

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
Departamento de Engenharia Florestal

PROJECTO FINAL

**Eficiência Energética e Emissões de Gases de Efeito Estufa na
Cadeia de Produção, Transporte e Uso de Carvão Vegetal no Posto
Administrativo de Mahele**

Autora: Eunice Catarina Frederico Siteo

Supervisor: Prof. Doutor Andrade Fernando Egas

Maputo, Julho de 2013

RESUMO

A biomassa é uma das principais fontes para a geração de energia nos países em vias de desenvolvimento (ANEEL, 2009). Em Moçambique, estima-se que cerca de 80% da população (urbana e rural) recorre à energia proveniente de biomassa lenhosa como a principal fonte de energia (Afonso, 2012).

O presente trabalho teve como objectivo avaliar a eficiência energética e o perfil de emissão dos GEE na cadeia de produção, transporte e uso de carvão vegetal, a partir da floresta nativa do Posto Administrativo de Mahele, distrito de Magude, província de Maputo e de uma plantação de 7 anos de *Eucalyptus grandis* na floresta de Inhamacari, província de Manica. O levantamento de dados foi feito através de inquéritos aos motosserristas, construtores do forno e aos transportadores de carvão vegetal.

Os resultados indicam que as espécies usadas para a produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele são *Acacia nilotica*, *Colophospermum mopane* e *Combretum imberbe*, esta última não consta na lista de espécies autorizadas pela Legislação Florestal para o uso energético.

A produção de carvão vegetal a partir da floresta nativa é um processo eficiente (43.97), os resultados indicaram que para produzir 1kg de carvão vegetal a partir da floresta nativa a energia consumida é menor que a produzida.

Quando bem manejada, a biomassa florestal possui características que permitem a sua utilização como fonte alternativa de energia, portanto, fez-se também a análise da energia necessária para o estabelecimento de plantações de *Eucalyptus grandis* para produção de carvão vegetal. De acordo com os resultados o processo é eficiente (42.69), com um maior consumo de energia em relação a floresta nativa, mas revela ser uma forma mais viável de se produzir carvão vegetal e contribuir para a sustentabilidade da floresta nativa.

No que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele a actividade de transporte é a que mais emite GEE com cerca de 65.17% do total emitido, devido ao uso de diesel. O CO₂ foi o GEE emitido em maiores quantidades com cerca de 92.74%, a emissão do CH₄ foi de 4.76% e de NO₂ de 2.5%.

Palavras-chave: carvão vegetal, eficiência energética, gases de efeito estufa

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Inês Ananias Zandamela e Frederico Alberto Siteo, pelo apoio e suporte durante o curso.

Agradecimentos

Foram muitos que directa ou indirectamente o contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiro agradeço a Deus por me ter dado forças nesta longa caminhada.

Ao meu Supervisor, Prof. Dr. Andrade Fernando Egas, por ter aceitado supervisionar este trabalho e pelo acompanhamento que caracterizaram o período de sua elaboração.

Agradeço a Eng.^a Argentina Cossa dos Serviços Provinciais de Florestas e Fauna Bravia da Direcção Provincial de Agricultura de Maputo, aos senhores João, Fernando, Albino, Jonas, António, Mario, Felipe, Elído, Rossia, Gonçalves, Laurentina, Carolina, Virgínia, Amélia, Saíde, Inês, Cecília, Marcelo, Elídio, Anabela e Guidion de Magude, por me terem fornecido informações para a análise realizada.

Agradeço aos meus pais Frederico Alberto Siteo e Inês Ananias Zandamela, aos meus tios Horácio, Julieta, Almeida, Alcino, aos meus irmãos Sílvio e Cármen, aos meus primos Maida, Nilza, Arsénio, Ercília e Albertina, e a toda família pelo apoio moral e material que sempre me souberam prestar.

Ao meu noivo Ivan Abdul Dulá Remane, pelo apoio e suporte.

Aos meus colegas e amigos, Nélia, Floriana, Amélia, Frances, Percina, Mirian, Amanze, Vino, Magaia, Samuel, Ornélio, Zunguze, Bento, Jone e Michael e a todos os funcionários e colaboradores da Faculdade, que de certa forma também foram importantes para a minha formação.

A todos o meu muito obrigado!

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| RESUMO | i |
| Dedicatória..... | iii |
| Agradecimentos..... | iv |
| LISTA DE TABELAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS..... | viii |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | ix |
| UNIDADES..... | x |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Importância | 2 |
| 1.2. Problema | 2 |
| 1.3. Objectivos | 3 |
| | |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 2.1. Energia..... | 4 |
| 2.1.1. Classificação das fontes de energia..... | 4 |
| 2.1.2. Tipos de energia..... | 5 |
| 2.2. Eficiência energética..... | 6 |
| 2.3. Carvão vegetal: Aspectos gerais | 7 |
| 2.3.1. Processo de produção de carvão vegetal..... | 7 |
| 2.3.2. Tecnologias de produção do carvão vegetal | 10 |
| 2.4. O Efeito Estufa..... | 13 |
| 2.5. Ciclo de vida dos produtos..... | 14 |
| | |
| 3. METODOLOGIA | 16 |
| 3.1. Área de estudo..... | 16 |
| 3.2. Levantamento de dados..... | 19 |
| 3.3. Processamento dos dados..... | 19 |
| 3.3.1. Estimativa da eficiência energética no processo de produção de carvão vegetal | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.1. Contabilização da emissão dos GEE no ciclo de vida do carvão vegetal | 29 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 4.1. Espécies usadas para produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele ... | 31 |
| 4.2. Processo de produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele | 33 |
| 4.2.1. Produção da lenha | 34 |
| 4.2.2. Produção de carvão vegetal | 34 |
| 4.2.3. Transporte de carvão vegetal | 35 |
| 4.3. Eficiência energética na produção do carvão vegetal | 36 |
| 4.3.1. Carvão vegetal produzido pela floresta nativa | 36 |
| 4.3.2. Carvão vegetal produzido pela floresta plantada | 39 |
| 4.4. Emissão dos GEE no processo de produção de carvão vegetal | 46 |
| 5. CONCLUSÃO | 49 |
| 6. RECOMENDACÕES | 50 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 51 |
| ANEXOS | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Impactos Ambientais da Produção de Carvão Vegetal..... | 9 |
| Tabela 2. Selecção da amostra..... | 19 |
| Tabela 3. Tipos de energia para cada actividade..... | 21 |
| Tabela 4. Tipos de energia para actividades da plantação..... | 27 |
| Tabela 5. Potencial de aquecimento global de CO ₂ , CH ₄ e NO ₂ | 30 |
| Tabela 6. Transporte de carvão vegetal..... | 35 |
| Tabela 7. Consumo de energia directa na produção de carvão vegetal..... | 36 |
| Tabela 8. Consumo de energia indirecta na produção de carvão vegetal..... | 37 |
| Tabela 9. Eficiência energética do carvão vegetal produzido a partir da floresta nativa..... | 39 |
| Tabela 10. Consumo de energia directa no estabelecimento de uma plantação de <i>E. grandis</i> | 40 |
| Tabela 11. Energia indirecta no estabelecimento de uma Plantação de <i>E. grandis</i> | 42 |
| Tabela 12. Eficiência energética da produção do carvão a partir da plantação de <i>E. grandis</i> | 43 |
| Tabela 13. Eficiência energética da produção de madeira de plantação de <i>E. grandis</i> para lenha..... | 44 |
| Tabela 14. Consumo médio de energia e emissões de GEE em Gg no processo de produção de carvão vegetal em floresta nativa..... | 46 |
| Tabela 15. Tabela de estudo de tempo para as diferentes etapas do ciclo de produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele..... | 1 |
| Tabela 16. Dados colhidos para floresta nativa..... | 6 |
| Tabela 17. Espécies produtoras de Madeira de 4 ^a classe..... | 8 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Cadeia de Produção de Carvão de Maputo | 8 |
| Figura 2: Contribuição global dos gases do efeito estufa em 2004 | 14 |
| Figura 3: Ciclo de vida dos equipamentos | 15 |
| Figura 4: Localização da área de estudo | 16 |
| Figura 5: Uso e cobertura de Terra do Posto Administrativo de Mahele | 18 |
| Figura 6. <i>Acacia nilotica</i> | 31 |
| Figura 7. <i>Colophospermum mopane</i> | 32 |
| Figura 8. <i>Combretum imberbe</i> | 32 |
| Figura 9. Contribuição percentual da energia directa da floresta nativa..... | 37 |
| Figura 10. Contribuição percentual da energia indirecta da floresta nativa | 38 |
| Figura 11. Contribuição percentual da energia directa no estabelecimento de uma Plantação de <i>E. grandis</i> | 41 |
| Figura 12. Contribuição da energia indirecta no estabelecimento de uma plantação de <i>E. grandis</i> | 43 |
| Figura 13. Contribuição dos GEE nas etapas de produção de carvão vegetal a partir de floresta nativa..... | 47 |
| Figura 14. Contribuição dos GEE na produção de carvão vegetal a partir de floresta nativa | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS

% – Percentagem

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

CO_{2e} – dióxido de carbono equivalente

DNTF – Direcção Nacional de Terras e Florestas

DPA – Direcção Provincial De Agricultura

FAO – Fundo das Nações Unidas para Alimentação

GEE – Gás de Efeito Estufa

Gg – Gigagramas

GWP– Global Warming Potential

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

K – Potássio

MAE – Ministério de Administração Estatal

MICOA – Ministério Para a Coordenação da Acção Ambiental

MINE – Ministério de Energia

N – Nitrogénio

N₂O – Óxido nitroso

NO_x – Óxidos de Nitrogénio

P – Fósforo

UNIDADES

cm – centímetro

cm³ – centímetro cúbico

g – grama

Gg – gigagrama

h – hora

kcal – quilocaloria

kg – quilograma

km – quilómetro

l – litro

MJ – mega Joule

1. INTRODUÇÃO

O uso dos mais variados tipos de energia é essencial para a satisfação das necessidades das populações do ponto de vista económico e social. Contudo, as exigências cada vez maiores do seu consumo têm consequências nefastas para o ambiente, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal causa das emissões dos GEE dos quais o dióxido de carbono (CO₂) é o gás de principal importância (Ribeiro e Mattos, 2000). O aumento do uso de combustíveis fósseis poderá causar enormes danos ao meio ambiente, riscos às mudanças climáticas, e esgotar rapidamente as reservas de petróleo, havendo, por isso, necessidade de se enfatizar uma maior eficiência energética e ganhar-se confiança nas energias renováveis de modo a mitigar os problemas relativos aos actuais padrões de uso de energia (Garcia, 2003)

A biomassa é uma das principais fontes para a geração de energia nos países em vias de desenvolvimento. Ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2009).

Moçambique é coberto por cerca de 54,8 milhões de hectares de florestas e outras formações lenhosas (70% do país), dos quais 40.1 milhões de hectares (51%) são áreas cobertas por florestas e 14.7 milhões (19%) por outras formações lenhosas incluindo arbustos, matagais e florestas com agricultura itinerante (Marzoli, 2007). A população em Moçambique tem como principal fonte de energia os combustíveis lenhosos provenientes de florestas naturais para a satisfação das suas necessidades energéticas (Mourana & Serra, 2010). Apesar de o país produzir electricidade e gás natural, estas fontes de energia não são acessíveis a todos os lugares do país (MINE, 2010). A lenha e o carvão vegetal são a principal fonte de energia para a maior parte da população moçambicana, com maior incidência na população rural. Estes combustíveis são principalmente para uso doméstico mas são também consumidos por indústrias panificadoras, de chá e de tabaco (ENE, 2000).

O consumo anual total de combustíveis lenhosos no país, em 2007, foi estimado em 17 milhões de m³ (Siteo, *et al.*, 2007). Só na cidade de Maputo, o sector doméstico consome diariamente cerca de 825 toneladas de lenha e 287 toneladas de carvão vegetal (Mabote, 2011). Parte deste

carvão é proveniente de Magude, distrito com a maior produção de carvão vegetal na Província de Maputo (Mabote, 2011). Porém os processos de produção de carvão desde o abate da árvore na floresta à venda e utilização do produto final não são isentos de emissões atmosféricas nocivas ao ambiente (Mourana & Serra, 2010).

1.1. Importância

A exploração do carvão vegetal, assume um papel importante no desenvolvimento rural e da economia rural em Moçambique. Portanto, existe uma preocupação generalizada sobre a forma mais adequada de encontrar-se mecanismos que possibilitem aos camponeses aumentar o seu rendimento através da exploração sustentável dos recursos naturais.

Com o presente trabalho pretende-se providenciar informação sobre a eficiência energética e do perfil de emissão dos GEE ao longo da cadeia de produção e uso de carvão vegetal como forma de reduzir os gastos de energia e a estabilização de GEE.

1.2. Problema

Estima-se que cerca de 80% da população moçambicana (urbana e rural) recorre à energia proveniente de biomassa lenhosa para atender as necessidades energéticas. A produção de carvão vegetal é uma actividade importante para a geração de renda de várias famílias de Moçambique. Grande parte do carvão vegetal produzido para a comercialização deriva de florestas naturais, e o seu processo de produção é caracterizado pela ausência de técnicas de manejo sustentável das florestas. Esta situação ameaça a perpetuação destes recursos a médio e longo prazo em Moçambique (Afonso, 2012).

O carvão vegetal é um combustível ambientalmente limpo e leva grande vantagem em relação aos combustíveis de origem fóssil, por ser proveniente de uma fonte renovável. Entretanto, factores como pobreza, crescimento populacional, energia, preço do carvão e falta de recursos humanos de fiscalização, contribuem significativamente para a aceleração da exploração de recursos florestais para a produção de carvão vegetal (Mourana & Serra, 2010). Daí a

necessidade de definir estratégias com vista a mitigação deste facto, incluindo a produção de carvão vegetal a partir de plantações energéticas com espécies de rápido crescimento com reduzido impacto ambiental e para a conservação e protecção das florestas naturais (DNTF, 2009).

1.3. Objectivos

Geral:

❖ Avaliar a eficiência energética e o perfil de emissão dos GEE na cadeia de produção, transporte e uso de carvão vegetal, a partir da floresta nativa do Posto Administrativo de Mahele, distrito de Magude, província de Maputo e de uma plantação de 7 anos de *Eucalyptus grandis* na floresta de Inhamacari, província de Manica.

Específicos

- ❖ Estimar o consumo de energia na cadeia de produção, transporte e uso de carvão vegetal a partir da floresta nativa do Posto Administrativo de Mahele, distrito de Magude;
- ❖ Determinar a eficiência energética do processo de produção de carvão vegetal;
- ❖ Identificar as principais fontes emissoras de GEE na cadeia de produção do carvão vegetal;
- ❖ Contabilizar a emissão dos GEE na cadeia de produção do carvão vegetal;
- ❖ Estimar a eficiência energética e a emissão de GEE na produção de matéria-prima (madeira de *Eucalyptus grandis* da plantação de Inhamacari) para a produção de carvão vegetal;
- ❖ Analisar a viabilidade de produção de carvão vegetal a partir de plantações florestais do ponto de vista de eficiência energética.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia

De acordo com AGENAL (2007), energia é uma propriedade de todo o corpo ou sistema, graças à qual a sua situação ou estado podem ser alterados, ou, podem actuar sobre outros corpos ou sistemas desencadeando processos de transformação.

