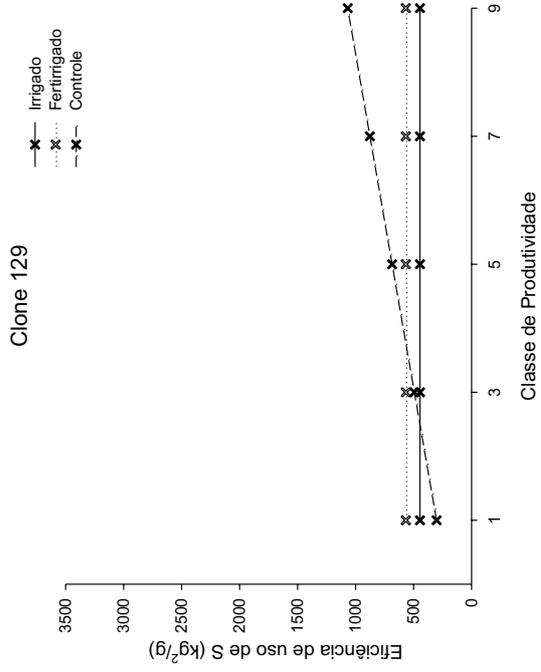


Figura 64 - Eficiência de uso de enxofre para a produção de biomassa de tronco de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

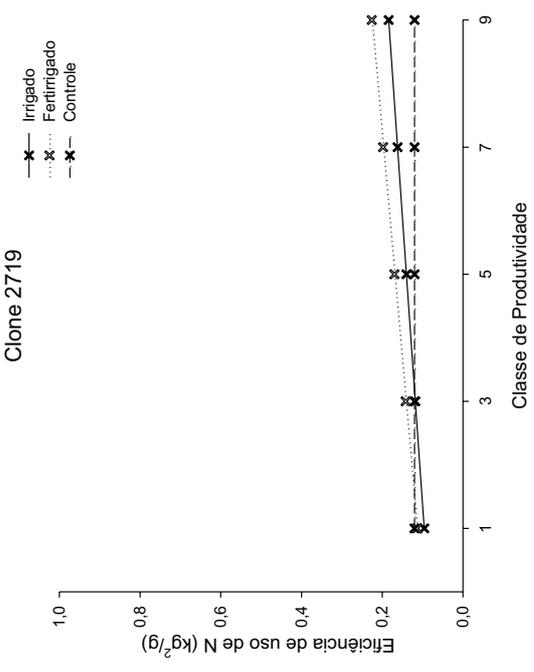
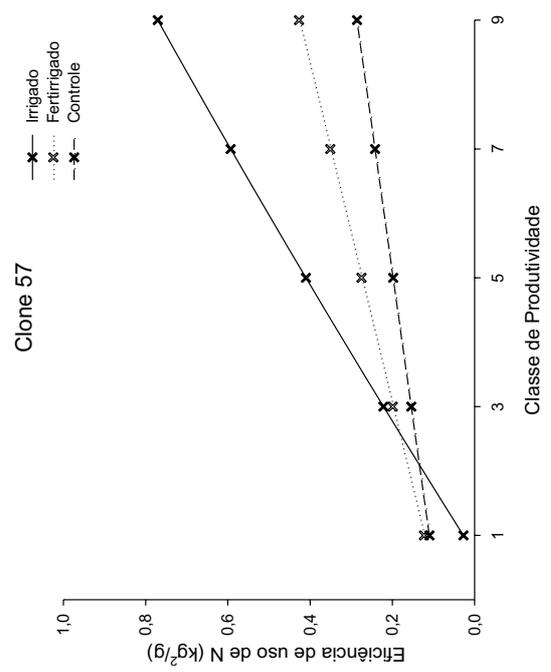
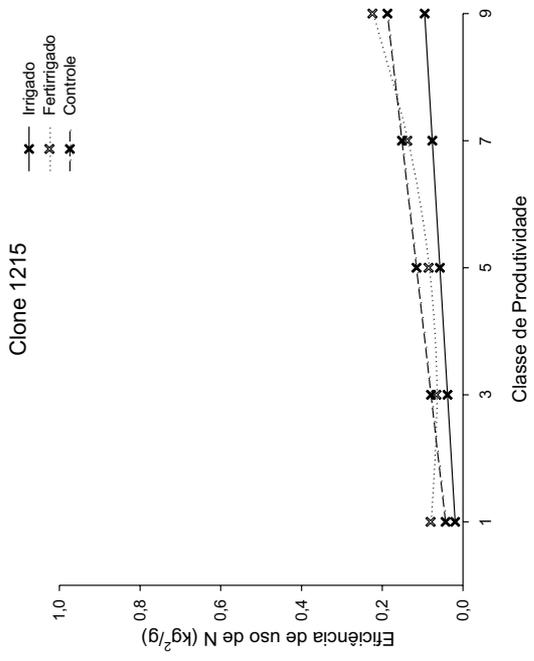
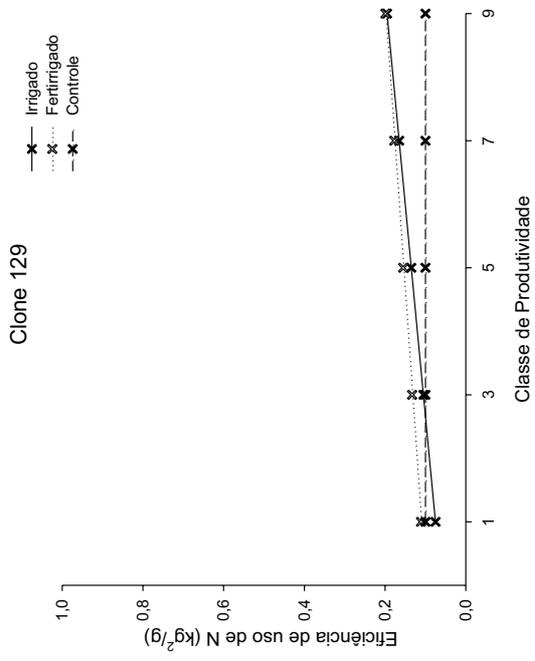


Figura 65 - Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

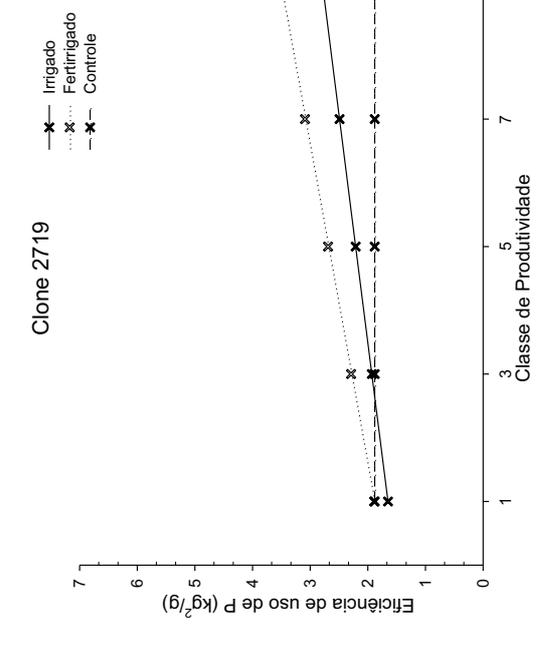
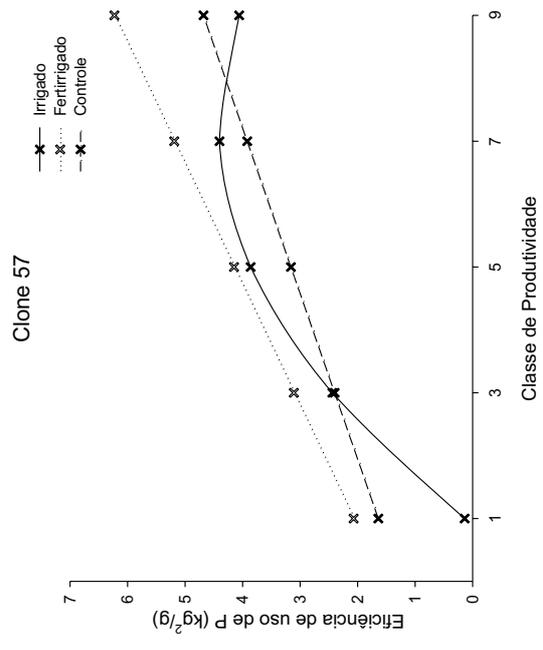
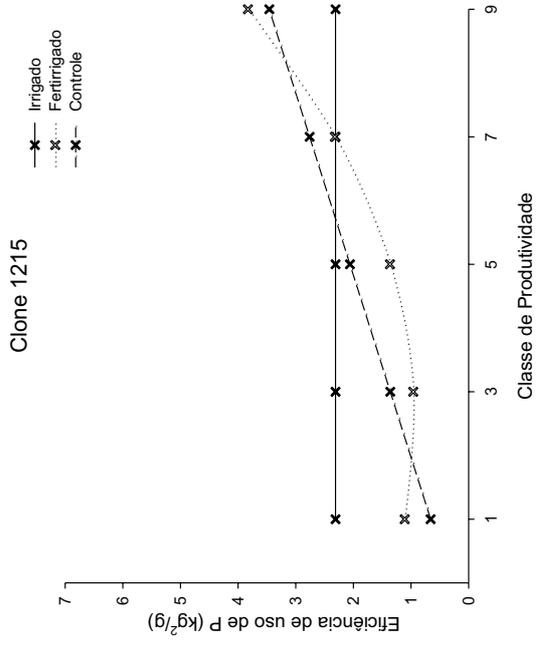
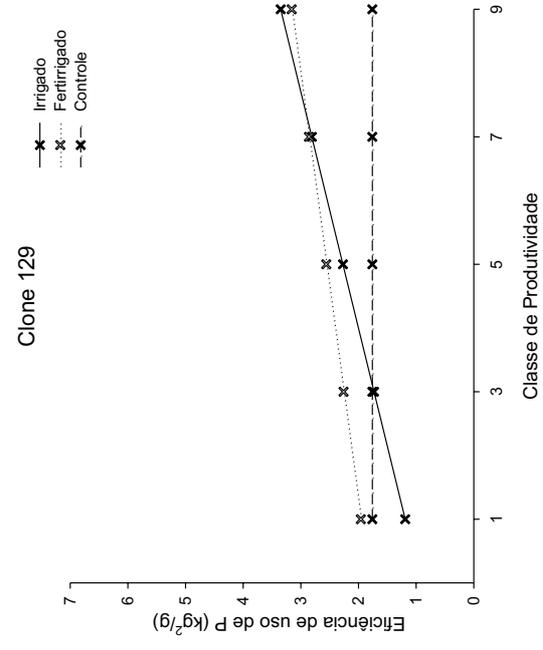


