Trabalho desenvolvido de acordo com o projeto Institucional:

Processo: 2162/ 2022
Título: Implementação de modelo de separação de lixo residencial por sacolas coloridas
Coordenador(a) Atual: Sérgio Henrique Bernardo de Faria
Departamento de Engenharia Química

1. Arquivo do projeto de extensão ou documento que descreva o projeto:

Esse projeto consiste na implementação de um novo sistema de separação e destinação de resíduos sólidos residenciais em comunidades controladas em duas cidades de pequeno porte no norte do Paraná, Sabáudia e Astorga. O trabalho tem como objetivo proporcionar dados às administrações municipais para a elaboração de políticas locais direcionadas a reciclagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos-biológicos. Para isso, serão fornecidos aos cidadãos participantes sacolas de quatro cores diferentes destinadas a disposição de plástico, metal, papel e resíduos orgânico-biológico. Tais sacolas serão recolhidas semanalmente para a verificação da qualidade de separação e potencial de compostagem/biodigestão sendo isso feito ao longo de um ano. Feedback da população bem como da administração pública serão coletados ao longo do projeto na forma de questionários e formulários. Todo o trabalho será realizado em parceria direta com a administração municipal e associação de catadores de lixo de cada cidade.

O objetivo principal é estabelecer padrão de qualidade no tocante a presença de impurezas (plástico, vidro, entre outros materiais não compostáveis) de separação para o lixo orgânico-biológico proveniente de residências para produção de biogás no munícipio de Sabáudia-PR e Astorga-PR. Os objetivos específicos são: Verificar a viabilidade de implementação do sistema *Bag-in-bin* como principal método coleta seletiva de resíduos no município; levantar dados para implementação de pontos de coleta seletiva no município; verificar a eficiência de separação de resíduo orgânico-biológico nos domicílios; levantar dados preliminares (produção de biogás específica média, carga orgânica média, sólidos totais, etc) para dimensionamento de biodigestor municipal/regional para o lixo orgânico-biológico residencial; desenvolver métodos de avaliação primária padrão para modelos de coleta seletiva em cidades de pequenos e médio porte.

2. Ações já realizadas:

As atividades realizadas no ano de 2024 se dividiram entre trabalhos em campo e laboratoriais. Os trabalhos de campo foram realizados em sua totalidade nos municípios de Astorga e Sabáudia na forma de coleta e triagem de material orgânico para compostagem e reciclável bem como a produção de composto localmente. Já atividades laboratoriais se concentraram na caracterização do fertilizante orgânico produzido em termos de macro nutrientes e outras características agronômicas.

A coleta de material, tanto reciclável quanto do orgânico para compostagem aconteceu durante os meses de janeiro a novembro em Sabáudia e desde fevereiro em Astorga, com previsão de término em fevereiro deste ano (2025). O procedimento de coleta de ambos resíduos foi realizado durante todo o período pelas associações de catadores de lixo reciclável de cada município (Figuras a seguir).

Asmara

RECICLAVEL

O número de residências acompanhadas durante o período foi de 37 em Sabáudia e 34 em Astorga. Residências avaliadas em Astorga eram organizadas em condomínios e em Sabáudia não. Os dias de coleta foram fixos na terça-feira em ambas cidades, sendo coletado somente o material orgânico para compostagem adicionalmente na sexta-feira a partir de agosto.

Durante o período foram distribuídas sacolas plásticas recicláveis coloridas para os moradores. Em Sabáudia, foram distribuídas semanalmente um kit contendo uma sacola vermelha, amarela, azul e duas marrons, seguindo o padrão de coloração de lixeira para reciclável. Já em Astorga, foram entregues pacotes contendo 500 sacolas verdes e marrons, reciclável e orgânico para compostagem respectivamente, aos zeladores que distribuíram aos moradores conforme a necessidade. As sacolas foram respostas conforme pedido destes (Figuras a seguir).