As emissões dos GEE são dominadas pela produção de energia; outras fontes incluem mudanças no uso de terra, florestas e agricultura (CSS, 2011). A energia produzida pode ser obtida a partir de várias fontes e classificam-se em categorias diferentes:

2.1.1. Classificação das fontes de energia

Fontes Primárias e Secundárias de Energia

Energia primária refere-se a uma fonte ou energia extraída de uma reserva de recursos naturais ou capturados a partir de um fluxo de recursos e que não tenha sofrido qualquer transformação ou conversão que não seja a separação e limpeza como por exemplo o carvão, petróleo, gás natural, a energia solar, a energia nuclear. A energia secundária refere-se a qualquer energia que é obtida a partir de uma fonte primária de energia utilizando um processo de transformação ou de conversão. Deste modo, derivados de petróleo ou electricidade são energias secundárias como estes exigem geradores de refino ou eléctrico para produzi-los (IEA, 2004).

Fontes não Renováveis e Renováveis de Energia

Uma fonte não-renovável de energia é aquela em que a energia primária provém de uma reserva finita de recursos como, por exemplo, os combustíveis fósseis que provêm de uma reserva física finita que foi formada sob a crosta da Terra no passado geológico e, portanto, estes são energias não-renováveis. Mas se toda a energia primária for obtida a partir de um fluxo constante de energia disponível, a energia é conhecida como energia renovável como a energia solar, eólica e lenha, que provêm de reservas que podem ser reabastecidas. No caso da lenha será renovável se a extracção for menor do que o crescimento natural da floresta. Se, no entanto, a extracção for

acima do crescimento natural da floresta, a reserva esgota-se e o recurso transforma-se em não-renovável (IEA, 2004).

Energia Comercial e não comercial

Energias comerciais são aquelas que são negociadas, por exemplo o carvão, petróleo, gás e electricidade. Por outro lado, energias não comerciais são aquelas que não passam através do mercado e, por conseguinte, não têm um valor de mercado. Exemplos comuns incluem energias recolhidas por pessoas para seu próprio uso (IEA, 2004).

2.1.2. Tipos de energia

Energia solar - renovável e primária, é obtida pelo aproveitamento das radiações solares. A sua abundância e condição de recurso renovável e não contaminante são as grandes vantagens que esta fonte reúne (IEA, 2004).

Energia eólica - renovável e primária, resultante do deslocamento das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta, pode ser transformada em energia mecânica ou eléctrica. Para produção de energia eléctrica em grande escala deve-se garantir que existem ventos com velocidade igual ou superior a 6 m/seg (ANEEL, 2009).

Energia hidráulica - renovável e primária, é obtida a partir dos cursos de água e é usada na produção de energia eléctrica (ADENE, 2008).

Energia geotérmica - renovável e primária, provém do aproveitamento do calor do interior da Terra, permitindo gerar electricidade e calor (ADENE, 2008). As principais fontes para este tipo de energia são os vapores do interior da Terra que apresentam erupções periódicas, ou em localidades onde eles não estão presentes, o calor existente no interior das rochas para o aquecimento da água (ANEEL, 2009).

Energia das ondas e das marés - renovável e primária, consiste no movimento ondulatório das massas de água, por efeito do vento. Pode aproveitar-se para produção de energia eléctrica (ADENE, 2008).

Energia nuclear - não-renovável e primária, é a energia que se liga aos prótons e neutrões juntos ao núcleo de um átomo através de processos de fissão ou fusão (Electricity, 2010).

Energia de biogás – renovável e primária, é obtida da biomassa contida em dejectos (urbanos, industriais e agro-pecuários) e em esgotos. Essa biomassa passa naturalmente do estado sólido para gasoso por meio da acção de microorganismos que decompõem a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico. A utilização deste tipo de energia permite o direccionamento e utilização dos gases produzidos pela biomassa e a redução do volume dos dejectos em estado sólido. (ANEEL, 2009)

Energia da biomassa - renovável e primária; trata-se do aproveitamento energético da floresta e dos seus resíduos, bem como dos resíduos da agro-pecuária, da indústria alimentar ou dos resultantes do tratamento de efluentes domésticos e industriais. A partir dela pode-se produzir biogás e biodiesel (ADENE, 2008).

Energia fóssil - não renovável e secundária, é formada a partir do acúmulo de materiais orgânicos no subsolo, são exemplo deste tipo de energia derivados do petróleo e do carvão mineral (Marques, 2007).

2.2. Eficiência energética

A eficiência energética pode ser definida como a optimização que se pode fazer no consumo de energia, mantendo os mesmos serviços energéticos sem diminuir a produção (ADENE, 2008). Quando a energia é convertida para o uso final, uma parte do conteúdo da energia é perdida devido à fricção, perda de calor ou outros factores. Esta energia é normalmente perdida para a atmosfera na forma de calor (NU, 1987).

A análise do fluxo de energia do processo de produção de carvão vegetal é importante para estimar a energia utilizada no sistema, identificar os pontos de desperdícios energéticos e os componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência, além de melhorar a visibilidade sobre o balanço energético desse recurso, edificando um novo suporte científico à produção de energia de forma sustentável (Santos & Santos, 2008).

As vantagens e os benefícios da eficiência energética estão relacionados com a maior disponibilidade de energia evitando o desperdício e a protecção do meio ambiente através da redução dos impactos ambientais, redução da queima de combustíveis fósseis, da emissão de GEE, desmatamentos, aumento do nível dos oceanos, entre outros (Busse, 2010).

2.3. Carvão vegetal: Aspectos gerais

Carvão vegetal é um material sólido, negro com brilho metálico, poroso, quebradiço, de fractura concoidal, obtido através da carbonização da madeira (Manjate, 2000). Em Moçambique, o carvão e a lenha, constituem as principais fontes energéticas sendo usadas por cerca de 80% da população. Este combustível é na sua maior parte para uso doméstico, por isso, deve ser facilmente inflamável e deve emitir o mínimo de fumaça.

2.3.1. Processo de produção de carvão vegetal

A partir da figura 1, é possível ver quem são os intervenientes na cadeia de produção de carvão e como ela funciona. As pessoas directamente envolvidas incluem os produtores, transportadores, comerciantes e consumidores.



Figura 1: Cadeia de Produção de Carvão de Maputo

Os produtores são um grupo normalmente responsável pela produção do carvão, maior parte são membros das comunidades locais das áreas de produção de carvão e vivem em áreas próximas à matéria-prima pois existe pouca madeira nas regiões mais próximas às cidades (Kambewa *et al.*, 2007). A lenha usada é extraída geralmente da florestal nativa. Através de cortes selectivos, os produtores realizam a queima da lenha convertendo-a em carvão vegetal. Os transportadores são um grupo que funciona normalmente como intermediários e as vezes também como vendedores a grosso que compram o carvão vegetal dos produtores, eles fazem o carregamento do local de produção até aos principais mercados (Atanassov *et al.* 2012). Os vendedores a grosso revendem o carvão vegetal, geralmente em sacos, aos vendedores a retalho ou ao consumidor final. Os vendedores a retalho compram o carvão vegetal dos transportadores ou dos vendedores a grosso e o revendem aos consumidores em quantidades menores como pequenos montes ou latas (Kambewa *et al.*, 2007).

Impactos Ambientais da Produção de Carvão

Até recentemente, poucos estudos tinham sido realizados para avaliar os impactos ambientais associados à produção de carvão vegetal. Na tabela 1 pode-se observar aspectos de sustentabilidade para cada fase na cadeia de produção do carvão vegetal.

Tabela 1. Impactos Ambientais da Produção de Carvão Vegetal

| Fase | Aspectos de sustentabilidade | Problemas |
|--------------------|-------------------------------------|--|
| Exploração | Balanço de GEE | A exploração insustentável conduz ao aumento das emissões de GEE. |
| | Biodiversidade | A sobre-exploração de espécies produtoras de carvão vegetal e recursos florestais especialmente nos centros urbanos. |
| | Ambiente | Desflorestamento: em áreas de baixa pluviosidade, a sobre-exploração pode acelerar a desertificação |
| Produção de Carvão | Balanço de GEE | Baixa eficiência de conversão: aumentado o impacto no ambiente. |
| | Ambiente | Emissão de fumo: poluição do ar local e baixa eficiência de conversão. |
| Transporte | Balanço de GEE | Aumento da distância de transporte, conduzindo a um aumento de uso de energia e das emissões de GEE. |
| | Ambiente | Aumento da distância de transporte, conduzindo a um aumento de uso de energia e dos GEE. |
| Uso final | Balanço de GEE | Baixa eficiência do fogão, conduzindo a uma maior demanda do carvão e consequente maior emissão de GEE. |

Fonte: NLA, 2010

A análise da informação da tabela acima mostra que de forma geral os problemas relativos a produção de carvão vegetal são resultado de uma fraca fiscalização, baixa eficiência de conversão dos fornos, aumento da distância de transporte (devido ao aumento da distância da matéria-prima) e a fraca adoção de fogões melhorados. Segundo NLA (2010), estes problemas

podem ser reduzidos incentivando os produtores a investir em formas sustentáveis de produção, garantindo que eles possam operar de forma competitiva em relação aos outros produtores.

2.3.2. Tecnologias de produção do carvão vegetal

Na produção de carvão vegetal, aplica-se calor sobre a madeira em quantidade suficientemente controlada para que ocorra a sua degradação parcial. As tecnologias de produção de carvão vegetal podem agrupar-se em tecnologias artesanais, semi-industriais e industriais.

2.3.2.1. Tecnologia artesanal

As tecnologias artesanais são na sua maioria instalações de baixo custo e com baixos rendimentos de transformação, cerca de 14% (Valência, 2012). Dentre elas, destacam-se os fornos de tipo barco e de tipo casamansa pela sua popularidade.

Forno tipo barco: caracteriza-se por possuir um formato rectangular ou triangular. Depois de identificada a área de corte e efectua-se o abate das árvores. Estas são seccionadas num comprimento que facilita o transporte e arrumação variando de 1 a 5 metros de comprimento.

As espécies com alto conteúdo de humidade são deixadas a secar debaixo do sol, num período de mais ou menos 5 dias. Após a secagem a lenha é transportada para o local da queima. Faz-se uma base de arrumação de lenha num formato triangular ou rectangular usando lenha com cerca de 15 cm de diâmetro. Coloca-se estacas para a formação da base com 15 cm de diâmetro no sentido do comprimento do forno, a seguir, colocam-se a lenha para a produção do carvão no sentido perpendicular à base, se for rectangular. Ou coloca-se estacas para a formação da base com 15 cm de diâmetro no sentido do comprimento do forno e na parte reservada para a ignição deixa-se estreito em relação a parte traseira, se for triangular.

Põe-se uma camada de capim e/ou ramos com folhas frescas na parte lateral e no topo do forno usando uma pá ou enxada e reserva-se um local de onde será feita a queima do forno (parte inferior do forno e nas extremidades). Para a eliminação de gases e alimentação da combustão são abertos orifícios (chaminés) na parte inferior do forno.

Na parte reservada para a queima, faz-se a ignição usando fósforo ou outras fontes de lume. Passados cerca de 45 minutos, e depois de se verificar se a lenha pegou bem, colocam-se ramos e capim seguido do encerramento com recurso a torrões.

Durante o processo de combustão do material lenhoso principalmente nos primeiros dias o produtor deve realizar visitas constantes para fechar os furos causados pelas altas temperaturas e, aumentar a capacidade de respiradouros quando tal for necessário para evitar que o carvão formado arda ainda no forno ficando apenas cinzas.

A extracção do carvão para este tipo de fornos pode ser feito depois ou durante o processo da queima. A queima dura entre 1 a 8 semanas dependendo do tamanho do forno, troncos e da humidade contida na lenha (Manjate, 2000; Manhiça *et al.*, 2006).

Forno do tipo Casamansa: este forno possui geralmente base circular composta por duas camadas de lenha, a primeira camada é composta por lenha de mais ou menos 15 cm de diâmetro e com um comprimento dependente do raio do forno (1 a 5 metros) colocada desde a extremidade até ao centro do forno e a segunda camada da base rodeia a primeira com uma lenha de diâmetro igual ou inferior a 10 cm com comprimento variado. Depois de feita a base, faz-se a terceira camada, que corresponde ao material para produção do carvão e reserva-se um local no topo, por onde será feita a ignição do forno. Os troncos para a produção do carvão são seccionados segundo o raio do forno que se pretende estabelecer e com diâmetros variados. O início da extracção do carvão dá-se quando se verifica a redução do tamanho do forno e o término completo da fumigação 6 dias após a ignição (Manjate, 2000; Manhiça *et al.*, 2006).

2.3.2.2. Tecnologia semi-industrial

Esta tecnologia apresenta fornos em que o processo de carbonização é mais rápido em relação aos artesanais, porém mais lentos que os industriais (Martin, 1988).

Forno do tipo meia laranja ou “rabo quente”: este forno possui um formato de metade de laranja e é todo feito de tijolos. O diâmetro oscila entre 5 a 7 metros, e são usados cerca de 5 500 a 6000 tijolos de 24x12x6 cm. Aquando da sua construção, deixam-se dois orifícios opostos para a

entrada e saída de ar, a altura das portas varia de 1.5 a 1.7 metros e largura de aproximadamente 1 metro (Martin, 1988).

Durante o processo de ignição do forno todos os orifícios permanecem abertos por cerca de duas horas, apenas a chaminé é fechada. Para a extinção do forno a porta e os orifícios são abertos, permitindo a entrada de luz tornando possível o trabalho no processo de ensacamento do carvão vegetal. Cada forno, se bem construído e adequadamente operado, tem uma vida útil de dois anos, e se for bem mantido e reformado quando necessário pode estender a vida útil até 10 a 12 anos (Colombo, 2006).

Forno Portátil – Tipo Tambor: estes fornos são constituídos pelo tambor com parte terminal adaptada para a colocação de uma tampa. Dispõem de uma chaminé, para entrada e saída de ar e para a eliminação dos gases, constituída por duas partes. A primeira parte, que é a primeira a ser montada no tambor, tem uma base com formato de cone recheado de orifícios, e a segunda parte, que é posteriormente acoplada a primeira, possui uma extremidade de ligação com a primeira e duas ligas metálicas. Após a montagem da chaminé colocam-se ramos finos e secos e faz-se a ignição a medida que se coloca material que será convertido em carvão vegetal em intervalos de 15 minutos durante 4 horas. Depois de enchido o forno, retira-se a segunda metade da chaminé, fecha-se hermeticamente com uma tampa e reforça-se com argila humedecida. Após 4 a 6 horas retira-se a argila e a tampa para posterior extracção do carvão (Manhiça, 2006).

2.3.2.3. Tecnologia Industrial

Estas tecnologias estão direccionadas para atender grandes áreas reflorestadas. O nível de mecanização é avançado, a matéria-prima é seleccionada com qualidade específica, as instalações são de alto nível de saúde, segurança e conforto e possui altos rendimentos de transformação, acima de 35% (Valência, 2012).

