

---

# *Innovación en la gestión de termoeléctricas en el Amazonas: Reducción del consumo y aumento de la eficiencia por medio del reaprovechamiento de residuos*

**Wagner Ferreira Silva<sup>1</sup>, Lucila Maria de Souza Campos<sup>2</sup>, Paulo A. Cauchick Miguel<sup>3</sup>**  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). University Campus. Trindade.  
Florianópolis. Santa Catarina. Brazil. Zip Code: 88040-900.

---

*Innovació en la gestió de centrals termoelèctriques a l'Amazonas: Reducció del consum i augment de l'eficiència per mitjà del reaprofitament de residus*

*Innovation in the management of thermal power plants in the Amazonia: Reduction of the consumption and increase of the efficiency by means of the re use of residues*

*Recibido: 6 de abril de 2014; revisado: 17 de junio de 2014; aceptado: 30 de junio de 2014*

## **RESUMEN**

Este estudio propone una innovación de proceso que, por medio del tratamiento y el reaprovechamiento de residuos de fueloil, reduce el consumo de combustible y aumenta la eficiencia en las plantas termoeléctricas. En el contexto habitual de plantas movidas con fueloil, el tratamiento del combustible genera residuos destinados al desecho. La innovación significa pasar todo el residuo oleoso del combustible por una nueva estación de tratamiento que, por centrifugación separa el aceite tratado, el agua y los contaminantes. Las termoeléctricas de fueloil en Brasil generan alrededor de 4000 MWh, cuando están en plena operación. Como promedio son producidas cerca de 150 toneladas de residuo de fueloil al mes. En este trabajo cerca del 65% de este volumen puede ser recuperado y reutilizado en la generación de energía eléctrica, aumentando en hasta un 2,7% la eficiencia de las plantas generadoras de electricidad. Con este nuevo tratamiento y modelo de gestión es posible generar economía en la adquisición de combustibles fósiles, así como obtener una reducción en la generación de residuos de desecho y consecuentemente los impactos ambientales causados por las termoeléctricas movidas con fueloil.

**Palabras clave:** Termoeléctrica; reaprovechamiento de residuos; Amazonas.

## **SUMMARY**

This study proposes a process innovation that, by means of the treatment and the re-use of fuel oil residues, reduces the fuel consumption and increases the efficiency in thermal power plants. In the habitual context of power plants moved with fuel oil, the treatment of the fuel generates residues destined to wastes. The innovation means to pass all the oily residue of the fuel through a new station of treatment that, by centrifugation separates the treated oil, the

water and the polluting agents. The thermal plants that use fuel oil in Brazil generate around 4000 MWh, when they are in plenty operation. As average there are produced near of 150 tons of fuel oil residues in a month. In this work near of 65% of this volume can be recovered and reused in the generation of electrical energy, increasing in a 2.7% the generating efficiency of thermal power plants. With this new treatment and model of management it is possible to generate economy in the acquisition of fossil fuels, as well as consequently to obtain a reduction in the generation of residues and therefore environmental impacts caused by thermal plants moved with fuel oil.

**Key words:** Thermal power; plants re-use of residues; Amazon.

## **RESUM**

Aquest estudi proposa una innovació de procés que, per mitjà del tractament i el reaprofitament de residus de fuel, redueix el consum de combustible i augmenta l'eficiència en les plantes termoelèctriques. En el context habitual de plantes mogudes amb fuel, el tractament del combustible genera residus destinats al rebuig. La innovació significa passar tot el residu oliós del combustible per una nova estació de tractament que, per centrifugació separa l'oli tractat, l'aigua i els contaminants. Les centrals termoelèctriques de fuel al Brasil generen al voltant de 4000 MWh, quan funcionen en ple rendiment. Com a mitjana prop de 150 tones de residu de fuel són produïdes al mes. En aquest treball prop del 65% d'aquest volum pot ser recuperat i reutilitzat en la generació d'energia elèctrica, el que significa un augment de fins un 2,7% de l'eficiència de les plantes generadores d'electricitat. Amb aquest nou tractament i model de gestió és possible generar economia en

---

\*Autores para la correspondencia: <sup>1</sup>wagner.silva@posgrad.ufsc.br ; <sup>2</sup>lucila.campos@ufsc.br ; <sup>3</sup>cauchick@deps.ufsc.br

---

l'adquisició de combustibles fòssils, així com obtenir una reducció en la generació de residus de rebuig i en conseqüència de l' impacte ambiental causat per les termoelèctriques que funcionen amb fuel.