BIOLÓGICO
RECICLÁVEL

Após a coleta o material foi pesado utilizando balanças disponíveis na associação e encaminhado para a triagem. O material reciclável foi separado pela associação nos seguintes materiais:

- Plástico polietileno tereftalato (PET);
- Plástico polietileno de alta densidade (PEAD);
- Plástico polietileno de baixa densidade sacolinha (PEBD)
- Plástico polietileno de baixa densidade tipo cristal;
- Plástico polipropileno (PP);
- Papelão;
- Papel branco;
- Papel misto;
- Embalagem multicamada tipo Tetra Pak;
- Vidro misto;
- Sucata;
- Alumínio

Já o material orgânico para compostagem foi triado pelos pesquisadores, sendo excluídas sacolas com contaminações visíveis ou rasgadas. Após a separação, o material reciclável foi pesado e o orgânico seguiu para compostagem.

O processo de compostagem foi conduzido em composteiras de três compartimentos empilhados. Cada comportamento consiste em uma caixa plástica vazada com fundo impermeabilizado coberto com telas plásticas permitindo a aeração (Figuras a seguir).

14
11
53

Z18
Z1

16
17

Cada compartimento foi alimentado semanalmente sem ocorrer mistura prévia do material a fim de evitar contaminação cruzada entre sacolas e perca total do composto. Após o período de um mês cessou-se a alimentação. O período total de compostagem foi de 90 dias após a ultima alimentação seguida por uma semana de estabilização fora da composteira em sacos aerados. O material de cada composteira foi remexido semanalmente. O processo foi realizado a seco, ou seja, sem a coleta e disposição do

chorume do sistema de compostagem. As composteiras foram separadas por mês e por cidade, gerando um total de 36 compartimentos e 12 composteiras para cada município.

As análises laboratoriais foram realizadas apenas no composto orgânico estabilizado. Os parâmetros avaliados foram:

- Nitrogênio total;
- Fósforo total e solúvel em ácido cítrico;
- Potássio;
- Enxofre total;
- Carbono Orgânico Total (COT);
- Capacidade de troca de Cátions (CTC);
- Umidade;
- pH.

Os ensaios foram realizados seguindo a metodologia do manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos do ministério da agricultura em triplicata. Todas as análises foram conduzidas nos laboratórios do Departamento de Engenharia Química com exceção do Nitrogênio total, que são feitos pelo Laboratório de Meio Ambiente e Química do SENAI de Curitiba. Foram analisados os compostos orgânicos dos meses de meses de coleta de dezembro até maio. Os ensaios para os demais meses estão previstos para serem iniciados a partir da segunda semana de março deste ano (2025).

4. Resultados e ações derivadas

As atividades de pesquisa até aqui realizadas já geram resultados parciais suficientes para algumas ações já serem realizadas ou iniciadas. Durante o período foi coletado um total de 2760 kg em Astorga e 4000 kg em Sabáudia sendo somados o material descartado para compostagem e para reciclagem. Desse total, 460 kg e 955 kg foram de material destinado a compostagem e 2300 kg e 3045 kg de material destinado a reciclagem, para Astorga e Sabáudia respectivamente.

O material coletado apresentou porcentagem de rejeito muito maior em Sabáudia do que em Astorga, no acumulado a fração de rejeito total descartado foi de 32% e 52% respectivamente. Essa quantidade ocorreu devido a grande diferença no aproveitamento do resíduo reciclável nas cidades, não sendo superior a 45% em Sabáudia frente aos 65% em Astorga. O aproveitamento do material destinado a compostagem foi similar nas duas cidades, principalmente no primeiro semestre de avaliação, uma vez que apresentou uma queda gradual em Sabáudia.