Figura 66 - Eficiência de uso de fósforo para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

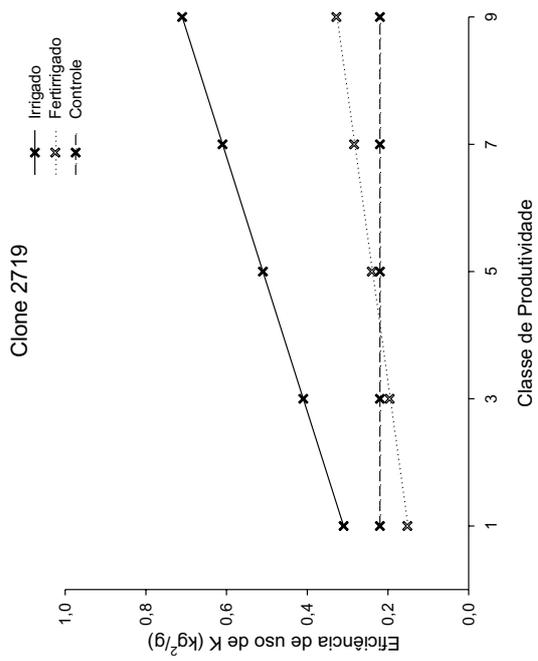
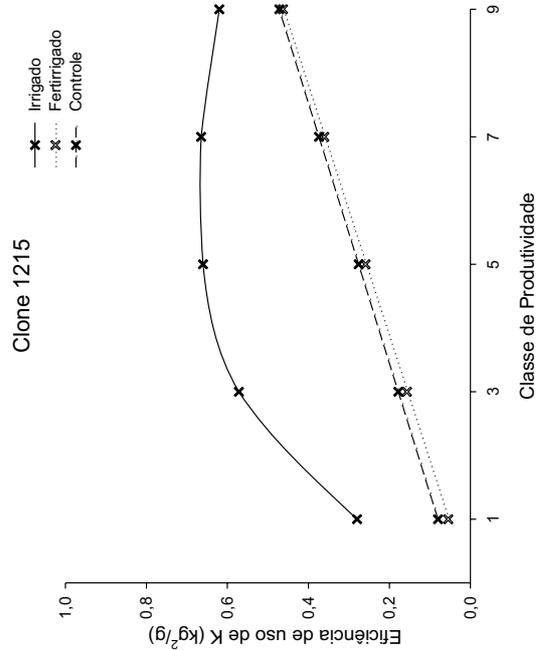
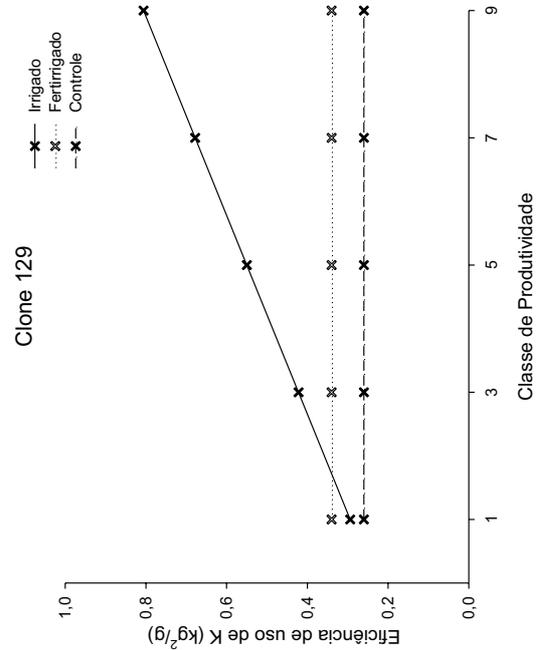
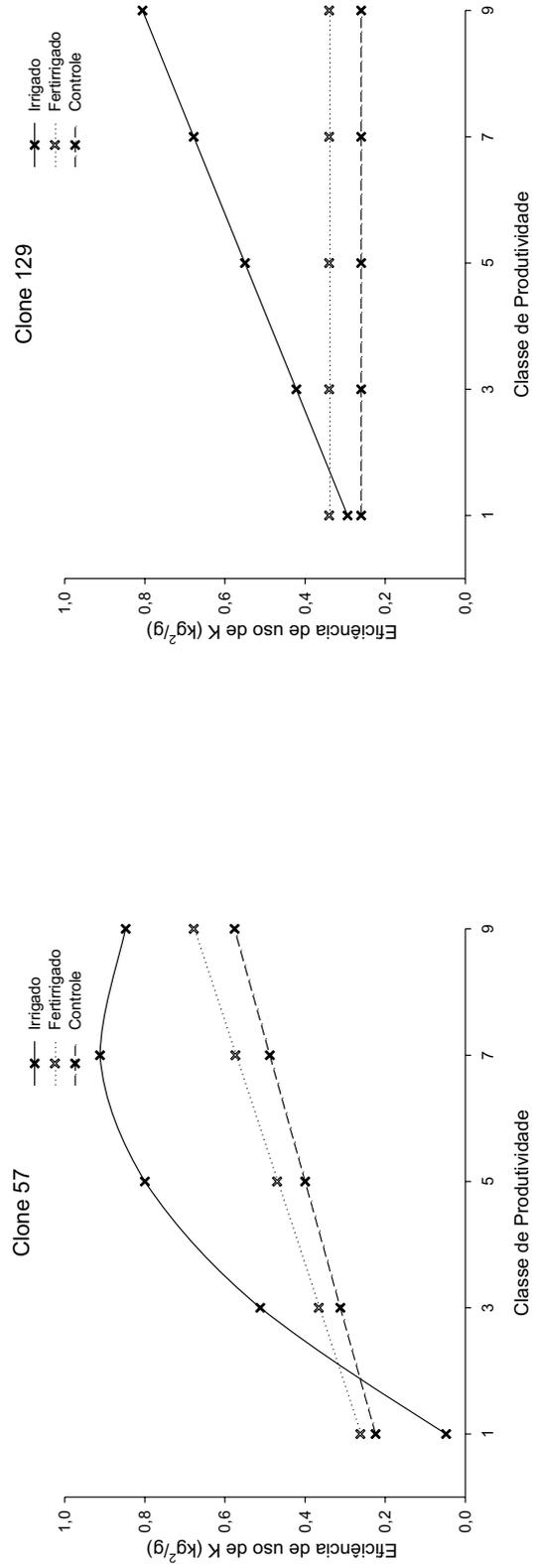


Figura 67 - Eficiência de uso de potássio para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