**Paraules clau:** Central termoelèctrica; reaprofitament de residus; Amazones.

## INTRODUCCIÓN

La política energètica en la actualitat està essencialment dirigida a tres objectius principals: garantia del subministre, eficiència en el subministre i sostenibilitat social i ambiental. Sin embargo, dada la varietat de característiques de cada societat, el énfasis en cada regió pot ser diferent (MOCARQUER et al., 2009).

El estat del Amazonas possee aproximadament 1,6 milions de quilòmetres quadrats i cerca de 3,5 milions de habitants. De esta població aproximadament 1,8 milions viuen en la capital, ciutat de Manaus, i los demás 1,7 milions de habitants están distribuidos en los demás 61 municipios que componen el estado (IBGE, 2013). El coste de generació en el Amazonas, por cuenta de ser un sistema aislado y poseer una matriz energètica a base de combustible oleoso, acarrearía una tarifa de energía eléctrica al consumidor final bien superior a la existente y practicada en los demás estados y ciudades de la federación (FROTA, 2010). Para disminuir este efecto, existe la Cuenta de Consumo de Combustibles Fósiles (CCC) creada por el Gobierno Federal para subsidiar el combustible consumido en la generació de energía eléctrica en los sistemas aislados y reducir los efectos del alto coste de generació existente. Los volúmenes de combustibles fósiles son del orden de 2.461.759 toneladas/año para atender a una demanda media diaria de 1100 MWh (FROTA, 2010). En el SIN (Sistema Interconectado Nacional) no existe el beneficio de la CCC siendo el combustible integralmente pagado por las empresas generadoras. Las termoelèctricas de fueloil en Brasil generan en torno de 4000 MWh, cuando están en plena operación. Como promedio son producidas cerca de 1,5 ton/mes de residuo oleoso para cada MW de potencia generada, o sea, para cada 100 MWh de potencia disponible en la media mensual, son producidas cerca de 150 toneladas de residuo de fueloil al mes. En este caso la innovación percibida por medio de este trabajo se torna todavía más significativa pues, la búsqueda de un nuevo dispositivo tecnológico es motivada por la generació de alguna ventaja para el innovador (OECD, 2005).

Este trabajo está concebido con un enfoque más práctico y tiene como objetivo reducir el consumo específico de combustible y aumentar la eficiencia energética por medio del reaprovechamiento de los residuos de fueloil. Se caracterizan los residuos oleosos del sistema de combustible de las plantas termoelèctricas que operan con aceite pesado tipo OCA1 como combustible y desarrollar medios prácticos de reaprovechar el aceite separándolo del agua y de los contaminantes. Para eso el trabajo primero presenta su relevancia en el escenario de las plantas termoelèctricas movidas con fueloil, verifica la fundamentación teórica en función de los avances en este tipo de aprovechamiento en trabajos semejantes, explica el método de investigación utilizado y caracteriza la termoelèctrica objeto de estudio, y por fin presenta el prototipo de los resultados encontrados con las consideraciones finales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fundamentación teórica y relevancia

El fueloil pesado utilizado en termoelèctricas (OCA1 o OCB1), en el proceso de destilación que separa los componentes de acuerdo con la densidad y peso molecular, es la fracción posterior del aceite lubricante y la anterior al asfalto, en algunos casos lo que es vendido como fueloil pesado, es el residuo de las torres atmosféricas (RAT) de destilación (FARAH, 1989).

Ramaswamy et al. (2006), realizaron un estudio semejante para la recuperación de residuos oleosos y obtuvieron un aprovechamiento máximo de 55% del volumen de aceite tratado utilizando técnicas de flotación con la adición de surfactantes. Sin embargo, además del porcentaje de reaprovechamiento ha sido inferior al de este trabajo, el proceso envolvió una adición de componentes químicos lo que puede ocasionar impactos negativos no solo en el proceso de combustión, sino también nuevos componentes en las emisiones atmosféricas durante el proceso de combustión. Chen (2009) concluye en su trabajo que con un flujo controlado y el uso de membranas especiales el porcentaje de recuperación puede llegar a 93,33%. No obstante, el flujo a través de las membranas fue muy bajo e inviabilizaría el tratamiento de grandes volúmenes de residuos de fueloil como se hace necesario en las termoelèctricas.

En condiciones experimentales Zhang et al. (2012) obtuvieron tasas de recuperación de hasta 80% usando técnicas de separación por ultrasonido a una potencia de 66W para un residuo con concentraciones de 50% de agua, sin embargo las características del aceite para aprovechamiento como combustible no fueron analizadas por el autor y tampoco el flujo posible para tratamiento a gran escala. En Brasil y en el contexto de las termoelèctricas movidas con fueloil, poco ha sido realizado en términos de soluciones prácticas para este problema, muchas empresas llegan a pagar por el destino final de estos residuos, además de alcanzar números alarmantes de volumen de residuos generados. La innovación en la gestión de residuos de combustible se torna una importante fuente de reducción de costes y una herramienta estratégica para garantizar un diferencial de mercado.