A quantidade coletada de material destinada a reciclagem variou pouco ao longo do período em ambas cidades, ficando entorno das médias de 893 g/sem.dom (por semana e por domicilio) e 712 g/sem.dom em Astorga e Sabáudia, respectivamente. Entretanto, a quantidade de material descartada para compostagem variou substancialmente ao longo do período em ambas localidades. Essa diferença ocorreu devido a variação da adesão das famílias com a separação de material biológico. Essa condição também foi influenciada a fatores sazonais, principalmente resíduo verde e de jardinagem.

Em relação a caracterização do material coletado, verificou-se a predominância de papel e plástico na fração reciclável, sendo plástico PET e papelão os tipos com maiores presenças de cada categoria. Em Astorga, foi verificado uma quantidade de vidro muito superior ao observado em Sabáudia. Em adição, não foi verificado a presença de papel branco em separado no lixo descartado em Sabáudia.

Sobre o composto orgânico produzido, só foram feitas análises de bateladas referentes até o mês de maio, para ambas cidades. Resultados parciais indicam relação C/N abaixo do limite máximo de 30, com valores de COT acima do mínimo permitido. O composto proveniente de Astorga apresentou uma quantidade de nutrientes maior do que em Sabáudia. Ambos apresentaram um pH levemente básico na média. Resultados resumidos para o material são apresentados na tabela a seguir:

Nutriente/Característica	Astorga		Sabáudia	
	Valor	Unidade	Valor	Unidade
Fósforo total	1,9	% P205	1,3	% P205
Fósforo Sol. Ac. Cítrico 2%	1,4	% P205	0,5	% P205
Potássio	0,5	% K2O	0,4	% K2O
Nitrogênio	2,2	% N	1,3	% N
Enxofre	0,1	% S	0,1	% S
CTC	550,2	mmol/dm³	439,9	mmol/dm³
Carbono Orgânico	51	% CO	39	% CO
Umidade 65°C	25	%	26	%
pH	8,14	-	7,80	-
C/N	23,2	-	30,0	-

A seguir são apresentados os resultados utilizando gráficos e descrevendo-os.

Sabáudia

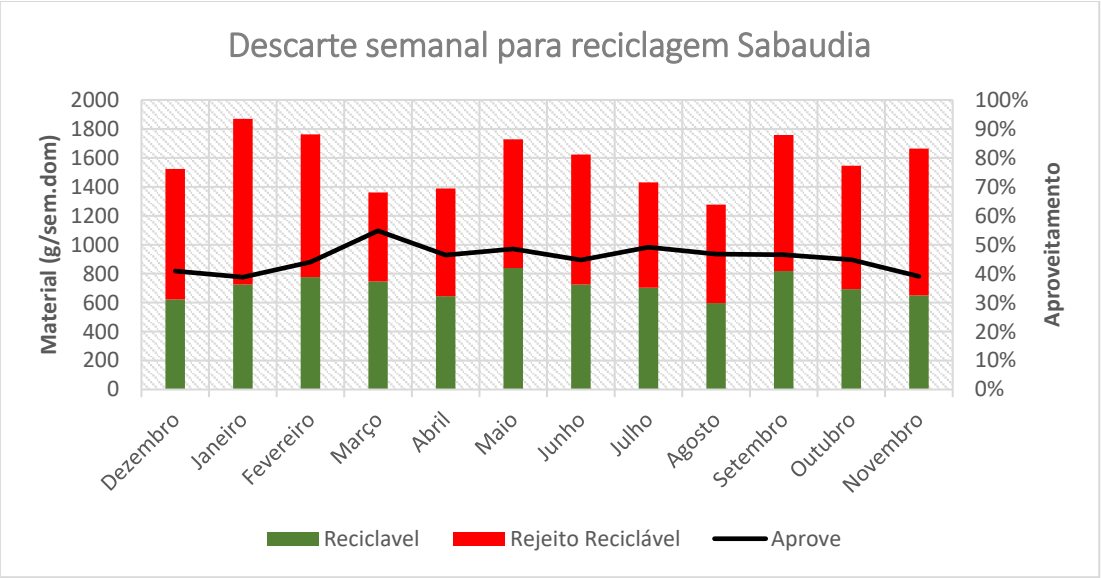

Figura 1 - Descarte semanal por domicílio de material destinado a reciclagem em Sabáudia.