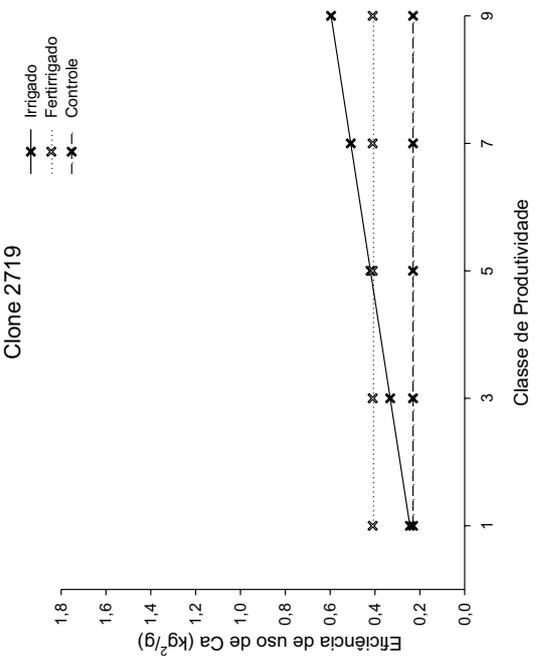
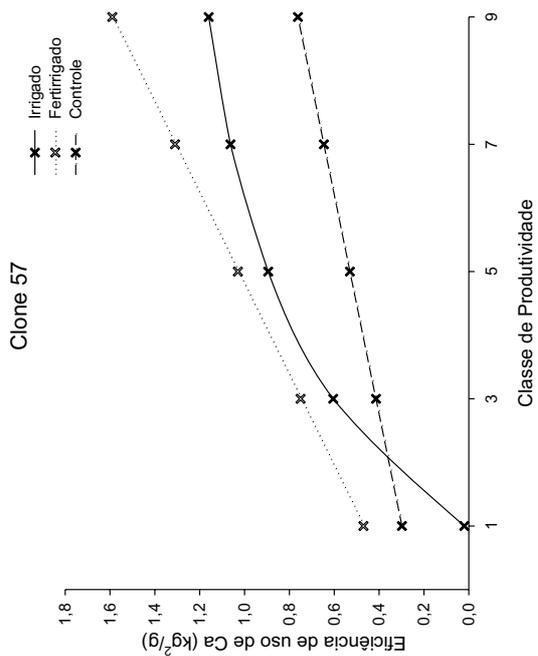
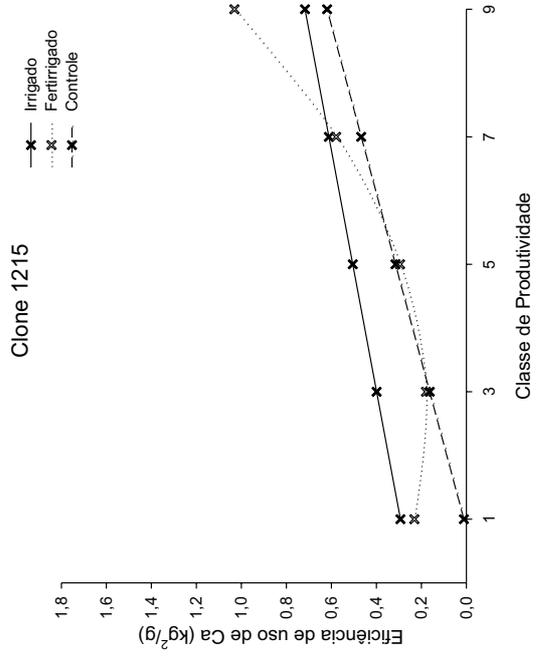
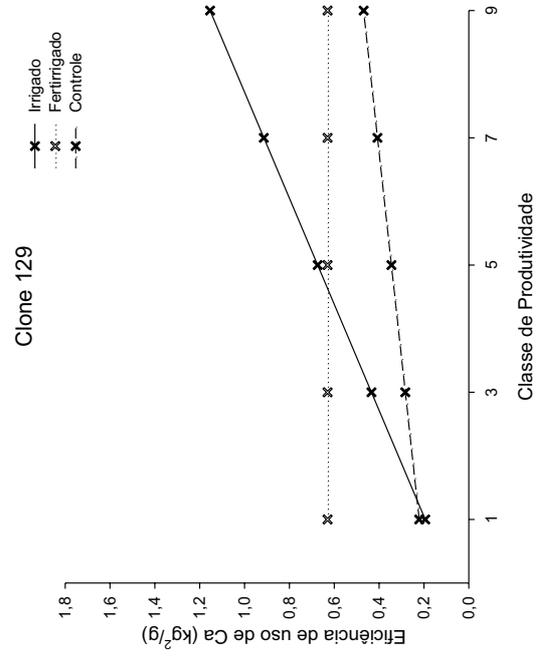


Figura 68 - Eficiência de uso de cálcio para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

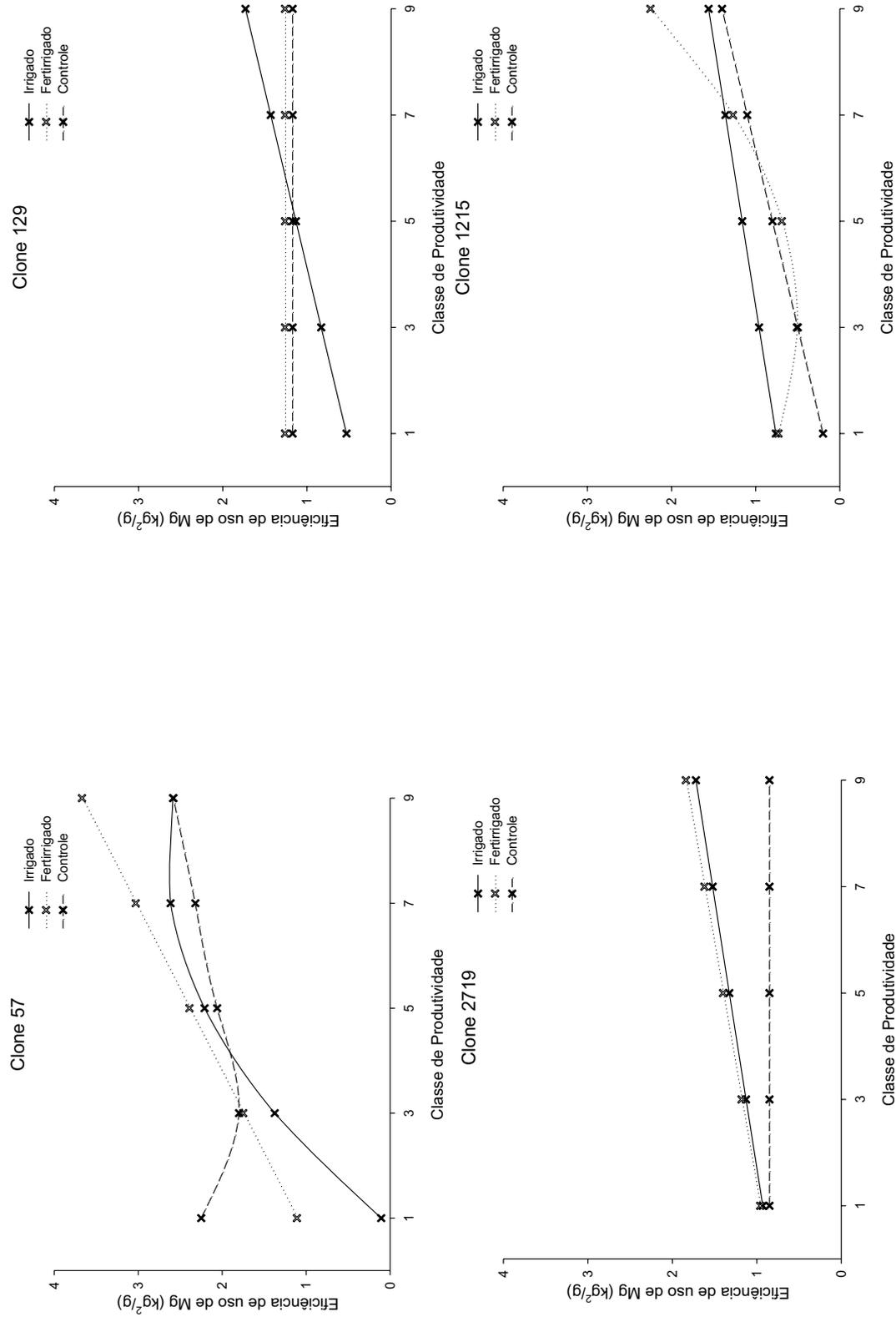


Figura 69 - Eficiência de uso de magnésio para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

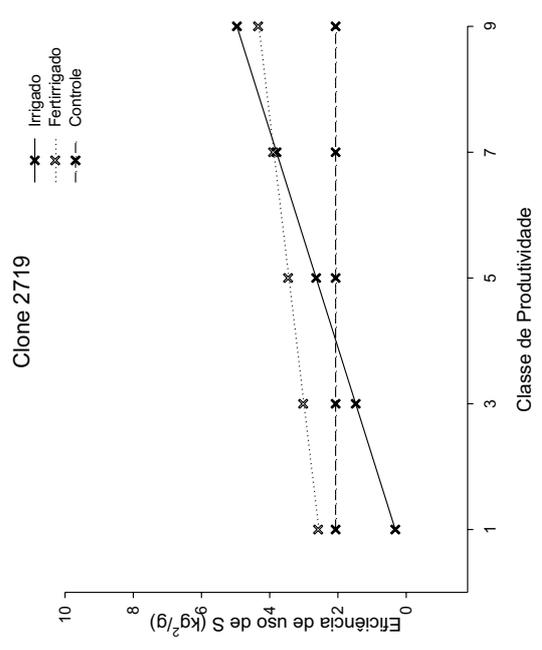
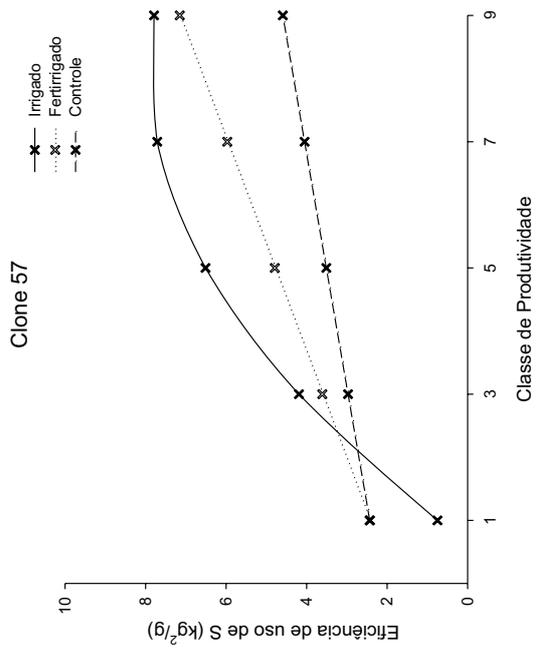
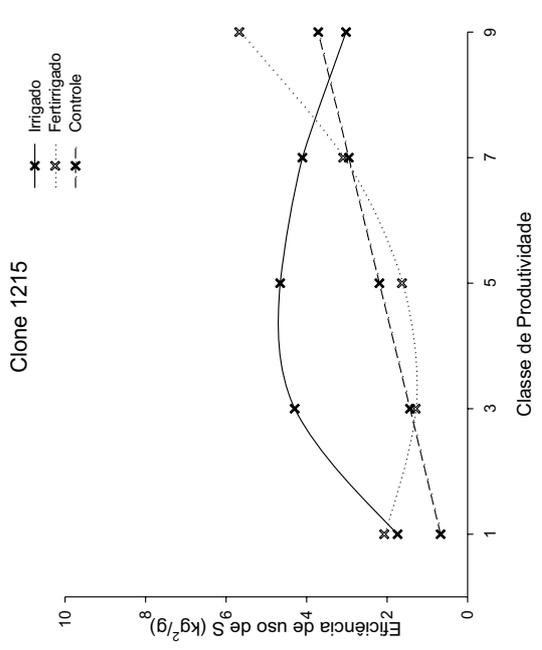
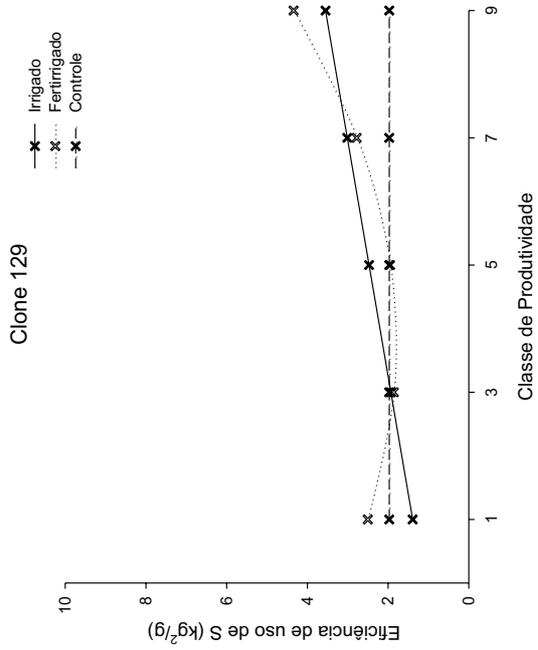