Diversos autores (VEZZANI, 2010; FARIA et al., 2010; BOWEN et al., 2010) han destacado la importancia de la innovación organizacional como un todo, y se reconoce que las innovaciones puramente organizacionales son bastante difundidas (OECD, 2005), sin embargo la innovación del proceso tecnológico muchas veces es la más simples y menos onerosa de ser obtenida a corto plazo. La gestión estratégica de calidad también ve la innovación y la capacidad de las empresas de adaptarse rápidamente a las necesidades del mercado como una cuestión estratégica de la cual depende la sobrevivencia de las empresas (PALADINI, 2009). La innovación de este trabajo, al ser replicada a la totalidad de plantas termoelèctricas movidas con fueloil en el país, cerca de 4048 MW instalados (ONS, 2012), puede ocasionar proporcionalmente una reducción anual de 47364 toneladas de fueloil.

### Método de Investigación

La clasificación del método de investigación a ser empleado fue el de estudio de caso por medio de un análisis profundo de las plantas termoelèctricas evaluadas, asociados al uso de varios instrumentos de colecta de datos y a la interacción directa con el objeto de investigación. Parte

de la investigación puede ser caracterizada como investigación acción, una vez que el investigador tiene el poder y la autonomía para intervenir en las acciones dentro de las empresas y efectivamente implantar las acciones comprendidas como eficientes y eficaces a partir de los resultados obtenidos en los análisis realizados.

El proyecto está compuesto de las siguientes etapas:

Caracterización de las termoeléctricas objeto de estudio y del proceso productivo en el cual el fueloil genera residuos

Caracterización de los tipos de residuos producidos en las termoeléctricas y cuantificación de estos volúmenes

Investigación, comparación y análisis de las cantidades de residuos oleosos de combustible producidos en diferentes termoeléctricas;

Definición y concepción del prototipo de la estación de tratamiento de residuos oleosos

La etapa final fue la definición del sistema de reaprovechamiento de residuos a ser utilizado, a partir de ciertas premisas específicas de la empresa fue realizada la especificación y construcción del prototipo, las pruebas y la validación de los resultados. Los resultados obtenidos validaron las estrategias de gestión de la empresa en relación a este aprovechamiento.

## OBJETO DE ESTUDIO

### Proceso Productivo

Para el mejor entendimiento del proceso productivo y los equipamientos que componen el sistema de fueloil, tenemos la figura 1 descrita a continuación: El recibimiento del fueloil OCA1 en las plantas es realizado por medio de rastras de las cuales el contenido es transferido por bombas para los tanques 01 y 02 (ítems 2 y 3, fig. 1). Hasta este punto la responsabilidad y custodia del combustible es de la distribuidora PETROBRAS – BR. La transferencia de productos para las plantas es realizada a través de bombas y validada por medio de un fluxómetro másico cuyos valores medidos son doblemente verificados por mediciones manuales con cintas métricas en los tanques 03 y 04 (ítems 4 y 5, fig. 1) y por telemetría de los indicadores de nivel en la sala de control. A partir de este punto la responsabilidad por el combustible pasa a ser de la Planta Termoeléctrica (UTE).

El fueloil transferido y almacenado en los tanques 03 y 04, en la medida de la necesidad de consumo, son centrifugados para remoción de partículas y agua en la casa de bombas (ítem 8, fig.1) y pasa a ser almacenado en el tanque 05 (ítem 6, fig.1) que es el tanque de uso diario. Si hubiera necesidad de corrección de la viscosidad, es utilizado aceite diesel en la mezcla del aceite almacenado en el tanque 05, ese aceite diesel está almacenado para el caso de necesidad en el tanque 06 (ítem 7, fig.1). La borra oleosa originada en el proceso de centrifugación del aceite pesado es almacenada en dos tanques de borra (TQS 10 y 11) que están localizados próximos a otros tanques de almacenaje (ítem 11, fig. 1). Esa borra es uno de los principales focos del reaprovechamiento evaluado en este estudio. El fueloil (OCA1) almacenado en el tanque 05 (tanque de uso diario) es direccionado para la casa de máquinas y abastece los motores diesel. La energía eléctrica producida por los grupos-generadores en funcionamiento es transmitida a través de la subestación (ítem 14, fig. 1) a través de uno o de la combinación de sus 02 (dos) transformadores elevadores de 75MVA cada uno. Estos

transformadores elevan la tensión de los 13.8 kV para los 69 kV del Sistema Eléctrico de Manaos.