O material coletado para reciclagem em Sabáudia apresentou uma fração elevada de rejeito. O aproveitamento do material foi máximo em março, 55%, porém em termos quantitativos, o maior valor foi em maio, 839 g/sem.dom, Apesar do pico de coleta ser em janeiro e setembro, estes meses não apresentaram grandes diferenças em relação a média, 719 g/sem.dom, na quantidade reciclada. Apesar dessas variações, a taxa de reciclagem do material não se distanciou mais de 10% (em valores absolutos) da média global.

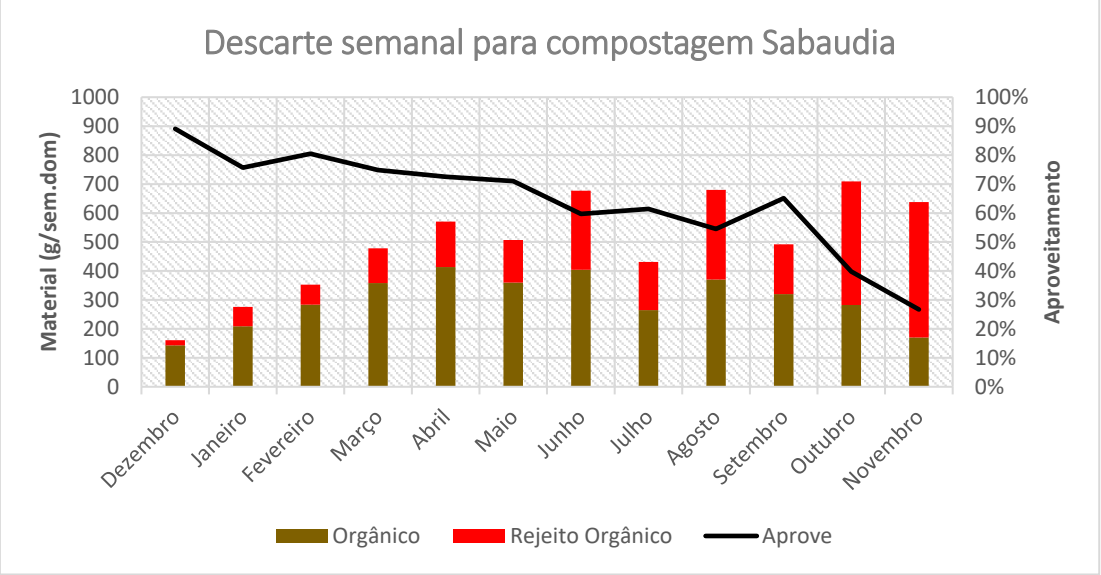

Figura 2 - Descarte semanal por domicílio de material destinado a compostagem em Sabáudia.

O lixo destinado a compostagem teve uma taxa de coleta crescente nos primeiros 5 meses de projeto, quando alcançou a marca 414 g/sem.dom, se mantendo estável por três meses. Neste período, entretanto, verificou-se uma leve queda gradual no aproveitamento do material coletado, que se acentuou ao final do projeto, com quedas bruscas entre os meses de setembro e novembro, 65% para 27%. Vale ressaltar que a

quantidade de material coletado se manteve elevada durante os meses finais, mas apenas sustentada pelo rejeito, que se mostrou predominante.