Figura 70 - Eficiência de uso de enxofre para a produção de biomassa de folha de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

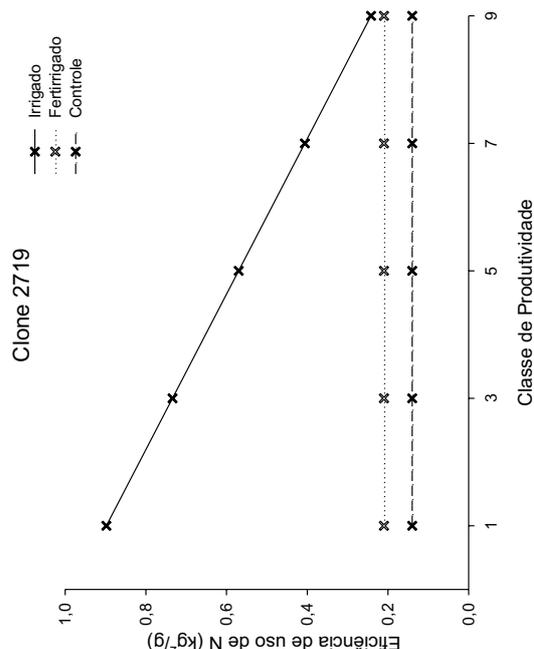
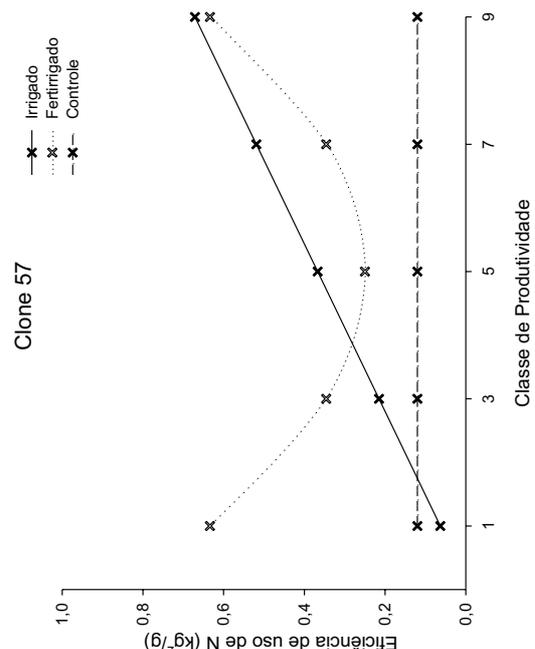
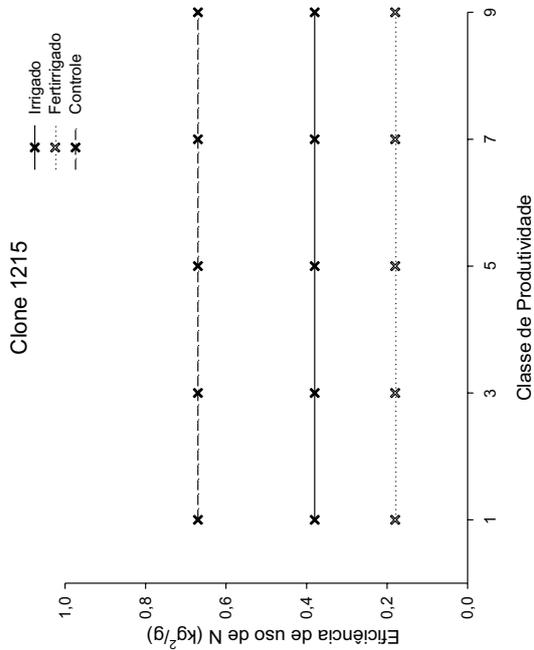
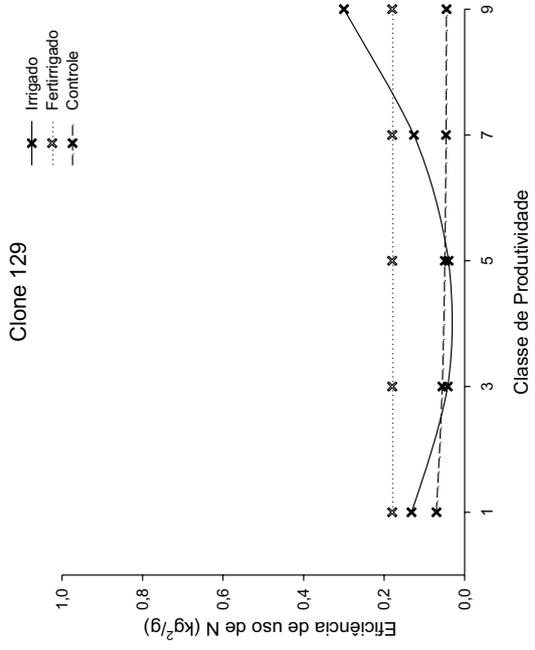


Figura 71 - Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

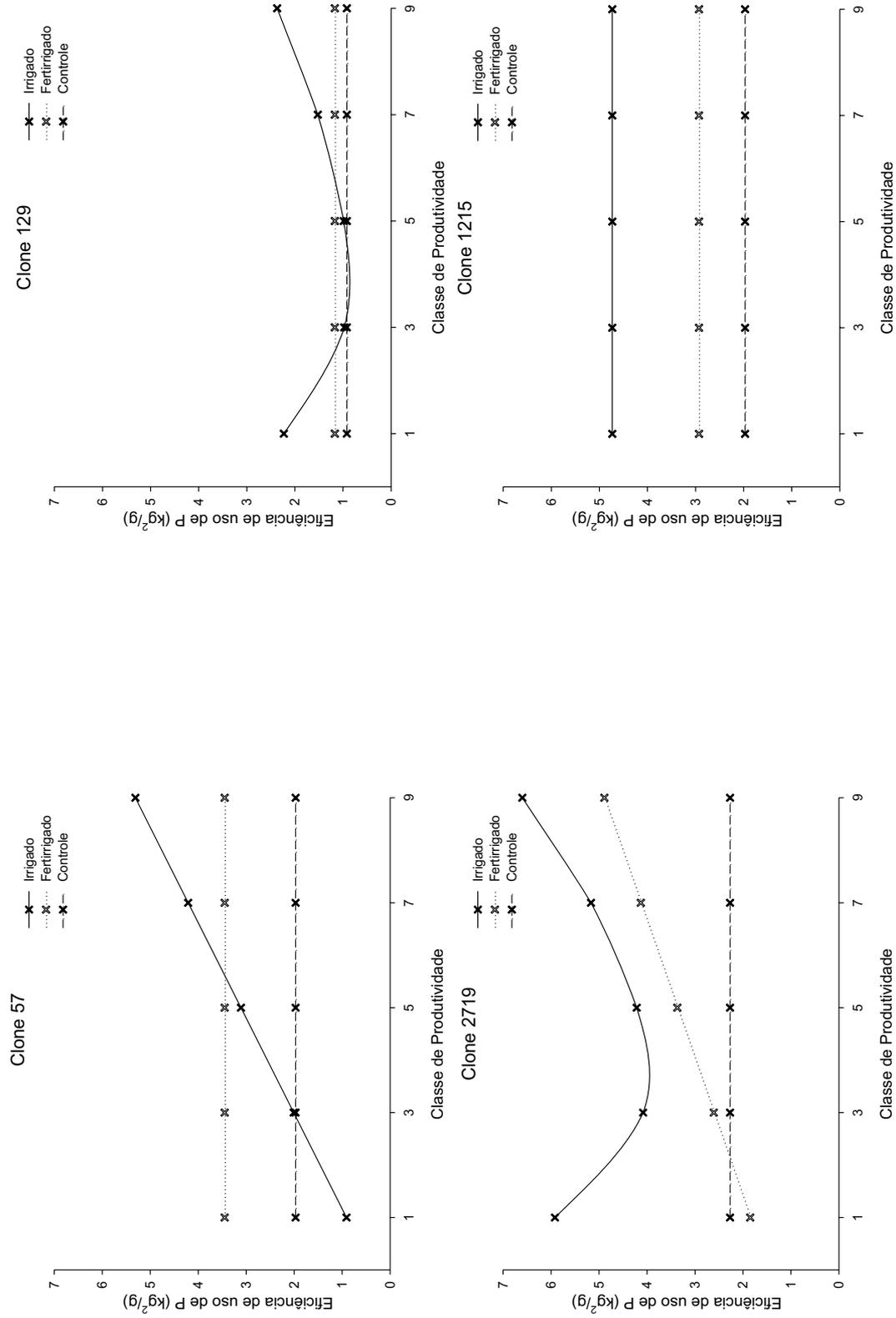


Figura 72 - Eficiência de uso de fósforo para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