Los residuos oleosos de la casa de máquinas (ítem 13, fig. 1) y de la casa de caldera (ítem 10, fig. 1), así como cualquier eventual vaciamiento o residuo proveniente de los procesos de drenaje y mantenimiento de los tanques de fueloil o bombas, son direccionados para el separador de agua y aceite (SAA – ítem 9, fig. 1). En el SAA el agua libre es direccionada para la estación de tratamiento de efluentes (ETA - ítem 15, fig. 1) y el residuo oleoso colectado por una empresa subcontratada, con licencia para realizar el destino final del mismo. En este estudio, también fue evaluado el posible reaprovechamiento de este residuo oleoso. El proceso de reaprovechamiento de los residuos oleosos, se inició colectando, evaluando físico-químicamente y tratando siempre que fuese posible los residuos oleosos del SAA (ítem 9, fig. 1) y de los tanques de borra (ítem 11, fig. 1) y retornando con el aceite tratado en una proporción de 30 toneladas de aceite tratado para cada transferencia de 550 toneladas de aceite nuevo para los tanques 03 y 04 (ítem 4 y 5, fig. 1). Con esa medida adoptada antes de la conclusión de este estudio, se esperaba reducir los riesgos de una eventual contaminación y/o falla en el proceso de reaprovechamiento de los residuos e impacto del aceite reaprovechado sobre el comportamiento de los motores y consecuentemente de las plantas. El ítem 12 de la figura 1 presenta los radiadores y las chimeneas de las unidades generadoras.

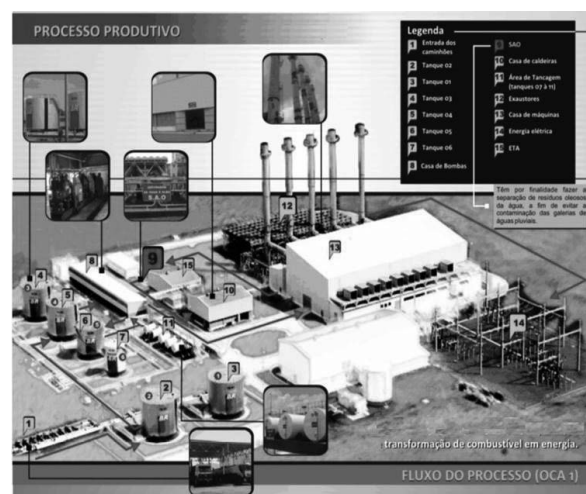


Figura 1 – Proceso Productivo. Fuente: Construcción propia

### Principales fuentes de residuos y puntos de colecta

Después de comprender el proceso productivo es importante entender los dos tipos de residuos oleosos existentes, sus orígenes y los puntos de colecta.

- Residuo oleoso del Separador de Agua y Aceite (SAA)
- Residuo oleoso del sistema purificador

La presencia de agua junto a los residuos acarrea pérdida de energía por la necesidad de evaporarla, pudiendo también causar inestabilidad en la llama si está en altas concentraciones. Con este hecho, por tanto, se entiende que la concepción del sistema debe tener como uno de los objetivos un proceso de aprovechamiento lo más libre de agua posible, así como la creación de un procedimiento para la colecta del residuo. De acuerdo con esta observación, fue adoptada una etapa de calentamiento de los residuos tratando de lograr una mejor separación del aceite del agua por calentamiento y decantación.

#### - Puntos de Colecta

El punto de colecta 01 fue establecido en los tanques de recibimiento y sus muestras son de OCA1 propiamente dicho. El punto de colecta 02 fue establecido en los purificadores instalados en la casa de bombas, el producto de este punto es el residuo oleoso de OCA1 y la principal materia prima del proceso de reaprovechamiento. El punto de colecta 03 fue establecido en el Separador de Agua y Aceite (SAA) y tratado más adelante como efluente de la ETE. De los volúmenes finales del proceso el 65% puede ser reaprovechado, 28% fue destinado a una empresa que aprovecha los residuos para quemas en procesos menos nobles y 7% destinados a la incineración de acuerdo a las normas y métodos aprobados por las leyes ambientales. Se verificó que además de las impurezas provenientes de los procesos de quema, el parámetro más relevante de la composición del residuo oleoso a ser tratado es a agua. Transcurrida las fases de la caracterización y análisis de los residuos oleosos (residuos oleosos y el propio OCA1) e identificada a eficiencia del SAA en la generación de su efluente y las características físicas de estos residuos, a próxima etapa es la concepción y/o validación del sistema de aprovechamiento. Tales estudios fueron concentrados en identificar tecnologías existentes, tanto comerciales como experimentales, y a partir de la fundamentación teórica analizada y de las premisas establecidas, definir cual el tratamiento que debería ser optimizado para atngir mejores resultados en el aprovechamiento de los residuos.