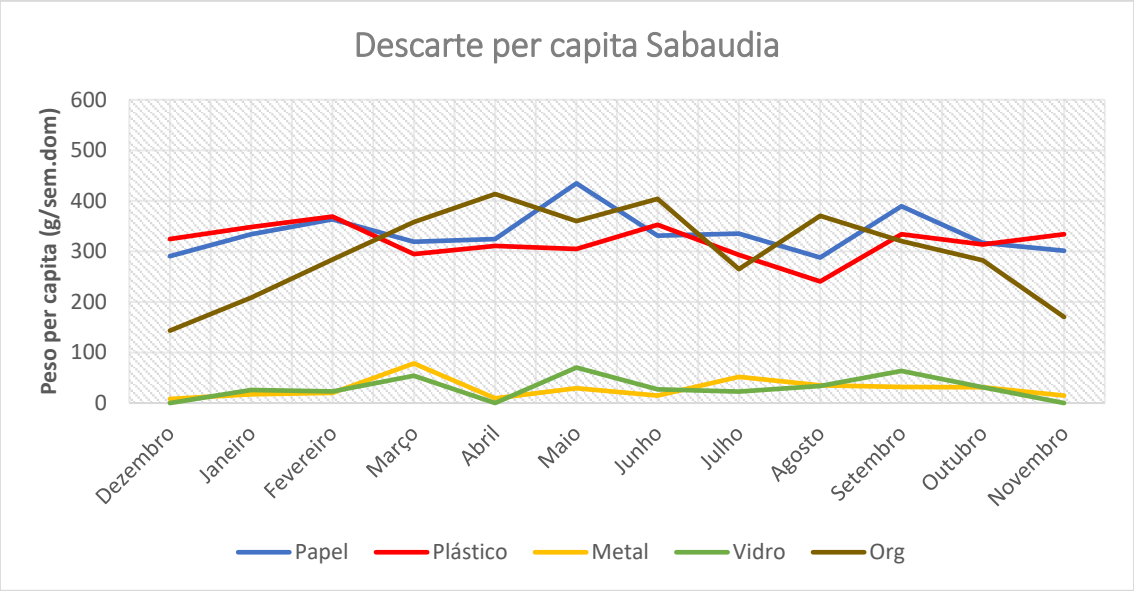

Figura 3 - Descarte semanal per capita de plástico, papel, vidro, metais e material orgânico para compostagem em Sabáudia

O material reciclado consistiu majoritariamente de plástico e papel ao longo de todo período, com alternância entre a majoritariedade entre os dois, porém com valores muito próximos. Mesmo com a presença de picos de papel em maio e setembro, os demais meses apresentaram valores próximos, não desviando mais do que 15% em relação a média. Esse comportamento foi verificado também para o plástico, porém sem a presença de picos. Metal e vidro, tiveram coletas intermitentes, não sendo verificados em várias semanas, o que resultou em valores médios muito baixos. Comparativamente, a quantidade de material para a compostagem em massa foi similar e até mesmo superior a de papel e plástico, com exceção dos dois primeiros meses e do último mês de avaliação.