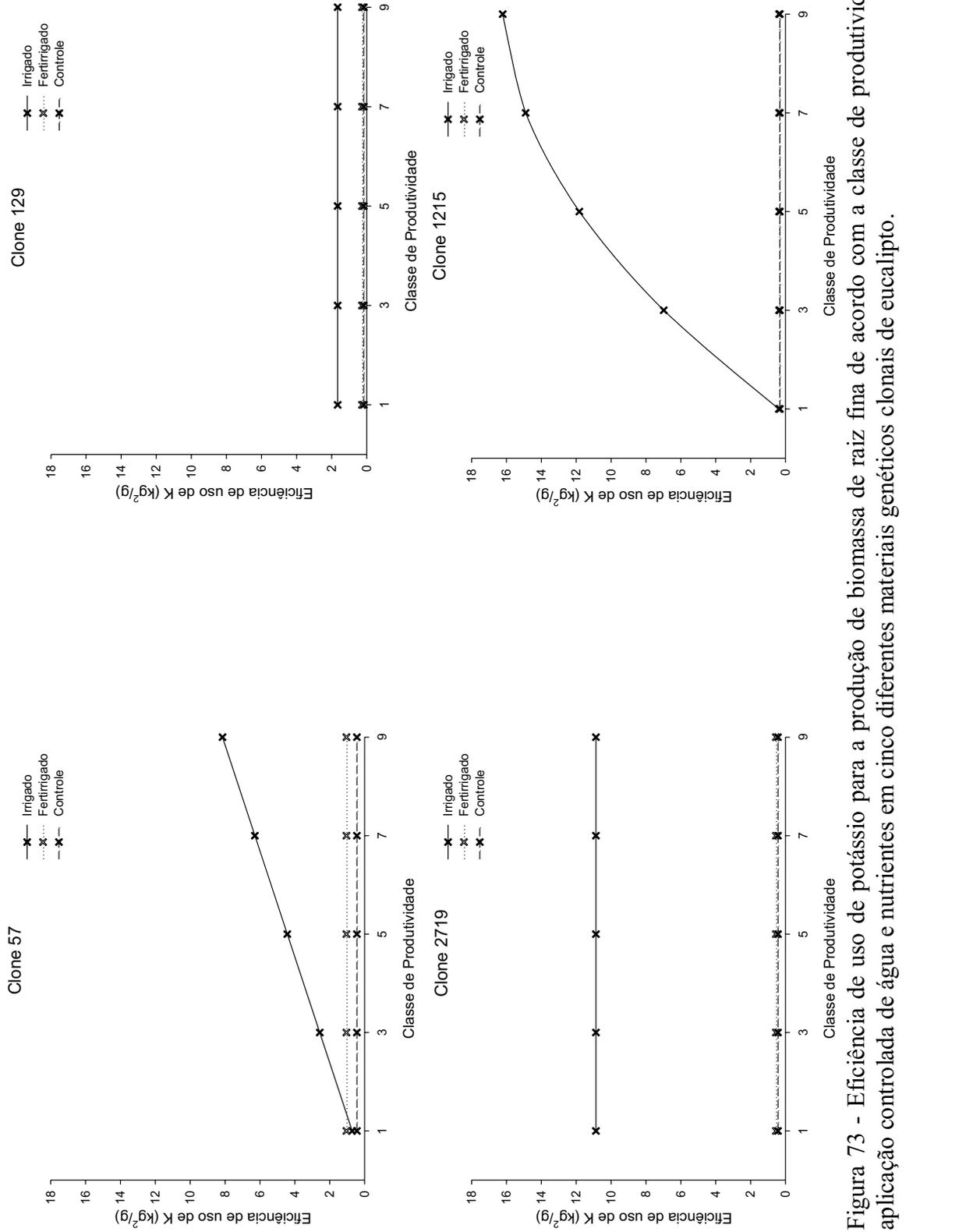


Figura 73 - Eficiência de uso de potássio para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em cinco diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

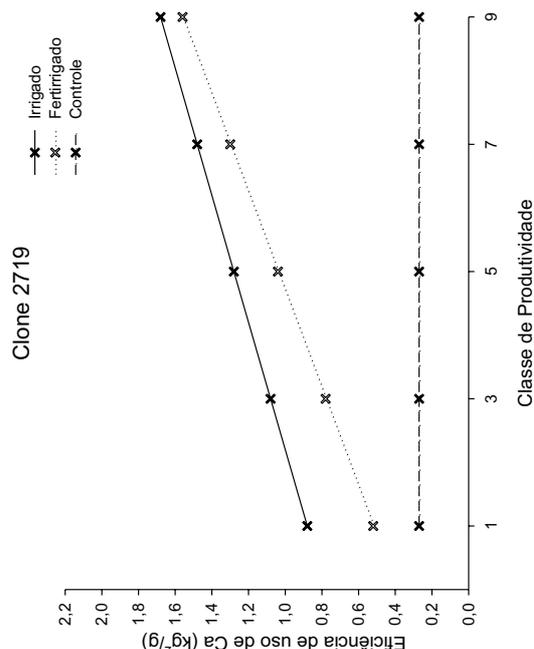
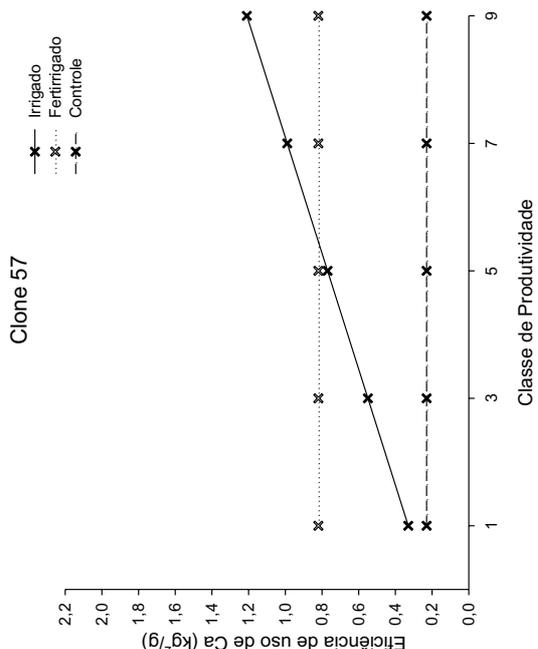
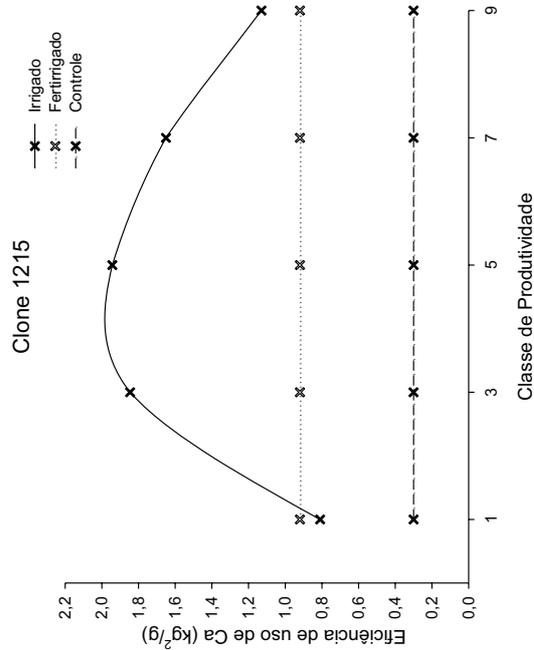
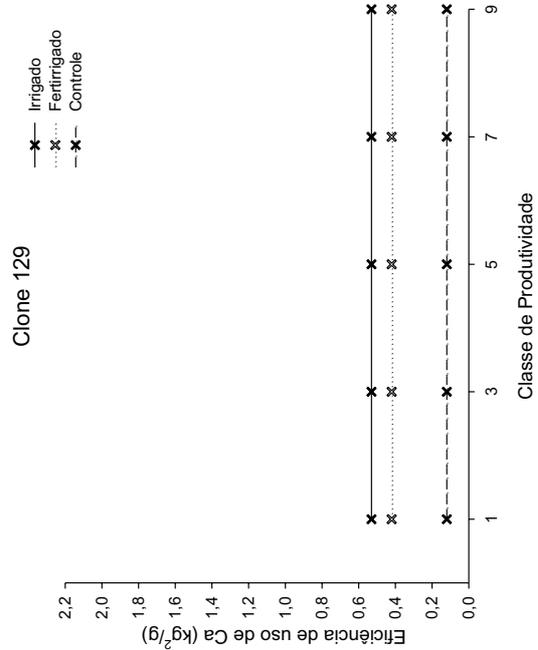


Figura 74 - Eficiência de uso de cálcio para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