#### Premisas del sistema

Fueron consideradas las siguientes premisas iniciales, a saber: Tener una eficiencia garantizada para la eliminación de los agentes contaminantes y el agua;

Autonomía - funcionamiento sin necesidad de recurso humano (operador);

El tratamiento no debe contener adición de productos químicos, aditivos, desmulsificantes o afines;

Propiciar la mejor condición del aceite tratado para la quema (propiedades físicas y químicas necesarias);

#### Parámetros

Según Oliveira (2002) la presencia del aceite en una solución acuosa puede ser clasificada de cuatro formas distintas: Aceite libre, Aceite disperso, Aceite emulsificado y Aceite disuelto. En el presente trabajo y de acuerdo a Oliveira (2002), se puede clasificar el residuo a ser tratado como un aceite emulsionado, poseyendo parcialmente aceite libre en su superficie. En Brasil, es válido afirmar que, en el campo de las tecnologías disponibles de investigación, los tratamientos convencionales existentes en estaciones de tratamiento de efluentes privilegian a recuperación de la agua, sea para reúso o descarte, y no el residuo. Parte de ahí la necesidad de proponer una tecnología que, mismo no siendo innovadora sobre una perspectiva de investigación provea subsidios para lograr el objetivo de recuperar (transformar) el residuo en un aceite caracterizado para la generación de energía eléctrica.

#### Propuestas de tratamiento de residuos oleosos

Inicialmente fue verificada una propuesta que combinaba los tratamientos de floculación (HENRIQUE, 2005) y decantación (con calentamiento). Sin embargo, la misma fue rechazada por parte del equipo, con el argumento de que aplicar flotación en residuo con alto grado de inestabilidad en la emulsión ofrecería un riesgo innecesario, aunque

concordando que técnicamente es posible. Otro gran impedimento fue que, para obtener mayor eficiencia, sería necesario la aplicación de productos, químicos o inertes, lo que no atendía a las premisas trazadas inicialmente. De esta forma, fue elaborada una nueva propuesta de tratamiento, aprovechando parte de los conceptos anteriores y adicionando una tecnología de separación por centrifugación. En la figura 2 se presenta el esquema de la idea aprobada para la construcción de un prototipo. A continuación se verán cada una de las etapas del tratamiento realizado en el prototipo construido.

Etapa 01 - ALMACENAJE: Esta es la etapa inicial del tratamiento. Mediante recalque del residuo oleoso directamente del SAA y/o del tanque de borra, este es direccionado para un tanque inicial de almacenaje, con capacidad para 1.000 litros, formato circular. Construido con material resistente teniendo como principales partes constituyentes, el conjunto moto-bomba, tuberías, dispositivos de flujo y control. Para este tanque, además de las conexiones e instalaciones previstas necesarias para alimentación y funcionamiento, se tienen también las conexiones de direccionamiento del residuo excedente tanto de alimentación como de la descarga de fondo de tanque para el SAA.

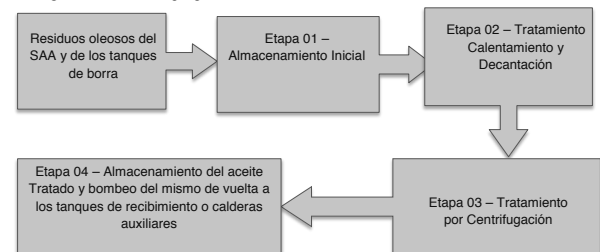


Figura 2 – Esquemático de las etapas de tratamiento y del prototipo a ser construido. Fuente: Construcción propia

Etapa 02 - TRATAMIENTO – CALENTAMIENTO Y DECAN-TACIÓN: Esta es una de las principales etapas de todo el tratamiento, pues es en esta fase que el residuo pierde gran cantidad de contaminantes y es direccionado para la etapa siguiente (centrifugación) en mejores condiciones, para la remoción de sólidos y refinado y con respecto a estas mismas impurezas existentes, sin embargo, en cantidad menor. Este tanque, con capacidad de 500 litros, formato circular, irá a operar con las fases de calentamiento (y coalescencia de las gotas de aceite), decantación, vertimiento del aceite calentado y descarga, retornando para el SAA.