Retorta: é um forno que usa combustão externa de gases recuperados do próprio processo para a geração de calor, melhorando assim a eficiência de conversão. São construídos, verticalmente ou horizontalmente, em material metálico. O teor de humidade da madeira verde é reduzido até 15%, pela acção de gases quentes provenientes da combustão de parte dos gases não

condensáveis produzidos na pirólise. A carga e a descarga do forno de secagem são automatizadas. A alimentação é feita pelo topo, através de um SKIP comandado por um controlador de nível de madeira no secador. O forno é dividido em parte superior, que possui dispositivos para a recepção da madeira, parte intermédia onde ocorre a carbonização, possui ventiladores para a reciclagem dos gases quentes e frios e parte interior onde ocorre o resfriamento e descarga do carvão (Almeida e Rezende, 1982).

Com esta tecnologia obtém-se carvão vegetal de melhor e mais homogénea qualidade em função das condições mais ideais de controlo de processo. É actualmente a tecnologia mais eficiente na produção de carvão vegetal.

2.4. O Efeito Estufa

O efeito estufa é um processo natural importante, responsável pela manutenção da temperatura atmosférica e da superfície do planeta, criando um ambiente propício para a manutenção da vida no planeta Terra. Este efeito ocorre devido à presença de gases de efeito estufa na atmosfera, os quais permitem que a luz do sol passe através da atmosfera e aqueça a Terra (ADENE, 2010).

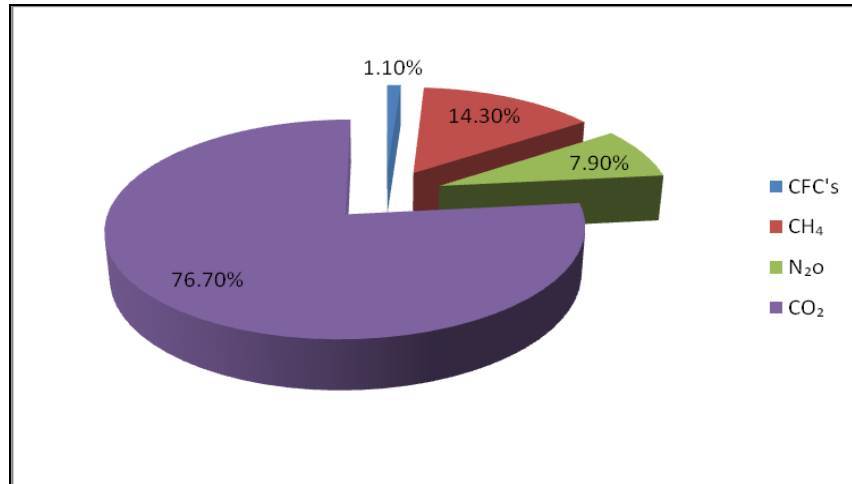
A superfície da Terra absorve energia solar e aquece e, como resultado, ela emite calor que é absorvido pela atmosfera. O calor emitido pela Terra encontra as moléculas de GEE presentes na atmosfera e é absorvido. A atmosfera aquece e como resultado também emite calor. Parte deste calor é emitido para o espaço, e a outra parte é emitida de volta à superfície da Terra resultando num clima de temperatura estáveis (Mann & Kump, 2008).

As emissões antropogénicas mudam a composição da atmosfera, quebram o equilíbrio natural e uma quantidade maior de radiação é devolvida à Terra produzindo um aumento da temperatura do planeta (Mann & Kump, 2008).

O conhecimento sobre as emissões dos GEE, é de extrema importância, pois as mudanças climáticas têm o Homem como o ser dominante e maior contribuinte para a quebra do equilíbrio natural da atmosfera e do seu ecossistema e, caso não tome conhecimento sobre os possíveis impactos causados pelas suas actividades, as suas acções podem ser irreversíveis (ADENE, 2010).

Gases de Efeito Estufa

Os gases de efeito estufa que ocorrem naturalmente são o vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Outros como perfluorcarbonetos (CF₄, C₂F₆), hidrofluorcarbonos (HFC's) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) encontram-se presentes na atmosfera devido a processos industriais (CSS, 2011).



Fonte: Mann & Kump (2008)

Figura 2: Contribuição global dos gases do efeito estufa em 2004

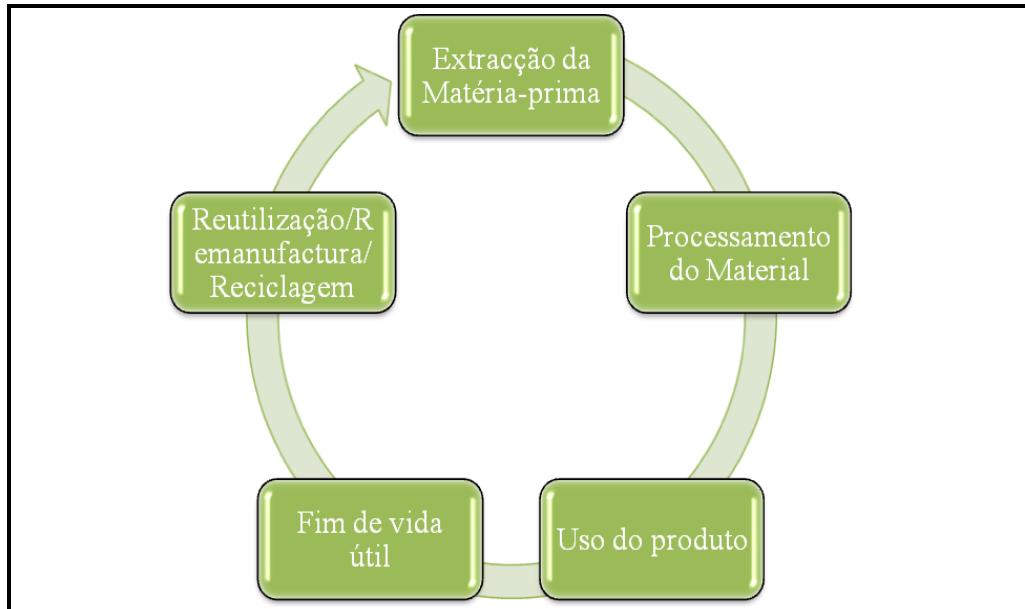
A maior parte das emissões globais é constituída por CO₂ (76.7%) derivado da queima de combustíveis fósseis e desflorestamento, seguido do CH₄ (14.3%) e em menores quantidades o N₂O (7.9%) e os gases CFC (1.1%) (CSS, 2011).

2.5. Ciclo de vida dos produtos

O ciclo de vida é definido, segundo a Norma ISO 14040, como estados consecutivos e interligados de um produto, desde a extracção de matérias-primas ou transformação de recursos naturais, até à deposição final do produto na natureza (Barbieri & Cajazeira, 2009).

O ciclo de vida dos produtos é um método que tem como objectivo avaliar os impactos ambientais associados com o produto, processo ou actividade através da identificação e quantificação da energia, uso de material e suas emissões para o ambiente. Camiões, motosserras assim como outros equipamentos usados nas actividades florestais são essenciais, pois possuem inúmeras vantagens das quais uma delas é o aumento da produtividade, em contrapartida são grandes consumidores de energia durante o seu ciclo de vida (EEO, 2000).

O ciclo de vida de um equipamento vai desde a matéria-prima para o seu fabrico até a sua reciclagem como ilustra a Figura 3:



Fonte: Barbieri & Cajazeira, 2009

Figura 3: Ciclo de vida dos equipamentos

Geralmente o ciclo de vida começa com a exploração do meio ambiente, como fonte de matéria-prima, que será processada para a manufatura do produto, o produto é posto no mercado e é usado. Após o uso, o produto segue para disposição final e será direccionado para processos de reciclagem, remanufactura ou reutilização; este conceito é também conhecido pela expressão do berço ao túmulo (*cradle to grave*) (Barbieri & Cajazeira, 2009). Todas fases do ciclo de vida do produto consomem recursos e têm impactos ambientais.

3. METODOLOGIA

Para o alcance dos objectivos, este estudo teve duas componentes. A primeira componente foi o levantamento de dados sobre a produção de carvão vegetal no Posto administrativo de Mahele, e a segunda o levantamento de informação sobre aspectos ligados ao consumo deste combustível na cidade de Maputo.

3.1. Área de estudo

O Posto Administrativo de Mahele, com 7.010 km² de superfície, localiza-se ao norte do distrito de Magude, Província de Maputo, entre os paralelos 26°02'00" Sul e 32°17'00" Este. Faz fronteira ao Norte com os distritos de Chókwe e Bilene da Província de Gaza, a sul com o Posto Administrativo de Magude, a Este com o Posto Administrativo de Motaze e a Oeste com o Posto Administrativo de Mapulanguene. Segundo o III Recenseamento Geral da População, realizado em 2007, a sua população está estimada em 2 441 habitantes. A exploração de recursos naturais é fonte de material para construção, lenha e matéria-prima para a produção de carvão vegetal (MAE, 2005).

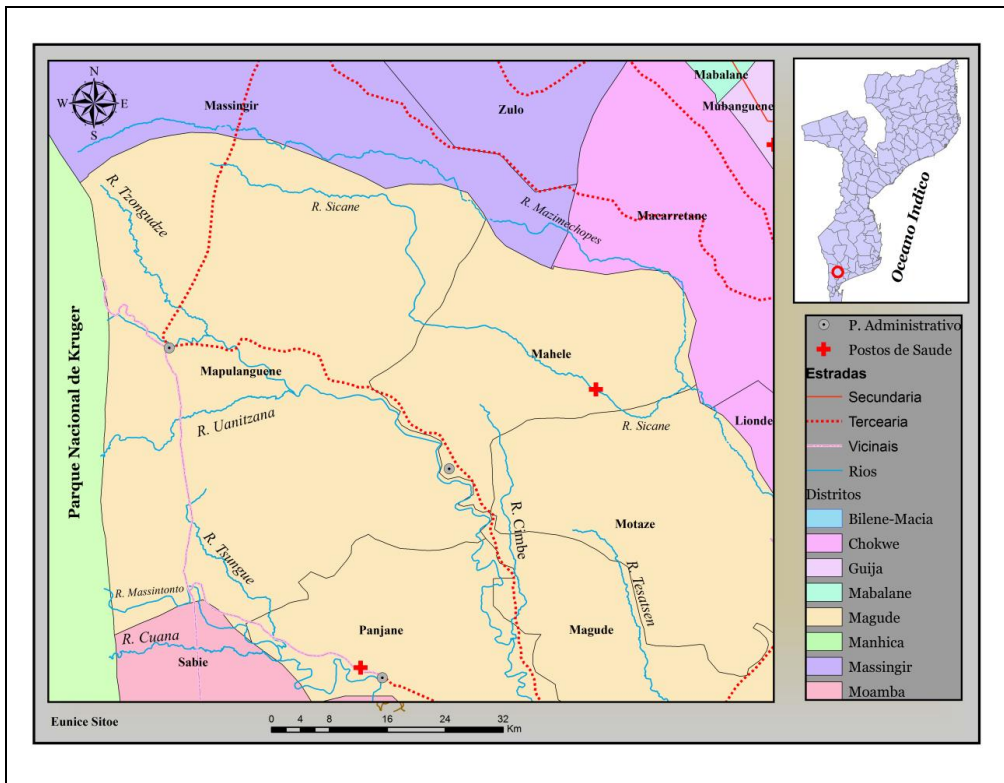


Figura 4: Localização da área de estudo

Clima e Hidrografia

De acordo com a classificação de Koppen o clima é subtropical seco, tem uma temperatura média anual de 22 a 24°C e uma pluviosidade média anual de 630 mm. As estações predominantes são a quente de pluviosidade elevada que vai desde Março à Outubro com cerca 80% da precipitação anual; e a fresca e seca que vai desde Abril até Setembro. É atravessado pelos rios Incomati, Mazimuchopes, Massintonto e Uanétze de regime periódico.

Uso e Cobertura de Terra

No Distrito de Magude pode-se encontrar floresta de savana aberta e ocorrência de savana (primária secundária) com as seguintes espécies: Acácias, Chanfutas, Canhoiros, Embondeiros, Utomas, Magungus, Mindzengas e Mondzo. O Posto Administrativo de Mahele apresenta savanas arbóreas arbustivas ricas em savanas de acácias e savanas herbáceas e arbóreas onde predominam pradarias e savanas de aluvião (DPPFM, 2013)

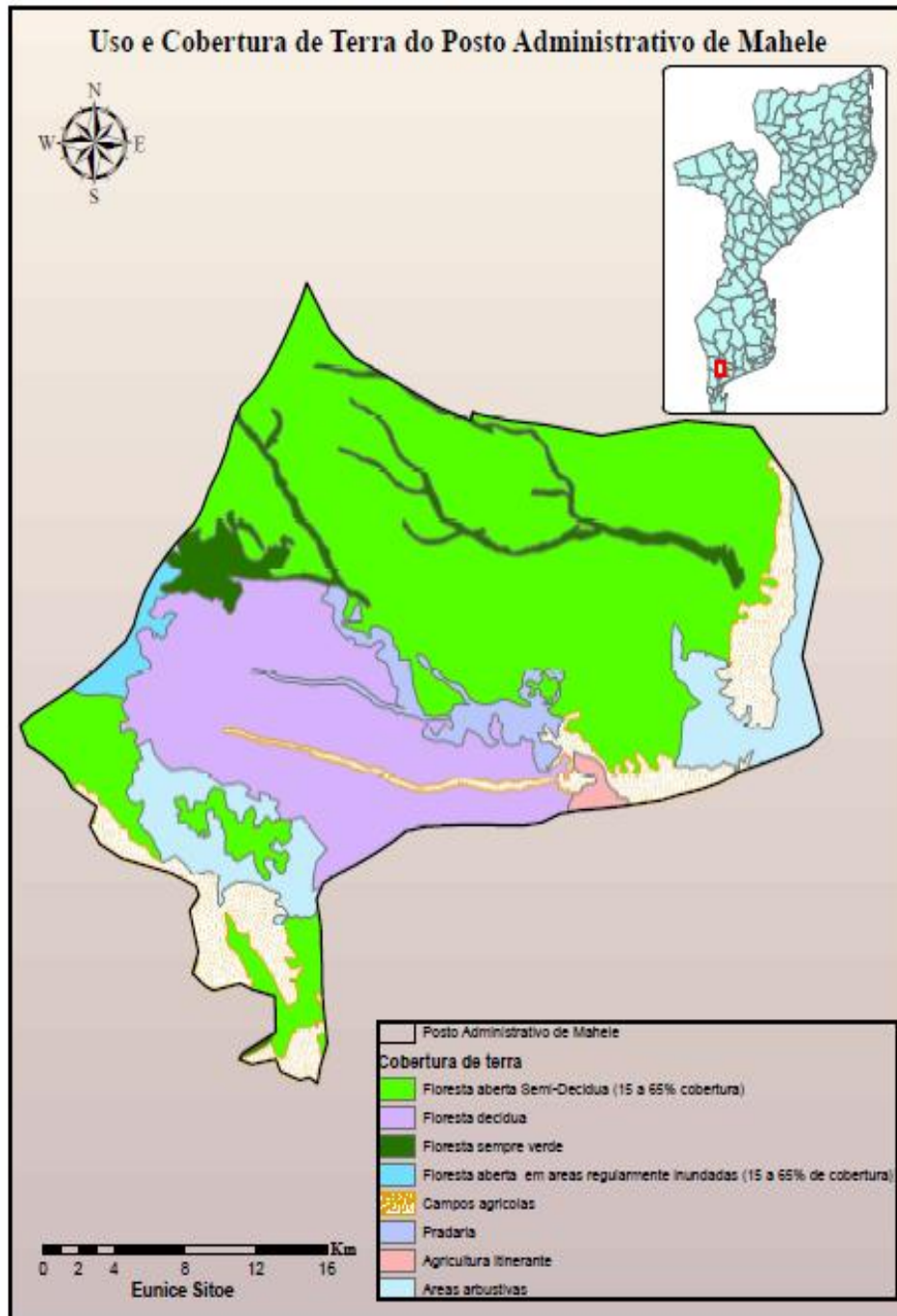


Figura 5: Uso e cobertura de Terra do Posto Administrativo de Mahele

3.2. Levantamento de dados

Amostragem

Para a obtenção de dados para o presente estudo foi seleccionada uma amostra de 10 motosserristas, 13 carvoeiros e 10 transportadores. A amostra seleccionada permitiu garantir a representatividade destes grupos, conforme apresenta a tabela 2.