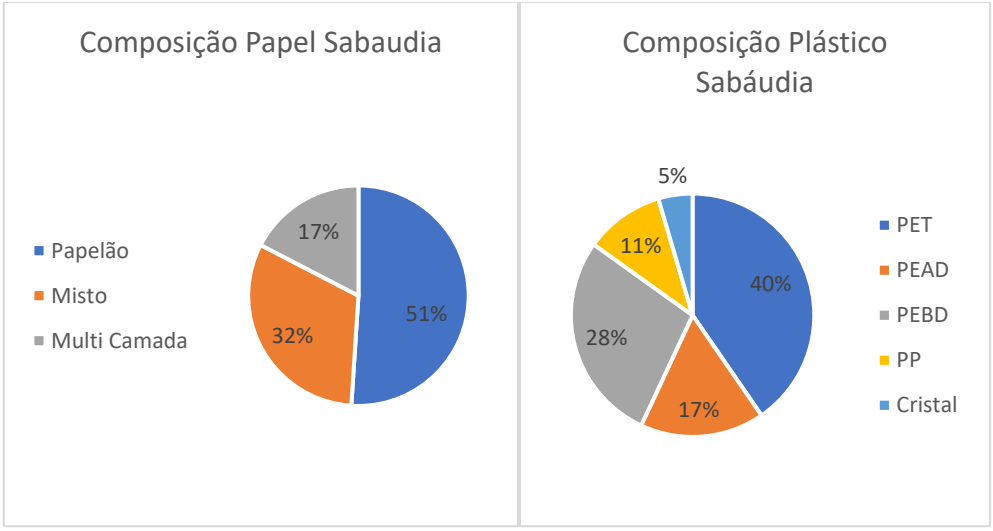

Figura 4 – Composição do Papel e Plástico reciclados em Sabáudia

Em relação a composição do papel, verificou-se a predominância de papelão frente aos demais tipos de papel, sendo mais de 50% do total. Já a composição do plástico

se dividiu em cinco tipos, sendo PET e PEAD os com maior presença em massa, 40% e 28% respectivamente. Os demais tipos, Cristal, PP e PEBD não somaram um terço do total.

Astorga

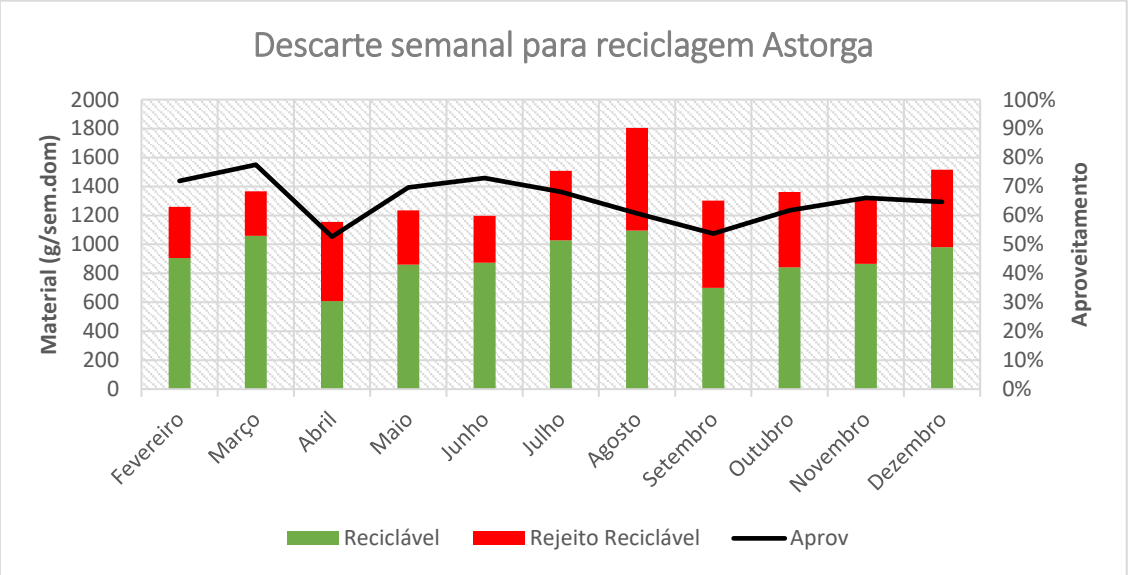

Figura 5 - Descarte semanal por domicílio de material destinado a reciclagem em Astorga

O material coletado para reciclagem em Astorga apresentou uma fração de rejeito baixa, com picos em Abril e Setembro, quando ao fração de rejeito foi de 47% e 46% respectivamente. O aproveitamento do material, entretanto, foi máximo em março, 78%, porém em termos quantitativos, o maior valor foi em Agosto, 1096 g/sem.dom, Mesmo com a taxa de reciclagem sendo sempre superior a 50%, verificou-se um período de queda gradual entre junho e setembro. Com exceção de abril, todos outros meses ficaram a 20% em relação a média global de 896 g/sem.dom.