Etapa 03 - TRATAMIENTO – CENTRIFUGACIÓN: La inclusión de la etapa de centrifugación en el tratamiento en substitución de la propuesta inicial de separación por el uso de una columna de flotación con aire disuelto y con el uso de coagulantes que, según HENRIQUE (2005) presentó una eficiencia máxima de 72% para un flujo de alimentación de 60 l/min, ocurre en razón de las premisas preestablecidas de que la estación de tratamiento no haría el uso de aditivos químicos para la quiebra de la emulsión. Etapa 04 – ALMACENAJE DEL ACEITE TRATADO: Esta es la etapa final del tratamiento; Después del tratamiento inicial, que comprendió el calentamiento del residuo y su separación por decantación cuanto a agua e impurezas y el tratamiento posterior de centrifugación, que comprendió la remoción de sólidos y agua todavía existente, el aceite tratado es direccionado para este tanque, con capacidad de 1.000 litros.

### Prototipo final

A operación normal el prototipo permite un flujo de tratamiento de cerca de 360 litros/hora. La figura 4 presenta el estado actual de la estación construida. La misma fue debidamente probada y el aceite resultante de su tratamiento evaluado por medio de ensayos de laboratorios que asegura a adecuada composición y los porcentajes medios de aprovechamiento obtenidos. Da izquierda a derecha observamos el tanque de almacenamiento inicial (01), el tanque de calentamiento y decantación (02), a centrífuga (03) y el tanque de almacenamiento de aceite tratado (04).



Figura 3 – Prototipo de la estación de tratamiento de residuos oleosos. Fuente: Construcción propia

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La tabla 1 muestra un levantamiento de campo comparando volúmenes de borra de fueloil generados por una empresa participante de este proyecto y otra de la misma configuración y tecnología, que no adoptó la metodología de control y reaprovechamiento de residuos. Los volúmenes son relativos al período entre 2007 y 2011 mostrando las variaciones de resultados inclusive en los volúmenes generados en la empresa B participante del proyecto. Se observa el volumen de borra producido sabiéndose que las empresas A y B generan 60 MWh de potencia cada una.

Tabla 1 – Volumen de Borra Oleosa Producida con y sin cambio en la Gestión de Residuos. Fuente: construcción propia

PLANTAS	Año	Unid	Total /Año	Media /Año
Empresa A	2.007	Kg	1.386.000	115.500
Empresa B			1.539.000	128.250
Empresa A	2.008	Kg	1.302.630	108.553
Empresa B			767.460	63.955
Empresa A	2.009	Kg	1.219.430	101.619
Empresa B			944.940	78.745
Empresa A	2.010	Kg	1.074.480	89.540
Empresa B			771.700	64.308
Empresa A	2.011	Kg	1.028.810	85.734
Empresa B			442.321	36.860

La Empresa A se refiere a una planta termoeléctrica que no adoptó el reaprovechamiento de los residuos oleosos y tampoco adoptó la metodología de gerenciamiento y control relativa al primer paso de la colecta de residuos. La Empresa B comenzó a adoptar la metodología de control y gerenciamiento de residuos a partir de meados de 2008, percibiéndose una significativa reducción en los volúme-

nes generados. La reducción significativa en los volúmenes relativos al año de 2011, se debe principalmente al inicio de la operación con gas natural en substitución al OCA1. Algunas oscilaciones mensuales son debidas a la acumulación de colectas, siendo la información más relevante en este caso la media anual. A y B son empresas distintas utilizando el mismo fueloil OCA1 y la misma tecnología en los grupos generadores y plantas termoeléctricas.

La tabla 2 presenta los resultados detallados del año 2009, donde puede ser verificado el volumen total procesado y los volúmenes que fueron reaprovechados.

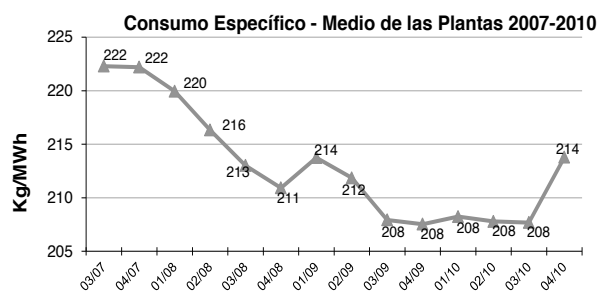
Tabla 2 – Volumen de Borra Oleosa Colectada y Volumen de Aceite Tratado Recuperado. Fuente: construcción propia