Tabela 2. Selecção da amostra

| Grupo alvo | Total | Amostra | Intensidade de amostragem (%) |
|-------------------|--------------|----------------|--------------------------------------|
| Motosserristas | 23 | 10 | 43.48 |
| Carvoeiros | 36 | 13 | 36.11 |
| Transportadores | 22 | 10 | 45.45 |

Recolha de dados

O levantamento dos dados foi feito através de inquéritos que foram dirigidos aos motosserristas, carvoeiros, e aos transportadores da amostra. Os anexos I e II apresentam os detalhes, onde o anexo I refere-se a dados de estudo de tempo das actividades e o anexo II os aspectos relativos à produção de carvão.

Dados complementares aos inquéritos foram colhidos através de revisão bibliográfica e encontram-se no anexo III.

3.3. Processamento dos dados

Os dados obtidos foram processados com o objectivo de estimar por um lado a eficiência energética na cadeia de produção, transporte e consumo de carvão vegetal e por outro lado determinar as respectivas emissões dos GEE.

3.3.1. Estimativa da eficiência energética no processo de produção de carvão vegetal

A eficiência energética foi determinada tanto para a floresta nativa (com base em dados de produção no Posto Administrativo de Mahele em Magude, transporte e consumo de carvão vegetal nas cidades de Maputo e Matola), assim como em dados de uma plantação energética (viveiro e plantação do Centro Agro-florestal de Machipanda, província de Manica)

i. Estimativa da eficiência energética de carvão vegetal da floresta nativa

Como já foi acima mencionado, a eficiência energética pode ser definida como a otimização que se pode fazer no consumo de energia, mantendo os mesmos serviços energéticos sem diminuir a produção. A eficiência energética foi determinada como a razão entre a energia produzida pelo carvão vegetal durante a sua utilização e a energia usada em toda a cadeia de produção, transporte e consumo, de acordo com a seguinte fórmula:

$$EE = \frac{E_p}{E_c} \quad (1)$$

Onde:

EE – Eficiência energética (sem unidade)

E_p - Energia produzida pelo carvão vegetal (kcal/kg)

E_c - Energia consumida na produção de carvão vegetal (kcal/kg)

❖ **Energia produzida**

A energia produzida foi expressada em termos de poder calorífico do carvão, estimado em 8600 kcal/kg para espécies nativas nomeadamente *Acacia nilotica*, *Colophospermum mopane* e *Combretum imberbe* (Siteo *et al.*, 2007).

❖ **Energia consumida**

A energia consumida no processo de produção do carvão vegetal foi estimada a partir de dados obtidos a partir dos inquéritos acima mencionados para cada fase de produção, esta energia foi subdividida em directa e indirecta. Foi considerada energia directa, a energia consumida directamente no processo de produção do carvão, proveniente dos combustíveis de origem fóssil e origem biológica (energia relativa a mão-de-obra) e como energia indirecta a empregada na fabricação de equipamentos e ferramentas usados no processo (energia embutida ou incorporada). Assim, para todas as etapas de produção fez-se o levantamento das componentes que correspondiam a energia directa ou indirecta conforme a tabela 3.

Tabela 3. Tipos de energia para cada actividade

| Tipo de Energia | Actividade |
|------------------------|---------------------------------|
| Directa | Abate |
| | Gasolina |
| | Lubrificante |
| | Mão-de-obra |
| | Construção do forno |
| | Mão-de-obra |
| | Controlo do forno |
| | Mão-de-obra |
| | Operações complementares |
| | Mão-de-obra |
| | Transporte |
| | Diesel |
| | Lubrificante |
| | Mão-de-obra |
| Indirecta | Abate |
| | Motosserra |
| | Machado |
| | Cunha |
| | Martelo |
| | Construção do forno |
| | Pá |
| | Operações complementares |
| | Picareta |
| | Pá |
| | Enxada |
| | Forquilha |
| | Transporte |
| | Camião |
| | Consumo |
| | Fogão |

Energia directa

Na cadeia de produção, transporte e uso de carvão vegetal a energia directa (energia consumida no processo) é composta pela gasolina e lubrificantes usados pela motosserra no abate, o diesel e lubrificantes usados pelos camiões no transporte, assim como a energia relativa a mão-de-obra

nas actividades de abate, construção do forno, controlo do forno, operações complementares no forno e transporte, conforme ilustra a tabela acima.

Consumo específico de gasolina e lubrificantes no abate

A primeira actividade consistiu no cálculo do consumo específico da gasolina pela motosserra durante o abate, com base na fórmula seguinte:

$$CC = \frac{CC_f(l)}{QC_f} \quad (2)$$

Onde:

CC- Consumo específico de combustível (l/kg)

CC_f- Consumo de combustível por forno (l)

QC_f- Quantidade de carvão por forno (kg)

O consumo específico de combustível por forno foi obtido através da multiplicação entre o número de árvores necessárias para a construção de um forno e o número de árvores abatidas com 1l de combustível. A quantidade de carvão vegetal por forno resulta da multiplicação entre o peso de cada saco em kg e o número de sacos obtidos num forno.

O consumo específico do lubrificante foi considerado equivalente a 10% do consumo de gasolina (Fath, 2001).

Os consumos específicos de combustível e lubrificante foram usados para o cálculo dos coeficientes energéticos com base na seguinte fórmula:

$$CE = \rho_c * CC \quad (3)$$

Onde:

CE- coeficiente energético (kcal/kg)

ρ_c - densidade do combustível ou lubrificante (g/cm³)

CC- consumo específico de combustível ou lubrificante (l/kg)

Consumo específico de diesel e lubrificante no transporte

Primeiro calculou-se a energia específica:

$$EE = \frac{PCc * CEc}{Qc} \quad (4)$$

EE – Energia específica (kcal/kg*km)

PCc – poder calorífico do combustível ou lubrificante (kcal/kg)

CEc – Consumo específico do combustível ou lubrificante (kg/km)

Qc – Quantidade de carvão transportado por viagem (kg)

Depois calculou-se o coeficiente energético:

$$CE = EE * Dt \quad (5)$$

Onde:

CE – Coeficiente energético do diesel ou lubrificante (kcal/kg)

Dt – Distância de transporte (km)

O coeficiente energético foi multiplicado por dois tendo em conta a viagem de ida e volta do camião.

Consumo de energia da mão-de-obra

A metodologia para o cálculo da energia consumida pela mão-de-obra é válida para as diferentes actividades, nomeadamente abate, construção do forno e controlo do forno, operações complementares e transporte. Assumiu-se que cada trabalhador consome 0.4355 MJ/h de energia, considerando um peso médio dos trabalhadores de 65 kg para cada uma dessas actividades, de acordo com Lima *et al.* (2007).

Com a energia consumida por trabalhador em kcal fez-se a multiplicação pelo número de trabalhadores envolvidos na actividade para ter a energia consumida por equipa em kcal por hora:

$$E_{ce} = E_{ct} * n \quad (6)$$

Onde:

E_{ce} - energia por equipa (kcal /h)

E_{ct} - energia consumida por trabalhador (kcal/h)

n- número de trabalhadores

A partir da energia consumida por equipa de trabalho calculou-se a energia consumida na actividade específica com base na fórmula:

$$E_{ca} = E_{ce} * t \quad (7)$$

Onde:

E_{ca} - energia consumida por equipa no abate (kcal)

E_{ce} - energia por equipa (kcal /h)

t- tempo do abate (h)

O cálculo do coeficiente energético da mão-de-obra em kcal por quilograma de carvão vegetal produzido para as diferentes actividades de abate produção e transporte de carvão baseou-se na seguinte expressão:

$$CE = \frac{E_{ca}}{QC_f} \quad (8)$$

Onde:

CE- coeficiente energético (kcal/kg)

E_{ca} - energia consumida por equipa para determinada actividade (kcal)

QC_f - Quantidade de carvão por forno ou transportado dependendo da actividade (kg)

A soma dos coeficientes energéticos é o total de energia directa consumida no processo de produção de carvão vegetal:

$$E_d = \sum CE_d \quad (9)$$

Onde:

E_d - energia directa (kcal/kg)

CE- coeficiente energético das energias directas, das actividades de abate, construção e controlo do forno, operações complementares e transporte do carvão vegetal (kcal/kg)

Energia indirecta

Na cadeia de produção e consumo de carvão vegetal a energia indirecta (energia embutida nos equipamentos e ferramentas) é composta pela motosserra, ferramentas e implementos usados no abate, os implementos usados na construção e operações complementares no forno, o camião para o transporte e o fogão de carvão usado pelos consumidores finais, conforme ilustra tabela 3.

Para o cálculo da energia indirecta em cada fase, considerou-se a energia usada para a fabricação dos equipamentos, ferramentas e implementos, a partir da energia embutida nos materiais por unidade de peso e os respectivos pesos com base na seguinte fórmula:

$$E_{eq} = \sum E_m * P_m \quad (10)$$

Onde:

E_{eq} - energia embutida no equipamento (kcal)

E_m - energia unitária usada na produção do material (kcal/ kg)

P_m - peso do material (kg)

Para o caso do camião o peso dos componentes foi deduzido de forma proporcional a partir dos pesos dos componentes de um veículo ligeiro-pesado apresentadas por Sullivan *et al.* (2000), e vida útil de 10 anos. Usou-se o peso de 3.9 kg para a motosserra e considerou-se 80% para as componentes metálicas e uma vida útil de 2 anos. O tractor não foi usado nos cálculos por causa da pouca intensidade de uso.

E calculou-se o coeficiente energético em kcal por quilograma de carvão vegetal produzido para cada equipamento, ferramenta ou implemento usando a seguinte fórmula:

$$CE = \frac{E_{eq}}{QC_t} \quad (11)$$

Onde:

CE- coeficiente energético (kcal/kg)

E_{eq} - energia embutida no equipamento (kcal)

QC_t- Quantidade total de carvão (kg)

Para o camião para além do cálculo da energia usada para a fabricação dos diferentes componentes foi também determinada a energia usada na sua montagem.

Nas cidades de Maputo e Matola o carvão vegetal é usado maioritariamente para confecção de refeições, usa-se uma média de 2.64 kg de carvão vegetal por família (Atanassov *et al.*, 2012). Os alimentos são confeccionados, na sua maioria, no fogão de chapa metálica de uma ou duas bocas e foi considerado um peso de 2.6 kg/boca do fogão, de acordo com Egas (2006).

A soma dos coeficientes energéticos dos equipamentos de cada fase é o total de energia indirecta consumida no processo de produção de carvão vegetal.

$$E_i = \sum CE_i \quad (12)$$

Onde:

E_i - energia indirecta (kcal/kg)

CE- coeficiente energético das energias indirectas (kcal/kg)

A energia total foi calculada através da soma de energia directa e energia indirecta:

$$E_c = E_d + E_i \quad (13)$$

Onde:

E_c - Energia consumida na produção de carvão vegetal (kcal/kg)

E_d - energia directa (kcal/kg)

E_i - energia indirecta (kcal/kg)

ii. Estimativa da eficiência energética de carvão vegetal proveniente duma plantação

O consumo de energia foi estimado a partir de dados referentes a produção de mudas no viveiro do CEFLOMA, transporte e plantação na Floresta de Inhamacari e foi também subdividida em directa e indirecta. Para todas etapas de produção fez-se o levantamento das componentes que consumiam energia directa ou indirecta conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4. Tipos de energia para actividades da plantação

| Tipo de energia | Actividade |
|------------------------|---|
| Directa | I. Viveiro |
| | Diesel |
| | Lubrificante |
| | Mão-de-obra |
| | II. Preparação do terreno e estabelecimento da plantação |
| | Diesel |
| | Lubrificante |
| | Mão-de-obra |
| | Picareta |
| | III. Protecção |
| | Mão-de-obra |
| | I. Desbaste |
| | Gasolina |
| | Lubrificante |
| Mão-de-obra | |
| Indirecta | I. Viveiro |
| | Tubetes |
| | NPK |
| | Motobomba |
| | II. Preparação do terreno e estabelecimento da plantação |
| | Enxada |
| | Catana |
| | Picareta |
| | Tractor |
| | III. Desbastes |
| Machado | |

Energia directa

O procedimento usado para o cálculo do consumo específico de combustível e lubrificante nas actividades de viveiro e plantação assim como a estimativa do coeficiente energético é semelhante ao usado para as actividades na floresta nativa. Para o cálculo da energia produzida foi considerada a produção de 16 000 mudas para uma plantação de 10 ha que após o desbaste aos 7 anos será reduzido a 8 000 árvores de 13 cm de diâmetro médio e 18 m de altura,

correspondentes a uma produção potencial de aproximadamente 165 140.59 kg de carvão vegetal no primeiro ano. Tendo em conta uma redução da produção madeireira da plantação no segundo e terceiro ciclo de 17.65% em cada ciclo, de acordo com Lima *et al.* (2007), foi estimada a produção total de 413 124 Kg de carvão para os três ciclos (21 anos).

Produção de mudas no viveiro

O consumo de diesel refere-se ao combustível gasto pelo tractor para o transporte de solos para a produção de 16 000 mudas. Para o transporte do solo necessário, o tractor faz duas viagens CEFLOMA- Plantação de Inhamacari e gasta 20 l de diesel. O consumo de lubrificante foi considerado 1.5% do consumo de combustível. O consumo específico foi determinado através da razão entre o combustível gasto em litros e a quantidade potencial de carvão a ser produzido pela plantação aos 7 anos.

Preparação do terreno e estabelecimento da plantação

O consumo de diesel refere-se ao combustível gasto pelo tractor no transporte de pessoal e de 16 000 mudas (165 140,59 kg de carvão vegetal) do viveiro para a área de plantação. Para esta operação o tractor deve fazer 9 viagens correspondentes a um total de 90 l. O consumo de lubrificante é 1.5% do consumo de combustível.

Protecção

O consumo de combustível refere-se as actividades de permanência e patrulhamento (380 l de diesel para o tractor e 100 l de gasolina para motorizada) de Agosto a Dezembro de cada ano.

Desbaste

O desbaste é feito manualmente com machado por uma equipe constituída por 4 pessoas.