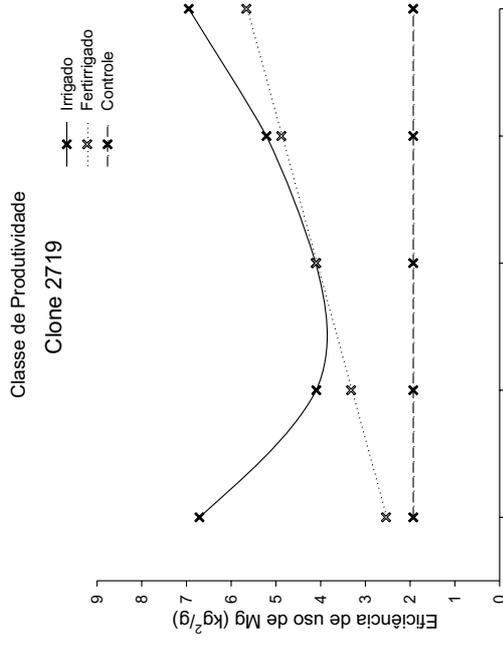
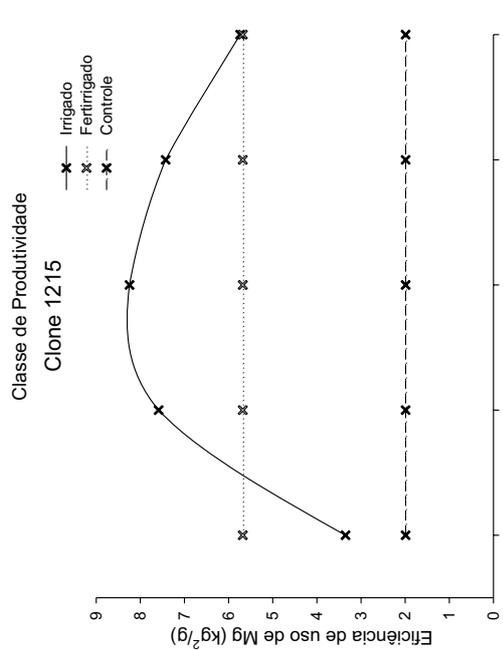
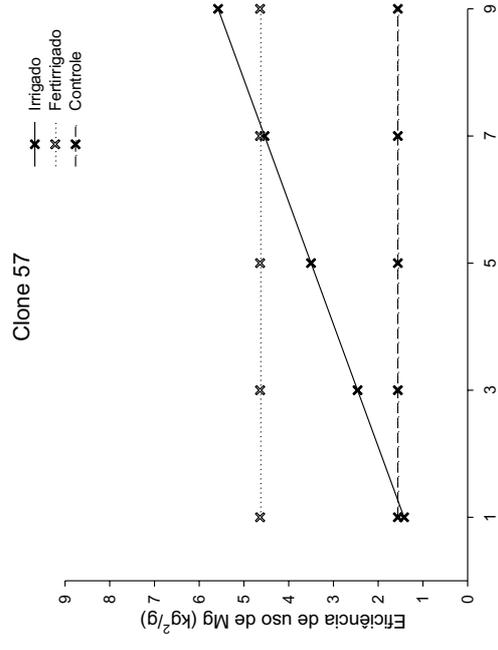
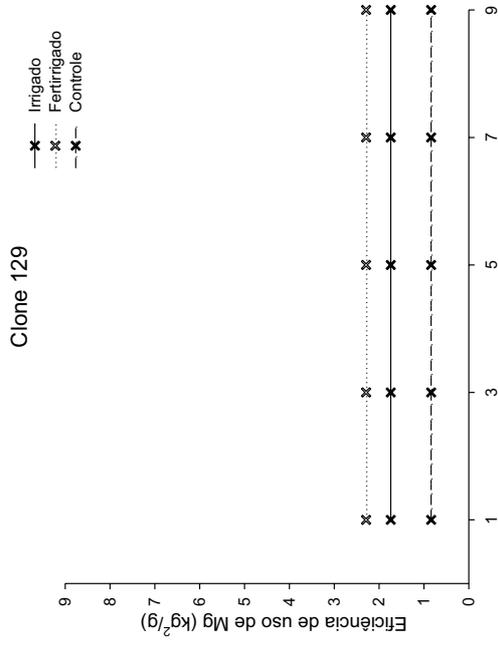


Figura 75 - Eficiência de uso de magnésio para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

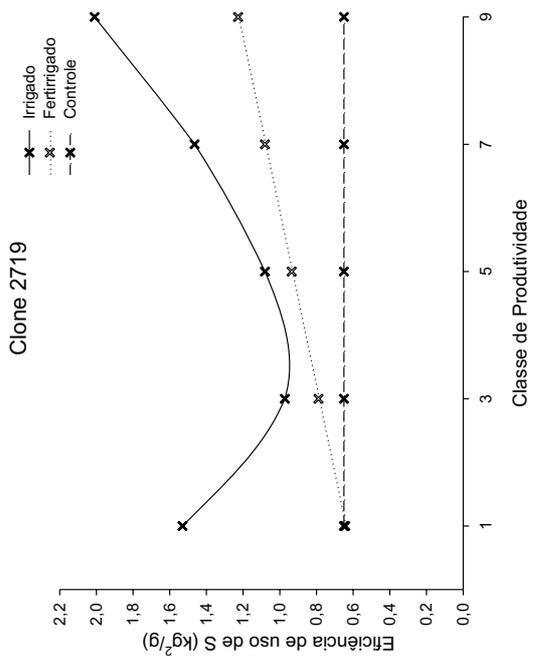
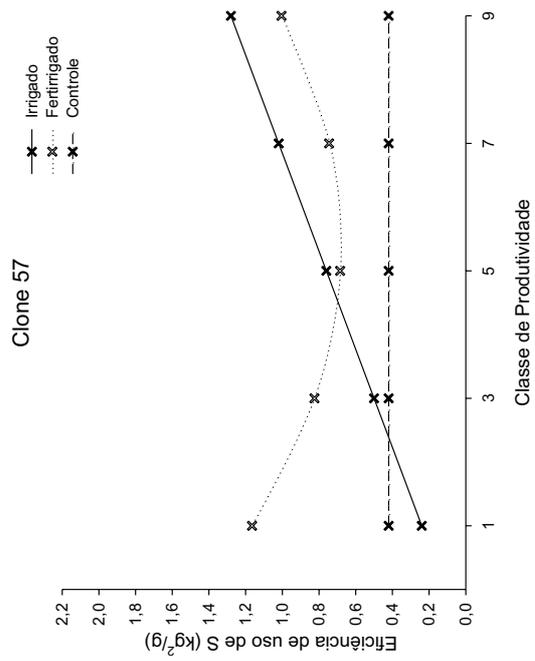
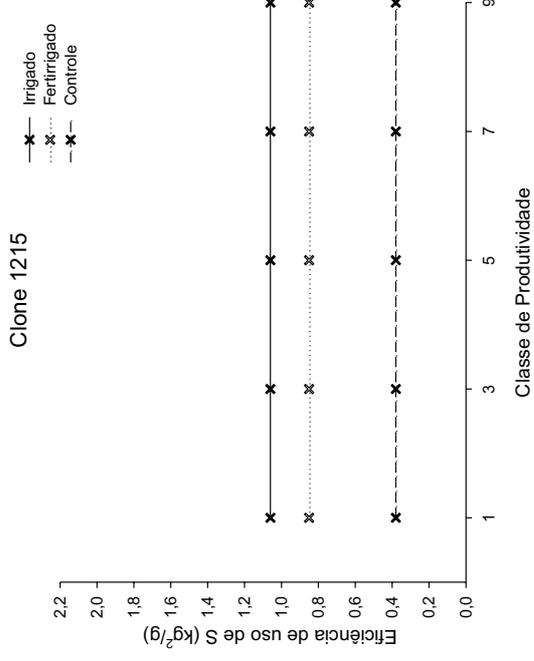
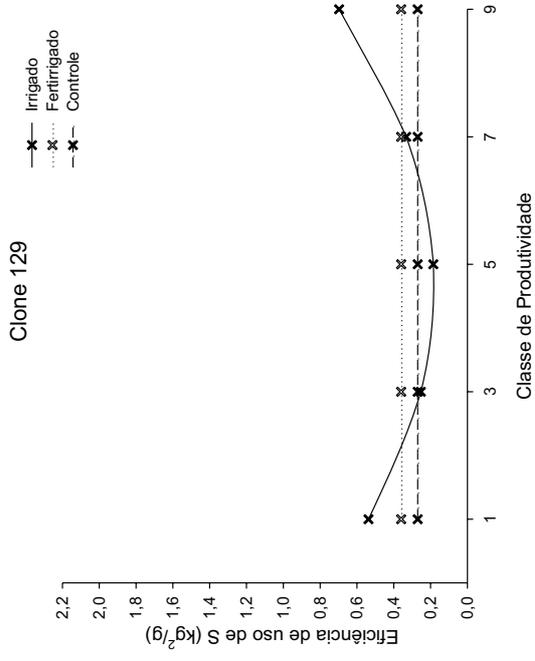


Figura 76 - Eficiência de uso de enxofre para a produção de biomassa de raiz fina de acordo com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

3.3.7.5. *Eficiência no uso de água para a produção de biomassa de tronco.*

A eficiência do uso de água aqui tratada, refere-se ao peso de biomassa de tronco por unidade de lâmina de água aplicada ao solo, seja ela via irrigação ou precipitação.

O tratamento irrigado levou a uma redução nos valores de eficiência no uso de água para a produção de biomassa de tronco em todos os clones estudados (Quadro 28, contraste C₁). O mesmo foi observado para a adição conjunta de água e nutrientes, exceção para o clone 129 que apesar do pequeno aumento no valor da eficiência, este não diferiu estatisticamente ($p < 0,1$) daquele observado no tratamento controle (Quadro 28, contraste C₃). Na comparação entre os valores de eficiência no tratamento irrigado versus o tratamento fertirrigado, este último elevou os valores de eficiência no uso de água para os clones 57, 129 e 2719, não havendo diferença significativa ($p > 0,1$) no clone 1215 (Quadro 28, contraste C₂).

Analisando a eficiência no uso de água em função da classe de produtividade, observa-se que para todos os clones há um aumento, que em média é linear, do valor da eficiência de uso de água para a produção de biomassa de tronco (Figura 77).

Os resultados aqui encontrados estão de acordo com aquele descritos por Stape et al., (2004), que também encontraram aumento na eficiência de uso de água com o aumento da classe de produtividade e que há redução da eficiência no uso de água com o aumento da lâmina aplicada.