Mes	Control de Generación y Retirada de Borra Oleosa				Retorno Aceite Tratado UTE A (Kg)
	Volumen Retirado		Volumen Retirado	Volumen Retirado	
	UTE A(Kg)	UTE B (Kg)	UTE C(Kg)	Soma (A+B+C)	
Enero	176,609	35,854	50,100	262,563	174,710
Feb	79,970	97,840	62,260	240,070	156,073
Mar	161,000	117,500	133,930	412,430	247,913
Abr	177,500	93,000	48,930	319,430	180,122
Mayo	162,340	82,145	63,100	307,585	157,329
Jun	142,480	62,481	124,420	329,381	77,670
Jul	147,970	49,000	74,290	271,260	311,624
Ago	144,541	56,000	61,610	262,151	215,550
Sept	101,310	62,000	37,090	200,400	138,430
Oct	94,210	41,002	138,400	273,612	172,790
Nov	71,379	44,200	82,950	198,529	163,594
Dic	60,030	50,700	47,950	158,680	19,420
Media	126,612	65,977	77,086	269,675	167,935
Total	1,519,339	791,721	925,030	3,232,090	2,015,225

Por una cuestión estratégica y para mejor evaluación técnica de los resultados y posibles efectos sobre los equipamientos de generación, la empresa optó por conducir toda la utilización del aceite reaprovechado apenas en la UTE A. En este período la media de reaprovechamiento obtenido fue de 62,3%, lo que está por debajo de los resultados obtenidos por RAMASWAMY et al., 2006, CHEN, 2009 y ZHANG et al., 2012 en sus trabajos, sin embargo con la adopción de un sistema simple y dentro de las premisas previamente establecidas.

El gráfico de la figura 6, presenta el resultado en términos de reducción del consumo específico de las plantas en el período de 2007 a 2010 sabiendo que el reaprovechamiento objeto de este estudio se inició en el último trimestre de 2008 y que al final de 2010 la matriz de generación pasó a ser el gas natural. Se observa un ligero aumento ocurrido en el inicio de 2009 en función de la utilización de un equipamiento menos eficiente durante el trimestre analizado, volviendo a caer en los trimestres siguientes. A lo largo de 2010 el consumo específico fue reducido y mantenido en 208Kg/MWh por cuestiones contractuales y estratégicas para la empresa. Al final de 2010 el consumo específico volvió a subir debido a la conversión de las

plantas para el gas natural lo que significó consumir combustible oleoso preferencialmente en procesos como la generación de vapor en calderas auxiliares a aceite y no en la generación de energía eléctrica propiamente dicha. El valor mínimo de consumo específico obtenido, de 208 Kg/MWh, fue un límite estratégico obtenido con la distribución del retorno del aceite tratado mensualmente. Este límite es el mismo que el previsto contractualmente como pasivo de reembolso por cuenta de la CCC. Esa reducción proporcionó una economía del orden de millones de reales en la empresa evaluada. Es importante señalar que en todos los casos se mantuvo la eficiencia energética de las plantas.



**Figura 6** – Acompañamiento del consumo específico de las plantas (media trimestral). Fuente: construcción propia

A partir de este trabajo fueron observados los siguientes resultados:

El consumo específico fue reducido alrededor de 6,0% (equivalente a 14 kg/MWh) del valor histórico anterior al proyecto. Los valores históricos de consumo específico eran considerados los ideales por el fabricante de los equipos y los mismos garantizados y verificados en las pruebas de desempeño de fábrica. La adopción de este control y metodología de gestión generó una reducción significativa de las pérdidas por fallas de operación y eventuales desvíos de procedimientos operacionales. Actualmente es posible prever estadísticamente el volumen máximo mensual de borra a ser producida por planta y aún más, en un eventual empeoramiento en la calidad del fueloil recibido en relación a los parámetros previstos por la Agencia Nacional del Petróleo (ANP), verificar un aumento proporcional y semejante en las tres empresas evaluadas y participantes del proceso de reaprovechamiento. El coste de manejo y transferencia de los residuos, fue inferior a 25% del coste del aceite nuevo, generando un significativo retorno financiero al proyecto.

Al evaluar los datos colectados en el transcurso de este trabajo, se puede afirmar que el porcentaje medio de borra generada en cada una de las termoeléctricas movidas a aceite pesado tipo OCA1 debe ser, en condiciones normales, inferior a 1,0% del volumen total de aceite pesado tratado, siendo 0,5% considerado un valor óptimo de referencia. Esa información sirve como referencia para la evaluación de los gestores en relación a las pérdidas que su sistema de tratamiento de combustible y otros factores ligados al manejo del fueloil puedan estar ocasionando pérdidas a la empresa.