Energia indirecta

Nas actividades de produção de mudas no viveiro e estabelecimento da plantação a energia indirecta (energia embutida nos equipamentos e ferramentas) é composta pelos tubetes,

fertilizantes e motobomba usados na fase de viveiro, os implementos usados na preparação do terreno e estabelecimento da plantação e os implementos usados na actividade de desbaste.

O procedimento de cálculo é também semelhante ao que foi usado para a floresta nativa. A vida útil dos equipamentos considerados.

Estimativa da eficiência energética na cadeia de produção de carvão vegetal de plantação

Para as fases posteriores, isto é, abate, construção do forno, extinção do forno e extinção do carvão, transporte e consumo, usou-se o mesmo procedimento da floresta nativa. Para facilitar a comparação dos resultados assumiu-se a mesma distância de transporte (180 km).

3.1.1. Contabilização da emissão dos GEE no ciclo de vida do carvão vegetal

Energia directa

Para estimar as emissões de GEE da energia directa, usou-se a quantidade de energia (em litros ou kg) gasta para produzir 1 kg de carvão vegetal a partir do consumo específico do combustível ou lubrificante, de acordo com os cálculos realizados na secção anterior.

Os dados sobre quantidade de energia gasta acima mencionados foram introduzidos numa planilha para estimar as emissões por kg de carvão produzido para cada uma das actividades.

A planilha de cálculo foi desenvolvida pela WRI (Instituto de Recursos Mundiais), que é uma organização não-governamental que actua com corporações, empresas e investidores, com o objectivo de acelerar as mudanças nas práticas de negócios e encontrar soluções que enfrentem os desafios sócio-ambientais (ECOPART, 2009).

Energia indirecta

O cálculo das emissões de GEE da energia indirecta baseou-se no peso e na vida útil dos equipamentos. Com auxílio de uma balança electrónica, pesou-se cada componente metálica (aço) dos equipamentos. Para o caso da motosserra e do camião, o peso dos componentes (aço e plástico) foi obtido através de revisão bibliográfica. O peso de cada componente foi multiplicado pelo valor de CO₂e correspondente ao material.

Segundo Gervásio (s.d.) a produção de 1kg de aço produz cerca de 2 494 g de CO₂e. O CO₂e é usado para comparar as emissões de diversos gases de efeito estufa baseado na quantidade de dióxido de carbono que teria o mesmo potencial de aquecimento global (GWP), medido em um período de tempo (geralmente 100 anos).

Como os valores acima referem-se a quantidade de CO₂e, para facilitar a análise, houve necessidade de repartir o valor em emissões separadas de CO₂, CH₄ e NO₂ com base nos valores de GWP para cada gás conforme a tabela 5, através da divisão do valor de CO₂e pelo GWP de cada gás.

Tabela 5. Potencial de aquecimento global de CO₂, CH₄ e NO₂

| GEE | GWP- horizonte de 100 anos |
|-----------------|----------------------------|
| CO ₂ | 1 |
| CH ₄ | 21 |
| NO _x | 40 |

Fonte: Meil & Trusty (1996)

Isto significa que a emissão de 1 tonelada de CH₄ é o mesmo que emitir 21 toneladas de CO₂ e 1 tonelada NO_x é o mesmo que emitir 40 toneladas de CO₂ durante um período de 100 anos.

As emissões de GEE não foram contabilizadas para a carbonização na fase de produção do carvão e combustão na fase do consumo do carvão, porque assume-se que são absorvidos pelo crescimento da floresta jovem e, por isso, consideram-se climaticamente neutras. Entretanto este princípio não pode ser aplicado para florestas que não gozam de algum tipo de manejo, pois isto indicaria desflorestamento e emissão total de GEE contido nela (Plantar, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Espécies usadas para produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele

As espécies que fazem parte do presente estudo são exploradas segundo o regime de licença simples, são elas: *Acacia nilotica*, *Colophospermum mopane* e *Combretum imberbe*.

❖ *Acacia nilotica* (L.) Wild. ex Delile

É uma árvore da família *Fabaceae* (subfamília *Mimosoideae*), espinhosa de pequeno porte, chegando até 10m de altura e com copa densamente ramificada. Possui folhas bipinadas com 5 a 11 pares de pinas, cada uma com 12 a 30 pares de folíolos alongados com cerca de 7x1,5mm. O tronco é acastanhado a preto com fissuras, é usado como estaca para construção, lenha e no fabrico de carvão vegetal (Palgrave, 2002).



Figura 6. *Acacia nilotica*- Esquerda: Árvore; Centro: Espinhos; Direita: Flores

O poder calorífico do borne carvão produzido pela *Acacia nilotica* é de 4500 kcal/kg enquanto do cerne é de 4950 kcal/kg, e é usado em locomotivas (Orwa *et al.* 2009).

❖ *Colophospermum mopane* (Kirk ex Benth.) J. Léonard

Árvore ou arbusto pertencente à família *Fabaceae* (subfamília *Cesalpinioideae*), de folha caduca, normalmente com 10m de altura mas podendo crescer até 30m de altura. É uma espécie gregária, que por vezes forma povoamentos uniformes designados de savanas de mopane. Possui tronco cinzento-escuro com fissuras. As folhas são compostas com dois folíolos, dispostas de forma alternada. O fruto é uma vagem assimétrica achatada semi-circular. As folhas são usadas como forragem para gado. A floração é em Março, a frutificação em Maio e em Junho e a folheação

pouco antes da floração (Gomes e Sousa, 1966). As larvas da mariposa *Imbrasia belina* (M), que se alimentam das suas folhas, servem como alimento para a população local e é uma fonte de proteína.



Figura 7. *Colophospermum mopane*- Esquerda: Árvore; Direita: Fruto;

Possui uma madeira muito dura (com cerca de 1g/cm^3), usada como estaca na construção de casas e produz uma excelente lenha para o fabrico de carvão vegetal, possui alto poder calorífico, produz pouca cinza e queima facilmente mesmo quando verde (Palgrave, 2002) e (Orwa *et al.* 2009).

❖ *Combretum imberbe* Wawra

Esta espécie pertence à família *Combretaceae*, pode encontrar-se em forma de árvore ou arbusto de aparência acinzentada, com porte que varia de pequeno a grande com 7 a 15m de altura (Palgrave, 2002). Possui casca cinzento-escuro, rugosa, com placas rectangulares. As folhas são simples, opostas, cinzento-esverdeadas, obovadas normalmente com 4x2 cm. As flores têm cor creme ou amarela, dispostas em panículas. Os frutos, quando maduros possuem 4 asas amarelo-pálidas e acastanhados.



Figura 8. *Combretum imberbe*- Esquerda: Árvore; Centro: Fuste; Direita: Flores

A sua madeira é de primeira classe e é utilizada localmente para lenha e no fabrico de carvão vegetal (Palgrave, 2002). Produz lenha de qualidade excelente, que queima lentamente, com pouca fumaça e com alto poder calorífico, estas características aumentam a preferência por esta madeira (Herrmann *et al.*, 2003)

Nível de utilização das espécies

Dos 13 produtores de carvão vegetal entrevistados 100% usam Mopane, 70% usam Ncaia e o 20% usam Mondzo para produzir carvão vegetal naquele Posto Administrativo,

A Legislação florestal vigente em Moçambique classifica as espécies nativas e produtoras de material lenhoso em cinco grupos: madeiras preciosas, de primeira, de segunda, de terceira e de quarta classes. Esta estabelece que para a produção comercial de carvão vegetal sejam abatidos apenas os indivíduos das espécies produtoras de madeira pertencentes à quarta classe (RLFFB, 2002). A *Acacia nilotica* pertence a lista das espécies autorizadas pela Legislação Florestal para o uso energético. Mas o *Colophospermum mopane* e *Combretum imberbe* Wawra foram reclassificados como espécies produtoras de madeira de 1ª classe e mesmo assim continuam a ser usadas para produção de carvão vegetal devido ao seu poder calorífico e pela facilidade de acesso.

4.2. Processo de produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele

A produção de carvão no Posto Administrativo de Mahele é levada a cabo pela comunidade local, como forma de incentivar o desenvolvimento local. Poucas mulheres estão envolvidas no processo, cerca de 24%, pois este processo é considerado um trabalho intensivo.

O processo de produção de carvão vegetal envolve técnicas específicas que têm em consideração desde aspectos de sustentabilidade até a segurança dos trabalhadores.

O processo de produção de carvão vegetal em Magude não foge muito das práticas usadas tradicionalmente ao longo do país e engloba as fases de produção da lenha, produção de carvão e operações complementares, sendo semelhante ao descrito por Manjate (2000) e DNTF (2009).

4.2.1. Produção da lenha

Abate: o processo inicia com a selecção de árvores na floresta de acordo com os seus diâmetros, que variam entre 20-50cm. O abate de árvores é feito com motosserras, das marcas Stihl 38 e Husqvarna 62 num processo que em média dura cerca de 30 segundos por árvore. Depois de localizada a árvore, o operador determina a direcção de queda e estabelece caminhos de fuga. Faz o entalhe de queda e efectua-se o corte de queda, põe a cunha na fenda para que não se feche e bate na cunha com o martelo vezes sucessivas para que a árvore caia.

Desrame e traçagem: Ainda com a motosserra a árvore é desramada e traçada com auxílio da motosserra, em toros de menor comprimento.

No abate, desrame e traçagem gasta-se em média 15 litros de gasolina e 1.5 litros de lubrificante num forno com capacidade de proporcionar 30 sacos.

4.2.2. Produção de carvão vegetal

Após a traçagem a madeira é empilhada próxima ao local de abate e é deixada a secar ao ar livre durante cerca de 10 dias. Os fornos construídos são do tipo barco com capacidade de alimentar, na sua maioria, 30 sacos de carvão de 68kg. Para este efeito são abatidas 15 árvores de 36 cm de diâmetro em média. A fase de produção de carvão vegetal em Magude inclui as actividades de construção, ignição, vigia e extinção do forno.

Construção do Forno: de acordo com os produtores locais, o forno (do tipo barco) é construído próximo ao local de secagem, reduzindo assim os custos de transporte. A construção começa com o arranjo de estacas na terra. A lenha seca é colocada em direcção perpendicular às estacas começando pelo extremo oposto ao início da carbonização, onde se coloca a lenha de maior diâmetro. O diâmetro da lenha diminui a medida que se aproxima do extremo mais estreito do forno. Por cima da lenha já organizada, colocam-se estacas de forma perpendicular à madeira para facilitar a circulação de gases durante a carbonização e cobre-se o forno com capim verde e põe-se areia húmida para impossibilitar a saída de fumo.

Ignição: do extremo estreito onde se encontra lenha mais fina é feita a ignição, dando-se assim início ao processo de carbonização usando-se fósforos, após 45 minutos o local da ignição é fechado com capim usando a pá. O processo de queima desta lenha leva aproximadamente 14 dias.

Controlo do forno: este processo ocorre nos primeiros dias sob vigia de 3 operadores, que realizam o fechamento de furos existentes no forno de modo a evitar que o carvão vegetal arda dentro do forno decorrente das altas temperaturas produzidas dentro do forno.

Operações complementares: inclui a extinção do forno, a extracção do carvão vegetal e o ensacamento do mesmo. A extinção do carvão vegetal é feita com auxílio da picareta que perfura o forno de modo a encerrar todas entradas de ar. Com auxílio da pá e da enxada diminui-se a camada de terra, separa-se a lenha não queimada, retira-se o carvão usando a forquilha e coloca-se areia para evitar que o carvão incendeie. O ensacamento é realizado por quatro operários por aproximadamente 2 dias, primeiro certifica-se que o carvão está totalmente arrefecido, separa-se o carvão dos restos da lenha, põe-se o carvão nos sacos, depois de cheios coloca-se capim e sela-se com uma corda.

4.2.3. Transporte de carvão vegetal

O transporte é uma actividade que ocorre após a produção de carvão vegetal. Para estudo de caso, o carvão vegetal é transportado por camiões para as Cidades de Maputo e Matola que se situam a cerca de 180 km e 190 km respectivamente da área de produção (Mahele). A tabela 6 apresenta algumas estatísticas sobre o transporte de carvão do Posto Administrativo de Mahele para as cidades de Maputo e Matola.

Tabela 6. Transporte de carvão vegetal

| Item | Nº de inquiridos | Méd | STD | Min | Max |
|---|------------------|-----|------|-----|-----|
| Número de sacos transportados por camião | 10 | - | 53.7 | 10 | 120 |
| Peso por saco (kg) | 10 | 68 | 0 | 68 | 68 |
| Tempo de viagem (h) | 10 | 48 | 0 | 48 | 48 |
| Combustível gasto -diesel (l) | 10 | - | 4.9 | 20 | 25 |

4.3. Eficiência energética na produção do carvão vegetal

4.3.1. Carvão vegetal produzido pela floresta nativa

A tabela 7 apresenta resultados da eficiência energética da produção e transporte de carvão vegetal produzido pela floresta nativa para energia directa, consoante a actividade.

Tabela 7. Consumo de energia directa na produção de carvão vegetal

| Actividade | Coefficiente energético (kcal/kg) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Abate | |
| Gasolina | 44.75 |
| Lubrificante | 6.11 |
| Mão-de-obra | 18.63 |
| Subtotal | 69.50 |
| Construção do forno | |
| Mão-de-obra | 2.45 |
| Subtotal | 2.45 |
| Controlo do forno | |
| Mão-de-obra | 2.14 |
| Subtotal | 2.14 |
| Operações complementares | |
| Mão-de-obra | 4.08 |
| Subtotal | 4.08 |
| Transporte | |
| Diesel | 44.19 |
| Lubrificante | 0.51 |
| Mão-de-obra | 0.55 |
| Subtotal | 45.25 |
| Total da energia directa | 123.41 |

O consumo total de energia directa foi de 123.41 kcal, dos quais as actividades de abate e transporte são as actividades com maior consumo de energia e são responsáveis por 56.31% (69.50 kcal) e 36.66% (45.25 kcal) respectivamente por cada quilograma de carvão vegetal produzido. Estes valores são consequência da participação da gasolina e do diesel que possuem um alto poder calorífico na ordem de 11 115.12 kcal/kg e 10 220.63 kcal/kg respectivamente.

O consumo energético foi relativamente baixo para as restantes actividades conforme a figura 9 devido a exclusiva participação da mão-de-obra.