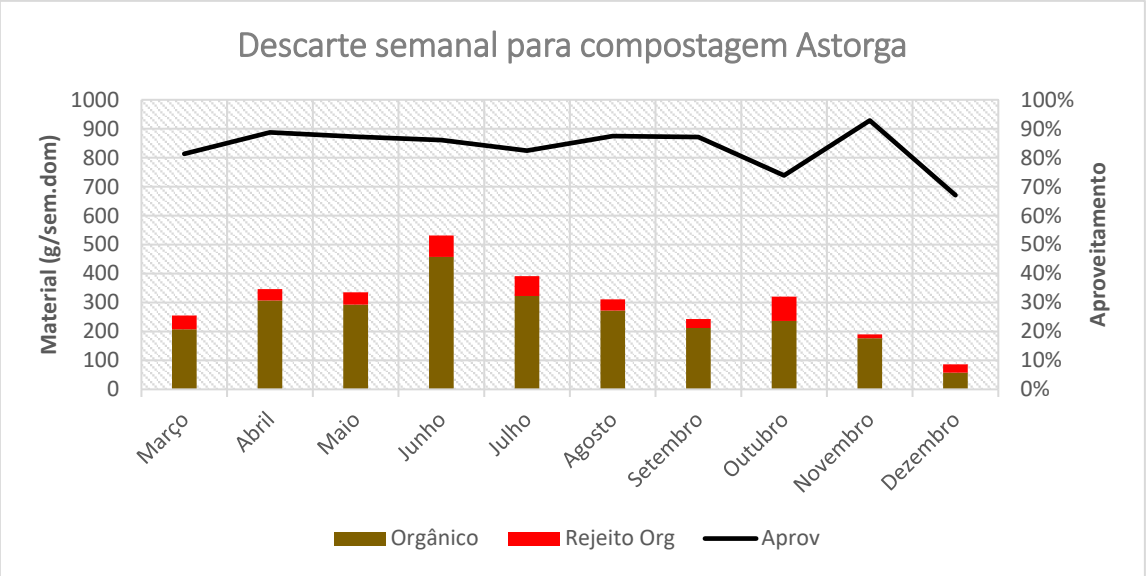

Figura 6 - Descarte semanal por domicílio de material destinado a compostagem em Astorga.

O lixo destinado a compostagem foi coletado em quantidades similares ao longo de todo projeto, com pico positivo em junho de 457 g/sem.dom e mínimo em dezembro, 58 g/sem.dom. Entretanto o aproveitamento do material foi superior a 80% em 8 de 10 meses, com oscilações em outubro e dezembro apenas. Não é possível verificar perfil de queda de qualidade de separação com o tempo de projeto, gerando um perfil mais ou menos estável de média de 83%.