Desde el punto de vista ambiental se consiguió reducir cerca del 7% (siete puntos porcentuales) el volumen de residuos destinado a la incineración sin reaprovechamiento.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de este trabajo es recomendado que:

Se realice un estudio económico-financiero de forma que sean cuantificadas las economías generadas y el retorno financiero previsto con la adopción de esta metodología de reaprovechamiento de residuos oleosos hasta su punto de mayor eficiencia.

En el caso de no adoptarse el reaprovechamiento de residuos oleosos, se debe adoptar la metodología de gerenciamento y control de los residuos de fueloil. Observando y optimizando los procesos de control operacional de las centrifugas, reduciendo contaminaciones del residuo oleoso por agua y, siempre que sea posible, realizando el drenaje de la fase libre de aceite antes de direccionar los residuos para el descarte final.

Debe ser preocupación continua del gestor y de los involucrados en el proceso la garantía de que no está ocurriendo contaminación de los residuos oleosos de fueloil por agua y/o residuos oleosos de aceite lubricante.

El proceso de reaprovechamiento de residuos oleosos en plantas termoeléctricas movidas a fueloil puede ser fácilmente replicado con poca o casi ninguna inversión, generando una significativa economía en el coste de adquisición de combustible, aumento en la eficiencia energética y ganancias ambientales a los participantes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo del Gobierno del Estado del Amazonas por medio de la Fundación de Amparo a la Pesquisa del Estado del Amazonas, con la concesión de una bolsa de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANP - Agência Nacional del Petróleo. Página institucional. 2013. Disponível em: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br) Acesso em: 18 mar. 2013.
2. BOWEN, F.; ROSTAMI, M.; STEEL, P. Timing is everything: A meta-analysis of the relationships between organizational performance and innovation. *Journal of Business Research*, n. 63, p. 1179-1185, 2010.
3. CHEN, W. et al. Separation of oil/water emulsion using Pluronic F127 modified polyethersulfone ultrafiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, v. 66, n. 3, p. 591-597, 5/7/ 2009. ISSN 1383-5866.
4. FARAH, M.A. Caracterização do Petróleo e seus Produtos - Parte 1 - Combustíveis, Petrobras/Serec/Cen-Sud, Rio de Janeiro, 1989.
5. FARIA, P.; LIMA, F.; SANTOS, R. Cooperation in innovation activities: The importance of partners. *Research Policy*, n. 39, p. 1082-1092, 2010.
6. FROTA, Willamy M., Brígida R.P. Rocha. Benefits of natural gas introduction in the energy matrix of isolated electrical system in the city of Manaus - state of Amazonas - Brazil. *Energy Policy* 38 pp.1811-1818. 2010.
7. HENRIQUE, Gisele Lopes de Souza. Técnicas de tratamento de efluentes oleosos. Tese M. Sc. PEQ/CO-PPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2005.
8. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados - Amazonas. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 31/03/2013.

- 
9. MOCARQUER, S., Barroso, L.A., Rudinick, B.B., Pereira, M.V., 2009. Balance of power. *IEEE Power Energy Magazine* vol. 7, 26–35 September–October.
  10. OECD. Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data – Oslo Manual, OECD, Paris, 2005.
  11. ONS – Operador Nacional do Sistema. PLanejamento Energético Nacional. Disponível em: <ftp://ftprio.ons.org.br/GPO/PEN-2013> Acesso em 20/04/2013.
  12. OLIVEIRA, C. A. A.; DANIEL, L. A. Prevenção de poluição pela redução de efluentes líquidos industriais na fonte de geração. In: Artigo apresentado no congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Rio de Janeiro. 2002.
  13. PALADINI, E. P. Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos. 2ª ed. São Paulo. Atlas, 2009.
  14. Portaria ANP nº 80, de 30 de abril de 1999. Especifica os óleos combustíveis de origem nacional ou importados a serem comercializados no território nacional.
  15. RAMASWAMY, B.; KAR, D. D.; DE, S. A study on recovery of oil from sludge containing oil using froth flotation. *Journal of Environmental Management*, v. 85, n. 1, p. 150-154, 10// 2007. ISSN 0301-4797.
  16. Resolução CONAMA nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes.
  17. VEZZANI, A.; EVANGELISTA, R. The economic impact of technological and organizational innovations: a firm-level analysis. *Research Policy*, n. 39, p. 1253–1263, 2010.
  18. ZHANG, J. et al. Oil recovery from refinery oily sludge via ultrasound and freeze/thaw. *Journal of Hazardous Materials*, v. 203–204, n. 0, p. 195-203, 2/15/ 2012. ISSN 0304-3894.