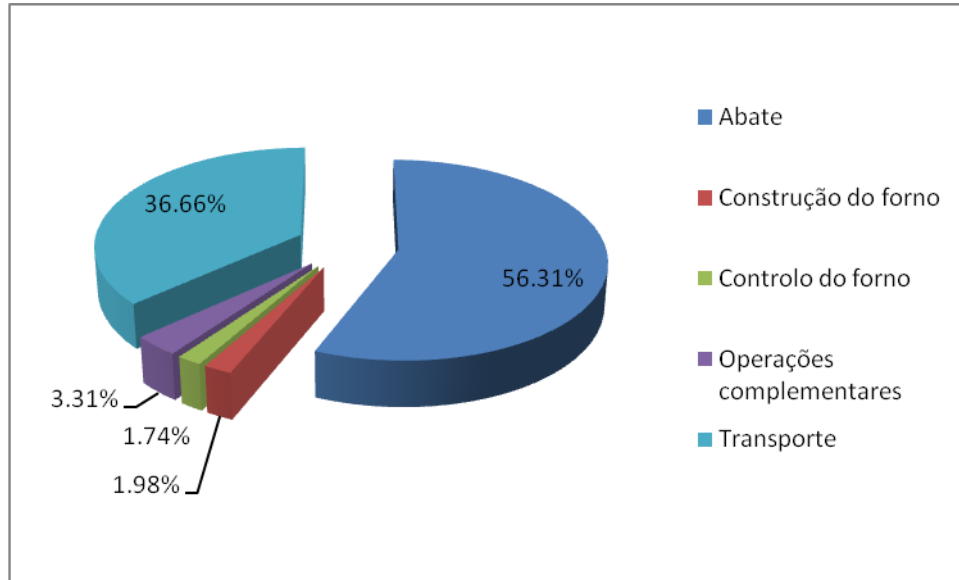


Figura 9. Contribuição percentual da energia directa da floresta nativa

Em relação a energia indirecta e de acordo com a tabela 8, o consumo de energia indirecta foi de 72.17 kcal/kg dominado pelas actividades de transporte e operações complementares com cerca de 22.78 kcal (31.56%) e 21.54 kcal (29.85%) respectivamente por cada quilograma de carvão vegetal produzido.

Tabela 8. Consumo de energia indirecta na produção de carvão vegetal

| Actividade | Coefficiente energético (kcal/kg) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Abate | |
| Motosserra | 4.35 |
| Cunha | 3.07 |
| Martelo | 0.75 |
| Subtotal | 8.17 |
| Construção do forno | |
| Pá | 9.37 |
| Subtotal | 9.37 |
| Operações complementares | |
| Picareta | 4.68 |

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| Pá | 9.37 |
| Enxada | 3.75 |
| Forquilha | 3.75 |
| Subtotal | 21.54 |
| Transporte | |
| Camião | 22.78 |
| Subtotal | 22.78 |
| Consumo | |
| Fogão | 10.31 |
| Subtotal | 10.31 |
| Total da energia indirecta | 72.17 |

O transporte exige maior demanda de equipamento que é basicamente constituído de ferro e aço, razão pela qual exhibe uma maior quantidade de energia na sua manufactura.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 8, o consumo (10.31 kcal), a construção do forno (9.37 kcal) e abate (8.17 kcal) correspondentes a 14.29%, 12.98%, 11.32% respectivamente, são as actividades com menor consumo de energia.

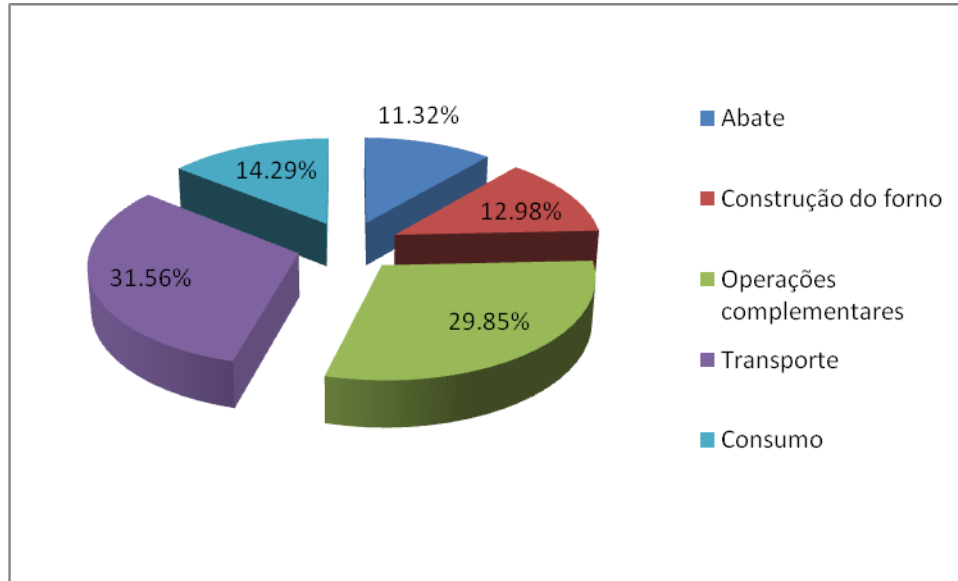


Figura 10. Contribuição percentual da energia indirecta da floresta nativa

A tabela 9 mostra a eficiência energética na produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele e nota-se que para produzir 1 kg de carvão vegetal consome-se cerca de 195.58 kcal

de energia. A energia directa é responsável por 63.1 % deste total devido a demanda de combustível fóssil e a energia indirecta é responsável pelos restantes 36.9%

Tabela 9. Eficiência energética do carvão vegetal produzido a partir da floresta nativa

| | |
|---|--------|
| Total de Energia Consumida (kcal/kg) | 195.58 |
| Energia produzida pelo carvão (kcal/kg) | 8600 |
| Eficiência energética | 43.97 |

A eficiência energética é de 43.97, este valor evidencia um processo eficiente pois a energia consumida é menor que a energia produzida. Segundo Moreira *et al.* (2005), se a energia gerada no processo é superior a energia investida o processo é eficiente.

Comparando o consumo de energia entre os dois tipos de energia, nota-se que existe maior consumo de energia directa em relação a energia indirecta devido ao uso de motosserra e camião, nas actividades de abate e transporte respectivamente, que pela sua natureza empregam combustível de origem fóssil para o seu funcionamento.

4.3.2. Carvão vegetal produzido pela floresta plantada

O uso intensivo de combustíveis fósseis e da floresta nativa como fonte de energia evidencia a necessidade de promover plantações florestais de modo a substituir os combustíveis de origem fóssil e para responder a crescente demanda de energia e reduzir a quantidade de GEE na atmosfera. As tabelas 10 e 11 mostram uma estimativa do consumo de energia directa e indirecta respectivamente (em quilocalorias por quilograma de carvão produzido), em cada fase de trabalho para uma plantação de *Eucalyptus grandis* na floresta de Inhamacari, Machipanda, província de Manica, com base em dados do Centro Florestal de Machipanda, assim como a simulação de consumo de energia no processo de produção e transporte de carvão vegetal a uma distância de 90 Km do local de produção com base em dados de produção de carvão da floresta nativa, apresentados na secção acima.

Tabela 10. Consumo de energia directa no estabelecimento de uma plantação de *E. grandis*

| Actividade | Coefficiente energético (kcal/kg) |
|---|--|
| Viveiro | |
| Diesel | 0.44 |
| Lubrificante | 0.00 |
| Mão-de-obra | 1.63 |
| Subtotal | 2.08 |
| Preparação do terreno e estabelecimento da plantação | |
| Diesel | 1.34 |
| Lubrificante | 0.02 |
| Mão-de-obra | 1.55 |
| Subtotal | 2.90 |
| Protecção | |
| Diesel | 3.96 |
| Lubrificante | 0.05 |
| Gasolina | 1.03 |
| Lubrificante | 0.01 |
| Mão-de-obra (Permanência) | 0.76 |
| Mão-de-obra (Patrulha) | 2.06 |
| Subtotal | 7.87 |
| Desbaste | |
| Mão-de-obra | 0.19 |
| Subtotal | 0.19 |
| Abate | |
| Gasolina | 30.29 |
| Lubrificante | 3.03 |
| Mão-de-obra | 1.51 |
| Subtotal | 34.83 |
| Construção do forno | |
| Mão-de-obra | 2.45 |
| Subtotal | 2.45 |
| Controlo do forno | |
| Mão-de-obra | 2.14 |
| Subtotal | 2.14 |
| Operações complementares | |
| Mão-de-obra | 4.08 |
| Subtotal | 4.08 |
| Transporte | |
| Diesel | 45.07 |

| | |
|--------------------------|--------|
| Lubrificante | 4.51 |
| Mão-de-obra | 0.62 |
| Subtotal | 50.20 |
| Total da energia directa | 106.75 |

Os resultados da tabela 10 apresentam um consumo total de energia directa na ordem de 106.75 kcal/kg. A partir da figura 11, pode-se notar através da distribuição percentual das diferentes actividades que as actividades de abate e transporte que consomem energia de origem fóssil, são as maiores consumidoras de energia com 32.63% (34.83 kcal) e 47.03% (50.20 kcal) respectivamente. Outras actividades como protecção e preparação do terreno e estabelecimento da plantação, empregam também combustíveis de energia fóssil que devido ao seu poder calorífico participam de forma significativa. Actividade como operações complementares, construção do forno e controlo do forno fazem uso exclusivo da mão-de-obra e possui valores percentuais mais baixos.

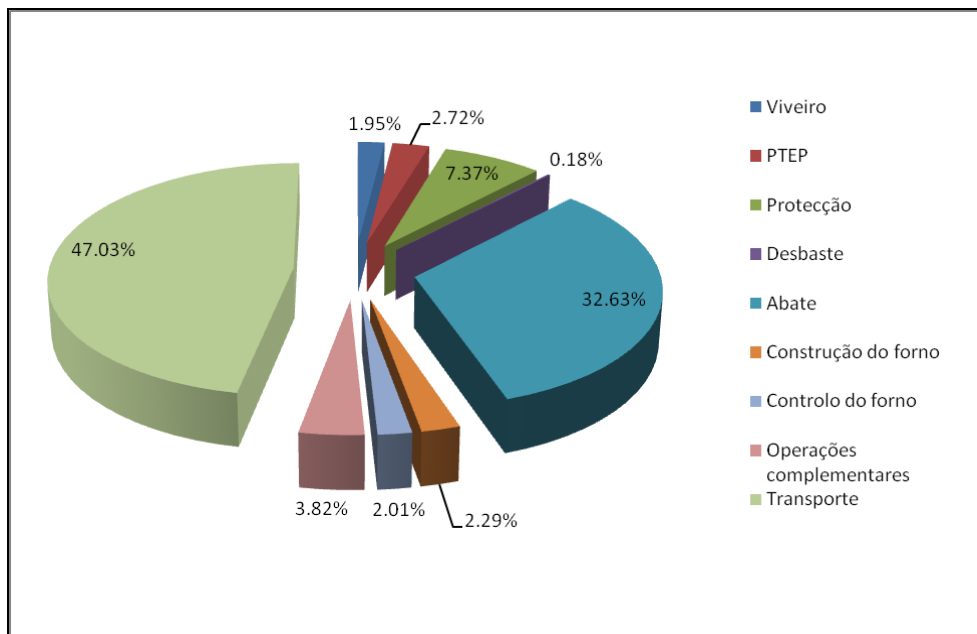


Figura 11. Contribuição percentual da energia directa no estabelecimento de uma Plantação de *E. grandis*

Tabela 11. Energia indirecta no estabelecimento de uma Plantação de *E. grandis*

| Actividade | Coefficiente energético (Kcal/Kg) |
|---|--|
| Viveiro | |
| Tubetes | 1.97 |
| NPK | 0.421 |
| Subtotal | 2.39 |
| Preparação do terreno e estabelecimento da plantação | |
| Enxada | 3.75 |
| Catana | 1.08 |
| Picareta | 4.68 |
| Subtotal | 9.51 |
| Desbastes | |
| Machado | 4.68 |
| Subtotal | 18.73 |
| Abate | |
| Motoserra | 0.09 |
| Subtotal | 0.09 |
| Construção do forno | |
| Pá | 9.37 |
| Subtotal | 9.37 |
| Operações complementares | |
| Picareta | 4.68 |
| Pá | 9.37 |
| Enxada | 3.75 |
| Forquilha | 3.75 |
| Subtotal | 21.54 |
| Transporte | |
| Camião | 22.78 |
| Subtotal | 22.78 |
| Consumo | |
| Fogão | 10.31 |
| Subtotal | 10.31 |
| Total da energia indirecta | 94.72 |

O consumo de energia indirecta foi cerca de 94.72 kcal/kg. A maior participação é referente ao transporte que contribui com 24.05% (22.78 kcal) e as operações complementares com 22.74% (21.54 kcal).

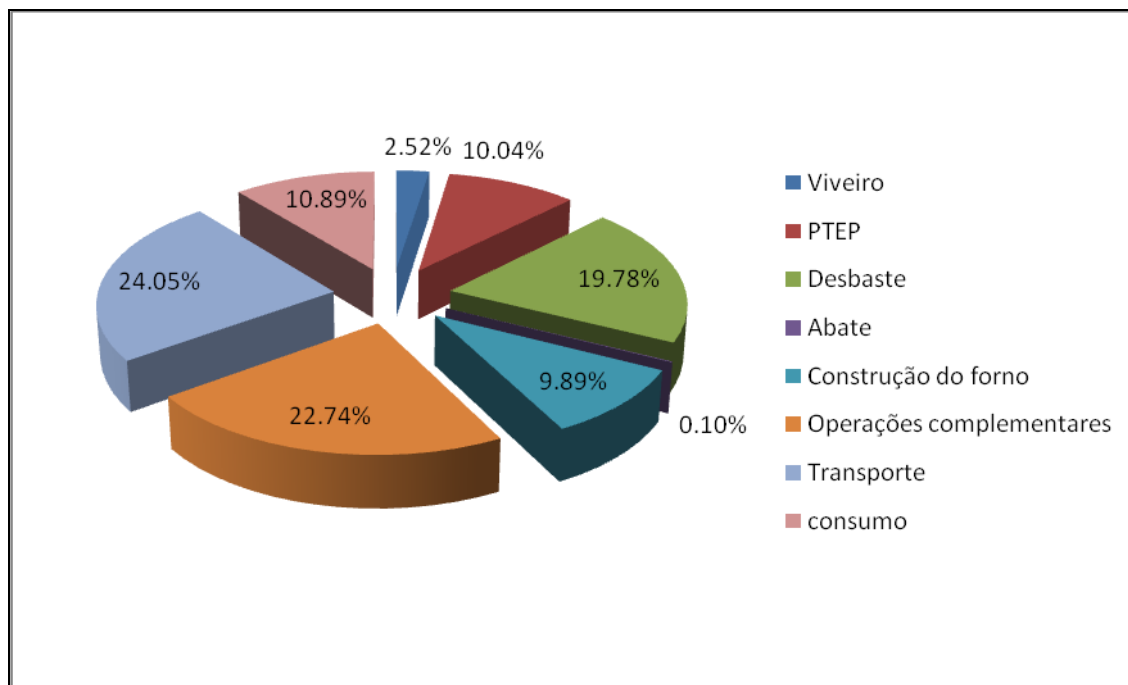


Figura 12. Contribuição da energia indirecta no estabelecimento de uma plantação de *E. grandis*

A tabela 12 mostra a eficiência energética na produção de carvão vegetal no estabelecimento de uma plantação de eucalipto. Para produzir 1 kg de carvão vegetal consome-se cerca de 201.47 kcal de energia. A energia directa é responsável por 52.55%. deste total devido a quantidade combustível usado e a energia indirecta é responsável pelos restantes 47.01%.

Tabela 12. Eficiência energética da produção do carvão a partir da plantação de *E. grandis*

| Parâmetro | Valor |
|--|---------|
| Total de energia consumida na produção de carvão (kcal/kg) | 201.47 |
| Energia produzida pelo carvão (kcal/kg) | 8600.00 |
| Eficiência energética | 42.69 |

De acordo com os resultados obtidos, a eficiência energética para o estabelecimento de uma plantação de *E. grandis* é de 42.69, indicando um processo também eficiente. Este valor é maior quando comparado com a eficiência energética para o caso da floresta nativa apesar do cálculo deste parâmetro para a floresta nativa não ter em conta as actividades relacionadas com viveiro, estabelecimento e manutenção da plantação. Para além de ser um processo eficiente é também

uma forma mais viável de se produzir carvão vegetal e contribuir para a sustentabilidade da floresta nativa.