Quadro 28 - Eficiência de uso de água para a produção de biomassa de tronco em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes para quatro materiais genéticos de eucalipto.

Material Genético	Tratamento			Contrastes		
	Irigado	Fertirrigado	Controle	C ₁	C ₂	C ₃
	Eficiência no uso da água (kg mm⁻¹)					
57	11,57	18,03	20,20	***	***	⁰
129	10,10	14,67	14,23	***	***	ns
2719	12,27	14,40	16,91	***	⁰	*
1215	14,30	13,23	17,98	**	ns	***
Média	12,10	15,10	17,33	***	***	***

C₁: Irrigado vs Controle; C₂: Irrigado vs Fertirrigado e C₃: Fertirrigado vs Controle. ***, **, *, ⁰ e ns, significativo a 0,1 %, 1 %, 5 %, 10 % e não significativo pelo teste F, respectivamente.

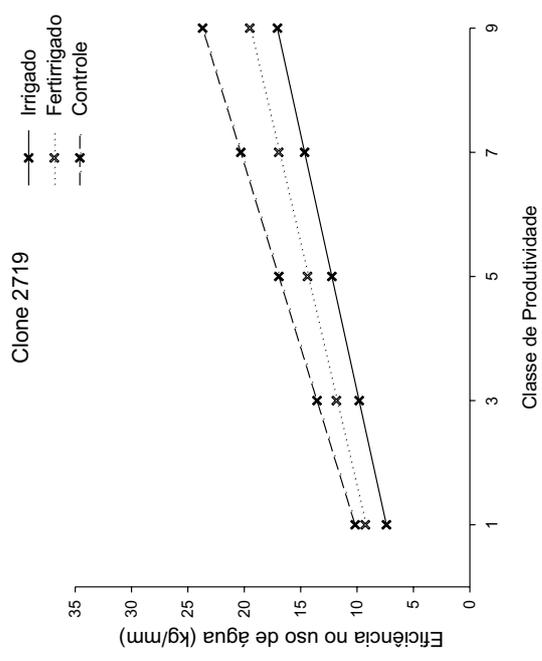
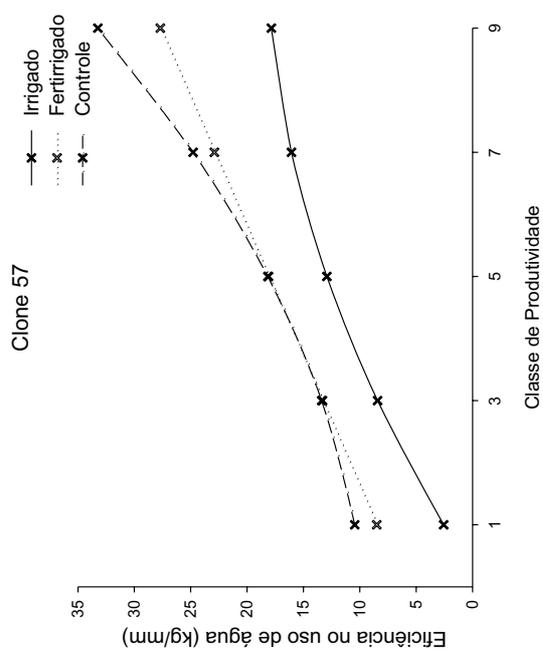
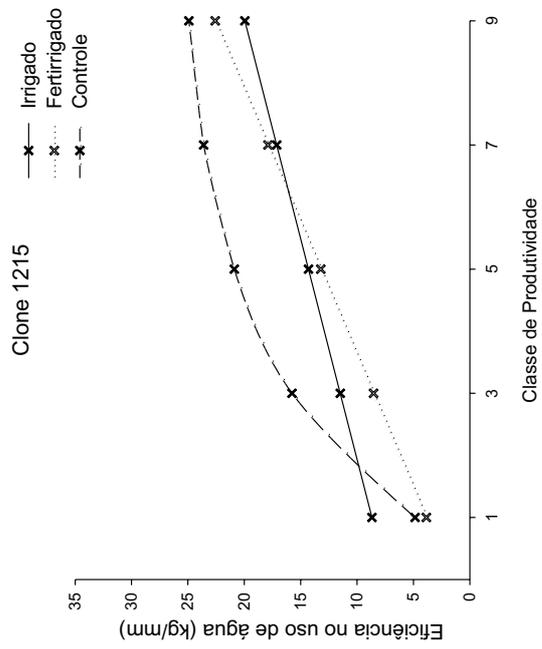
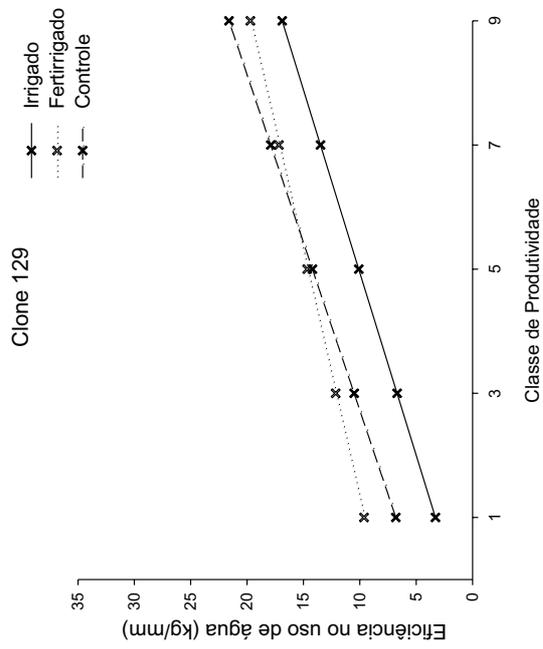


Figura 77 - Eficiência de uso de água para a produção de biomassa de tronco em função da com a classe de produtividade em resposta a aplicação controlada de água e nutrientes em quatro diferentes materiais genéticos clonais de eucalipto.

4. CONCLUSÕES

- A fertirrigação de plantios clonais de eucalipto promoveu maior crescimento em diâmetro, altura total, área basal e volume do tronco, em magnitudes distintas com o material genético.
- O tratamento fertirrigado levou a maior produção de biomassa de parte aérea, tronco, folhas e raízes finas, além de alterar a partição da biomassa nos diferentes componentes da árvore, em magnitudes distintas com o material genético.
- Os tratamentos de irrigação e fertirrigação levaram a uma redução da densidade básica da madeira, em magnitudes distintas com o material genético.
- Os tratamentos de água e nutrientes elevaram a superfície radicular total, mas não afetaram sua distribuição no perfil do solo. Já a densidade de raízes finas foi afetada em magnitudes distintas com o material genético.
- Os tratamentos de água e nutrientes elevaram o conteúdo dos macronutrientes na biomassa das árvores e o aumento do grau de dominância da árvore elevou a partição de nutrientes para a biomassa de tronco, em magnitudes distintas com o material genético.
- As propriedades intensivas das superfícies de aquisição de recursos: Índice de área foliar (IAF), Área radicular específica (ARE) e Índice de área radicular (IAR), tiveram seus valores aumentados em resposta aos tratamentos irrigação e fertirrigação, em magnitudes distintas com o material genético. Já a Área foliar específica (AFE) foi pouco influenciada pelos tratamentos de irrigação e fertirrigação e pelos materiais

genéticos, sofrendo maior influência da classe de produtividade, ou seja, do grau de dominância das árvores.

- Os valores de Área Radicular Específica são superiores, em média , aos de Área Foliar Específica, em magnitudes distintas com o material genético.
- Os tratamentos de irrigação e fertirrigação e o aumento do grau de dominância das árvores elevaram a eficiência de uso de macronutrientes minerais para a produção de biomassa dos diferentes componentes das árvores, em magnitudes distintas com o material genético.
- A aplicação dos tratamentos de irrigação e fertirrigação reduziram a eficiência de uso de água, que, contudo, elevou-se com o aumento do grau de dominância das árvores.
- Ao longo do ciclo, a manutenção de elevadas taxas de crescimento de eucalipto requer adequada suplementação nutricional, mesmo havendo elevada disponibilidade hídrica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF, Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2007. ABRAF, Brasília, 2008.
- ARAÚJO, A.P., Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (EDS.) Tópicos em ciência do solo, Vol. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 163-212.
- BARROS, N.F., Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus alba*, na região de Santa Bárbara, MG. Viçosa: UFV, 1974. 89p. (Dissertação de Mestrado).
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L. & FERNANDES FILHO, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para calculo del balance nutricional y recomendacion de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 16:129-131, 1995.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., ed. Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, 2002. V.2. p. 487-592.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Visão Agrícola, 4:76-79, 2005.

- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F. FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. Análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 31p. (Circular, 87).
- BEHLING, M.; NEVES, J.C.L; BARROS, N.F; SMIT, L., Allometric relationships and intensive properties of leaf and root surface for teak plantations in Mato Grosso State, Brazil. In: International conference on process controlling productivity in tropical plantation. Proceedings. IUFRO/IPEF. Porto Seguro, Brazil. 2008
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BARNARD, H. R.; FOWNES, J., Age-related decline in forest ecosystem growth: An individual tree, stand-structure hypothesis. *Ecosystems*, 5: 58-67. 2002.
- BRAGA, F.A., Uso da análise discriminante na identificação de características ambientais determinantes da capacidade produtiva de povoamento de eucalipto. Viçosa: UFV, 1997. 65p. (Tese de Doutorado).
- BOUILLET, J.-P., LACLAU, J.-P., ARNAUD, M., M'BOU, A.T., SAINT-ANDRE, L., JOURDAN, C., Changes with age in the spatial distribution of roots of Eucalyptus clone in Congo: impact on water and nutrient uptake. *Forest Ecology Management*. 171, 43–57. 2002.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G., Mensuração florestal: perguntas e respostas. 2. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 470p.
- CHEN, J.M.; RICH, P.M.; GOWER, A.T.; NORMAN, J.M.; PLUMMER, S., Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, 102: 429-443, 1997.
- CHESNIN, L. & YIEN, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Sci. Am. Proc.*, 15:149-151, 1950.
- CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B., The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 31: 239-298. 1980.
- DANTAS NETO, J., FIGUEREDO, J.L. da C., FARIAS, C.H. de A. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10: 283-288, 2006.