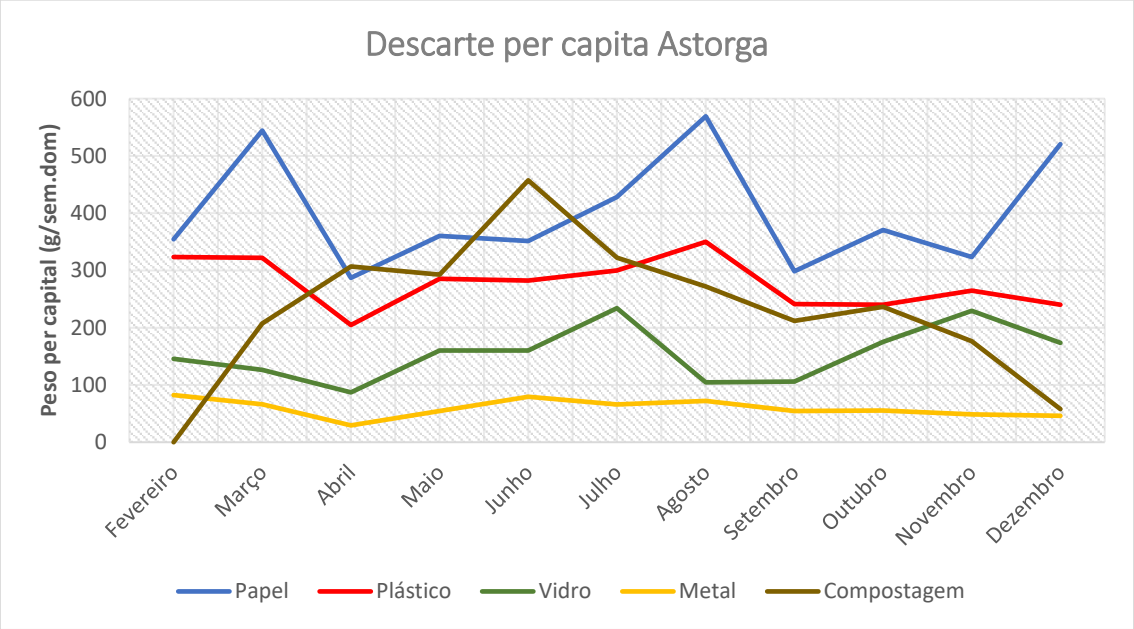

Figura 7- Descarte semanal per capita de plástico, papel, vidro, metais e material orgânico para compostagem em Sabáudia

O material reciclado consistiu majoritariamente de papel durante todo o ano, sendo superado apenas pelo orgânico destinado a compostagem em junho e abril. Durante o período foram observados picos na coleta de papel em março, agosto e dezembro, sendo superior a 500 g/sem.dom. Já o plástico se manteve estável, não variando acima de 20% da média de 280 g/sem.dom, exceto em abril. A coleta de vidro sempre foi superior à de metal, com picos em novembro e julho, que por sua vez não apresentou outliers. Vale ressaltar que, mesmo sendo inferior ao papel na maioria dos meses, a quantidade de orgânico destinada a compostagem foi maior do que a de plástico em 5.

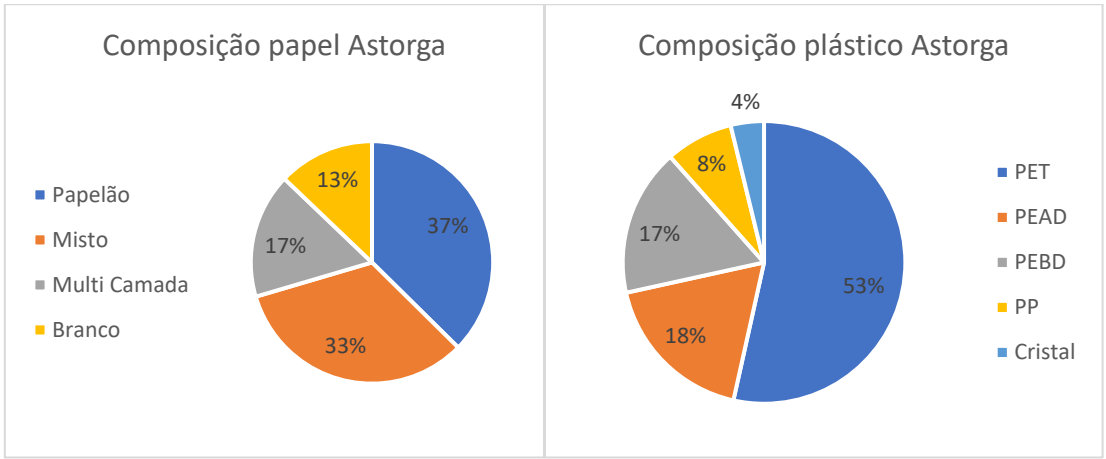

Figura 8 - Composição do Papel e Plástico reciclados em Astorga