Este estudo também analisou a opção de comercializar a madeira produzida pela plantação na forma de lenha, em vez de produção de carvão. A tabela 13 apresenta resultados da eficiência energética para a produção e transporte de lenha a uma distância de 90 Km partir da plantação de *E. grandis*.

Tabela 13. Eficiência energética da produção de lenha a partir da plantação de *E. grandis*

| Parâmetro | Valor |
|--|-------|
| Total de energia consumida na produção e transporte de lenha (kcal/kg) | 60.29 |
| Energia produzida pela lenha (kcal/kg) | 4641 |
| Eficiência Energética | 76.97 |

A produção de lenha a partir da plantação atinge uma eficiência de 76.97. Em relação a produção de carvão esta eficiência é alta pois a actividade de produção de carvão é mais complexa o que faz aumentar o valor de energia consumida na sua produção e consequentemente diminui a sua eficiência.

Para além do eucalipto, outras culturas como soja e girassol mostraram-se eficientes com valores de 3.21 e 1.12 respectivamente, num estudo feito por Soares *et al.* (2008). A eficiência destas culturas para fins energéticos ainda precisa de estudos mais aprofundados para atender a demanda de combustíveis.

Lima *et al.* (2007), num estudo com o objectivo de contabilizar as entradas e as saídas energéticas do sistema de produção da cultura de *Eucalyptus benthamii* para lenha, obteve resultados de balanço positivos (81.87) e superiores a culturas como girassol, soja, cana-de-açúcar e mandioca. Considerou *Eucalyptus benthamii* como uma excelente alternativa para uso em programas de bioenergia devido ao seu baixo investimento em energia fóssil e ao elevado retorno energético.

Moreira *et al.* (2005), realizou uma avaliação energética de cultivo e exploração de *Eucalyptus grandis* de 9 anos , com 1 700 árvores por hectare da mesma espécie e teve uma eficiência de 8.09 e 8.20 com os tratamentos com e sem composto respectivamente. Os baixos valores obtidos em comparação do este estudo devem-se provavelmente ao maior uso de adubos e uso de tecnologias avançadas levando a um maior consumo de energia devido aos equipamentos e combustíveis fósseis.

Os resultados aqui obtidos confirmam a viabilidade energética do uso de plantações. Entretanto é preciso referir que, apesar da sua vantagem ambiental em relação a outras fontes de energia, o uso de plantações florestais para fins energéticos em Moçambique constitui um desafio. Segundo Afonso (2012), na década de 1980, o governo liderou o estabelecimento de plantações do género *Eucalyptus* nas cidades de Maputo, Beira e Nampula destinados à produção de combustível lenhoso. Mas devido ao facto do custo de produção do metro cúbico de lenha de eucalipto ser superior ao preço de venda do metro cúbico da lenha proveniente da floresta nativa, as plantações foram abandonados. O outro motivo do abandono foi a preferência do mercado pelo carvão de alta densidade produzido pelas florestas nativas.

4.4. Emissão dos GEE no processo de produção de carvão vegetal

As emissões de gases de efeito estufa são, na sua maioria, derivadas da produção de energia. O uso de combustíveis fósseis é a maior influência humana sobre o clima em comparação com outras fontes de energia (IPCC, 2007). O abate das árvores é normalmente feito com a motosserra e o transporte com caminhões cujos combustíveis, por serem de origem fóssil, emitem GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) pela sua queima. A tabela 14 apresenta as emissões de GEE, calculadas para o processo de produção de carvão a partir de floresta nativa Posto Administrativo de Mahele.

Tabela 14. Consumo médio de energia e emissões de GEE em Gg no processo de produção de carvão vegetal em floresta nativa

| Tipo de energia | Actividade | Emissões (Gg/kg ano) | | | Todos GEE (Gg CO ₂ e) |
|-----------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | |
| Directa | Abate | | | | |
| | Gasolina | 1.64E-03 | 2.36E-07 | 1.42E-08 | 1.65E-03 |
| | Lubrificante | 2.12E-04 | 2.89E-08 | 1.74E-09 | 2.13E-04 |
| | II. Transporte | | | | |
| | Diesel | 1.39E-02 | 1.88E-06 | 1.13E-07 | 1.40E-02 |
| | Lubrificante | 3.37E-03 | 4.60E-07 | 2.76E-08 | 3.39E-03 |
| | Subtotal | 1.91E-02 | 2.60E-06 | 1.56E-07 | 1.92E-02 |
| Indirecta | Abate | | | | |
| | Motosserra | 7.24E-06 | 3.72E-07 | 1.95E-07 | 7.81E-06 |
| | Machado | 2.31E+03 | 1.19E+02 | 6.24E+01 | 2.49E+03 |
| | Cunha | 1.90E+03 | 9.74E+01 | 5.11E+01 | 2.05E+03 |
| | Martelo | 4.63E+02 | 2.38E+01 | 1.25E+01 | 4.99E+02 |
| | Construção do forno | | | | |
| | Pá | 4.63E+03 | 2.38E+02 | 1.25E+02 | 4.99E+03 |
| | Operações complementares | | | | |
| | Picareta | 2.31E+03 | 1.19E+02 | 6.24E+01 | 2.49E+03 |
| | Pá | 4.63E+03 | 2.38E+02 | 1.25E+02 | 4.99E+03 |
| | Enxada | 2.31E+03 | 1.19E+02 | 6.24E+01 | 2.49E+03 |
| | Forquilha | 1.85E+03 | 9.50E+01 | 4.99E+01 | 2.00E+03 |
| | Transporte | | | | |
| | Camião | 3.82E+04 | 1.96E+03 | 1.03E+03 | 4.12E+04 |
| | Consumo | | | | |
| Fogão | 4.58E-06 | 2.35E-07 | 1.24E-07 | 4.94E-06 | |

| | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Subtotal | 5.86E+04 | 3.01E+03 | 1.58E+03 | 6.32E+04 |
| Total | 5.86E+04 | 3.01E+03 | 1.58E+03 | 6.32E+04 |

A partir desta tabela, observa-se que o transporte é a actividade com maiores valores de emissões de GEE com cerca de 65.17% das emissões totais.

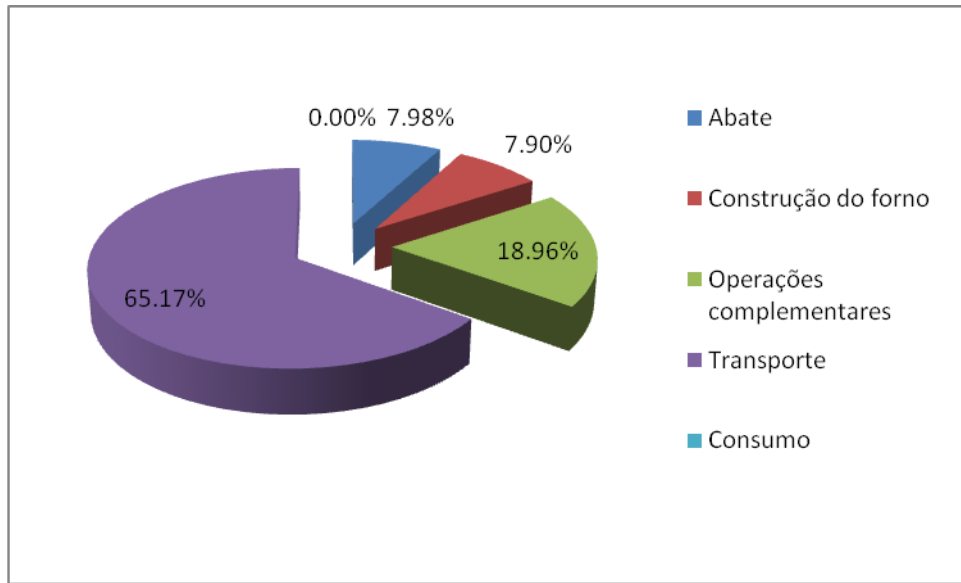


Figura 13. Contribuição dos GEE nas etapas de produção de carvão vegetal a partir de floresta nativa

O CO₂ é o GEE emitido em maiores quantidades representando 92.74% das emissões totais, seguido do CH₄ que emite cerca de 4.76% e o N₂O com 2.5%. O diesel é o maior contribuinte para estas emissões. Segundo Santos (2006), o maior problema associado à emissão de gases deste combustível são os problemas à saúde humana pois têm potencial cancerígeno das partículas devido a sua composição: partículas sólidas de carvão mineral e compostos orgânicos absorvidos nelas.

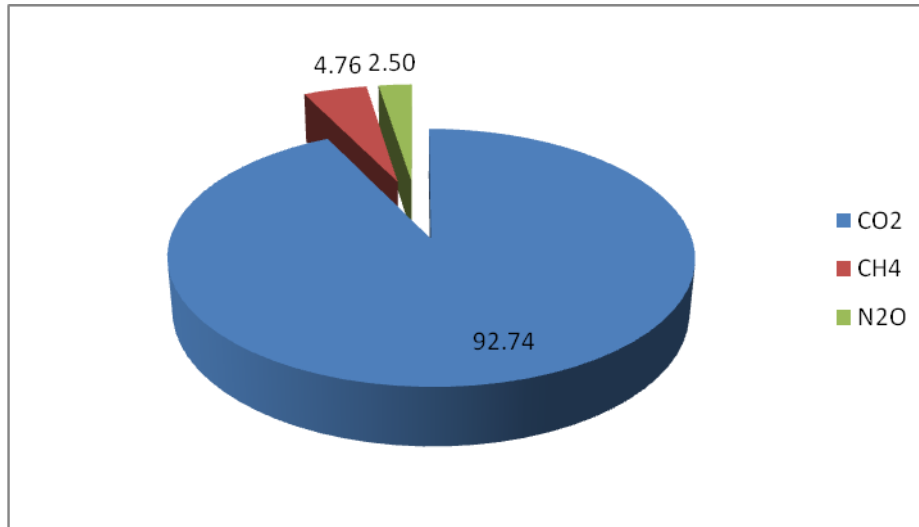


Figura 14. Contribuição dos GEE na produção de carvão vegetal a partir de floresta nativa

Do inventário feito pelo MICOA em 2003 usando dados de 1994 para a contabilização de GEE, o CO₂ foi também o maior contribuinte das emissões de GEE, só o sector energético contribuiu com 1 534Gg de CO₂, o N₂O com 1 Gg e nada foi emitido de CH₄. O CH₄ que em 1994 não havia sido emitido, nesta actividade foi possível observar que houve um acréscimo na quantidade deste gás.

Magaia (2004), calculou a emissão de gases de efeito estufa para o sector de transporte na Cidade de Maputo usando um modelo da poluição do ar e constatou que 96.71% das emissões derivavam do CO₂, 0.01% do CH₄ e 1.93% de N₂O.

5. CONCLUSÃO

Com o presente trabalho pretendeu-se analisar a eficiência energética e contabilizar a emissão de GEE associadas ao processo de produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele e concluiu-se que:

A produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele é proveniente de floresta nativa. As espécies usadas na produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele são *Acacia nilotica*, *Colophospermum mopane* e *Combretum imberbe*. A madeira é extraída de árvores de florestas nativas segundo um regime de licença simples, mas ainda verifica-se a extracção de espécies proibidas, o caso da espécie *Combretum imberbe*, actividade que conduz a uma exploração insustentável.

O processo de produção de carvão vegetal no Posto Administrativo de Mahele teve um consumo energético estimado em 195.58 kcal por cada quilograma de carvão vegetal produzido. Um consumo inferior de energia, quando comparado com a energia necessária para o estabelecimento de plantações de *Eucalyptus grandis* para produção de carvão vegetal que foi na ordem de 201.47 kcal de energia para cada quilograma de carvão vegetal produzido.

Os dois processos mostraram-se eficientes por possuir energia produzida maior que a energia consumida. Mas contando que a floresta plantada segue um regime de manejo bem definido, o processo de produção de carvão vegetal torna-se mais viável para a floresta plantada.

No que diz respeito às emissões de GEE na cadeia de produção, transporte e uso do carvão vegetal, a actividade de transporte é a que mais emite GEE com cerca de 65.17% do total emitido devido ao consumo de diesel como combustível. O CO₂ foi o GEE emitido em maiores quantidades com cerca de 92.74%, o CH₄ e NO₂ foram emitidos em menores quantidades em cerca de 4.76% e 2.5% respectivamente.

6. RECOMENDACÕES

- Melhoria da fiscalização na exploração de espécies florestais para a produção de carvão vegetal;
- Utilização de combustíveis alternativos mais eficientes nos equipamentos como etanol e biodiesel, permitiria aumentar a eficiência energética e consequentemente reduzir parte das emissões de GEE;
- Promoção de técnicas melhoradas de produção e consumo de carvão (aumento da eficiência de produção contribuindo para o aumento da eficiência energética).
- Introdução de Programas de reflorestamento com espécies de rápido crescimento para produção de carvão vegetal de modo a preservar as florestas nativas;

7. BIBLIOGRAFIA

ADENE (2008). A Utilização Racional de Energia nos Edifícios Públicos. Lisboa: Agência Para a Energia 28pp

ADENE (2010). Guia da Eficiência Energética. Lisboa: Agência Para a Energia. 84pp

Afonso, C. M. I. (2012). Uso da Antracologia Como Instrumento de Fiscalização do Carvão Vegetal em Moçambique. Curitiba. 68pp

Ageneal (2007). Energia. Disponível em: <http://www.ageneal.pt> acessado a 6 de Junho de 2013

Almeida, M.R.; Rezende, M.E.A. (1982). O Processo de Carbonização Contínua da Madeira. Fundo Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Belo Horizonte. 393pp

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2009). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Parte 2. Capítulo 4. Brasil. 199pp

Atanassov, B.; Egas, A.; Falcão, M.; Fernandes, A.; Mahumane, G. (2012). Mozambique Urban Biomass Energy Analysis 2012. MINE. 55pp

Barbieri, J. C. & Cajazeira, J. E. (2009). Avaliação do Ciclo de Vida do Produto Como Instrumento de Gestão da Cadeia de Suprimento – O Caso do Papel Reciclado. Brasil. 16pp

Busse, B. N. (2010). Textos Acadêmicos Sobre Eficiência Energética: Uma Amostra Quantitativa dos Últimos 40 Anos de Pesquisa. ESPECIALIZE Revista Online. 13pp

CSS (2011). Greenhouse Gases. University of Michigan. Michigan 2pp

Colombo, S. F. (2006). Produção De Carvão Vegetal Em Fornos Cilíndricos Verticais: Um Modelo Sustentável . São Paulo: XIII SIMPEP - Bauru.