- DEMOLINARI, R. A., Crescimento de povoamentos de eucalipto não desbastados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 81p. (Tese de MS)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço de Produção de Informação. 1997. 212p.
- FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D., PINTO, J. M. Níveis de nitrogênio por fertirrigação e densidade de plantio na cultura do melão em um Vertissolo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35: 491-495, 2000.
- FERNANDES FILHO, E. I. QuantRoot – Um software para a quantificação de sistemas radiculares. v. 1.0.0.22. 2001.
- FERNANDES, C.; ARAUJO, J. A. C.; CORA, J. E.. Impact of four substrates and fertigation parceling on tomato yield in greenhouse conditions. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 4, 2002 .
- FOELKEL, C., Qualidade da madeira de eucalipto para o atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: IUFRO Conference on Silviculture an Improvement of Eucalypts, 1997, Proceeding, Vol. 3. Colombo: EMBRAPA/CNPF, p. 15-22
- GOMES, N.M.; LIMA, L.A.; CUSTÓDIO, A.A.P., Crescimento vegetativo e produtivo do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11: 564-570, 2007.
- GONÇALVES, J. L. M., Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. Piracicaba, ESALQ, 1984. 84p. (Tese de Doutorado)
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S.L.M., O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V., Ed. Nutrição e Fertilização Florestal. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 219-268.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; SMETHRUST, P.; GAVA, J.L.; Silvicultural effect on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. Forest Ecology Management, 193: 45-61. 2004.

- GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B., LANCHLI, A. *Advances in plants nutrition*. New York: Praeger, p. 57 -102. 1984
- GROVE, T.S.; THOMSON, B.D.; MALAJECZUK, N., Nuttition physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL, PM.; ADAMS, M.A. (Eds), *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO, Australia, pp. 303 – 325. 1996.
- HUNTER, I., Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. *Forest Ecology Management*, 144: 189-199, 2001.
- JANZEN, H.H., CAMPBELL, C.A., GREGORICH, E.G., ELLERT, B.H., Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: Lal, R.R., Kimble, J.M., Follet, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle*. *Advances in Soil Science*. CRC Press, New York, pp. 57–80. 1997.
- KÄTTERER, T., FABIÃO, A., MADEIRA, M., RIBEIRO, C., STEEN, E., Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation unde different irrigation and fertilization regimes. *Forest Ecology Management*, 74: 1-12, 1995.
- LADEIRA, B. C., Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp*, sob três espçamentos, em uma seqüência de idades. Viçosa, UFV, 1999, 148p.(Dissertação de Mestrado)
- LANDSBERG, J.J., Physiology in forest models: History and the future. *FBMIS*, 1: 49-63, 2003.
- LANDSBERG, J.J. & GOWER, S.T., Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego, CA, 1997. 354p.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H., A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation use-efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology Management*, 95, 209-228. 1997.

- MADEIRA, M.V.; FABIÃO, A.; PEREIRA, J.S.; ARAÚJO; RIBEIRO, C., Changes in carbon stocks in *E. globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology Management.*, 171: 75-85, 2002.
- MACIEL, J. L.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D. Resposta da goiabeira à lâmina de água e à adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.*, 11: 571-577, 2007.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. San Diego: Academic Press, 889p. 1995.
- MARION, G. M. Biomass and nutrient removal in long-rotation stands. In: Impact of intensive harvesting of forest nutrient cycling, 1979, Syracuse. Proceeding Syracuse: Suny, 1979. p. 98-110.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. *Scientia Forestalis*, 54: 16-26, 1998.
- MENEZES, A.A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 98p. (Tese de Doutorado).
- MOLICA, S.G., Produção de biomassa e eficiência nutricional de espécie de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, 1992. 84 p. (Tese de Doutorado)
- MORAIS, E.J., Crescimento e eficiência nutricional de duas espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, 1988. 56 p. (Dissertação de Mestrado)
- MYERS, B.J.; THEIVEYANATHAN, S.; O'BRIEN, N.D. & BOND, W.J. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations irrigated with effluent. *Tree Physiology*, 16:211-219, 1996.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)

- NEVES, J.C.L.; BEHLING, M.; BARROS, N.F.; TEIXEIRA, J.L.; KISHIMOTO, C.B., Relatório técnico da visita a Tectona Agroflorestal LTDA em Tangará da Serra-MT (Abril/2006), Viçosa. 107p.
- O'GRADY, A. P.; WORLEDGE, D.; BATTAGLIA, M., Above and below-ground relationships, with particular reference to fine roots, in a young *Eucalyptus globulus* (Labill.) stand in southern Tasmania. *Trees*, 20: 531-538. 2006.
- OLBRICH, B.W.; DYE, P.J.; CHRISTIE, S.I. & POULTER, A.G. The water use characteristic of four eucalyptus clones in the Mkuzi irrigation trail. CSIR WNNR Division of Forest Science and Technology: 1-40, 1992.
- OLIVEIRA, A.A.K. & LEITE, A. DA S. Projeto Leste: Folha Ipatinga – SE.24-Z-D-II, escala 1:100.000. v.20. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM, 2000. 58p.
- PAULA, R. C. Variabilidade genética para crescimento e eficiência nutricional em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Viçosa, UFV, 1995. 102p. (Tese de MS)
- PEREIRA, J.S. & PALLARDY, S. Water stress limitations to tree productivity. In: PEREIRA, J.S. & LANDSBERG J.J. Editores. Biomass production by fast-growing trees. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. 37-56, 1989.
- PIERCE, L. L.; RUNNING, S.W.; WALKER, J., Regional-scale relationships of leaf area index to specific leaf area and leaf nitrogen content. *Ecological Applications*, 4: 313-321, 1994.
- REED, D.; TOMÉ, M., Total aboveground biomass and net dry matter accumulation by plant component in young *Eucalyptus globulus* in response to irrigation. *Forest Ecology Management*, 103: 21-32, 1998.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, A. M.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C.H.R., Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Revista Árvore*, Viçosa, 30: 921-931, 2006.

- REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C. DE; BARROS, N. F. DE. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. *Revista Árvore*, 9: 149-162, 1985.
- SANDS, R.; MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. *Forest Ecology Management*, 30: 91-111, 1990.
- SANTANA, R.C., Crescimento e eficiência nutricional de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios de Estado de São Paulo. Viçosa, MG: UFV, 1996. 121 p.
- SANTANA, R. C., BARROS, N. F., COMMERFORD, N. B., Aboveground biomass, nutrient content and nutrient use efficiency of Eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. *New Zealand Journal of Forest Science*. 30: 235-247, 2000.
- SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. da S.; QUADROS, M., Initial growth of two high-density coffee tree cultivars influenced by drip irrigation levels. *Engenharia Agrícola*, 24, 2004 .
- SIDDIQUI, M.Y., GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of plant nutrition*, v. 4, n.3, p. 289-302, 1981
- SILVA, G. G. C. Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 102p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, M. L. O. , FARIA, M. A. , MORAIS, A. R. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11: 482-488,2007.
- SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. *Forest Ecology Management*, 176: 531-542, 2003.
- SOUZA, M.E. Correlação adulto-juvenil para eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade de solo. Viçosa, MG: UFV, 1994. 49 p. 1994 (Dissertação de Mestrado)

- SPECHT, R. L.; A. SPECHT. Canopy structure in Eucalyptus-dominated communities in Australia along climatic gradients. *Oecological. Plant.*, 10: 191-21, 1989.
- SPURR, S.H.; BARNES, B.V. *Forest ecology*. 3. Ed. New York: John Wiley, 1980. 687p.
- STATSOFT, INC. STATISTICA (data analysis software system), version 7. 2004. www.statsoft.com.
- STAPE, J.L. Production ecology of clonal eucalyptus plantations in northesastern Brazil. Fort Collins, Colorado, Colorado State University, 2002, 225p. (Tese de Ph.D.)
- STAPE, J.L., Modelos ecofisiológicos têm aplicação ampliada. *Visão Agrícola*, USP ESALQ, 4: 108-109, 2005.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G., Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil, *Forest Ecology Management*, 193: 17-31. 2004
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G., Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations, *Forest Ecology Management*, 255: 920-930. 2008.
- STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P. & FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Enviromental. Pollution*, 63:155-177, 1990.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E., *Plant physiology*. Second edition. Massachusetts: Publishers Sunderland, Sinauer Associates, Inc. 792p. 1998.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E.F., Avaliação do crescimento e produção de clones de eucalipto submetidos a diferentes manejos de irrigação. *Cerne*, 13: 1-9, 2007.
- TEIXEIRA, J.L., Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce, MG. Viçosa, MG: UFV, 1987. 70 p. (Dissertação de Mestrado)
- TOMAZELLO FILHO, M., Efeito da irrigação e fertirrigação nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. Piracicaba, ESALQ, 2006. 146p. (Tese de Doutorado).

- TURNER, J., LAMBERT, M., Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Ecology Management*. 133, 231–247. 2000.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L., Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology Management*, 193: 113-140, 2004.
- VILAS BOAS, R.C., CARVALHO, J.A., GOMES, L.A.A. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 11: 393-397, 2007.
- XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C., Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. *Revista Árvore*, 26: 421-427, 2002.
- XIAO, C.W.; CEULEMANS, R., Allometric relationships for below- and aboveground biomass of Young Scots pines. *Forest Ecology Management*, 203: 177-186, 2004.