DNTF. (2009). Estratégia para o Reflorestamento. Ministério da Agricultura. Maputo. 22pp

DPPFM (2013). Retrato Rural da Província de Maputo: Dados Básicos. Disponível em: <http://www.retratorural.pmaputo.gov.mz>

ECOPART. (2009). Inventário de Gases de Efeito Estufa. São Paulo. 60pp

EEO –Energy Efficiency Office (2000). Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Cost (LCC) Tool for Commercial Building Developments in Hong Kong. Hong Kong. 17pp

Egas, A. F. (2006). Avaliação De Custos De Consumo De Carvão E Outras Fontes De Energia Doméstica Na Cidade Da Beira. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Maputo. 23pp

Electrocity (2010). Genesis Energy. Disponível em: <http://www.electrocity.co.nz> acessado a 6 de Junho de 2013

ENE - Estratégia Nacional de Energia. (2000). Conselho Nacional de Electricidade Serie I- Número 39. Maputo. 10pp

ESSON (sd) Heating Values of Hydrogen and Fuels. disponível em <http://www.essom.com>

Fath, H. (2001). Commercial Timber Harvesting in the Natural Forests of Mozambique. FAO. Roma. 56pp

Garcia, A. G. P. (2003). Impacto da Lei de Eficiência Energética Para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria. Rio de Janeiro. 127pp

Gervásio, H. (sd). A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas. Portugal. 16pp

Gomes e Sousa, F. A. (1966). Dendrologia de Moçambique. Estudo Geral. Vol I. Série: Memórias. Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique. Centro de Documentação Agrária. 822pp

Herrmann, E.; Milton, S.; Seymour C. (2003). A Collation and Overview of Research Information on Combretum Imberbe Warwa (Combretaceae) and Identification of Relevant Research Gaps to Inform Protection of the Species. Department of Water Affairs and Forestry. South Africa. 23pp

IEA (2004). Energy Statistics Manual. Paris. Disponível em http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/statistics_manual.pdf acessado a 25 de Janeiro de 2013

IPCC (2007). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 20pp

Kambewa, P., *et al.* (2007). A study of charcoal consumption, trade and production in Malawi. IIED. Malawi. 73pp

Lima, E. A. *et al.* (2007). Balanço Energético da Produção de *Eucalyptus benthamii* para Uso em Programas de Bioenergia. Comunicado Técnico 183. Paraná. 6pp

Mabote, I. B. (2011). Avaliação do Impacto da Comercialização do Carvão Vegetal no Rendimento das Famílias Rurais do Distrito de Magude. Faculdade de Economia – UEM. 48pp

MAE (2006). Perfil do distrito de Magude Província de Maputo. 57pp

Magaia, N. (2004). Avaliação das Emissões dos Transportes Rodoviários na Cidade de Maputo. Departamento de Engenharia Química-UEM. 30pp

Manhiça, G., & Duraisamy, J. (2006). Tecnologias de Produção de Carvão . Projecto OSRO/RAF/403/SAF & UTF/MOZ/074/MOZ “Apoio ao Maneio Comunitário dos Recursos Naturais” . Maputo. 60pp

Manjate, R. S. (2000). Manual de Produção Artesanal de Carvão Vegetal. Maputo.17pp

Mann, M. E. & Kump, L. R. (2008). Dire Predictions- Understanding Global Warming. DK. New York. 208pp

Marques, S. (2007). Energias Fósseis versus Energias Renováveis: Proposta de Intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico. Universidade do Minho-Braga. 227pp

Martin, F. M. (1989). El Carbón Vegetal: Propiedades y Obtención. Madrid: Mundi- Prensa. 114pp

Marzoli, A. (2007). Inventário Florestal Nacional. DNTF. 98pp

Meil, J. & Trusty, W. (1996). Life Cycle Impact Assessment of Building Materials: An Appraisal. Life Cycle Environmental Impact Analysis for Forest Products. 17-24p

MICOA (2003). Mozambique Initial National Communication to the Unfccc. 120pp

MINE - Ministério da Energia (2010). Consumo de Energia em Moçambique, disponível em www.me.gov.mz, acessado em 19 de Abril de 2012.

Moreira, C. R., Guerrini, I. A., & Biaggioni, M. A. (2005). Avaliação Energética do Cultivo de Eucalipto, Com e Sem Composto de Lixo Urbano. São Paulo. 19pp

Mourana, B., & Serra, C. M. (2010). 20 Passos para a Sustentabilidade Florestal em Moçambique. Ciedima. Maputo. 108pp

NLA. (2010). Making Charcoal Production in Sub Sahara Africa Sustainable. Holanda. 59pp

Orwa C.; Mutua A.; Kindt R.; Jamnadass, R.; Simons, A. (2009). Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 Disponível em:

<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/> Acessado a 20 de Maio de 2013

Palgrave, K. C. (2002). Trees of Southern Africa. 3rd ed. Cape Town. 1212pp

Plantar S.A. (2009). Formulário do Documento de Concepção do Projeto para Atividades de Projetos de Florestamento e Reflorestamento. Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil, Versão 3.

Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia (2002). Decreto nº 12/2002 de 6 de Junho

Ribeiro, S. K. & Mattos, L.B.R. (2000). A Importância do Sector de Transporte Rodoviário no Aquecimento Global: O Caso da Cidade do Rio de Janeiro. Anais de XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. ANPET. Gramado. 291-299p

Santos, A. H. M. *et al.* (2006). Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. 3^aed. Ijatubá: FUPAI. 596pp

Santos, R. E., & Santos, I. A. (2008). Análise da Viabilidade Energética da Produção de Etanol em Microdestilarias. Minas Gerais. 8pp

Sitoe, A.; Mirira R.; Tchaúque, F. (2007). Avaliação dos Níveis de Consumo da Energia de Biomassa nas Províncias de Tete, Nampula, Zambézia, Sofala, Gaza e Maputo. Ministério da Energia. UEM-FAEF. Maputo. 41pp

Serra Jr, C. & Chicue, J. (2005). Lei de Florestas e Fauna Bravia. Kapicua. Maputo. 45pp

Soares, L. H. B. *et al.* (2008). Eficiência Energética Comparada das Culturas do Girassol e Soja, com Aptidão para Produção de Biodiesel no Brasil. Circular Técnica 25. Rio de Janeiro. 6pp

Sullivan, J. L., & A. Burnham; M. Wang (2010). Energy-Consumption and Carbon-Emission Analysis of Vehicle and Component Manufacturing. Argonne National Laboratory. Argonne. 37pp

UN (1987). Energy Statistics: Definitions, Units of Measure and Conversion Factors. Department of International Economic and Social Affairs. New York

Valência, A. (2012). Avanços Tecnológicos da Produção de Carvão Vegetal. Fórum Brasil sobre Biomassa e Energia. Viçosa. 50pp

ANEXO I- Estudo de tempo

ANEXO II- Inquéritos

Estrutura do inquérito para actividade de exploração da lenha (para construção do forno e produção de carvão vegetal)

Nome _____

1. Posição que ocupa no agregado familiar _____

2. Qual é a principal fonte de rendimento? _____

3. Quais são as espécies? _____

4. Como é feito o abate das árvores? (Incluindo os instrumentos usados) _____

Potência do motor _____

Preço do combustível _____

5. Número de operários _____

6. Formação _____

7. Qual é o combustível usado no abate? _____

8. Consumo do combustível por hora _____

9. Qual é o tempo de vida útil do instrumento? _____

10. Número de árvores para construir um forno? _____

11. Qual é a quantidade de combustível usada para construir um forno? _____

12. Quanto tempo leva a cortar cada árvore? _____

13. Com que frequência faz esta actividade? _____

Estrutura do inquérito para a construção do forno

Nome _____

14. Posição que ocupa no agregado familiar _____

15. Qual é a principal fonte de rendimento? _____

16. Como obtém a matéria-prima? _____

17. Número de operários _____

18. Formação _____

19. Quais são as espécies usadas para a construção de fornos? _____

20. Como é construído o forno? (Incluindo os instrumentos usados) _____

21. Qual é o tempo de vida útil dos instrumentos? _____

22. Qual é o número de operários? _____

23. Quantos fornos fazem por unidade de tempo (mês ou ano)? _____

24. Qual é o tipo de forno construído?

- a) Tipo barco
- b) Tipo casa-mansa
- c) Tipo rabo quente
- d) Tipo metálico

25. Onde são construídos os fornos (a que distancia do ponto de venda)? _____

26. Com que frequência constroem os fornos?

Estrutura do inquérito para o transporte de carvão vegetal

Nome _____

Marca da viatura _____

Tonelagem _____

Tipo de camião _____

27. Posição que ocupa no agregado familiar _____

28. Qual é a principal fonte de rendimento? _____

29. Número de operários _____

30. Número de dias de trabalho _____

Finais de semana _____

Feriados _____

31. Formação _____

32. Há quanto tempo executa a actividade de transporte? _____

33. Na viagem de ida/volta transporta alguma mercadoria? Qual? _____

34. Qual é o combustível usado no transporte? _____

35. Com que frequência é feito o abastecimento deste combustível? _____

36. Qual é a distância percorrida (km)? _____

37. Quantidade de carvão transportada? (Número de sacos) _____

ANEXO III- Tabelas de Dados

Tabela 16. Dados colhidos para floresta nativa

| Designação | Dados | Fonte |
|---|--------------|--|
| Capacidade do saco (kg) | 68 | Inquéritos |
| Consumo de carvão (kg/família/dia) | 2.64 | Atanassov <i>et al.</i> , 2012 |
| Consumo de gasolina/forno (l) | 15 | Inquéritos |
| Consumo de Lubrificante em motosserras (em % de gasolina) | 10 | Fath <i>et al.</i> (2001) |
| Consumo de lubrificante em camiões (em % de diesel) | 1.0 | |
| Densidade da gasolina (g/cm ³) | 0.740 | ESSON (s.d.) |
| Densidade do Lubrificante (g/cm ³) | 0.750 | |
| Distância de transporte (km) | 180 | Inquéritos |
| Energia consumida/trabalhador (MJ/h) | 0.39 | Moreira <i>et al.</i> , 2005 |
| Energia embutida no aço (MJ/kg) | 32 | Moreira <i>et al.</i> , 2005 |
| Energia embutida no plástico (MJ/kg) | 85 | Moreira <i>et al.</i> , 2005 |
| Equipe da construção do forno (pessoas) | 3 | Inquéritos |
| Equipe de transporte (1 motorista + 1 ajudante) | 2 | Inquéritos |
| Massa específica do diesel (g/cm ³) | 0.84 | ESSON (s.d.) |
| Número de carregamentos por ano | 104 | Inquéritos |
| Número de fornos por ano | 48 | Inquéritos |
| Número de sacos transportados | 120 | Inquéritos |
| Número de sacos/forno (sacos) | 30 | Inquéritos |
| Peso dos diferentes componentes do camião (kg) | 11024.8 | Deduzido de Sullivan, J. L., & A. Burnham; M. Wang (2010). |
| Peso do aço catana (kg) | 0.46 | Pesagem directa |
| Peso do aço cunha (kg) | 0.82 | Pesagem directa |
| Peso do aço do fogão (kg) | 2.6 | Egas (2006) |
| Peso do aço enxada (kg) | 1 | Pesagem directa |
| Peso do aço forquilha (kg) | 0.8 | Pesagem directa |
| Peso do aço machado (kg) | 1 | Pesagem directa |
| Peso do aço martelo (kg) | 0.2 | Pesagem directa |
| Peso do aço pá (kg) | 2 | Pesagem directa |
| Peso do aço picareta (kg) | 1 | Pesagem directa |
| Peso total da motosserra (kg) | 3.9 | Fabricante |
| Peso total do camião (kg)- marca Mercedes | 16000 | Inquéritos |
| Poder calorífico da gasolina (MJ/kg) | 43.5 | ESSON (s.d.) |
| Poder calorífico do diesel (MJ/kg) | 42.8 | ESSON (s.d.) |
| Tempo de abate (h) | 8 | Inquéritos |

| | | |
|---|-----|---------------------------|
| Tempo de trabalho ensacamento - 10h/dia; 2 dias de trabalho/dia - (h) | 20 | Inquéritos |
| Tempo de trabalho na construção do forno - 8h/2dias (h) | 16 | Inquéritos |
| Tempo de trabalho no controlo do forno - 2 hrs/7 dias (h) | 14 | Inquéritos |
| Tempo de transporte: ida e volta (h) | 24 | Inquéritos |
| Vida útil da motosserra (anos) | 2 | Fath <i>et al.</i> (2001) |
| Vida útil da catana (anos) | 1 | Inquéritos |
| Vida útil da cunha de abate (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil da cunha do martelo (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil da enxada (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil da forquilha (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil da pá (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil da picareta (anos) | 0.5 | Inquéritos |
| Vida útil do camião (anos) | 10 | Fath <i>et al.</i> (2001) |
| Vida útil do fogão de carvão (anos) | 2 | Egas (2006) |
| Vida útil do machado (anos) | 0.5 | Inquéritos |

Tabela 17. Espécies produtoras de Madeira de 4ª classe

| Nº | Espécie | Nomes Comerciais | Nomes vernaculares | DAP mín. (cm) |
|-----|----------------------------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| 92 | <i>Acacia albida</i> | | Micaia, Dzungua, Sango | 40 |
| 93 | <i>Acacia burkei</i> | | Micaia, Munga | 40 |
| 94 | <i>Acacia eriobola</i> | | Micaia, Munga | 40 |
| 95 | <i>Acacia karoo</i> | | Micaia, Munga | 40 |
| 96 | <i>Acacia nilotica</i> | | Micaia, Munga | 30 |
| 97 | <i>Acacia polycantha</i> | | Micaia, N'roca | 40 |
| 98 | <i>Acacia robusta</i> | | Micaia, Massadzi | 40 |
| 99 | <i>Acacia Senegal</i> | | Micaia, Munga | 30 |
| 100 | <i>Acacia sieberana</i> | | Micaia, Gunga | 40 |
| 101 | <i>Acacia tortilis</i> | | Micaia, Munga | 30 |
| 102 | <i>Acacia xanthophloea</i> | | Micaia, Megerenge | 40 |
| 103 | <i>Antidesma venosum</i> | | Nhonge, Chongue | 30 |
| 104 | <i>Borassus aethiopicum</i> | | Mudicua, Palmeira | 30 |
| 105 | <i>Cussonia sp</i> | | Chapwapwa, Nampuko-puko | 50 |
| 106 | <i>Dolichandrome alba</i> | | Tsani | 30 |
| 107 | <i>Erytrina livingstonei</i> | | Titi, Nancilacona | 40 |
| 108 | <i>Fernando magnifica</i> | | Tondjua, Mpovataci | 30 |
| 109 | <i>Hirtella zanguebarica</i> | | Cimboma, Mucimbomba | 30 |
| 110 | <i>Hyphaene sp</i> | | Micheu, Palmeira | 30 |
| 111 | <i>Kirkia acuminata</i> | | Mtumbui, Poko-poko | 40 |
| 112 | <i>Lannea sp</i> | | Chiucanho, Msatoto, Cimuili | 40 |
| 113 | <i>Lecanidiscus fraxinifolia</i> | | Mutarara | 30 |
| 114 | <i>Manilkara sp</i> | | Nheve, Nhewa | 40 |
| 115 | <i>Mimusops sp</i> | | Ntzole, Bengwerwa | 40 |
| 116 | <i>Treculia Africana</i> | | Tchaia | 50 |
| 117 | <i>Tamarindus indica</i> | Tamarindo | Tamarinho, Wepa | 50 |

Fonte: Serra & Chicue (2005)